

ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Volume 13
Issue 2
2022

<https://edgcccjournal.org>

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF

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

EDITORIAL BOARD

Executive Secretary

Olga M. Shaduyko (Tomsk, Russia)

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

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

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Office

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

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

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

Founder:

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

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

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

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

ДИНАМИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Том 13
Выпуск 2
2022

Журнал издается с 2008 года

<https://edgcccjournal.org>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЕ РЕДАКТОРЫ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Ответственный секретарь

О.М. Шадуйко (Томск, Россия)

Е.В. Азбалин, 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)

А.В. Пузанов, д-р биол. наук, профессор (Барнаул, Россия)
А.Б. Розанов, канд. геогр. наук (Стелленбос, ЮАР)
А.А. Сирин, д-р биол. наук, профессор (п/о Успенское, Московская обл., Россия)
В.М. Степаненко, канд. физ.-мат. наук (Москва, Россия)
А.Л. Степанов, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
Е.В. Шеин, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
С.А. Шоба, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН (Москва, Россия)
Т. Весала, д-р, профессор (Хельсинки, Финляндия)
К. Латола, д-р (Оулу, Финляндия)
М. Ламентович, д-р, профессор (Познань, Польша)
К.Ф. Ларуссон, д-р (Акурейри, Исландия)
И. Маммарелла, д-р, доцент (Хельсинки, Финляндия)
В.Ф. Варвик, д-р, профессор (Квебек, Канада)

Редакция

О.А. Фролов, заведующий редакцией (Москва, Россия)
И.О. Рожкова-Тимина, WEB-редактор, компьютерная верстка (Томск, Россия)
Р.А. Руньков, технический редактор (Москва, Россия)

Учредители:

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
628012, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Ханты-Мансийск ул. Чехова, 16.
Тел./факс: +7(3467)37-70-00 (доб. 101), WEB: www.ugrasu.ru

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет».
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36. Тел.: +7(3822)58-98-52, факс: +7(3822)52-95-85, WEB: www.tsu.ru

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

ГКУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики».
629008, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, 73. Тел./факс: +7(34922)441-32,
WEB: www.arctic.yanao.ru

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

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

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

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Moiseev T.D., Garipova S.T.

Water use and ecosystem services: A case of Russia

60-69

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A.

Twenty-one year dynamics of vegetation from long-term plots in East European tundra

70-103

Shepeleva L.F., Kolesnichenko .G., Pudova M.S.

Dynamics of the aboveground phytomass of the Ob floodplain meadows in the area of the Tomsk carbon polygon (Kaibasovo)

104-119

ХРОНИКА

Jheeta S., Kotsyurbenko O., Smith D.

Has Humanity Lost its mind: Is it Time for Planet B?

120-121



WATER USE AND ECOSYSTEM SERVICES: A CASE OF RUSSIA

Moiseev T.D.^{1}, Garipova S.T.²*

¹ «Huntmap», Russia, Ufa

² Geological Institute of the Russian Academy of Science, Russia, Moscow

**moiseevt115@gmail.com*

Citation: Moiseev T.D., Garipova S.T., 2022. Water use and ecosystem services: A case of Russia // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 2. P.60-69.

DOI: [10.18822/edgcc105930](https://doi.org/10.18822/edgcc105930)

Annotation. The article is focused on the possibility of implementing ecosystem services (ES) in water management system of Russia. Examples of international practice ES-oriented water use policy are reviewed. Modern structure of water use system in Russia is presented. The main environmental problems of Russia in connection with ES according to Common international classification of ecosystem services (CICES) are summarized. As a result, the authors propose a roadmap for reforming water use based on ES in order to improve water management. Key positions of possibility way of development Russia's water use system are highlighted and recommendations are given due to sustainable development goals.

Key words. Ecosystem services, water use, water management, water policy, environmental management, green economy, sustainable development, water resources, CICES.

INTRODUCTION

The water management problem is identified as one of the goals of sustainable development. Access and availability to clean water is a critical and urgent issue for everyone [Sustainable development goals, UN, 2015]. Nevertheless, management of inland water bodies without an integrated approach may not have the required positive effect on conservation of water quality. This is the result of indirect impact of contiguous territory (forests, agricultural areas, urban areas, etc.). Disturbance of soil infiltration, loss erosion control are consequences of cutting down the forest [Mapulanga and Naito, 2019]. Another problem associated with water use is desertification and degradation of farmlands [Ortiz et al., 2021]. The mentioned elements are important, but insufficient for efficient environmental policy. Understanding the linkages between various natural components is a key point for water management [Corfee-Morlot et al., 2003] where each stakeholder must take responsibility for the decision-making process.

Ecosystem services (ES) are the benefits that mankind obtains from the environment [Costanza et al., 1997]. Inland aquatic ecosystems provide a variety of ES: drink water, food, water for irrigation, recreation, hydropower, habitat, etc. Extensive range of facilities ES concepts are applied worldwide [Water security, UNEP, 2009] in varying degrees, which confirms the feasibility of introducing it into modern water policy.

The objective of this study was to elaborate a way of application ES-based approach in Russia's water policy framework, bearing in mind the geographical location, natural diversity. A review implementation of water management strategies of states and the European Union was carried out. Recommendations to current challenges are suggested.

The article is organized as follows. The first part reviews water use policy related to cases of implementation ES at the international level. The second part exposes problems of water management in Russia. The third part presents a conceptual framework and ways to improve Russia's water use policy through the implementation of ES, based on the experience of other countries.

WATER POLICY AND ES. REGIONAL AND INTERNATIONAL EXPERTISE

First, to follow the best practice, we consider how the water management system is organized in the case studies. At the international level, the United Nations published Resolution “International Decade for Action, Water for Sustainable Development, 2018 - 2028” (A/RES/71/222) that stresses the importance of the participation of stakeholders [Water for Sustainable Development, 2018 – 2028..., UN, 2012]. The World Meteorological Organization (WMO) presented the Associated Programme on Flood Management (APFM) that put emphasis on sustainability of water planning [A Tool for Integrated Flood Management..., WMO, 2012]. In recent decades, The European Union (EU) has presented the Water Framework Directive (WFD), Groundwater Directive, Floods Directive. These guidelines highlight the importance of integrated management of water resources [Directive 2000/60/EC, Directive 2006/118/EC, Directive 2007/60/EC, EU]. The WFD was difficult to use for several reasons. The participation of multitude stakeholders and weak methodologies complicated the governance process. However, subsequently, the WFD became quite effective [Giakoumis and Voulvoulis, 2018, Carvalho et al., 2019].

In Italy, the territory is divided into 8 water basins, where flood risk management principles are implemented, and water supply issues are addressed. Management plans are developed at the regional level. At the local level, River Contracts are used, extensively involving both local authorities and stakeholders. Strategic aims include reducing water pollution, minimizing flood risk, restoring watercourse quality within urban areas and exchanging water management experience.

Belgium's water policy differs from other river basin management by its international consideration due to transboundary transfers of surface water resources. Belgium is divided into 4 water basins, which are divided into 11 sub-basins and 103 smaller units. Instead of ‘ecosystem services’ the term ‘blue services’ in new editions, is used. Public participation in water management is strongly encouraged.

Portugal is divided into 10 basins, and 4 of them are closely linked to Spain for management. Water management for each site is well structured. The Water and Waste Services Regulatory Entity (ERSAR) controls prices for water use and monitors water quality. The General Direction of Natural Resources and Maritime Safety and Services (DGRM) is responsible for the management of marine resources (fisheries, aquaculture, environmental situation in the coastal zone, etc.). The term ‘ES’ is not mentioned directly, but its individual components, such as water supply, biodiversity conservation, stoke water management, fire protection, floods, droughts, are regarded. In Romania, at the regional scale project development invites stakeholders [Grizzetti, 2016].

The government of Canada adheres to the following goals: protection and improvement of water quality, enhancement water management policy [Forsberg, 1998]. The federal authorities deal with fisheries and navigation [Davies and Masumder, 2003]. Collaboration between scientists and local citizens is considered of an ES approach (for example Community based environmental monitoring (CBEM) in the George River basin) [Gerin-Lajoie et al., 2018]. Such experience may be particularly relevant in remote and inaccessible areas where residents have considerable knowledge of the environment and therefore can ensure that researchers' interests are accomplished.

In the United States, one of the main authorities regulating water resources management is the United States Environmental Protection Agency [U.S. Environmental Protection Agency]. A comprehensive law including, in particular, environmental issues, passed in 1970, is the National Environmental Policy Act (NEPA), which has been the point of reference for many environmental acts in countries around the world [NEPA, 1970]. The basic rules and requirements for the use, quality and management of surface drinking water resources are prescribed by the Safe Drinking Water Act, which is the base for other regulations [Safe Drinking Water Act, 1974]. Ground Water Rules (GWR) regulate groundwater management [Ground Water Rule, 2006]. The application of ES was first discussed in the report ‘Teaming with Life: Investing in Science to Understand and Use America's Living Capital [Teaming with Life: Investing..., 1998], which resulted in the creation of a work group in order to assess payments for ES. The term ‘ecosystem services’ within water resources management is also mentioned in The National Service Forest Plans amendments of 2012. The support and assistance in solving water management problems are provided by a GIS system in the US [EnviroAtlas, EPA], that allows the use of mapping data for decision-making. Another online resource contains a set of methodologies and examples of effective ecosystem service valuation [National ES Partnership, 2016] and, thus, helps to minimize conflict situations and helps to find trade-offs in environmental management issues [Schaefer et al., 2016]. The San Pedro watershed in southeastern Arizona was a pilot project for

environmental management using ES. Further implementation of ES in other laws is encouraged due to achieving national environmental policy goals [Bear, 2014]. Thus, some ES concept foundations are attempted to use in many U.S. agencies and cited in various laws.

Local scale examples of the use of ES include improvements to the Great Dismal Swamp National Wildlife Refuge development plan and the Connecticut River Watershed development project. In the first case, decision makers refer to several government agencies (The Fish and Wildlife Service, Army Corps of Engineers, etc.), regional agencies, mayors and nongovernmental organizations. As a result, possible trade-offs between recreational use of channels and maintaining high quality of drinking water are explored [Scarlett and Mailllett, *Incorporating Consideration...*, 2014]. In the second case, the critical objectives were to reduce anthropogenic influences on river waters, increase public education, regulate invasive species and reduce flood risks. The implementation of the project was accomplished with stakeholder assistance on collaborative working partnership to eliminate other related problems, such as yield reduction, erosion, etc. [Scarlett and Mailllett, *Using an ES...*, 2014]. To summarize, in the USA the decision-making strategy in water basin management is explicitly based on the concept of ES.

In Bhutan, water use is regulated by the National Integrated Water Resources Management Plan (NIWRMP), the Basin Management Approach. The National Environmental Commission (NEC) is the main authority for water resources management. Bhutan is divided into 186 water basins, each with a water use plan. In 2011, Bhutan established the Watershed Management Division. It is important to note that the guidelines follow the concept of ES as they not only focus on water quality conservation but also on indirect benefits such as forest conservation, erosion reduction [Norten, 2021].

The Mexican government developed The Payment Hydrological Environmental Services (PSAH) Program, which is the program to maintain water quality. This policy resulted in the payment of about \$18 million to forest owners to perform preventive measures against threats and risks of declining water quality. The first steps to program implementation were made by a research group from the Instituto Nacional de Ecología. The academic literature was endorsed by the state and applied in environmental management. The issues of this project include the conflicts with farmers and landowners due to prohibition of agricultural land expansion. The uneven compensation payments to beneficiaries are also a considerable problem, caused by disputes about the fact that some forest owners facing no water use problems receive more money than their counterparts in more vulnerable areas. However, this issue can be resolved by improving management and regulating the number of payments [Carlos et al., 2008].

WATER USE MANAGEMENT SYSTEM IN RUSSIA

The Russian Federal Water Resources Agency is the main authority in the field of water use. Nowadays, the Russian water management system is regulated by the Russian Federation Water Code, which was passed in 2006 [Rozumovich, 2020]. Article 28 of the Russian Federation Water Code distinguishes 21 basin districts [Water Code of the Russian Federation, 2006]. To optimize the water management system, Article 29 of the Russian Federation Water Code establishes basin councils for a 5-year term. These councils include representatives of executive authorities, regional authorities, local governments, indigenous communities, etc. The objectives of basin councils are the development protection of water resources, definition limits for water consumption, reduction of flood negative consequences and flood prevention. Basin districts are monitored by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The number of hydrological observation points decreased from 1992 to 2018 by 19 percent. Systematization of water bodies is carried out by the State Water Registry [State report «On the state and use of water resources, 2019]. The implementation of water management measures is based on the “Schemes of complex use and protection of water resources”. The term “complex” in the title does not fully disclose the meaning of the issues discussed in the document. Assessment of the water body condition eliminates other types of environmental management or insufficient in this case. For example, in the Don River basin, a key point is an assessment of biological, chemical pollution and technical conditions of treatment facilities [Scheme of integrated use and protection of water bodies, 2012]. Particular attention is paid to the problems of irrigation water management. However, the Scheme does not consider the land use system of contiguous territory. In addition, implementation of fish-farming projects and developing water tourism has considerable potential for growth economics. As some researchers [Tomakov et al., 2012] have noted, the existing system of watershed planning is not efficient. The Federal Service for Supervision of Natural Resources monitors water conditions and ensures

compliance with laws [The Federal Service for Supervision of Natural Resources]. The certain tension is noted between authorities and Rosprirodnadzor. This is reflected in slowing decision-making processes as a result of bureaucratic barriers [Dontsova, 2010].

To summarize, the following water use management problems are noted:

- The issue with the openness of environmental monitoring data to the public, causing constant discussions about "silencing problems".
- Low involvement of the population in decision-making processes, lack of education policy from the state for participation in such processes.
- Opposition by the authorities to non-profit public organizations in the field of ecology. The emergence of the law on "foreign agents" has significantly affected the system of environmental NGOs [Kefner, Morgun, 2020]. This law restricts funding from abroad, and increases the dependence of Russian environmental organizations on government funding, which reduces the independence of company activities.
- Sanitary standards for water quality that do not take into account regional hydro-chemical indicators.
- The problem of watershed pollution by domestic waste.

ES AFFECTED BY WATER USE. EXAMPLES AND CHALLENGES OF RUSSIA

The authors have assessed existing water management problems and selected components of ES according to CICES V5.1, which is used in international environmental management practice [The Common International Classification of ES]. Table 1 shows the main problems related to water use in different regions of the Russian Federation and the corresponding ES affected by land use. The problem of surface water pollution affects many regions of Russia. This is particularly true for densely populated regions and industrial cities, which are located nearby water bodies. The great complexity of communication between stakeholders may lead to not achieving the ultimate goals [The unhealthy "Revitalisation of the Volga", 2021]. Water pollution is a growing concern in the watershed of the Northern Dvina River. The main reason for this is that treatment plants of forest-based enterprises and pulp and paper mills have outdated equipment [Dushkova and Evseev, 2011]. Areas mentioned are directly related to using surface water resources for drinking and household needs. Pollution of the Volga River causes a decrease in the population of high value fishery species (sturgeon) [Ruban et al., 2019]. The Federal Program "Revival of the Volga" was created to address the problem of degradation of aquatic ecosystems and prevent water contamination in European Russia. One of the main objectives of the project was to reduce discharged polluted water by 3 times. However, according to the results of inspection, these values are poorly achievable [The unhealthy "Revitalisation of the Volga", 2021].

Table 1. Russia's water management challenges, stakeholders and ecosystem services

Problems	Negative effects	Regions	ES (Group) (CICES V5.1)	Stakeholders
Pollution of surface water (lakes, rivers, channels)	Ecosystem changes caused by transformed chemical composition of water and temperature regime. Problems of water use for drinking, agricultural and industrial purposes.	Rivers of Baltic Sea basin, Dvina-Pechora basin, Volga River, basins of Ob, Lena and Amur rivers.	Provisioning (Biotic): 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 1.1.6. Regulation, Maintenance (Biotic): 2.1.1, 2.1.2, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5. Cultural: 3.1.1, 3.1.2, 3.2.1. Provisioning (Abiotic): 4.2.1. Regulation, Maintenance (Abiotic): 5.1.1.	Regional level: regional authorities, water treatment organizations, agricultural organizations (including fish farming), scientific research groups. Local level: smallholder farming, fishermen, hunters, tourists, local citizens, religious denominations.
Pollution of groundwater	Restrictions on the water use for drinking, agricultural and industrial purposes. Pollution of surface water.	Groundwater wells, local industrial intake.	Provisioning (Biotic): 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4. Provisioning (Abiotic): 4.2.2. Regulation, Maintenance (Abiotic): 2.2.4, 2.2.5.	Regional level: authorities, water treatment organizations, agricultural organizations, environmental organizations, scientific research groups. Local level: smallholder farming, local citizens.

Problems	Negative effects	Regions	ES (Group) (CICES V5.1)	Stakeholders
Alteration of water basins as a result of the construction of water reservoirs	Swamping, siltation, water logging. Ecosystem changes caused by transformed chemical composition of water and temperature regime. Restrictions on the use water transport.	Volga, Enisey, Don, Terek rivers. Hydropower facilities on small rivers.	Provisioning (Biotic): 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 1.1.6. Provisioning (Abiotic): 4.2.1, 4.2.2. Regulation, Maintenance (Biotic): 2.1.1, 2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6. Regulation, Maintenance (Abiotic): 5.1.1, 5.1.2, 5.2.1, 5.2.2. Cultural: 3.1.1, 3.1.2, 3.2.1.	Regional level: authorities, water treatment organizations, agricultural organizations (including fish farming), logging organizations, water transport companies, industrial fishery, tourism организации, environmental organizations, scientific research groups. Local level: small farmers, fishermen, hunters, tourists, local citizens, religious communities.
Floods	Damage to human settlements. Limits of water use for drinking, agricultural and industrial purposes during flooding.	Dvina-Pechora basin; Kuban, Terek, Enisey rivers; basin of Lena River, basin of Amur River. Rivers of Caucasus region.	Provisioning (Biotic): 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 1.1.6. Provisioning (Abiotic): 4.2.1. Regulation, Maintenance (Biotic): 2.1.1, 2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.4, 2.2.5. Regulation, Maintenance (Abiotic): 5.1.1, 5.1.2. Cultural: 3.1.1, 3.1.2, 3.2.1.	Regional level: authorities, water treatment organizations, agricultural organizations, environmental organizations, Local level: smallholder farming, fishermen, hunters, tourists, religious denominations.
Excessive consumption of groundwater	Drying of shallow aquifers. Decrease of surface runoff.	Moscow region, Kursk region, Zheleznogorsk, North-Dagestan cone of depression.	Provisioning (Biotic): 1.1.1, 1.1.3, 1.1.5, 1.1.6. Provisioning (Abiotic): 4.2.2. Regulation, Maintenance (Biotic): 2.1.1, 2.1.2, 2.2.2, 2.2.4. Regulation, Maintenance (Abiotic): 5.2.2.	Regional level: authorities, water treatment organizations, agricultural organizations, industry (mining, processing, etc.), environmental organizations, scientific research groups. Local level: smallholder farming, local citizens, fishermen.

Code (Group)

1.1.1. Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy. 1.1.2. Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy. 1.1.3. Reared animals for nutrition, materials or energy. 1.1.4. Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy. 1.1.5. Wild plants (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy. 1.1.6. Wild animals (terrestrial and aquatic) for nutrition, materials or energy. 2.1.1. Mediation of wastes or toxic substances of anthropogenic origin by living processes. 2.1.2. Mediation of nuisances of anthropogenic origin. 2.2.1. Regulation of baseline flows and extreme events. 2.2.2. Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection. 2.2.3. Pest and disease control. 2.2.4. Regulation of soil quality. 2.2.5. Water conditions. 2.2.6. Atmospheric composition and conditions. 3.1.1. Physical and experiential interactions with natural environment. 3.1.2. Intellectual and representative interactions with natural environment. 3.2.1. Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment. 4.2.1. Surface water used for nutrition, materials or energy. 4.2.2. Ground water for used for nutrition, materials or energy. 5.1.1. Mediation of waste, toxics and other nuisances by non-living processes. 5.1.2. Mediation of nuisances of anthropogenic origin. 5.2.1. Regulation of baseline flows and extreme events. 5.2.2. Maintenance of physical, chemical, abiotic conditions

Unfortunately, surface water pollution also negatively impacts the cultural ES. Some lakes and rivers are no longer used as recreational facilities due to deterioration of water quality (decreased transparency, deterioration of water quality). This reduces the number of people involved in water tourism, recreational fishing and beach recreation. It is worth noting that significant pollution of surface waters in Moscow, where about 77% of the water samples taken from ponds and streams do not meet the standards for microbiological indicators and 60% of samples - for sanitary indicators [Andreeva, 2014]. Urban citizens have an increased risk of disease in case of consumption of caught fish or recreation activity.

Construction and operation of hydraulic facilities affects a large number of ES and, despite many positive aspects, often leads to negative consequences [Briones-Hidrovo, 2019]. The major cluster of hydropower plants is located on the Volga River and in Siberia [Report on the functioning of the Unified Energy System of Russia..., 2021]. Increased risks of ecosystem disturbance are caused by the lack of laws in the management areas of potential flooding and in the vicinity of reservoirs [Mitina et al, 2020].

Catastrophic floods in Russia occurred in the Far East, Irkutsk Region, Zabaikalsky Krai, Yakutia and Krasnodar Krai. Floods had different causes, such as intense rainfall, ice jams and rapid snow melt [Dobrovolskii and Istomina, 2009]. Issues of flooding are discussed in research and academic literature, there is a wide national legislation gap between theory and practice [Kireeva et al., 2019, Shalikovskiy and Kurganovich, 2016, Ayzel, 2021]. Special attention should be paid to the problem of groundwater contamination in

case of its further use for drinking water supply. Chemical and biological pollution focuses are located almost throughout the country [Pykhtin et al., 2019]. The largest number of pollution focuses are on the European part of Russia [Luk'yanchikov, 2016].

Coal mining complexes disturbs regulating ES. For example, Partizansk Coal Basin located in the South of the Russian Far Eastern Region, is marked with a decreased soil quality and increased surface water salinity [Arefieva, 2019]. At the Levikhinskoye sulfide copper deposit, concentrations of pollutants were higher than during mining operations. The source of water with increased mineralization is the collapse zone, with increased sulfate concentrations [Rybnikova, Rybnikov, 2019]. According to [Malkovsky et al., 2019], deep injection of liquid radioactive waste (LRW) is widely used on an industrial scale in Russia. It is crucial to inject LRW in non-leaky aquifers with impermeable aquicludes, as long-lived radionuclides remain pollutants for a long time and migrate with groundwater flow, penetrate to surface water and shallow groundwater used for drinking purposes. In order to prevent the migration of radionuclides, clay barriers are successfully implemented [Krupskaya et al., 2019]. However, examples of radionuclide pollution are known even in such cities as Moscow [Malkovsky et al., 2020].

ROAD MAP: TOWARDS SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT IN RUSSIA

Introducing sustainable environmental practices and standards in water use is one of the best and most effective ways to optimize the water management system in Russia. Keeping in mind the ecological problems, a key point to improve national governance systems is the need to clarify management methods of water use. Fig. 1, presented below, is a road map that may be used for solving water problems in future. All water basins of Russia should be considered at the national level. The regional level corresponds to the scale of basin districts in accordance with the Water Code of the Russian Federation. sub-basins are allocated within each basin district, according to available financial and labor resources, at the local level. First of all, it is necessary to identify key objectives for water basins at the national level. This strategy should include objectives for each watershed, highlighting the significant issues to be addressed. The next step is to have a person responsible for implementing strategy for each water basin. In this stage, strategy is a transition to the regional level. It seems reasonable, given the vast territory of the country and the regional climatic, economic, environmental and social specificities of the regions.

At the regional level, work is carried out on implementing the national water use strategy. Focus groups are established to address issues. It is reasonable to presume that the division of watersheds into smaller units to provide an individual nature management approach. This can help ensure flexible managerial decisions. Expert groups (regional authorities, scientists, public organizations, etc.) define boundaries of sub-basins in which the supervisor are appointed at the regional scale. Features of sub-basins are defined based on human resources capacity, spatial position and economic activities. List of problems is drawn up based on experience and scientific knowledge for each sub-basin.

The methodologies for evaluating ES for each sub-basin are then compiled. Important regional characteristics of sub-basins may be overlooked if the ES are evaluated at the federal level. Conversely, if ES are considered at the local level, problems arise due to the lack of highly qualified personnel. This practice is carried out by a regional basin focus group. As a result, a document of the most important ES for each sub-basin and a list of significant ES is produced. Subsequently, the focus group determines the range of data that needs to be collected for evaluation ES to select the area of work for sub-basin.

Next, a focus group representative together with the local authorities ensures the collection of information for the evaluation ES. This can include field surveys, collection of archived information, population surveys, etc. The result could be a database, geographic information system or report. It is important to present the results of the work at local level to the general public in meetings with stakeholders. This will help to avoid conflicts and choose the best option in case of existing controversial solutions in the future. The decisions are based on the results of public discussion and a document is developed to implement the chosen solution locally.

Analysis of the decisions made and rethinking of the results is done by establishing a local monitoring network and the reporting data to the regional level. The regional focus groups consider the results of the monitoring, adjust the implemented policies and report the results to the federal level. It can be determined which basins and sub-basins are doing well and which are not. Accordingly, the focus group staffing is revised, the list of problems is changed, or the methodology for calculating ES is modified.

To summarize, this framework can allow for a more efficient water management system. The demand for information, large databases, geoinformation systems, and highly qualified staff is increasing. The negative aspects include high qualification requirements for decision-makers of watersheds, regional focus groups: impartiality, high awareness of the current development of economic activity of the region. External influences, pressure on decisions made and corruption are only a small part of the problems to be solved in the future.

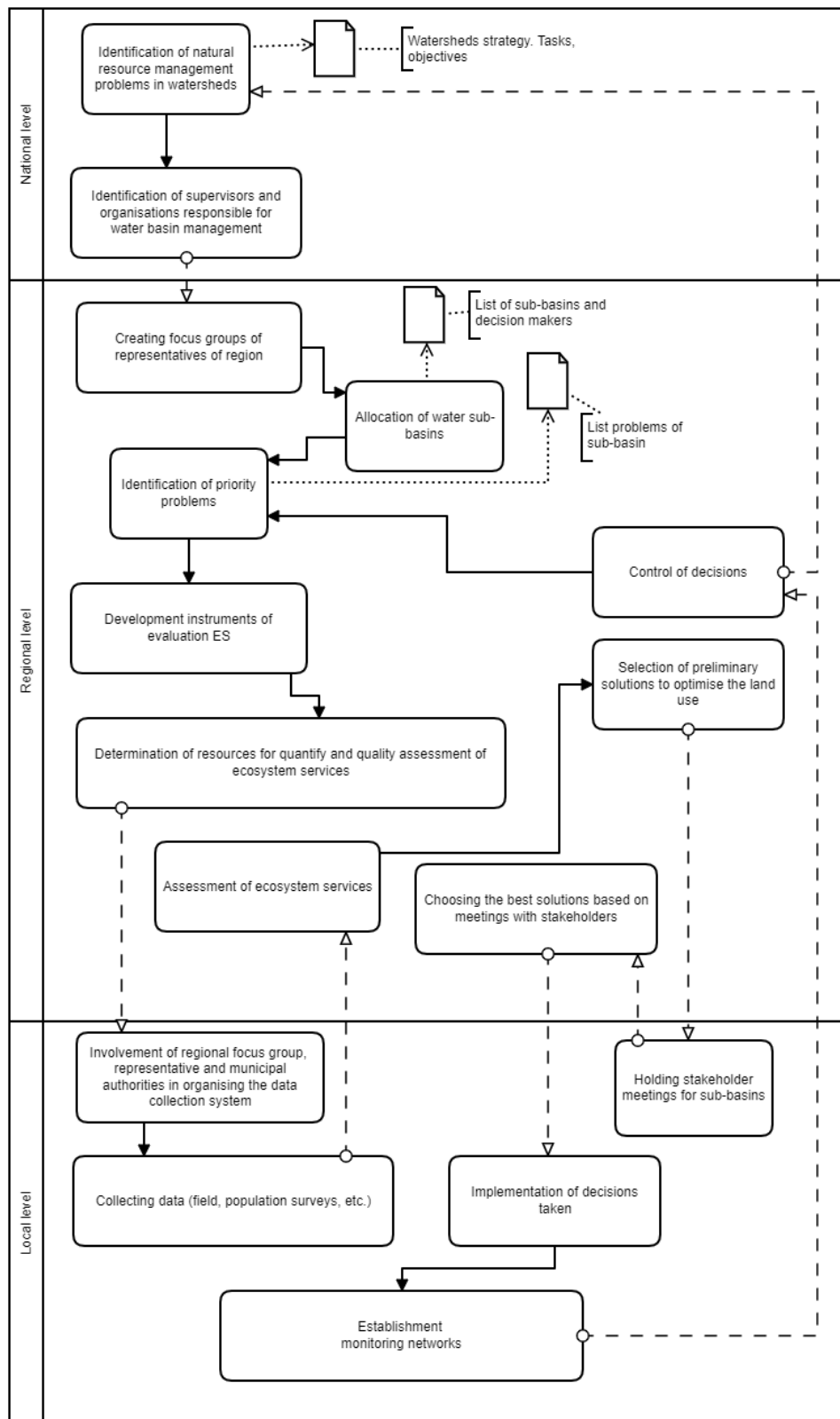


Figure 1. Russia's water use road map considering the ecosystem services

CONCLUSION

Our study provides some examples of water management systems in the international aspect. Variability of water use strategies in countries of the world depending on economic and social development is noted. High role of international relations and creation of focus groups and public participation in solving environmental problems in water use is substantial. Importantly, consideration of the components of ecosystems is prevalent in decision-making. ES are rarely mentioned in laws, but instead the terms "green economy" or "blue economy" are often used. Evaluating the benefits of nature also often appears indirectly in conservation strategies. Unfortunately, the Russian water use system is currently not very effective, resulting in the number of regional and local issues in different regions of the country. Wide areas of basins and poor communication with the local population do not allow to provide a high level of water quality. The European part of the country is characterized by pollution of waterbodies, high impact of tourism and recreation activity. The southern areas of central Russia experience a shortage of water resources for agricultural and drinking purposes. The Far East region is affected by floods. Locally, there are problems of excessive withdraw of groundwater and surface water as mining activities and for drinking needs. Therefore, concerted efforts are needed to ensure integrated and effective management of water use.

The authors have proposed a roadmap showing improving the water use management system by the introduction of the ES concept to address these issues. In general, the environmental safety improvement of water use may be achieved by following principles:

- The regional peculiarities of territory are advised to be considered when using the basin approach.
- The implementation of ES is possible only at the local level due to the high error of their assessment within large territories and its expensive cost.
- It is very important to take into account the opinions of all stakeholders in order to minimize conflicts later when identifying problems at the local level.
- Public monitoring is one of the most effective tools in environmental management, therefore, transparency of decisions made is an integral part of sustainable water use. Consideration of public opinion in decisions is an obligatory condition.
- With the increasing importance of geo-information systems, which can meet the needs for information about the environment, it is necessary to create regional, local GIS systems.

Thus, there is a great potential for development of the water use system in Russia. Monitoring data on the state of water bodies is very limited, therefore, it is necessary to increase public accessibility to information on the environmental conditions. Introduction of ES based on international experience into the water use strategy of Russia seems to be a small but very important step in the whole system of state nature management.

REFERENCES

- A Tool for Integrated Flood Management. APFM Technical Document. Flood Management Tools Series. World Meteorological Organization. No. 21. 2012. P. 36. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7336. Cited March 16, 2022.
- Andreeva, E.E. 2014. Hygienic assessment of water quality of surface water bodies in Moscow // Preventive and Clinical Medicine. V. 52. N. 3. pp. 51–57.
- Briones-Hidrovo A., Uche J., Martínez-Gracia A. 2019. Estimating the hidden ecological costs of hydropower through an ES balance: A case study from Ecuador // Journal of Cleaner Production. V. 233. P. 33–42. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.06.068.
- Mapulanga A. M., Naito H. 2019. Effect of deforestation on access to clean drinking water // Proceedings of the National Academy of Sciences. V. 117. N. 17. P. 8249–8254. DOI:10.1073/pnas.1814970116.
- Arefieva O., Nazarkina A., Gruschakova N., Skurikhina Y., Kolycheva V. 2019. Impact of mine waters on chemical composition of soil in the Partizansk Coal Basin, Russia // International Soil and Water Conservation Research. V. 7. P.12. DOI: doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.01.001
- Ayzel Georgy. 2021. OpenForecast v2: Development and Benchmarking of the First National-Scale Operational Runoff Forecasting System in Russia // Hydrology. V. 8. P. 3. DOI:10.3390/hydrology8010003
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van Den Belt, M. 1997. The value of the world's ES and natural capital // Nature. V. 387. P. 253–260. DOI:10.1038/387253a0
- Curt Forsberg. 1998. Which policies can stop large scale eutrophication? // Water science and Technology. V. 37. P. 193–200. DOI:10.1016/S0273-1223(98)00070-5
- Dinah Bear. 2014. Integration of ES Valuation Analysis into National Environmental Policy Act Compliance: Legal and Policy Perspectives. In Federal Resource Management and ES Guidebook. Durham: National ES Partnership, Duke University. P. 21. www.nespguidebook.com. Cited March 15, 2022.

- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. 2000. Official Journal of the European Communities. P. 72.
- Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. 2006. Official Journal of the European Communities. P. 13.
- Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. 2007. Official Journal of the European Communities. P. 8.
- Dobrovol'skii, S.G., Istomina, M.N. 2009. Characteristics of floods on the territory of Russia with regard to their natural and socioeconomic parameters // *Water Resources and the Regime of Water Bodies*. V. 36. P. 491–506. DOI: 10.1134/S0097807809050017
- Dontsova E.V. 2010. Inter-Group Conflicts at the Russian State Authorities: the Case of the Federal Water Resources Agency // *Izvestiya of Saratov University*. New series. Series Sociology. Political Science. V. 10. N. 3. P. 50–54.
- Dushkova D., Evseev A. 2011. Analysis of technogenic impact on geosystems of the European Russian North. *Arctic and North*. N. 4. P. 162–195.
- EnviroAtlas. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/enviroatlas>. Cited March 1, 2022.
- Grizzetti B; Lique Garcia M; Antunes P; Carvalho L; Geamăna N; Giucă R; Leone M; McConnell S; Preda E; Santos R; Turkelboom F; Vădineanu A; Woods H. 2016. ES for water policy: insights across Europe // *Environmental science and policy*. V. 6. P. 179–190. DOI:10.1016/j.envsci.2016.09.006
- Ground Water Rule (GWR). U.S. Environmental Protection Agency. 2006. <https://www.epa.gov/dwreginfo/ground-water-rule>. Cited March 12, 2022.
- International Decade for Action, Water for Sustainable Development, 2018 – 2028. Resolution adopted by the General Assembly on 21 December 2016. P. 5.
- Jan Corfee-Morlot, Martin Berg and Georg Caspary. Exploring linkages between natural resources management and climate adaptation strategies. OCDE. 2003. P. 37.
- John-Mark Davies, Asit Masumder. 2003. Health and environmental policy issues in Canada: the role of watershed management in sustaining clean drinking water quality at surface sources // *Environ Manage*. V. 68. N. 3. P.273–286. DOI: 10.1016/S0301-4797(03)00070-7
- Gérin-Lajoie, J., Herrmann, T.M., MacMillan, G.A., Hébert-Houle, É., Monfette, M., Rowell, J.A., Soucie T.A., Snowball H., Townley E., Lévesque E., Amyot M., Franssen J., Dedieu J.P. 2018. IMALIRIJIT: a community-based environmental monitoring program in the George River watershed, Nunavik, Canada // *Écoscience*. V. 25. N. 4. P. 381–399. DOI:10.1080/11956860.2018.1498226
- Kefner N.M., Morgun A.V. 2020. Environmental non-profit organizations in the Russian Federation under conditions of adaptation of the law “on foreign agents”; consequences and methods of adaptation. // *The conference: Development of Political Institutions and Processes: Foreign and Domestic Experience*. P. 320 - 330.
- Kireeva M., Frolova N., Rets E., Samsonov T., Entin A., Kharlamov M., Telegina E., Povalishnikova E. 2019. Evaluating climate and water regime transformation in the European Part of Russia using observation and reanalysis data for the 1945–2015 period // *International Journal of River Basin Management*. V. 18. N. 2. P. 1–29. DOI:10.1080/15715124.2019.1695258.
- Krupskaya V.V., Biryukov D.V., Belousov P.E., Lekhov V.A., Romanchuk A.Yu., Kalmykov S.N. 2018. The use of natural clay materials to increase the nuclear and radiation safety of nuclear legacy facilities // *Radioactive Waste*. N. 23. P.30–43.
- Carvalho, L., Mackay, E.B., Cardoso, A.C., Baattrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K.L., Borics G., Borja A., Feld C.K., Ferreira M.T., Globevnik L., Grizzetti B., Hendry S., Hering D., Kelly M., Langaas S., Meissner K., Panagopoulos Y., Penning E., Rouillard J., Sabater S., Schmedtje U., Spears B.M., Venohr M., Bund W., Solheim, A.L. 2019. Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive // *Science of the Total Environment*. V. 658. P. 1228–1238. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.12.255.
- Luk'yanchikov V.M., Luk'yanchikova L.G., Plotnikova R.I., Baron V.A., Chelidze Y.B. 2016. Resource base of underground waters of the Russian Federation: state of knowledge, problems of reproduction and use. // In: *Razvedka i okhrana nedr Exploration and protection of mineral resources*. N. 9. P. 129–136.
- Malkovsky V.I., Yudinsev S.V., Sharaputa M.K., Chulkov N.V. 2019. Influence of buoyancy forces on movement of liquid radioactive waste from deep injection disposal site in the Tomsk region, Russian Federation: analytical estimate and numerical modeling. *Environmental Earth Sciences*. V. 78. DOI:10.1007/s12665-019-8209-0.
- Malkovsky V., Miroshnikov A., Yudinsev S. 2020. Remediation of old subsurface repositories of radioactive waste, Russia: efficiency analysis // *Environmental Earth Sciences*. V. 79. DOI:10.1007/s12665-020-08963-y
- Mitina N., Vashchenko M., Shumakova E. 2020. Modern problems of state regulation of operation of a large hydroelectric plants dams area. *E3S Web of Conferences*. DOI:10.1051/e3sconf/202016303011.
- Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M., Braña, J. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results // *Ecological Economics*. V. 65. P. 725–736.
- National Environmental Policy Act (NEPA). U.S. Environmental Protection Agency. 1970. <https://www.epa.gov/nepa>. Cited March 15, 2022.
- National ES Partnership. Federal Resource Management and ES Guidebook. 2016. 2nd ed. Durham: National ES Partnership, Duke University, <https://nespguidebook.com>.
- Norten Ugyen. Impact of Water Management strategies-Payment for ES (PES) in Bhutan // *International Journal of Innovative Research & Growth*. 2021. V. 2. N. 8. P. 1–36.
- Pykhtin A., Tomakov M., Tomakova I., Anikina I., Brezhneva A. 2019. Problems of rational use and protection of groundwater within the Russian Federation. // *Journal of Applied Engineering Science*. V. 17. N. 3. P. 425–430. DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.087.
- Ortiz R., Núñez A., Cathala C., Rios A.R., Nalesso M. 2021. Water in the Time of Drought II: Lessons from Droughts around the World. P. 56.
- Report on the functioning of the Unified Energy System of Russia in 2020. Russian power system operator. https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf. Cited March 10, 2022.

- Rozumovich, I. 2020. SUSTAINABLE WATER USE DOCTRINE IN THE RUSSIAN FEDERATION. Scientific Notes of V. I. // Vernadsky Crimean Federal University. Juridical science. V. 72. N. 6. P. 383–391. DOI:10.37279/2413-1733-2020-6-2-383-391.
- Ruban G., Khodorevskaya R., Shatunovskii M. 2019. Factors influencing the natural reproduction decline in the beluga (*Huso huso*, Linnaeus, 1758), Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt & Ratzeburg, 1833), and stellate sturgeon (*A. stellatus*, Pallas, 1771) of the Volga-Caspian basin: A review // Journal of Applied Ichthyology. V. 35. P. 387–395. DOI: 10.1111/jai.13885
- Rybnikova L., Rybnikov P. 2019. Regularities in the Evolution of Groundwater Quality at Abandoned Copper Sulfide Mines at the Levikha Ore Field, Central Urals, Russia. *Geochemistry International*. V. 57. P. 298–313. DOI: 10.1134/S0016702919030091
- Safe Drinking Water Act (SDWA). U.S. Environmental Protection Agency. 1974. <https://www.epa.gov/sdwa>. Cited March 15, 2022.
- Scarlett L., Maillott E. 2014. Incorporating Consideration of ES into Plans for the Great Dismal Swamp National Wildlife Refuge. In *Federal Resource Management and ES Guidebook*. Durham: National ES Partnership, Duke University. P. 14. www.nespguidebook.com. Cited March 15, 2022.
- Scarlett L., Maillott E. 2014. Using an ES Management Framework to Pursue Watershed-Wide Project Priorities in the Silvio O. Conte National Fish and Wildlife Refuge and Connecticut River Watershed." In *Federal Resource Management and ES Guidebook*. Durham: National ES Partnership, Duke University. P. 16. www.nespguidebook.com. Cited March 16, 2022.
- Schaefer, M., Goldman, E., Bartuska, A. M., Sutton-Grier, A., Lubchenco, J. 2015. Nature as capital: Advancing and incorporating ES in United States federal policies and programs. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. V. 112. N. 24. P. 7383–7389. DOI: 10.1073/pnas.1420500112.
- Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Don Basin. Federal Water Resources Agency. http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/. Cited March 2, 2022.
- Shalikovskiy, A., Kurganovich, K.A. 2016. Flood hazard and risk assessment in Russia. *Natural Hazard*. V. 88. P. 133–147. DOI: 10.1007/s11069-016-2681-6.
- State report «On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2018». M: NIA-Priroda. 2019. P. 290.
- Teaming with Life: Investing in Science to Understand and Use America's Living Capital. A Report to the President by The Biodiversity and Ecosystems Panel of the President's Committee of Advisors on Science and Technology. 1998. P. 105. <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-teamingwithlife.pdf>. Cited March 5, 2022.
- The Common International Classification of ES (CICES). <https://cices.eu/>. Cited March 15, 2022.
- The Federal Service for Supervision of Natural Resources. <https://rpn.gov.ru/>. Cited March 1, 2022.
- The unhealthy "Revitalisation of the Volga": a federal project fails to meet its primary objective. Accounts Chamber of Russian Federation. <https://ach.gov.ru/checks/12502/>. Cited March 1, 2022.
- The United Nations, Sustainable development goals. Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>. Cited March 14, 2022.
- Giakoumis T., Voulvoulis N. 2018. The transition of EU water policy towards the water framework directive's integrated river basin management paradigm // *Environmental management*. V. 62. P. 819–831. DOI: 10.1007/s00267-018-1080-z.
- Tomakov M.V., Tomakov V.I., Bokinov D.V., Andrienko V.V., Pashkova M.E. 2018. Rational use and protection of groundwater on the territory of Russian Federation - the main environmental tasks of the country // *Proceedings of South-West State University. Series Technics and Technologies*. V. 8. N. 2. P. 118–128.
- U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/>. Cited March 10, 2022
- Water Code of the Russian Federation of 03.06.2006 No. 74-FZ (as amended on 30.12.2021) (with amendments and additions, in force from 01.03.2022).
- Water security and ecosystem services: The critical connection. UNEP. 2009. P. 54.

Received by the editor: 04.04.2022

Reworked version: 02.12.2022

Published: 15.12.2022

TWENTY-ONE YEAR DYNAMICS OF VEGETATION FROM LONG-TERM PLOTS IN EAST EUROPEAN TUNDRA

O.V. Lavrinenko^{1,2*}, I.A. Lavrinenko¹

¹ Komarov Botanical Institute RAS, St.-Petersburg

² Nenetsky State Nature Reserve, Naryan-Mar

lavrino@mail.ru

Citation: Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2022. Twenty-one year dynamics of vegetation from long-term plots in East European tundra // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 2. P. 70-103.

DOI: [10.18822/edgcc109513](https://doi.org/10.18822/edgcc109513)

Получен уникальный фактологический материал, позволивший оценить изменения в составе и структуре растительности 12 мониторинговых площадок, заложенных в 1999 г. на северо-западе Большеземельской тундры (граница между подзонами южных и типичных тундр). Наибольшие изменения зафиксированы в сообществах со сложной (2-3-членной) горизонтальной структурой. Количественно оценены изменения площадей разных элементов нанорельефа (пятен, валиков, ложбинок, трещин, полигонов). Установлено уменьшение площади открытого суглинка, выравнивание поверхности площадок из-за зарастания пятен голого грунта и частичного опускания валиков, увеличение покрытия трав (особенно хвоща *Equisetum arvense*), увеличение высоты кустарниковых ив (примерно в 2 раза). В заболоченных местообитаниях в сообществах пушицевых кочкарников изменения менее заметны и касаются покрытия видов растений разных жизненных форм – оно увеличилось у трав, уменьшилось у лишайников при возрастании доли зеленых и позже сфагновых мхов. Наши результаты в целом согласуются с тенденциями трансформации растительности под влиянием климатических факторов, установленными в американском секторе Арктики.

Ключевые слова: мониторинг, растительность, восточноевропейские тундры, Арктика.

Key words: monitoring, vegetation, East European tundra, Arctic.

SUMMARY

The results of vegetation monitoring from 1999 to 2020 on 12 plots laid out in different types of communities on Cape Bolvansky Nos in the northwest of the Bolshezemelskaya tundra are presented (Fig. 1). The area is located on the border between the southern and typical tundra subzones.

On five long-term plots with clay-loam patches of bare ground sparse shrubby willow sedge-dwarf shrub-moss tundra were formed. They belong to zonal vegetation – ass. *Dryado octopetalae–Hylocomietum splendentis* Andreev 1932 subass. *caricetosum capillaris* Lavrinenko et Lavrinenko 2018 (Table 1) in the class *Carici arctisibiricae–Hylocomietea alaskani* Matveyeva et Lavrinenko 2021 prov., in the order *Caricetalia arctisibiricae–lugentis* Matveyeva et Lavrinenko 2021 prov. and in the alliance *Dryado octopetalae–Caricion arctisibiricae* Koroleva et Kulyugina in Chytrý et al. 2015. Plot M6 has a 2-element horizontal structure: large loam patches (3.0–4.5 m long, 1.0–1.5 cm wide) elongated along the slope alternate with flat areas of turf between them, dominated by dwarf shrubs *Dryas octopetala* subsp. *subincisa* and *Salix reticulata* and mosses *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Tomentypnum nitens*; rims are absent. *Salix lanata* grows in groups in shallow depressions with mosses. Plots M5, M9, M11 and M12 occupy the lower parts of the hill slopes and deluvial plumes; 3-element horizontal structure – rounded or oval patches of loam (1.5-3.0 (up to 5.0) m in diameter) are surrounded by rims, and such ring structures are separated by troughs with hygrophilous mosses (*Aulacomnium palustre*, *Ptilidium ciliare*, *Sphagnum* spp.), where shrub willows (mainly *Salix glauca*) grow. The rims are well formed and usually covered with dwarf shrubs (*Arctous alpina*, *Dryas octopetala* subsp. *subincisa*, *Empetrum hermaphroditum*, *Salix reticulata*), sedge *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* and mosses (*Aulacomnium turgidum*, *Dicranum elongatum*, *Hylocomium splendens*, *Rhytidium rugosum*).

Three long-term plots are occupied by dwarf shrub-lichen tundra with a rare layer of elfin *Betula nana*, which is affiliated with the class *Loiseleurio procumbentis*–*Vaccinietea* Eggler ex Schubert 1960, the order *Deschampsio flexuosae*–*Vaccinietalia myrtilli* Dahl 1957, and the alliance *Loiseleurio-Arctostaphyilion* Kalliola ex Nordhagen 1943 (Table 2). On plots M3 and M4, located on light loamy soils on slightly convex tops of hills in conditions of good drainage, elfin birch dwarf shrub-lichen communities belonging to ass. *Loiseleurio-Diapsietum* (Fries 1913) Nordhagen 1943 subass. *salicetosum nummulariae* Koroleva 2006 were formed. On plot M2, located in the lower part of the gentle slope of the hill under conditions of good snow cover in winter, a community with an almost continuous lichen cover of chionophilic *Cladonia* was formed – ass. *Cladonietum rangiferino-arbusculae* Lavrinenko et Lavrinenko 2020.

The vegetation of plots M1 and M7, located in relief depressions on peat-gley soil, belongs to the class *Oxycocco-Sphagnetia* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946 and the alliance *Oxycocco microcarpi-Empetrium hermaphroditi* Nordhagen ex Du Rietz 1954. They are cotton grass tussocks (*Eriophorum vaginatum*) with dwarf shrub-cloudberry-lichen-moss cover belonging to ass. *Pleurozio schreberi-Eriophoretum vaginati* subass. *sphagnetosum lenenses* Lavrinenko et Lavrinenko in Lavrinenko et al. 2022 (Table 3).

The vegetation of plots M8 and M10 is represented by community complexes on polygonal peatlands. On the polygons of both plots, a dwarf shrub-cloudberry-lichen community ass. *Rubo chamaemori-Dicranetum elongati* Dedov ex Lavrinenko et Lavrinenko 2015 assigned to the alliance *Rubo chamaemori-Dicranion elongati* Lavrinenko et Lavrinenko 2015 in the class *Oxycocco-Sphagnetia* was formed.

The results of the 21-year monitoring period made it possible to set some trends in changing the composition and structure of plant communities of different syntaxa.

The main part of plant species was found on the plots in all survey years (1999, 2014, 2017 and 2020). On five plots with the most floristically rich zonal tundra communities, a total of 160 species were identified, of which 22 (14%) were found once. On three plots with dwarf shrub-lichen communities and on four plots with boggy communities, 7 (8%) out of 90 species and 10 (11%) out of 95 species, respectively, were also identified once. Within each plot, the change in the total number of species over the years was in the range of 7–24%. It is important to understand that such variability in composition is due to identifying (appearance) / missing (disappearance) of rare and single species, mainly mosses and lichens (including crustaceous ones).

On many plots there was a general increase in herbaceousness (due to sedge, grasses, cotton grass, cloudberries) and a particularly noticeable increase in activity in *Equisetum arvense*, which began to create a green aspect.

The greatest structural transformations took place in the communities ass. *Dryado octopetalae-Hylocomietum splendentis* subass. *caricetosum capillaris* with 2- or 3-element horizontal structure. The main finding is the disappearance of the “spongy” nanorelief (due to the result of “frost boiling”) on patches of bare ground and their gradual overgrowth with cryptogamic crusts, small flowering plants, mosses and dwarf shrubs. In the zonal tundras, the clear module structure “patch-rim-trough” began to disappear as a result of overgrowing of loam patches and partial subsidence of rims (in some places rims merged with patches overgrown with dwarf shrub-lichen cover and began to look like a flat turf). In dwarf shrub-lichen communities ass. *Loiseleurio-Diapsietum* subass. *salicetosum nummulariae*, the patches began almost completely covered with lichens, mosses, and dwarf shrubs, and the surface was leveled due to the disappearance of the difference in height between the surface of overgrown patches and the turf. New formation of patches has not been found anywhere, but single small (up to 20 cm in diameter) fresh outpourings of loam were detected within the old spots on plot M4 at the top of the hill.

The height of the willows *Salix glauca* and *S. lanata*, which in 1999 was predominantly 10–15 cm, has increased 1.5–2.5 times over the years of monitoring at all plots.

A gradual decrease in lichen cover in boggy cottongrass tussock communities of ass. *Pleurozio schreberi-Eriophoretum vaginati* subass. *sphagnetosum lenenses* and their further replacing with dwarf shrubs and green (and later – sphagnum) mosses was revealed.

Our results generally agree with the trends in vegetation transformation under the influence of climatic factors, established at long-term plots in the American sector of the Arctic [Gould et al., 2009; Elmendorf et al., 2012; Jorgenson et al., 2015; Harris et al., 2021]. Noting the heterogeneity of vegetation responses to climate change, the authors report on an increase in the total projective cover and a decrease in the coverage of bare ground patches in tundra ecosystems, as well as an increase in the abundance and height of evergreen and deciduous shrubs and dwarf shrubs, grasses, when reducing of lichens.

ВВЕДЕНИЕ

С 1970 г. и по 2020 г. потепление климата регистрируется на всей территории Арктики и России в целом [Доклад..., 2021; Druckenmiller et al., 2021]. Возрастание среднегодовой приземной температуры воздуха является основной движущей силой многих изменений в панарктическом масштабе, усиливающихся в отдельные годы на региональном уровне [Druckenmiller et al., 2021]. Реакция растительности на потепление, помимо непосредственного влияния температуры воздуха, определяется многими факторами – удлинением вегетационного периода, ускорение таяния снега, колебания влажности и глубины оттаивания почвы, температуры почвы в корнеобитаемой зоне и другими, зависящими от особенностей ландшафта, перераспределяющего количество тепла в каждой конкретной местности. Необходимы долгосрочные исследования арктических сообществ и документированное подтверждение их реакции в ответ на потепление [Post and Forchhammer, 2008; Harris et al., 2021]. Наиболее показателен для контроля за составом и структурой растительности метод долговременных площадок, успешный опыт применения которого описан на Аляске и в канадской Арктике [Gould et al., 2009; Jorgenson et al., 2015; Myers-Smith et al., 2019; Harris et al., 2021].

В настоящей статье представлены результаты мониторинга растительности с 1999 по 2020 гг. на площадках, заложенных в разных типах сообществ на северо-западе Большеземельской тундры.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

На рубеже столетий мы заложили 12 мониторинговых площадок на разных элементах ландшафта на мысе Болванский Нос, расположенном на северо-западе Большеземельской тундры (Рис. 1).

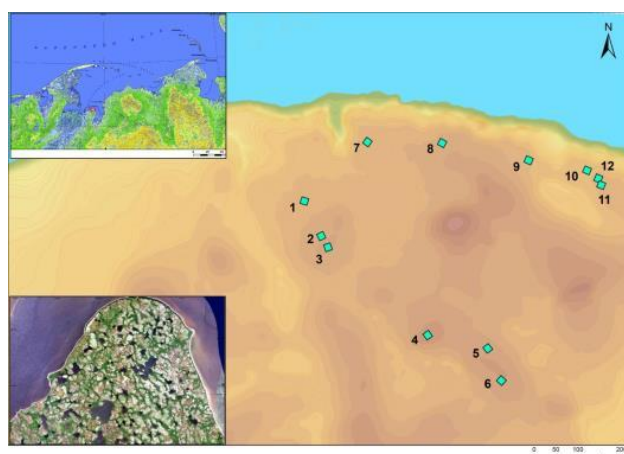


Рисунок 1. Положение площадок на мысе Болванский Нос в Большеземельской тундре.

Рельеф выдвинутого в море мыса, ограниченного с запада устьем р. Большая Печора, а с востока Болванской губой, типично моренный холмисто-ложбинный. Невысокие (10-50 м над ур. м.) холмы (по-местному – сопки) с пологими и покатыми склонами сложены в основном темно-серыми глинами и суглинками, рассеяны на относительно выровненной поверхности и разделены многочисленными межозерными протоками и ложбинами стока, зачастую обводненными. Пески не имеют большого распространения и отмечены локально в верхней части сопки на абсолютных отметках 20-25 м в виде небольших «нашлепок» на суглинистых породах. Берега мыса обрывистые, суглинистые, реже супесчаные, местами с нависающими сверху толщами торфа. Мерзлота (мощность 100-200 м) имеет сплошное распространение [Оберман, 2001; Осадчая и Тумель, 2012].

Растительность на плакорах (пологих склонах суглинистых сопки от верхних частей до подошвы) представлена пятнистыми редкоивовыми осоково-кустарничково-моховыми тундрами, на выпуклых вершинах супесчаных или суглинистых сопки – (стланиковоерниковыми) кустарничково-лишайниковыми тундрами, в депрессиях рельефа – полигональными и плоскобугристыми торфяниками и пушицевыми кочкарниками, а в ложбинах стока – ивняками и осоково-гипновыми сообществами. Если ориентироваться на зональную растительность, то территория расположена в южной полосе подзоны типичных тундр [Лавриненко и Лавриненко, 2018]. Однако локальная флора,

вследствие сильного тепляющего эффекта р. Печора, по богатству и высокой доле бореальных видов относится к типу северных бореальных и формально – к Бореальной области [Лавриненко и др., 2016]. На карте Circumpolar Arctic Vegetation Map (CAVM) [Raynolds et al., 2019] район исследования расположен на границе подзон D (соответствующей южной полосе подзоны типичных тундр) и E (подзоне южных тундр) [Walker et al., 2005].

В период с 1938 до 2001 г. на мысе Болванский Нос находилась метеостанция с одноименным названием (№ 209460), а с 1983 по 1993 г. и с 1999 г. по настоящее время – геокриологический стационар Института криосферы Земли СО РАН. По данным метеостанции среднегодовая температура воздуха в период климатической нормы (1960–1990 гг.) была равна -4.4°C , а в среднем за все годы XXI века стала лишь -2.6°C ; сумма отрицательных температур за холодный период года в эти периоды равна -85°C и -70°C , сумма положительных температур за теплый период года – 32°C и 38°C , соответственно. Тренд изменения среднегодовой температуры воздуха – около $0.09^{\circ}\text{C}/\text{год}$, такой же тренд характерен для среднезимней и для среднелетней температуры воздуха. Наблюдается тенденция к увеличению годового количества осадков от 350 до 450 мм за последние 35 лет. Мощность снежного покрова, как правило, изменяется в разные годы в пределах 50–80 см, но наблюдается слабая тенденция к увеличению толщины снега [Малкова и др., 2018].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мониторинговые площадки, размерами 10×10 м, были заложены (М1–М11 – в 1999 г. и М12 – в 2000 г.) на разных элементах ландшафта и закреплены на местности колышками по углам, в их центре определены координаты с помощью GPS-прибора Garmin (см. Табл. П1–3). На площадках был выявлен полный видовой состав сосудистых растений, мохообразных и лишайников (напочвенных и эпифитов) с оценкой проективного покрытия (%) в целом, по основным жизненным формам и для каждого вида. Растения, встреченные единично (1–5 особей) отмечали как “г”, более многочисленные, но имеющие покрытие менее 1 % – как “+”. Сообщества картировали по сетке 1×1 м (составлены картосхемы) и фотографировали. Измеряли глубину сезонно-талого слоя (СТС) на разных элементах нанорельефа в 3–6 повторностях.

Повторные геоботанические обследования всех площадок (с измерением СТС и фотографированием) выполнены дважды – в 2014 г. (через 15 лет) и в 2020 г. (через 21 год) в те же сроки – во второй половине июля. Кроме того, в 2017 г. (через 18 лет) в близкую дату – 2 августа семь площадок (М1–М7) были сфотографированы, а на двух (М6 и М7) были сделаны геоботанические описания.

В 2014 г. на большинстве площадок, которые находили по координатам, угловые колышки сохранились, однако на некоторых площадках они были погребены подо мхами и восстановлены. В 2014 г. сообщества повторно закартированы по сетке 1×1 м, а в 2017 и 2020 гг. площадки сфотографированы с высоты 10 м с помощью БПЛА DJI Mavic Pro.

Температура воздуха в период обследования в 1999 и 2014 гг. колебалась от 5 до 12°C , в 2020 г. было значительно теплее – 15 – 25°C .

В программе ArcGIS проведена оцифровка всех контуров картосхем и снимков (Рис. 2), с использованием программного обеспечения Patch Analyst выполнен расчет их площадей, что позволило количественно оценить изменения в структуре сообществ.

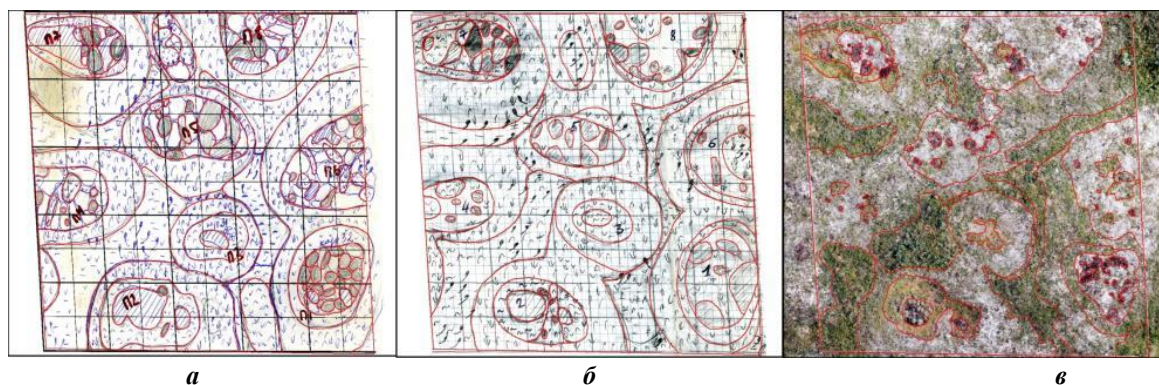


Рисунок 2. Пример оцифровки контуров на площадке М11: картосхем, нарисованных по сетке от руки: *а* – в 1999 г., *б* – в 2014 г. и *в* – снимка с БПЛА в 2020 г.

Номенклатура синтаксонов приведена по чек-листу Н.В. Матвеевой и О.В. Лавриненко [2021], таксонов сосудистых растений – по сводке Н.А. Секретаревой [2004], мхов – по М.С. Ignatov et al. [2006], печеночников – по А.Д. Потёмкину и Е.В. Софроновой [2009], лишайников – по R. Santesson et al. [2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Синтаксономическая принадлежность сообществ мониторинговых площадок

Растительность пяти мониторинговых площадок (М5, М6, М9, М11 и М12) представлена пятнистыми редкоивовыми осоково-кустарничково-моховыми тундрами и относится к зональной асс. *Dryado octopetalae–Hylocomietum splendentis* Andreev 1932 субасс. *caricetosum capillaris* Lavrinenko et Lavrinenko 2018 (Табл. П1). Есть все виды дифференцирующей комбинации ассоциации: *Salix hastata*, *Dryas octopetala* subsp. *subincisa* и *Salix reticulata* и *Equisetum scirpoides* и субассоциации: *Carex capillaris*, *Epilobium davuricum*, *Juncus biglumis*, *Luzula nivalis*, *Pinguicula alpina*, *P. vulgaris*, *Saxifraga oppositifolia*, *Tofieldia pusilla*, *Myxobilimbia lobulata*, *Solorina saccata* и *S. spongiosa*, произрастающие на пятнах суглинка. Константны все основные характерные виды высших синтаксонов зональной растительности – *Carici arctisibiricae–Hylocomietea alaskani* Matveyeva et Lavrinenko 2016 class. prov., *Caricetalia arctisibiricae-lugentis* Matveyeva et Lavrinenko 2021 ord. prov. и *Dryado octopetalae–Caricion arctisibiricae* Koroleva et Kulyugina in Chytrý et al. 2015 (Табл. П1). Некоторые отличия в составе сообществ ассоциации обусловлены различиями в горизонтальной структуре, которая определяется положением площадок на разных элементах мезорельефа (см. ниже).

Три мониторинговых площадки заняты кустарничково-лишайниковыми тундрами с редким ярусом *Betula nana* стланиковой формы, которые мы позиционируем в классе *Loiseleurio procumbentis–Vaccinieta* Egger ex Schubert 1960, порядке *Deschampsio flexuosae–Vaccinietalia myrtilli* Dahl 1957 и союзе *Loiseleurio-Arctostaphylion* Kalliola ex Nordhagen 1943 (Табл. П2). На площадках М3 и М4, расположенных на легкосуглинистых почвах на слабо выпуклых вершинах сопков в условиях хорошего дренажа, сформированы стланиковоерниковые кустарничково-лишайниковые сообщества асс. *Loiseleurio-Diapensietum* (Fries 1913) Nordhagen 1943 субасс. *salicetosum nummulariae* Koroleva 2006. Виды дифференцирующих комбинаций: *Diapensia lapponica*, *Luzula confusa*, *Salix nummularia*; *Gymnomitrium corallioides*, *Pogonatum urnigerum*, *Racomitrium lanuginosum*; *Bryocaulon divergens*, *Bryoria nitidula*. На площадке М2, расположенной в нижней части пологого склона сопки в условиях хорошей укрытости снегом зимой, сформировано сообщество с почти сплошным лишайниковым покровом из хионофильных кладоний – асс. *Cladonietum rangiferino-arbusculae* Lavrinenko et Lavrinenko 2020.

Растительность площадок М1 и М7, расположенных в депрессиях рельефа на торфяно-глееземе, относится к классу *Oxycocco-Sphagnetum* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946 и союзу *Oxycocco microcarpi–Empetrium hermaphroditi* Nordhagen ex Du Rietz 1954 – это пушицевые кочкарники (*Eriophorum vaginatum*) с кустарничково-морошково-лишайниково-моховым покровом, принадлежащие асс. *Pleurozio schreberi–Eriophoretum vaginati* субасс. *sphagnetosum lenenses* Lavrinenko et Lavrinenko in Lavrinenko et al. 2022 (Табл. П3).

Растительность площадок М8 и М10 представлена комплексами сообществ на полигональных торфяниках. На полигонах обеих площадок сформировано кустарничково-морошково-лишайниковое сообщество асс. *Rubo chamaemori–Dicranetum elongati* Dedov ex Lavrinenko et Lavrinenko 2015, отнесенное к одноименному союзу *Rubo chamaemori–Dicranion elongati* Lavrinenko et Lavrinenko 2015 в классе *Oxycocco-Sphagnetum*. В трещинах покров различается: на площадке М10 – ерниково-багульниково-морошково-сфагновый; М8 – морошково-моховый с редкими ивами. Отнести сообщества в трещинах к каким-либо синтаксонам пока не представляется возможным. Геоботанические описания выполнены на всей площади площадок без дифференциации на элементы нанорельефа (Табл. П3).

Динамика видового состава растительных сообществ на площадках

Зональные сообщества асс. *Dryado octopetalae–Hylocomietum splendentis* субасс. *caricetosum capillaris* отличаются от всех других наибольшей видовой насыщенностью. Общее число видов, выявленных на площадках, варьировало по годам: М5 – 73-96, М6 – 63-75, М9 – 79-96, М11 – 59-77, М12 – 68-81, т.е. различалось на 16-24 % (Табл. П1). При этом число видов кустарников,

кустарничков, трав и лишайников от года к году изменялось очень мало – вариации преимущественно в 1-4 вида (хотя состав при этом мог обновляться, т.е. какие-то виды не были обнаружены (или выпадали), а другие были найдены впервые (или вновь поселялись), тогда как по мхам разброс оказался большой (например, на площадке М9 в 1999 г. выявлено 16 видов, в 2014 – 36, в 2020 – 32).

В 1999 г. на площадке М5 было найдено 3 вида, не обнаруженных позже (*Saxifraga oppositifolia*, *Luzula arcuata*, *Cladonia crispata* s. l.); М6 – 3 (*Luzula multiflora* subsp. *frigida*, *Splachnum vasculosum*, *Peltigera venosa*); М9 – 6 (*Draba alpina*, *Festuca rubra*, *Stellaria peduncularis*, *Gymnomitrium corallioides*, *Cladonia pleurota*, *Lecanora epibryon*); М11 – 3 (*Festuca rubra*, *Imadophylla ericetorum*, *Lecanora epibryon*); М12 – 3 (*Sagina intermedia*, *Cladonia pleurota*, *Protopannaria pezizoides*). В 2020 г. на площадке М5 впервые были зарегистрированы 5 видов – *Pinguicula vulgaris* и 4 споровых (*Abietinella abietina*, *Straminergon stramineum*, *Cladonia cornuta* subsp. *cornuta*, *Protopannaria pezizoides*); М6 – *Bartsia alpina*, *Equisetum scirpoides* и 2 лишайника (*Cladonia uncialis*, *Caloplaca cerina*); М9 – 3 вида (*Juncus triglumis*, *Calamagrostis lapponica*, *Peltigera polydactylon*); М11 – *Eriophorum vaginatum* и 7 споровых (*Dicranella subulata*, *Meesia uliginosa*, *Pohlia prolifera*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum balticum*, *S. girgensohnii*, *Cladonia chlorophaea*); М12 – 3 сосудистых (*Campanula rotundifolia*, *Pedicularis lapponica*, *Saxifraga hieracifolia*) и 7 споровых (*Bryoerythrophyllum recurvirostrum*, *Distichium capillaceum*, *Orthothecium strictum*, *Myurella julacea*, *Pohlia nutans*, *Peltigera rufescens*, *Pertusaria oculata*). Все они имели покрытие на уровне “г” или “+”, за исключением злака *Calamagrostis lapponica* с покрытием 5 %. Следует отметить исчезновение или плохую жизненность (отмирающие растения) арктоальпийского вида *Saxifraga oppositifolia* на суглинистых пятнах всех площадок после 2014 г.

В стланиковоерниковых кустарничково-лишайниковых сообществах субасс. *Loiseleurio-Diapensietum salicetosum nummulariae* и асс. *Cladonietum rangiferino-arbusculae* видовая насыщенность по годам варьировала незначительно (Табл. П2). Число видов на площадке М3 изменялось в пределах 53-57, М4 – 55-67, М2 – 29-35, т.е. различалось на 7-17 %; обновление состава происходило преимущественно за счет единичных видов спорового компонента.

В 1999 г. на площадке М3 было найдено 6 видов, не обнаруженных позже – это *Luzula confusa* и 5 лишайников (*Baeomyces carneus*, *Nephroma expallidum*, *Peltigera didactyla*, *Pertusaria bryontha*, *Psoroma hypnorum*); М4 – 2 лишайника (*Cladonia crispata* s. l., *Pertusaria bryontha*); на М2 таких видов не было. В 2020 г. на площадке М3 впервые были зарегистрированы 5 видов споровых (*Polytrichum hyperboreum*, *P. piliferum*, *Pleurozium schreberi*, *Cladonia chlorophaea*, *Pertusaria dactylina*); М4 – *Diapensia lapponica* и 4 споровых (*Polytrichum hyperboreum*, *Pogonatum urnigerum*, *Baeomyces placophyllus*, *Pertusaria panyrga*); М2 – 5 споровых (*Hylocomium splendens*, *Cladonia chlorophaea*, *Peltigera aphthosa*, *P. scabrosa*, *Sphaerophorus globosus*). Все они имели покрытие на уровне “г” или “+”.

В пушицевых кочкарниках асс. *Pleurozio schreberi-Eriophoretum vaginati* субасс. *sphagnetosum lenenses* число видов на площадках М1 и М7 по годам увеличилось от 35 до 45 и от 45 до 54, соответственно; в сообществах на полигональных торфяниках (площадки М8 и М10) – от 39 до 47, т.е. на 17-22 % в основном за счет единичных лишайников и более полного выявления мхов в 2014 и последующие годы (Табл. П3).

В 1999 г. на площадке М1 было найдено 6 видов, не обнаруженных позже – *Salix glauca* и 5 лишайников (*Bryocaulon divergens*, *Cladonia bellidiflora*, *C. pleurota*, *C. subulata*, *Ochrolechia frigida*); М7 – *Pinguicula villosa* и 4 споровых (*Straminergon stramineum*, *Cladonia pleurota*, *Peltigera malacea*, *Sphaerophorus globosus*); М8 – 1 лишайник (*Dactylina arctica*); М10 – только *Poa alpigena*. В 2020 г. на площадке М1 впервые были зарегистрированы 4 споровых (*Polytrichum jensenii*, *Sphagnum girgensohnii*, *Cladonia cyanipes*, *Peltigera polydactylon*); М7 – кустарничек *Andromeda polifolia* subsp. *pumila* и 3 споровых (*Polytrichum hyperboreum*, *Cladonia cornuta* subsp. *cornuta* и *Dactylina arctica*); М8 – 3 споровых (*Sphagnum girgensohnii*, *Ochrolechia inaequatula*, *Omphalina umbellifera*); М10 – 3 мха (*Polytrichum strictum*, *Rhytidium rugosum*, *Sphagnum squarrosum*). Все они имели покрытие на уровне “г” или “+”.

Структура растительного покрова на площадках и ее динамика

Зональные сообщества асс. *Dryado octopetalae-Hylocomietum splendentis* субасс. *caricetosum capillaris* характеризуются регулярно-циклической горизонтальной структурой, которая на разных площадках имеет особенности, обусловленные их положением на разных элементах мезорельефа.

Площадка М6 (Рис. За-г) расположена в верхней части пологого ($<1-3^\circ$) склона суглинистой сопки; горизонтальная структура 2-членная – большие вытянутые вдоль склона пятна суглинка (3.0-4.5 м дл., 1.0-1.5 см шир.) чередуются с ровными участками дернины между ними, в которых доминируют кустарнички *Dryas octopetala* subsp. *subincisa* и *Salix reticulata* и мхи *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Tomentypnum nitens*; валики отсутствуют. В неглубоких понижениях с мхами растет куртинами *Salix lanata*.



Рисунок 3. Сообщество асс. *Dryado octopetalaе–Hylocomieteum splendidis* субасс. *caricetosum capillaris* (с 2-членной структурой) на площадке М6 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2017 г., *г* – 2020 г.

В 1999 г. в границах площадки было 8 пятен. Доля открытого суглинка, приходящегося на них, – 30 %. Пятна были практически лишены растительности, поверхность их не стабильна, ноздреватая (как результат «морозного кипения»), равномерно покрыта вдавленным в суглинистый грунт щебнем и редкими не окатанными камнями, занимающими 10-50 % площади пятен. По периферии пятен сформировались криптогамные корочки (5 % площади), на которых закрепились лишь немногие дерновинки мха *Racomitrium lanuginosum* и цветковые (*Carex capillaris*, *Epilobium davuricum*, *Pinguicula alpina*, *Saxifraga oppositifolia*, *Tofieldia pusilla*). В 2014 г. рисунок покрова на площадке практически не изменился, все элементы нанорельефа (дернина между пятнами, пятна и ложбинки) сохранились на прежнем месте; ориентация, форма и размеры пятен изменились слабо, новых пятен не появилось, доля открытого суглинка уменьшилась до 24 % за счет зарастания пятен по периферии, на пятна с криптогамными корочками приходилось 2 %. В центральных частях пятен поверхность местами разгладилась, на них закрепились единичные маленькие дерновинки *Festuca ovina* и побеги *Equisetum arvense*. В 2017 г. и 2020 г. рисунок покрова изменился по-прежнему мало, все элементы нанорельефа сохранились на прежнем месте, новых пятен не образовалось. Однако площадь открытого суглинка в 2020 г. сократилась до 20 % за счет зарастания пятен по периферии криптогамными корочками, мхами и кустарничками (в основном, *Empetrum hermaphroditum*) (Рис. П1а-в, П2). Кроме того, заметно разгладилась вся поверхность пятен, исчез «ноздреватый» нанорельеф, образовались редкие трещинки усыхания, в центральной части пятен щебня стало заметно меньше, чем на их периферии. На всей поверхности пятен появились редкие дерновинки *Festuca ovina* и побеги *Equisetum arvense*, по их периферии – *Carex capillaris*, *Pinguicula vulgaris*, *Tofieldia pusilla*; *Cladonia pocillum*. В растительной дернине заметно активизировался хвощ *Equisetum*

arvense, которого в 1999 г. на площадке не было, в 2014 г. покрытие было менее 1 %, в 2017 и 2020 гг. стало 10 %. Покрытие кустарников в динамике не изменилось (10 %), но высота побегов ивы *Salix lanata* и *S. glauca* увеличилась с 10-20 см в 1999 г. до 20-30 см в последующие годы мониторинга. В 2020 г. высота отдельных побегов достигала 40 см.

Площадки М5, М9, М11 и М12 расположены на нижних частях склонов сопок и делювиальных шлейфах; горизонтальная структура 3-членная – округлые или овальные пятна суглинка (1.5-3.0 (до 5.0) м в поперечнике) окружены валиками (10-20 см выс.), и такие кольцевые структуры разделены ложбинками (преимущественно 5-10 см глубиной) с гигрофильными мхами (*Aulacomnium palustre*, *Ptilidium ciliare*, *Sphagnum* spp.), где растут кустарниковые ивы (преимущественно *Salix glauca*). Валики хорошо сформированы, в их покрове обычны кустарнички (*Arctous alpina*, *Dryas octopetala* subsp. *subincisa*, *Empetrum hermaphroditum*, *Salix reticulata*), осока *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и мхи (*Aulacomnium turgidum*, *Dicranum elongatum*, *Hylocomium splendens*, *Rhytidium rugosum*). В сообществах на этих площадках велико и сопоставимо со мхами покрытие лишайников за счет того, что часть пятен частично или полностью покрыта подушками светлоокрашенных (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Alectoria ochroleuca*) и темноокрашенных (*Alectoria nigricans*, *Bryocaulon divergens*, *Bryoria nitidula*) видов. На участках пятен, свободных от кустистых лишайников, сформированы коричневые криптогамные (водорослевые, печеночниковые) корочки и здесь же растут мелкие цветковые (*Carex bicolor*, *C. capillaris*, *Epilobium davuricum*, *Festuca ovina*, *Juncus biglumis*, *J. castaneus*, *Pinguicula alpina*, *P. vulgaris*, *Saxifraga oppositifolia*, *Tofieldia pusilla*), некоторые мохообразные (*Brachythecium cirrosum*, *Stereodon bambergeri*, *S. holmenii*, *Myurella julacea*, *Racomitrium lanuginosum*, *Tomentypnum nitens*) и лишайники (*Cladonia pocillum*, *Myxobilimbia lobulata*, *Protopannaria pezizoides*, *Psoroma hypnorum*, *Solorina saccata*, *S. spongiosa*). В границах площадок М5, М9 и М12 полностью или частично находились по 7 крупных пятен, на площадке М11 – 8. Все пятна были пронумерованы. Они в основном были заросшими микрогруппировками светло- и темноокрашенных лишайников, а по периферии – зелеными мхами, и небольшую площадь в пределах некоторых пятен занимал грунт, покрытый криптогамными корочками с мелкими цветковыми. В динамике рисунок контуров на этих площадках в целом сохранился, изменились лишь очертания отдельных пятен, валиков и ложбинок и площадь, занятая разными микрогруппировками.

На площадке М5 (Рис. 4а-г) в 1999 г. на голый грунт приходилось менее 1 % площади, на долю грунта с криптогамными корочками, накипными лишайниками и мелкими цветковыми – около 7 %. В 2014 г. сохранились эти же значения; в 2020 г. они уменьшились до 0 и 5 %.

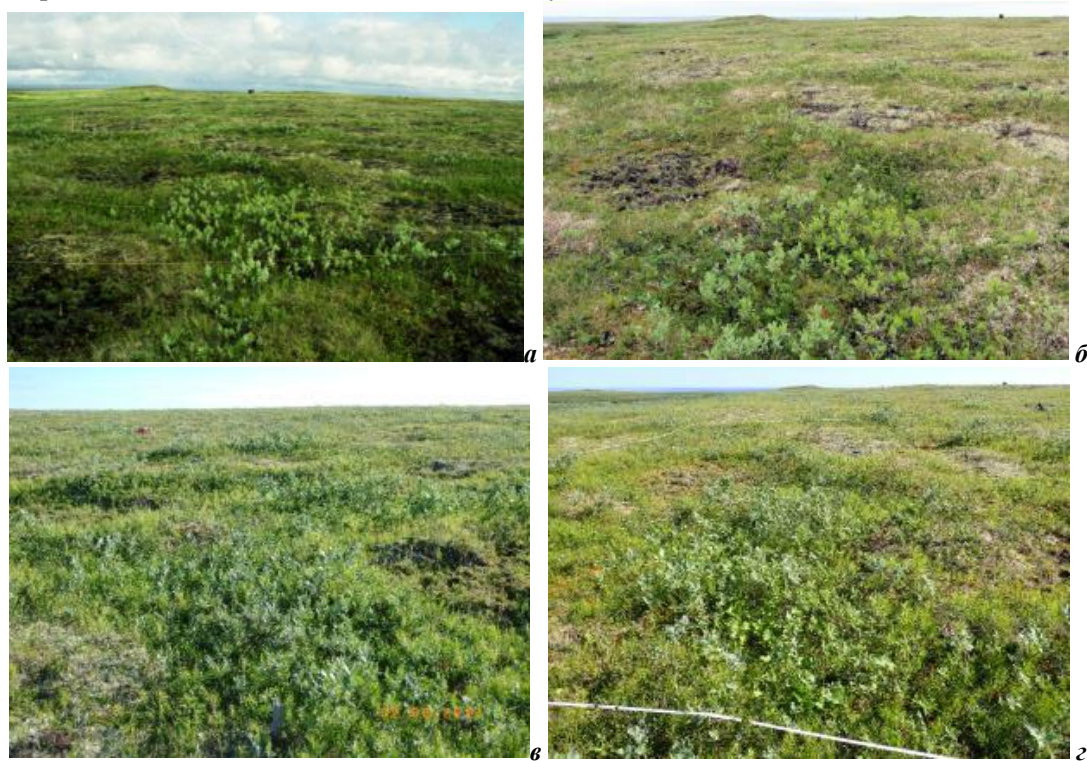


Рисунок 4. Сообщество асс. *Dryado octopetalae-Hylocomietum splendidis* субасс. *caricetosum capillaris* (с 3-членной структурой) на площадке М5 в динамике: а – 1999 г., б – 2014 г., в – 2017 г., г – 2020 г.

Сильно сократилась площадь пятен, заросших лишайниками – 26, 14 и 9 %, соответственно годам мониторинга. В то же время почти пропорционально увеличилась площадь ровных участков с осоково-кустарничково-лишайниковой дерниной, т.е. произошло частичное опускание валиков и выравнивание поверхности. Доля пониженных элементов рельефа (ложбинки, западинки с мезо- и гигрофильными мхами в напочвенном покрове) сохранялась на уровне 36-37 % (Рис. П3а-в, П4). Покрытие трав за 21-летний период увеличилось в 3 раза (с 5 до 15 %), и сильнее всего оно изменилось у хвоща *Equisetum arvense* (с менее 1 до 10 %). У кустарниковых ив *Salix glauca* и *S. lanata*, занимающих понижения, покрытие увеличилось незначительно (с 15 до 20 %), но заметно изменилась высота: в 1999 г. она была 25-30 см, в 2014 г. – до 40 см, в 2020 г. 30-45 (в наиболее глубоких западинках – до 60) см.

На площадке М9 (Рис. 5а-в) в 1999 г. на долю грунта, покрытого криптогамными корочками, накипными лишайниками и мелкими цветковыми, приходилось 16 %. К 2014 г. его площадь сократилась почти в 2 раза – до 8 %, и сохранилось на этом же уровне в 2020 г. (Рис. П5а-в). Заращение пятен происходит в основном за счет мохообразных (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Ptilidium ciliare*, *Tomentypnum nitens*) и кустарничков (*Dryas octopetala* subsp. *subincisa*, *Salix reticulata*). Доля кустистых лишайников в заращении пятен сократилась с 16 % в 1999 г. до 9 % в 2020 г. Покрытие трав за 21-летний период возросло с 7 до 15 %, в основном за счет разрастания хвоща *Equisetum arvense* и появления вейника *Calamagrostis lapponica*. Кустарниковые ивы *Salix glauca* и *S. lanata* сохранились на тех же позициях – в сырых ложбинках, занимающих 23 % площади в 1999 г. и 32 % в последующие годы. Однако они сильно увеличились по высоте – с 15-20 см в 1999 г. до 30-40 (макс. 50) см в 2020 г.



Рисунок 5. Сообщество асс. *Dryado octopetalaе–Hylocomietеum splendentis* субасс. *caricetosum capillaris* (с 3-членной структурой) на площадке М9 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.

На площадке М11 (Рис. 6а-в) в 1999 г. на голый грунт приходился 1 % площади площадки, на долю грунта с криптогамными корочками и мелкими цветковыми – 5 %. К 2014 г. голый грунт занимал те же 1 %, площадь пятен с корочками сократилась до 2 %; в 2020 г. эти значения составили 0 и 1 % (Рис. П6а-в). Поверх корочек поселились мохообразные (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Ptilidium ciliare*, *Tomentypnum nitens*) и кустарнички (*Arctous alpina*, *Empetrum hermaphroditum*, *Salix reticulata*). Доля пятен, заросших подушками кустистых лишайников, за годы

мониторинга была 20-22 %. В динамике выросло покрытие мхов, кустарничков и трав. Последних – за счет увеличения обилия *Calamagrostis lapponica* и *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и в меньшей степени хвоща. С 1999 по 2020 гг. незначительно увеличилась площадь ложбинок с мхами – с 16 до 20 % и высота ивы *Salix glauca* в ложбинках – с 15-20 см в 1999 г. до 20-25 (макс. 35) см в 2020 г.



Рисунок 6. Сообщество асс. *Dryado octopetalae*–*Hylocomietum splendidis* субасс. *caricetosum capillaris* (с 3-членной структурой) на площадке М11 в динамике: **а** – 1999 г., **б** – 2014 г., **в** – 2020 г.

На площадке М12 в 1999 г. 8 % площади приходилось на пятна голого тяжелого суглинка с сильно ноздреватой поверхностью с белыми соляными корочками на бугорках и отдельными крупными камнями; еще 2 % занимали пятна с черными криптогамными корочками и единичными мелкими цветковыми растениями. В 2014 г. на голый суглинок приходилось лишь 2 %, а 5 % поверхности оказалась покрыта криптогамными корочками с цветковыми. В 2020 г. голый грунт занимал менее 1 % площади, на криптогамные корочки с цветковыми приходилось те же 5 %. Доля пятен, заросших мхами и кустарничками, варьировала в пределах 6-12 %, а кустистыми лишайниками – 18-24 % (Рис. П7а-в, П8). Трав стало больше в 2 раза (с 10 до 20 %), за счет увеличения обилия *Calamagrostis lapponica*, *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и *Petasites frigidus*. У растущей по ложбинкам ивы *Salix glauca* увеличились и покрытие (с 5 до 15 %), и высота с 15-20 см в 1999 г. до 30 см в 2020 г.

Стланиковоерниковые кустарничково-лишайниковые сообщества асс. *Loiseleurio-Diapensietum* субасс. *salicetosum nummulariae* на слабо выпуклых вершинах сопок характеризуются нерегулярно-мозаичной горизонтальной структурой. В растительной дернине чередуются синузии темноокрашенных (*Alectoria nigricans*, *Bryocaulon divergens*, *Bryoria nitidula*) и светлоокрашенных (*Cladonia arbuscula*, *C. Rangiferina*, *Alectoria ochroleuca*, *Flavocetraria nivalis*) лишайников, куртины кустарничков (*Ledum palustre* subsp. *decumbens*, *Empetrum hermaphroditum*, *Arctous alpina*) и кустарника *Betula nana*, имеющего форму стланика. Дернина местами прерывается небольшими пятнами заросшего криптогамными корочками или открытого грунта.

На площадке М3 (Рис. 7а-г) в 1999 г. было зарегистрировано 15 пятен легкого суглинка, округлых или овальных, размерами в пределах 0.5-1.0 м, с отчетливыми краями и ноздреватой поверхностью, находящейся ниже поверхности мохово-лишайникового покрова. Пятна были покрыты в основном криптогамными корочками из водорослей и печеночников и редкими талломами

лишайников. Покрытие *Gymnomitrium corallioides* на площадке было 3 %, доля открытого суглинка – <1 %. В 2014 г. на прежнем месте сохранились 10 из 15 пятен, при этом большинство из них лишь угадывались по перепаду высоты, поскольку оказались затянuty сверху побегами *Empetrum hermaphroditum*. Корочки *Gymnomitrium corallioides* на 5-ти пятнах занимали площадь 0.3-0.5 м², на 3-х – менее 0.3 м², на остальных – отсутствовали, а на поверхности росли кустистые (*Stereocaulon* spp.) и листоватые (*Peltigera* spp., *Solorina* spp.) лишайники и кустарнички. Покрытие *Gymnomitrium corallioides* было 2 %. К 2020 г. зарастание пятен продолжилось, корочки *Gymnomitrium corallioides* сохранились лишь на 6-ти наиболее крупных пятнах, а в целом его покрытие на площадке – <1 % (Рис. П9а-в). Большинство пятен полностью или частично затянулись мхами, лишайниками и кустарничками и их трудно обнаружить. В 1999 и 2014 гг. в покрове было много подушек темноокрашенных лишайников, часто окружающих пятна, их доля – 8-9 %, в 2020 г. она уменьшилась до 3 %. В динамике изменились покрытие и высота кустарников: в 1999 г. покрытие 8 % (*Betula nana* – 6 % и *Salix glauca* – 2 %), высота ивы – 10 (до 15) см; в 2014 г. покрытие в 2 раза больше – 15 % (*Betula nana* – 10 % и *Salix glauca* – 4 %), высота ивы – около 20 см; в 2020 г. покрытие кустарников осталось на уровне 2014 г., однако заметно подросла ива, высота *Salix glauca* составила 25 (до 35) см.

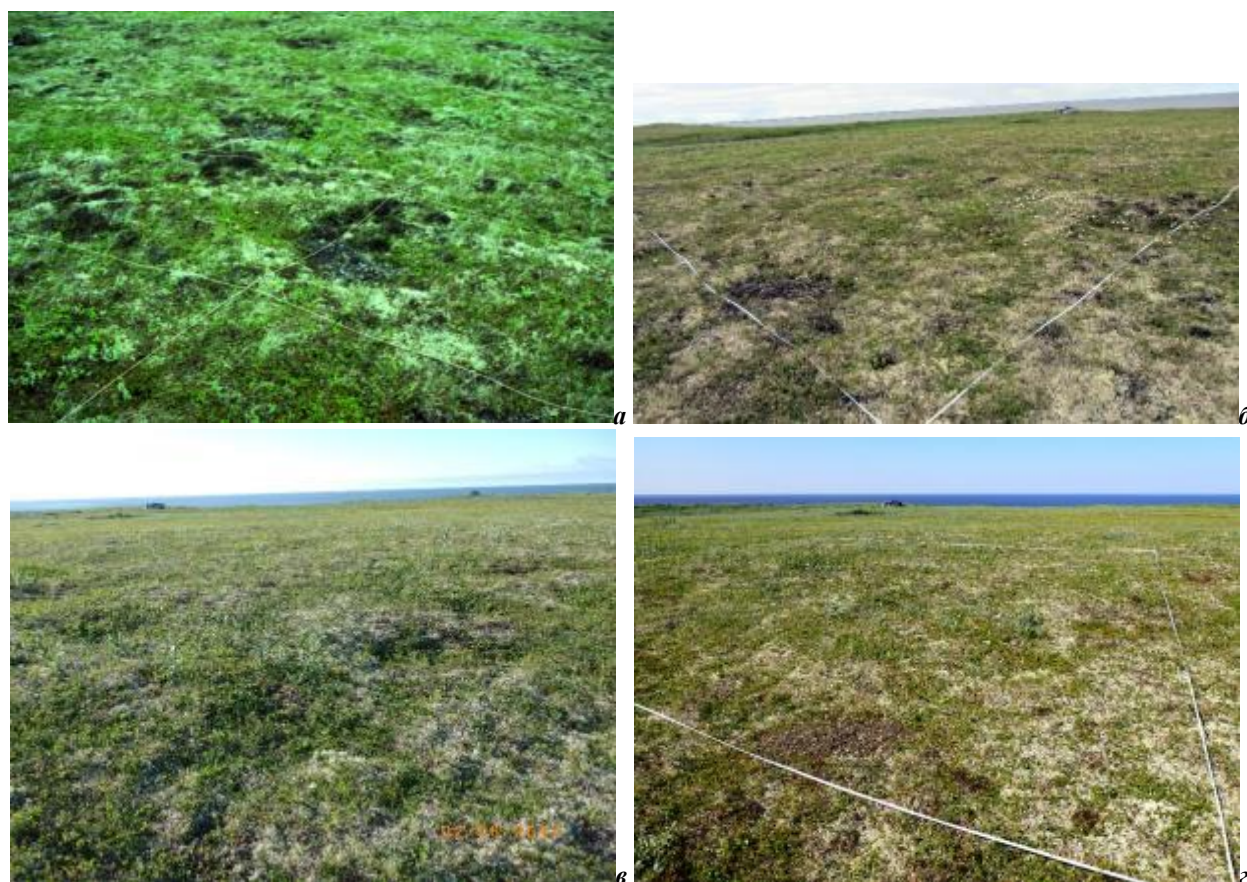


Рисунок 7. Сообщество асс. *Loiseleurio-Diapsietum* субасс. *salicetosum nummulariae* на площадке М3 в динамике: **а** – 1999 г., **б** – 2014 г., **в** – 2017 г., **г** – 2020 г.

На площадке М4 (Рис. 8а-г) в 1999 г. на площадке было 35 пятен, от округлых 20-50 см в диам. до вытянутых в длину до 1.5 м. Они выглядели погруженными в растительную дернину, поскольку находились на 3-5 см ниже ее поверхности. Поверхность пятен была слабовыпуклая, суглинистая с обилием дресвы, голая или покрытая водорослевыми корочками. На площадке доля открытого грунта составляла 7 %, покрытого криптогамными корочками – 4 %. В 2014 г. доля открытого суглинка сократилась до 1 %, в центральной части 10-ти пятен зафиксированы фрагменты свежесдавленного суглинка (до 20 см в диам.). Большинство пятен частично или полностью покрылись криптогамными корочками (4 %), а по периферии заросли кустистыми лишайниками (в основном *Bryocaulon divergens*) и кустарничками (*Empetrum hermaphroditum*, *Ledum palustre* subsp. *decumbens*, *Arctous alpina*). Перепад в нанорельефе между пятнами и кустарничково-лишайниковой дерниной сохранился, поэтому пятна были узнаваемы. В 2020 г. поверхность площадки более-менее

выровнялась, перепад по высоте между пятнами и основной поверхностью стал замечен слабо. Пятна в основном покрыты теми же, что и в дернине, кустарничковыми и лишайниковыми синузиями, с сохранившимися небольшими фрагментами корочек из *Gymnomitrium corallioides*; новые пятна излияния суглинка (до 20 см в диам.) отмечены в центре лишь 2-х заросших пятен. Доля грунта с криптогамными корочками – 2 % (Рис. П10а-в, П11). В разреженном травяном ярусе стал замечен *Equisetum arvense* (покрытие 2 %) и ива. Покрытие *Salix glauca* увеличилось с «+» до 1 %, высота с 10 до 20 см.



Рисунок 8. Сообщество асс. *Loiseleurio-Diapensietum* субасс. *salicetosum nummulariae* на площадке М4 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2017 г., *г* – 2020 г.

В кустарничково-лишайниковых сообществах асс. *Cladonietum rangiferino-arbusculae* растительная дернина сплошная с мозаичной горизонтальной структурой, обусловленной вкраплениями куртин кустарничков (*Empetrum hermaphroditum*, *Ledum palustre* subsp. *decumbens*, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*), плотных дерновин *Dicranum elongatum* и листьев морошки *Rubus chamaemorus* в основной светлый фон из кустистых кладоний (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stellaris*). Основные изменения в структуре, которые произошли на площадке М2 (Рис. 9а-в) за 15- и 21-летний период, – это увеличение мозаичности за счет изменения покрытия видов разных жизненных форм. В 2014 г., по сравнению с 1999 г., стало чуть больше трав – покрытие *Rubus chamaemorus* увеличилось от “+” до 5 %, *Eriophorum vaginatum* – от “+” до 1 %; немного увеличилось (с 15 до 20 %) покрытие кустарничков (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*). В 2020 г. в лишайниковом покрове стало меньше *Cladonia stellaris* (с 5 до 2 %), появились плотные дерновинки *Dicranum elongatum* (2 %), стало больше кустарничков (с 15 до 25 %).



Рисунок 9. Сообщество асс. *Cladonietum rangiferino-arbusculae* на площадке М2 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.

Пушицевые кочкарники асс. *Pleurozio schreberi–Eriophoretum vaginati* субасс. *sphagnetosum lenenses*, занимающие 2 мониторинговые площадки, отличаются между собой по горизонтальной структуре.

На площадке М1 кочки пушицы (*Eriophorum vaginatum*) более-менее равномерно распределены среди кустарничково-морошково-лишайниково-мохового покрова. За прошедший 15- и 21-летний период после 1999 г. покрытие трав значимо увеличилось – *Eriophorum vaginatum* с 10 до 30 % и *Rubus chamaemorus* с 20 до 30 %; в напочвенном покрове стало больше *Sphagnum balticum* (с 30 до 40 %).

На площадке М7 (Рис. 10а-г) кочки *Eriophorum vaginatum* концентрируются вокруг пятен близко залегающего суглинка. На основных поверхностях, где почвы торфянисто-глеевые (толщина торфа 20–45 см, под ним оглеенный суглинок) покров кустарничково-морошково-моховый, а на пятнах где мощность торфа до 5 см, под ним тиксотропный суглинок в 1999 г. преобладали лишайники (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*). За 21-летний период расположение пятен почти не изменилось, как и форма, которая угадывается по кочкам пушицы, растущей по их границе. Однако со временем сильно сократилась площадь кустарничково-лишайниковых микрогруппировок на пятнах – с 24 % в 1999 г. до 7 % в 2020 г., лишайники заместились мхами и кустарничками (Рис. П12а-в, П13). В моховом покрове на площадке перераспределилось соотношение видов – стало больше сфагновых мхов при уменьшении зеленых (*Aulacomnium palustre*). Покрытие кустарничков увеличилось с 30 до 45 % за счет разрастания *Empetrum hermaphroditum* и *Vaccinium vitis-idaea*, покрытие пушицы *Eriophorum vaginatum* – с 10 до 15 %. В 1999 г. на двух пятнах росли несколько побегов ивы высотой 10 см, в 2020 г. они обнаружены на тех же местах, увеличившись в числе и высоте (до 20 см).

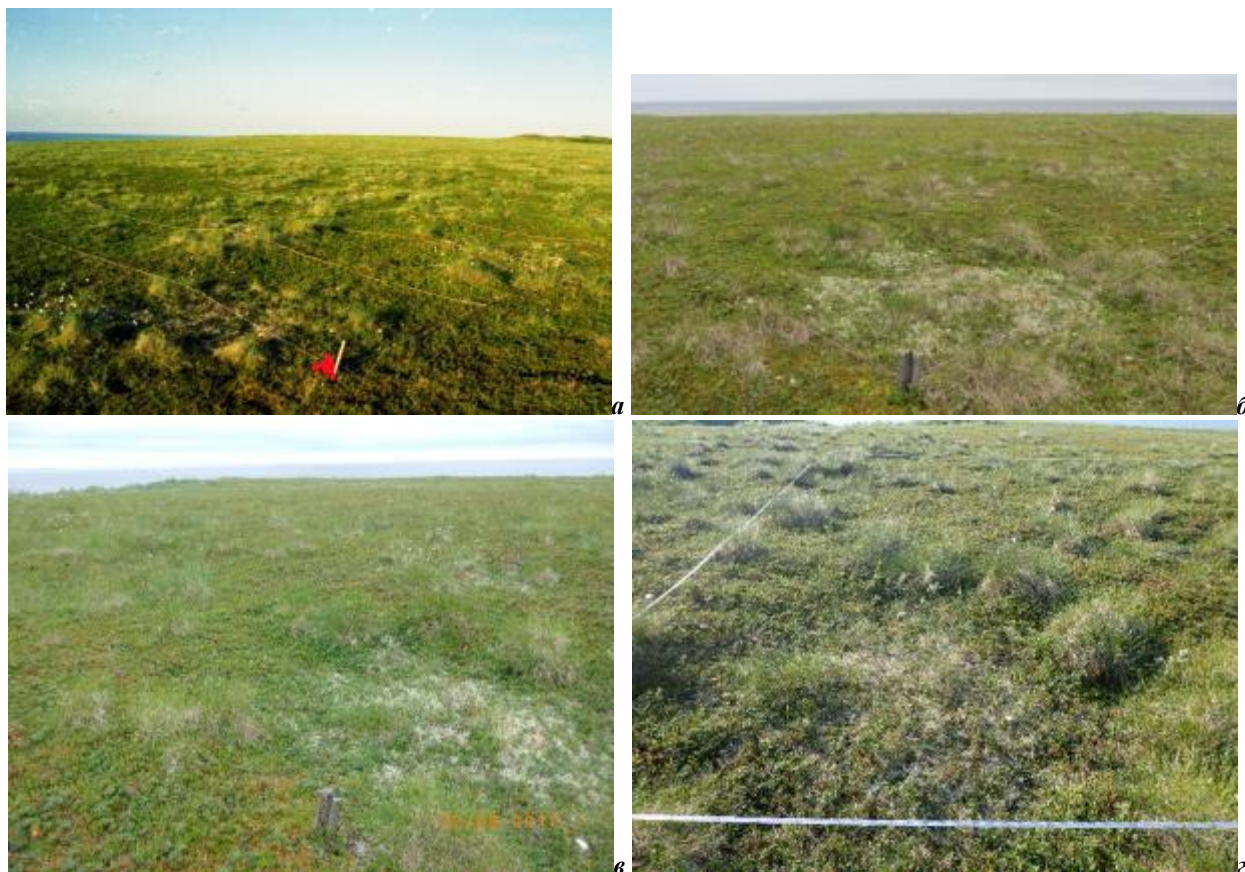


Рисунок 10. Сообщество асс. *Pleurozio schreberi–Eriophoretum vaginati* суббасс. *sphagnetosum lenenses* на площадке М7 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2017 г., *з* – 2020 г.

На повышенных участках полигональных торфяников кустарничково-морошково-лишайниковое сообщество асс. *Rubo chamaemori–Dicranetum elongati* имеет мозаичную горизонтальную структуру, которая в динамике стабильна. Основные изменения отмечены в трещинах с кустарничково-морошково-моховым покровом.

В границы площадки М8 (Рис. П14а-в) в 1999 г. полностью или частично попало 6 крупных вытянутых (3–5 и более метров длиной) полигонов со слабо выпуклой поверхностью, разделенных неглубокими трещинами (перепад высот – до 20 см). В 2020 г. пропорции полигонов и трещин сохранились – 65 и 35 %, соответственно, рисунок их тоже в целом не изменился. На полигонах покров по-прежнему мозаичный из светлоокрашенных лишайников (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*) с вкраплениями кустарничков (*Ledum palustre* subsp. *decumbens*, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*) и трав (*Rubus chamaemorus* и *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*). В трещинах за 15-21-летний период заметно увеличилось покрытие ивы *Salix glauca* (с 2 % в 1999 г. до 5 % в 2020 г.) и высота ее побегов (с 10 до 25 см). Присутствие ивы свидетельствует о близком залегании суглинка в трещинах. На всей площадке стало больше *Rubus chamaemorus* (покрытие выросло с 7 до 25 %).

Площадка М10 (Рис. 11а-в) в 1999 г. была заложена на полигональном торфянике в непосредственной близости от высокого берега морской террасы. Она разделена пересекающимися в центральной части трещинами (глубиной от 10 см до 70 см в месте слияния) на 4 почти плоских полигона. В 2020 г. рисунок полигонов и трещин в целом не изменился, но последние чуть расширились, и их доля увеличилась с 31% в 1999 г. до 37 % в 2020 г. (Рис. П15а-в). На полигонах покров мозаичный морошково-кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium* spp.)-лишайниковый (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*), в неглубоких (10 см) трещинах – морошково-сфагновый, при увеличении глубины до 40 см – с верхним ярусом из *Ledum palustre* subsp. *decumbens* и *Betula nana*, в глубоких (40-70 см) – багульниковый без мхов; место пересечения трещин обводнено и заполнено сфагновыми мхами, включая *Sphagnum riparium* и *S. squarrosum*. Высота *Betula nana* со временем не изменилась – на полигонах – до 10 см и в трещинах – до 40 см.



Рисунок 11. Сообщество асс. *Rubo chamaemori-Dicranetum elongati* на торфяных полигонах площадки М10 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.

Изменения глубины сезонно-талого слоя

В зональных сообществах промеры СТС были сделаны во все годы мониторинга во второй половине июля на разных элементах горизонтальной структуры (Табл. П4).

На ровных участках дернины с дриадово-гилокомиевым покровом средняя глубина протаивания в 1999 г. равнялась 63 см, в 2014 г. – 89 см, в 2020 г. – 105 см. На валиках с кустарничково-осоково-лишайниковым покровом эти значения в 1999 г. находились в пределах 29-40 см, в 2014 г. – 24-27 см, в 2020 г. – 89-108 см. В ложбинках с мхами и кустарниками (*Salix* spp.) средние значения СТС в 1999 г. и 2014 г. находились в пределах 20-38 см, в 2020 г. между площадками оказался разброс – на М9, М11 и М12 СТС была в пределах 39-54 см, а на площадках М5 и М6, расположенных на более высоких элементах мезорельефа, мерзлота обнаружена на глубине 81 и 105 см. На пятнах обнаженного суглинка и пятнах с криптогамными корочками средние значения СТС в 1999 г. находились в пределах 82-94 см, в 2014 г. и 2020 г. – 92-125 см.

В стланиковоерниковых кустарничково-лишайниковых сообществах (асс. *Loiseleurio-Diapsietum* субасс. *salictosum nummulariae*) (Табл. П5) на площадке М3 на ровных участках с лишайниково-кустарничковым покровом средние значения СТС во второй половине июля в 1999 г. были 20 см, в 2014 г. – 34 см, в 2020 г. – 103 см; на пятнах, покрытых криптогамными корками, эти значения по годам – 53, 74 и 103 см; в западинах с мохово-ерниковым покровом в 2014 г. – 29 см, в 2020 г. – 87 см. На площадке М4 различия СТС в 1999 г. и в 2014 г. были небольшими на разных элементах рельефа: лишайниково-кустарничковый покров – 70 и 76 см, западины с мхами – 59 и 54 см, пятна – 70 и 77 см. Во второй половине июля 2020 г. значения СТС на всех элементах рельефа были больше 100 см.

В заболоченных сообществах (полигональные торфяники асс. *Rubo chamaemori-Dicranetum elongati* и пушицевые кочкарники асс. *Pleurozio schreberi-Eriophoretum vaginati* субасс. *sphagnetosum lenenses*) в 1999 г. и в 2014 г. существенных различий в величинах СТС не было ни под кустарничково-лишайниковой дерниной, ни под морошково-багульниково-моховым покровом (Табл. П6). Все средние значения варьировали в диапазоне 22-33 см. В 2020 г. величины сезонного

протаивания на этих элементах рельефа были существенно, в 1.5-2.5 раза, больше. Такая же картина и под кочками пушицы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Взаимосвязь между изменением климата и растительностью в Арктике опосредована физическими факторами, которые имеют более длительную ответную реакцию, чем прямое воздействие температуры воздуха. Основные из них – наличие вечной мерзлоты, температура почвы в корнеобитаемой зоне, которая сдерживается термоизолирующей моховой дерниной, высота снежного покрова и влажность почвы, контролирующие продуктивность растений [Jorgenson et al., 2015].

За последние два десятилетия начали накапливаться наземные данные, документирующие изменения участков нетронутой растительности в Арктике с течением времени. Мониторинг на 27 долговременных площадках на севере Аляски в период с 1984 по 2009 гг. показал пространственную неоднородность реакции растительности на изменение климата. Вместо предсказанного по NDVI широкомасштабного «позеленения» тундры, в разных типах сообществ обнаружены разнонаправленные тенденции. В целом за 25-летний период на большинстве площадок состав растительных сообществ практически не изменился; покрытие мохообразных и листопадных кустарников имело тенденцию к небольшому снижению; вечнозеленые кустарнички, хвощи трендов не имели; тенденции изменений для лишайников, злаков и разнотравья варьировали в зависимости от типа растительного сообщества. Однако на нескольких площадках, где из-за таяния жильных льдов трансформировался микрорельеф и увеличилась влажность почвы, изменения в растительности оказались быстрыми и сильными [Jorgenson et al., 2015].

Полигонизация увалов (образование системы бугров (7-10 м в поперечнике) и разделяющих их ложбин (от 2 до 5 м шир.) со значительным (от 0.5 до 1.0 м) превышением по высоте) в результате таяния жильных льдов зафиксирована и в центральносибирском секторе Арктики (Тарей и Диксон на Таймыре), однако изменений состава и структуры зональных растительных сообществ на момент обследования не выявлено [Матвеева и Заноха, 2013; Матвеева, 2020]. Полагаем, что авторы застали начало этого процесса, а ответ растительности имеет определенный лаг-период. Н.В. Матвеева [2020] признает, что: «...в перспективе можно прогнозировать серьезные изменения покрова на громадных пространствах. ...Различия в глубине снежного покрова и продолжительности его лежания на двух элементах мезорельефа станут причиной все усиливающихся различий в экологических условиях, что постепенно приведет к изменению состава и, как следствие этого, к дифференциации растительности в виде формирования разных синтаксонов» (с. 36).

J.C. Jorgenson et al. [2015] констатируют, что реакция на изменение климата вряд ли будет одинаковой для мозаики различных растительных сообществ, распределение которых в локальном масштабе определяется не температурой воздуха, а топографическим положением, поскольку оно определяет такие факторы, как влажность почвы, текстура, подземный лед и содержание питательных веществ в почве.

Мониторинг в тундрах Аляски и канадской Арктики, проводимый в том числе на одном участке в течение почти двух десятилетий в более поздний период (1999-2017 гг.) [Myers-Smith et al., 2019], наряду с неоднородностью ответов растительности, позволил зафиксировать тенденции увеличения общего проективного покрытия и уменьшение покрытия пятен голого грунта в тундровых экосистемах, увеличения обилия и высоты вечнозеленых и листопадных кустарников и кустарничков, злаков при сокращении мхов и лишайников [Gould et al., 2009; Elmendorf et al., 2012; Harris et al., 2021].

Наше исследование в целом подтверждает эти, по-видимому, «общearктические» тенденции.

По данным метеорологических наблюдений за последние 35 лет на Европейском Севере произошли существенные климатические изменения. Установлено повышение среднегодовой, среднелетней и среднезимней температуры воздуха (тренд около 0.09 °C/год), отмечена слабая тенденция к увеличению годового количества осадков и толщины снежного покрова [Малкова и др., 2018]. Для восточноевропейских тундр показано изменение климатических индексов, важных для растений, – увеличение продолжительности периода вегетации (в среднем на 2 недели) и суммы накопленного за этот период тепла (в среднем на 85 °C), значимое уменьшение годового числа заморозков (на 14-21 день) [Lavrinenko et al., 2022]. Столь длительное потепление климата в регионе, по-видимому, не может не сказаться на составе и структуре растительных сообществ. Хотя еще

недавно, после обследования мониторинговых площадок в 2014 г. (через 15 лет), мы делали заключение о медленном отклике растительности на потепление и о ее стабильности в целом [Лавриненко и Лавриненко, 2017a, 2017b, 2020].

Результаты более длительного 21-летнего периода мониторинга позволили установить некоторые тенденции в изменении растительных сообществ разных синтаксонов. Наибольшие структурные трансформации произошли в сообществах асс. *Dryado octopetalae–Hylocomietum splendidis* субасс. *caricetosum capillaris* со сложной 2-3-членной пространственной структурой. Основное – это исчезновение «ноздреватого» рисунка на поверхности пятен грунта (результат морозного кипения) и их постепенное зарастание криптогамными корочками, мелкими цветковыми растениями, мхами и кустарничками. Если в зональных тундрах площадь крупных пятен значительно сократилась, то более мелкие пятна в кустарничково-лишайниковых сообществах асс. *Loiseleurio-Diapensietum* субасс. *salicetosum nummulariae* почти полностью покрылись лишайниками, мхами и кустарничками. Отмечено постепенное выравнивание поверхности площадок: в первом случае за счет частичного опускания валиков, во втором – за счет пропадания перепада по высоте между поверхностью заросших пятен и дернины.

Основная часть видов растений была обнаружена на площадках во все годы обследования. На пяти из них с наиболее флористически богатыми зональными тундрами было выявлено всего – 160 видов, из них 22 (14 %) отмечены единожды. На трех площадках с кустарничково-лишайниковыми сообществами из 90 видов таких – 7 (8 %), а на четырех с заболоченными сообществами из 95 видов – 10 (11 %). В пределах каждой площадки изменение общего числа видов по годам было в пределах 7–24 %. Важно понимать, что такая вариабельность состава обусловлена нахождением (появлением) / пропуском (исчезновением) редких и единичных видов преимущественно мхов и лишайников (включая накипные). Это вполне объяснимо и связано с тем, что выявить все мелкие споровые организмы на площадках площадью 100 м² процесс очень трудоемкий. Кроме того, многие виды бриофитов невозможно детерминировать в полевых условиях и их выявление зависит от квалификации геоботаника, выполняющего описания и осуществляющего сборы образцов. За 21-летний период между первоначальным и последним обследованиями опыт выполнения геоботанических описаний у авторов значительно прибавился. При заложении площадок в 1999 г. мхи были выявлены менее полно, чем в последующие годы мониторинга, преимущественное большинство видов кустарников, кустарничков и трав обнаружено во все годы мониторинга. Поэтому однозначно утверждать, что сообщества реагируют на потепление климата изменением состава нельзя.

В то же время установлено изменение в обилии ряда видов, которое может быть обусловлено климатическими факторами. На многих площадках произошло общее отравянивание (за счет осоки, злаков, пушицы, морошки) и особенно заметное увеличение активности у *Equisetum arvense*. В исследовании J.C. Jorgenson et al. [2015] на севере Аляски для хвощей не было установлено трендов в изменении покрытия за период с 1984 по 2009 гг. В 2014 г. мы тоже еще не отмечали сильных различий в покрытии этого вида на площадках, по сравнению с 1999 г., однако позже, в 2017 и 2020 гг., хвощ уже создавал зеленый аспект в зональных тундрах (см. Рис. 3, 4).

Мы не можем гарантировать, что в разные годы абсолютно точно оценивали проективное покрытие разных видов, однако фактор субъективности снимается при прямых измерениях высоты кустарников. Высота у ив *Salix glauca* и *S. lanata*, составляющая в 1999 г. преимущественно 10-15 см, за годы мониторинга на всех площадках увеличилась в 1.5-2.5 раза. Интересно отметить, что на севере Аляски (Atkasuk, 70°27'N, 157°24'W, подзона D на CAVM) за более короткий период получены близкие значения – с 2010 по 2019 гг. высота листопадных кустарников увеличилась с 11.5 до 20.5 см ($r^2 = 0.11$) (Harris et al., 2021). В работе I.H. Myers-Smith et al. [2011] перечислены места по всей Арктике, где есть свидетельства увеличения обилия и высоты кустарников.

Акцентируем внимание на исчезновении в 2020 г. на площадках с зональными тундровыми сообществами арктического вида *Saxifraga oppositifolia*, тогда как в 1999 г. он в небольшом обилии рос на пятнах грунта на всех площадках, а в 2014 г. особи еще отмечали, но со слабой жизненностью.

В нашем исследовании зафиксировано постепенное со временем уменьшение покрытия лишайников в заболоченных пушицевых кочкарниках асс. *Pleurozio schreberi–Eriophoretum vaginati* субасс. *sphagnetosum lenenses*, замещение их кустарничками и зелеными мхами, а последних – сфагновыми. В работе J.C. Jorgenson et al. [2015] покрытие лишайников тоже имело тенденцию к снижению в кустарничково-кочкарных тундрах (по модельной оценке, от 17 % до 10 %) и в горных

осоково-дриадовых тундрах (от 22 % до 9 %) с изменениями только на 2 % в двух других типах сообществ.

В 1999 и в 2014 гг. существовал большой разброс в значениях величины СТС между разными элементами рельефа в пределах площадок (закономерно на пятнах грунта значения были много больше, чем на элементах рельефа с напочвенным покровом), тогда как в 2020 г. эти различия отсутствовали или были намного меньше. Поскольку мы измеряли СТС не в конце теплого периода, а во второй половине июля, то они свидетельствуют, по-видимому, о более теплом 2020 г. (или более многоснежной предшествующей зиме), поэтому протаивание произошло к этому времени на большую глубину, чем в 1999 и 2014 гг. Если усреднить все измерения по годам, то значения СТС в 1999 г. составили 49 ± 24 см, в 2014 г. – 44 ± 26 см, а в 2020 г. – 82 ± 30 см.

На расположенной на мысе Болванский Нос площадке CALM глубина СТС измеряется ежегодно по стандартному протоколу вручную, с использованием металлического щупа с 4-кратной повторностью на каждом узле сетки в конце теплого периода [Малкова и др., 2019]. Этот показатель в разных ландшафтах изменяется в пределах 10-15 % в разные годы, но существенного тренда увеличения глубины СТС не наблюдается (Рис. 12).

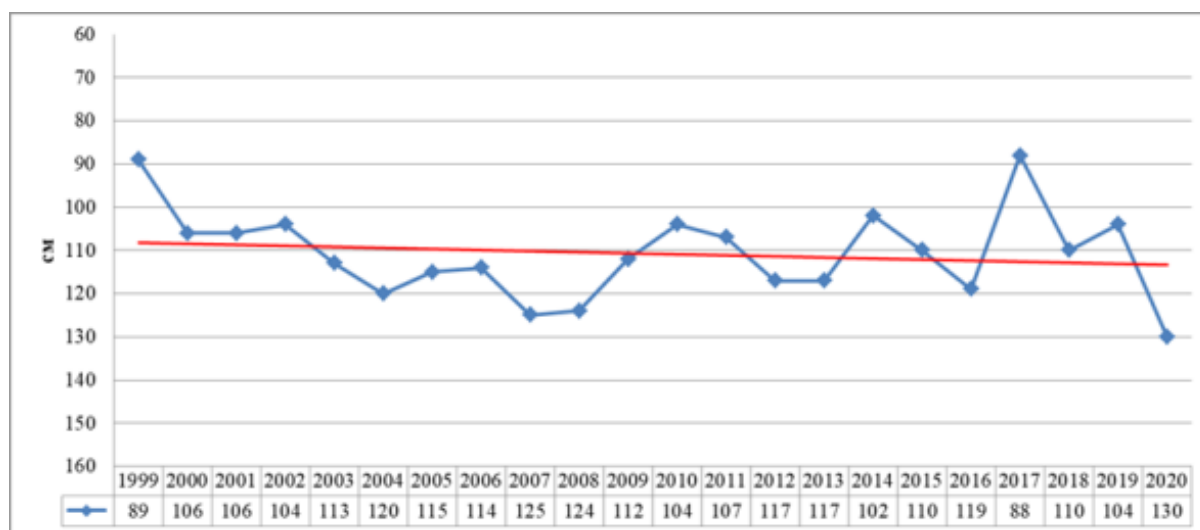


Рисунок 12. Средняя глубина протаивания ММП (см) на площадке CALM R-24 (Болванский), по: Г.В. Малкова [2019].

Констатируется, что временная динамика глубины протаивания обусловлена динамикой температуры воздуха, особенно в зимний период, и толщины снежного покрова. В долговременном (1984-2009) исследовании J.C. Jorgenson et al. [2015] на севере Аляски для глубины протаивания вечной мерзлоты трендов также не установлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше исследование на северо-западе Большеземельской тундры является одним из первых в Российской Арктике, в котором на большом массиве фактологических данных представлены убедительные доказательства продолжающихся направленных изменений растительного покрова.

Результаты обследования 12 мониторинговых площадок показали, что к 2020 г. кардинальных изменений ландшафта, таких как полигонизация увалов в результате таяния жильных льдов (как на Аляске и Таймыре) не произошло. Тем не менее, в растительном покрове отмечены заметные сдвиги, усилившиеся в последние 6 лет (2014-2020) мониторинга:

- утратила место четкая структура «пятно – валик – ложбинка» в зональных тундрах в результате зарастания пятен и частичного опускания валиков (местами они слились с заросшими кустарничково-лишайниковым покровом пятнами и стали восприниматься как ровная дернина);
- активное зарастание пятен грунта криптогамными корочками, мелкими травянистыми растениями, кустарничками, зелеными мхами или подушками кустистых кладоний привело к увеличению общего проективного покрытия растительности в кустарничково-лишайниковых и редкоивовых осоково-кустарничково-моховых тундрах;

- новообразование пятен не зарегистрировано нигде, но в пределах старых пятен на площадке М4 на вершине сопки отмечены единичные небольшие свежие излияния суглинка;
- увеличилось проективное покрытие трав, особенно заметное у хвоща *Equisetum arvense* в зональных тундрах; по результатам полевых исследований в последние годы мы отмечаем, что активность хвощей возросла в разных сообществах – разные виды *Equisetum* создают аспект на склоновых лугах, в травяном ярусе кустарниковых зарослей, на зарастающих песках и суглинках и в тундрах.
- высота кустарниковых ив *Salix glauca* и *S. lanata*, составляющая в 1999 г. преимущественно 10-15 см, увеличилась в 1.5-2.5 раза.

Наши результаты в целом согласуются с тенденциями трансформации растительности под влиянием климатических факторов, установленными в американском секторе Арктики.

В последние годы мы внедрили опыт использования БПЛА, который совместно с программным обеспечением ArcGIS и Patch Analyst позволяет более точно картировать растительный покров на мониторинговых площадках и количественно оценивать площади контуров, и в итоге – скорость изменений пространственной структуры растительных сообществ. Геоботанические обследования рекомендуется проводить с регулярностью раз в 5 лет (чаще не целесообразно из-за возможного вытаптывания при выполнении описаний площадки).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают большую благодарность О.М. Афоной (Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН – БИН) за определение мхов, директору С.А. Золотому, научному сотруднику Т.В. Дьячковой и инспекторам заповедника «Ненецкий» за помощь при проведении экспедиций. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану БИН по теме № 122041100242-5. Обработка материалов и полевые исследования в 2020 г. проведены за счёт гранта РНФ (проект № 20-17-00160).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. 2021. М. 104 с. URL. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (дата обращения: 01.05.2022) [Report on climate features in the Russian Federation for 2020.M. P.104. URL. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (date of the application: 01.05.2022)(in Russian)].

Лавриненко И.А. и Лавриненко О.В. 2017а. Заболоченные сообщества мониторинговых площадок стационара «Болванский» // Материалы международного полевого симпозиума «Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации в зоне многолетней мерзлоты» 22 июля - 4 августа 2017 г. Инта-Сыктывкар-Нарьян-Мар. С. 91-93 [Lavrinenko I.A. iLavrinenko O.V. 2017a. Zabolochennyye soobshchestva monitoringovykh ploshchadok statsionara «Bolvanskii» // MaterialsoftheInternationalFieldSymposium «Bolotnyye ekosistemy Severo-Vostoka Evropy i problemy ekologicheskoi restavratsii v zone mnogoletnei merzloty» 22 July - 4 August 2017. Inta-Syktvykar-Nar'yan-Mar. P. 91-93 (in Russian)].

Лавриненко О.В. и Лавриненко И.А. 2017b. Стабильность тундровых сообществ в изменяющемся климате // Растения в холодном регионе. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Якутск, 20-21 октября 2016 г. Якутск. С. 140-149 [Lavrinenko O.V. iLavrinenko I.A. 2017b. Stabil'nost' tundrovyykh soobshchestv v izmenyayushchemsya klimate // Rasteniya v kholodnom regione. A collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Yakutsk, October 20-21, 2016 Yakutsk. P. 140-149 (in Russian)].

Лавриненко О.В. и Лавриненко И.А. 2018. Зональная растительность равнинных восточноевропейских тундр // Растительность России. №. 32. С. 35–108. DOI:10.31111/vegus/2018.32.35 [Lavrinenko O.V. and Lavrinenko I.A. 2018. Zonal'naya rastitel'nost' ravninnykh vostochnoevropeskikh tundr // Rastitel'nost' Rossii. N. 32. P. 35–108. DOI:10.31111/vegus/2018.32.35 (in Russian)].

Лавриненко О.В. и Лавриненко И.А. 2020. Стабильность состава и структуры тундровых сообществ в изменяющемся климате // Тез. докл. международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». г. Санкт-Петербург, 2-4 марта 2020 г. СПб: ГНЦ РФ ААНИИ. С. 387-391 [Lavrinenko O.V. iLavrinenko I.A. 2020. Stabil'nost' sostava i struktury tundrovyykh soobshchestv v izmenyayushchemsya klimate // Abstracts of the International Scientific Conference "Comprehensive Studies of the Natural Environment of Arctic and Antarctic". St. Petersburg, March 2-4, 2020. SPb: SSC RF AARI. P. 387-391 (in Russian)].

Лавриненко О.В., Петровский В.В., Лавриненко И.А. 2016. Локальные флоры островов и побережья юго-восточной части Баренцева моря // Ботанический журнал. Т. 101. № 10. С. 1144-1190 [Lavrinenko O.V., Petrovskii V.V., Lavrinenko I.A. 2016. Lokal'nyye flory ostrovov i poberezh'ya yugo-vostochnoy chasti Barentseva morya // Botanicheskii Zhurnal. V. 101. N. 10. P. 1144-1190 (in Russian)].

- Малкова Г.В., Коростелев Ю.В., Садуртдинов М.Р., Сковцов А.Г., Царев А.М. 2018. Современные климатические изменения и температурный режим многолетнемерзлых пород Европейского Севера // Сборник докладов расширенного заседания научного совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геокриологии». МГУ им. М.В. Ломоносова, 15-16 мая 2018 г. М.: «КДУ», «Университетская книга». С. 98–104 [Malkova G.V., Korostelev Yu.V., Sadurtdinov M.R., Skvortsov A.G., Tsarev A.M. 2018. Sovremennyye klimaticheskiye izmeneniya i temperaturnyy rezhim mnogoletnemerzlykh porod Evropeiskogo Severa // A collection of reports of the expanded meeting of the Scientific Council on Cryology of the Earth of the Russian Academy of Sciences "Aktual'nye problemy geokriologii" Moscow State University. M.V. Lomonosov, May 15-16, 2018. M.: «KDU», «Universitetskaya kniga». P. 98–104 (in Russian)].
- Малкова Г.В., Сковцова А.Г., Царев А.М., Садуртдинов М.Р. 2019. Отчет по экспедиции Печорского полевого отряда ИКЗ СО РАН (16 августа 2019 г. – 2 сентября 2019 г.). Фонды ГПЗ «Ненецкий». С. 20 [Malkova G.V., Skvortsov A.G., Tsarev A.M., Sadurtdinov M.R. 2019. Otchet po ekspeditsii Pechorskogo polevogo otryada IKZ SO RAN (August 16, 2019 - September 2, 2019). Fondy GPZ «Nenetskiy». P. 20 (in Russian)]
- Матвеева Н.В. и Заноха Л.Л. 2013. Стабильность растительного покрова при существенной трансформации ландшафта в тундрах Западного Таймыра // Тр. Всерос. научной конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.). Сыктывкар. С. 96-106 [Matveeva N.V. i Zanol'ha L.L. 2013. Stabil'nost' rastitel'nogo pokrova pri sushchestvennoy transformatsii landshafta v tundrah Zapadnogo Taimyra // Proceedings of the All-Russian Scientific Conference "Biostasis of the Ecosystems of the Far North: inventory, monitoring, protection" (Syktyvkar, June 3-7, 2013). Syktyvkar. P. 96-106 (in Russian)].
- Матвеева Н.В. и Лавриненко О.В. 2021. Чек-лист синтаксонов Российской Арктики: текущее состояние классификации растительности // Растительность России. № 42. С. 3-41. DOI:10.31111/vegus/2021.42.3 [Matveeva N.V. i Lavrinenko O.V. 2021. Chek-list sintaksonov Rossiiskoi Arktiki: tekushchee sostoyanie klassifikatsii rastitel'nosti // Vegetation of Russia. N 42. P. 3-41. DOI:10.31111/vegus/2021.42.3 (in Russian)]
- Матвеева Н.В. 2020. Масштабная трансформация водораздельных увалов в связи с деградацией жильных льдов в Арктике // Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики. Тезисы докладов международной научной конференции (Санкт-Петербург, 02–04 марта 2020 года). Санкт-Петербург. С. 391-394 [Matveeva N.V. 2020. Masshtabnaya transformatsiya vodorazdel'nykh uvalov v svyazi s degradatsiyey zhilykh l'dov v Arktike // Kompleksnyye issledovaniya prirodnoy sredy Arktiki i Antarktiki. Abstracts of the International Scientific Conference (St. Petersburg, March 02–04, 2020). St. Petersburg. P. 391-394 (in Russian)].
- Оберман Н.Г. 2001. Внутривековая динамика мерзлой зоны европейского северо-востока России // Материалы Второй конф. геокриологов России. Т. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та. С. 212–217 [Oberman N.G. 2001. Vnutrivekovaya dinamika merzloi zony evropeiskogo severo-vostoka Rossii // Materials of the second conf. geocryologists of Russia. V. 2. M.: Publishing House MSU. P. 212–217 (in Russian)].
- Осадчая Г.Г. и Тумель Н.В. 2012. Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере Европейского Северо-Востока) // Криосфера Земли. Т. 16. № 3. С. 62–71 [Osadchaya G.G. i Tumel' N.V. 2012. Lokal'nyye landshafty kak indikatoryye geokriologicheskoy zonal'nosti (naprimere Evropeiskogo Severo-Vostoka) // Earth's Cryosphere. V. 16. N 3. P. 62–71 (in Russian)].
- Потёмкин А.Д. и Софронова Е.В. 2009. Печеночники и антоцеротовые России. Т. 1. Санкт-Петербург – Якутск. 368 с. [Potemkin A.D. i Sofronova E.V. 2009. Pechenochniki i antotserotovy Rossii. V. 1. St. Petersburg – Yakutsk. 368 p. (in Russian)].
- Секретарева Н.А. 2004. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. М. 131 с. [Sekretareva N.A. 2004. Sosudistyye rasteniya Rossiiskoi Arktiki i sopredel'nykh territorii. M. 131 p. (in Russian)].
- Druckenmiller M. L., Moon T., Thoman R. The Arctic / State of the Climate in 2020 // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2021. Vol. 102. N 8. P. 263–315. DOI:10.1175/BAMS-D-21-0086.1
- Elmendorf S.C., Henry G.H.R., Hollister R.D., Björk R.G., Boulanger-Lapointe N., Cooper E.J., and 41 others. 2012. Plotscale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming // Nature Climate Change. N 2. P. 453-457. DOI:10.1038/nclimate1465.
- Gould W.A., Mercado-Díaz J.A., Zimmerman J.K. 2009. Twenty year record of vegetation change from long-term plots in Alaskan tundra // Long Term Ecological Research Network All Scientists Meeting (Estes Park, September 14-16 2009). Abstract C11C-0524.
- Harris J.A., Hollister R.D., Botting T.F., Tweedie C.E., Betway K.R., May J.L., Barrett R.T.S., Leibig J.A., Christoffersen H.L., Vargas S.A., Orejel M., Fuson T.L. 2021. Understanding the climate impacts on decadal vegetation change in northern Alaska // Arctic Science. Arctic Science 00: 1–21 (0000) e-First. DOI:10.1139/as-2020-0050
- Ignatov, M.S., O.M. Afonina, E.A. Ignatova, A. Abolina, T.V. Akatova, E.Z. Baisheva, L.V. Bardunov, E.A. Baryakina, O.A. Belkina, A.G. Bezgodov, M.A. Boychuk, V.Ya. Cherdantseva, I.V. Czernyadjeva, G.Ya. Doroshina, A.P. Dyachenko, V.E. Fedosov, I.L. Goldberg, E.I. Ivanova, I. Jukoniene, L. Kannukene, S.G. Kazanovsky, Z.Kh. Kharzinov, L.E. Kurbatova, A.I. Maksimov, U.K. Mamatkulov, V.A. Manakyan, O.M. Maslovsky, M.G. Napreenko, T.N. Otnyukova, L.Ya. Partyka, O.Yu. Pisarenko, N.N. Popova, G.F. Rykovsky, D.Ya. Tubanova, G.V. Zheleznova & V.I. Zolotov 2006. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. Arctoa 15: 1–128.
- Jorgenson J.C., Reynolds M.K., Reynolds J.H., Benson A.-M. 2015. Twenty-Five Year Record of Changes in Plant Cover on Tundra of Northwestern Alaska // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. V. 47. N 4. P. 785-806. DOI:10.1657/AAAR0014-097
- Lavrinenko O.V., Tyusov G.A., Petrovsky V.V. 2022. Impact of climate warming on floristic diversity of the East European tundra // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 1. P. 35–48. DOI:10.18822/edgcc101643
- Myers-Smith I.H., Hik D.S., Kennedy C.E., Cooley D., Johnstone J.F., Kenney A.J., Krebs C.J. 2011. Expansion of canopy forming willows over the twentieth century on Herschel Island, Yukon Territory, Canada // Ambio. N 40. P. 610-623. DOI:10.1007/s13280-011-0168-y
- Myers-Smith I.H., Grabowski M.M., Thomas H.J.D., Angers-Blondin S., Daskalova G.N., Bjorkman A.D., Cunliffe A.M., Assmann J.J., Boyle J.S., Mcleod E., Mcleod S., Joe R., Lennie P., Arey D., Gordon R.R., Eckert C.D. 2019. Eighteen years of ecological monitoring reveals multiple lines of evidence for tundra vegetation change // Ecological Monographs. V. 89. N 2. e01351. URL. <https://www.jstor.org/stable/26641244>

Post E. and Forchhammer M.C. 2008. Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch // Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences. V. 363. N 1501. P. 2369-2375. DOI:10.1098/rstb.2007.2207

Raynolds M.K., Walker D.A., Balser A., Bay C., Campbell M., Cherosov M.M., Daniëls F.J.A., Eidesen P.B., Ermokhina K.A., Frost G.V., Jedrzejek B., Jorgenson M.T., Kennedy B.E., Kholod S.S., Lavrinenko I.A., Lavrinenko O.V., Magnússon B., Matveyeva N.V., Metúsalemsson S., Nilsen L., Olthof I., Pospelov I.N., Pospelova E.B., Pouliot D., Razzhivin V., Schaepman-Strub G., Šibík J., Telyatnikov M.Yu., Troeva E. A raster version of the Circumpolar Arctic Vegetation Map (CAVM) // Remote Sensing of Environment. 2019. 232. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse DOI:10.1016/j.rse.2019.111297

Santesson R., Moberg R., Nordin A., Tønsberg T., Vitikainen O. 2004. Lichenforming and lichenicolous fungi of Fennoscandia. Museum of Evolution. Uppsala University. 359 p.

Walker D.A., Raynolds M.K., Daniëls F.J.A., Einarsson E., Elvebakk A., Gould W., Katenin A.E., Kholod S.S., Markon C.J., Melnikov E., Moskalenko N.G., Talbot S., Yurtsev B.A., and the other members of the CAVM Team. 2005. The Circumpolar Arctic Vegetation Map // Journal of Vegetation Science. Vol. 16. N 3. P. 267-282. DOI:10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x

Поступила в редакцию: 06.05.2022
Переработанный вариант: 01.11.2022
Опубликовано: 04.12.2022

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица III. Видовой состав и проективное покрытие видов (%) по годам на мониторинговых площадках в пятнистых редкоивовых кустарничково-осоково-моховых тундрах

Мониторинговая площадка	М6				М5			М9			М12			М11		
Координаты с. ш.	68 17 21.6				68 17 23.8			68 17 37.7			68 17 36.1			68 17 36.6		
в. д.	54 30 28.2				54 30 25.4			54 30 31.9			54 30 47.1			54 30 46.1		
Дата	24.07.1999	13.07.2014	02.08.2017	22.07.2020	25.07.1999	14.07.2014	22.07.2020	26.07.1999	18.07.2014	25.07.2020	16.07.2000	19.07.2014	24.07.2020	27.07.1999	19.07.2014	24.07.2020
Проективное покрытие (%), общее	70	75	80	80	99	99	100	100	100	100	90	98	100	99	99	100
кустарники	10	10	10	10	15	20	20	6	6	6	10	20	20	5	7	7
кустарнички	40	40	40	40	20	10	10	25	35	35	25	40	40	25	35	40
травы	3	3	15	15	5	7	15	7	15	15	10	15	20	5	15	20
мхи	35	40	40	45	25	30	30	50	60	60	25	35	35	25	40	40
лишайники	5	5	5	5	30	30	30	30	30	30	25	30	30	60	55	50
Число видов, общее	63	73	75	73	73	96	91	79	96	92	68	72	81	59	74	77
кустарники	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
кустарнички	6	7	7	7	7	8	7	7	8	8	7	7	7	7	7	7
травы	15	14	19	17	20	24	24	23	19	20	18	18	20	13	13	15
мхи	10	18	17	14	11	23	21	16	36	32	9	11	18	9	20	22
лишайники	28	30	28	31	31	36	35	29	29	28	30	32	32	26	30	29

Дифференцирующая комбинация видов (д. к. в.) асс. *Dryado octopetalae–Hylocomietum splendentis*

кч <i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i>	20	20	10	10	1	+	+	1	1	1	3	1	1	+	+	+
кч <i>Salix reticulata</i>	10	10	10	10	1	+	+	+	5	5	2	1	1	2	2	1
кк <i>S. hastata</i>	3	3	3	3	2	2	2	2	+	+	3	3	3	1	1	+
т <i>Equisetum scirpoides</i>	.	.	.	г	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.
Д. к. в. субасс. <i>caricetosum capillaris</i>																
т <i>Carex capillaris</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	1
т <i>Tofieldia pusilla</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
л <i>Myxobilimbia lobulata</i>	г	г	+	+	+	+	+	+	+	.	+	+	+	1	+	.
л <i>Solorina saccata</i>	г	.	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	.	г
т <i>Saxifraga oppositifolia</i>	г	г	отм	.	+	.	.	г	отм	.	г	г	г	г	отм	.
т <i>Epilobium davuricum</i>	.	.	+	г	+	+	+	г	.	г	+	+	г	.	.	.
м <i>Brachythecium cirrosum</i>	.	+	+	+	.	.	.	.	.	г	.	.	+	.	+	+
т <i>Pinguicula alpina</i>	+	+	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
т <i>P. vulgaris</i>	.	.	+	+	.	.	+	+	1	.	+	+	+	+	+	+
т <i>Juncus biglumis</i>	.	.	.	.	+	+	г	+	+	+	+	+	+	+	+	+
т <i>Eriophorum brachyantherum</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.
м <i>Stereodon bambergeri</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.
л <i>Solorina spongiosa</i>	.	г	.	г	.	.	.	г	.	г	.	.	.	.	.	.
т <i>Juncus castaneus</i>	.	.	.	.	.	.	.	г	.	г	.	.	.	.	.	.

Характерные виды (х. в.) класса *Carici arctisibiricae–Hylocomietea alaskani* class. prov., пор. *Caricetalia arctisibiricae–lugentis* ord. prov. союза *Dryado octopetalae–Caricion arctisibiricae*

т <i>Carex bigelowii</i> subsp. <i>arctisibirica</i>	+	1	1	1	2	3	2	5	10	5	7	10	10	3	7	7
м <i>Aulacomnium turgidum</i>	10	10	10	10	8	10	10	10	20	20	7	10	10	10	25	25
м <i>Hylocomium splendens</i>	10	10	15	20	6	10	10	10	10	10	7	10	10	5	10	10
м <i>Rhytidium rugosum</i>	+	5	5	5	+	2	+	.	+	+	2	5	10	.	2	+
кк <i>Salix lanata</i>	3	3	5	5	1	2	5	1	1	1	+	+	+	+	+	+
кк <i>S. glauca</i>	+	+	+	+	4	5	5	3	5	5	5	15	15	2	5	5
т <i>Bistorta vivipara</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
т <i>Pedicularis oederi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
т <i>Festuca ovina</i>	+	+	+	+	+	1	1	+	.	+	2	+	+	г	.	г
л <i>Nephroma expallidum</i>	+	+	+	+	+	+	г	.	+	+	+	+	+	.	г	+
л <i>Cladonia pocillum</i>	.	г	+	+	.	г	г	.	г	г	+	+	+	+	+	+
т <i>Luzula arcuata</i>	+	.	+	г	+	.	.	+	+	+	.	.	.	г	.	+
п <i>Ptilidium ciliare</i>	3	+	+	+	2	1	+	2	2	1	.	.	.	+	1	1
л <i>Psoroma hypnorum</i>	г	г	+	г	г	г	г	г	.	г	г	.	г	.	.	.
т <i>Pedicularis lapponica</i>	+	+	+	.	+	+	+	г	г	г	.	.	г	.	.	.
м <i>Racomitrium lanuginosum</i>	+	+	+	+	+	+	г	+	+	г	+	+	+	.	.	.

Мониторинговая площадка		M6				M5			M9			M12			M11		
Л	<i>Lobaria linita</i>	г	г	+	.	.	+	г	.	.	.	г	г	г	.	.	.
Т	<i>Stellaria peduncularis</i>	г	.	г	.	.	г	г	г	.	.	+	+	г	.	.	.
М	<i>Tomentypnum nitens</i>	5	10	10	10	1	3	3	3	1	1	.	.	.	.	.	.
Т	<i>Bistorta elliptica</i>	1	1	1	1	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Т	<i>Petasites frigidus</i>	.	.	.	.	+	1	2	г	г	+	+	3	3	.	г	+
Т	<i>Saxifraga hieracifolia</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	г	.	.	.	г	.	.	.
Л	<i>Protopannaria pezizoides</i>	.	.	.	.	.	.	г	.	г	+	г	.	.	г	г	г
Преферентные х. в. класса <i>Loiseleurio procumbentis–Vaccinietae</i> и союза <i>Loiseleurio-Arctostaphylion</i>																	
КЧ	<i>Arctous alpina</i>	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	5	10	10	3	5	3
Л	<i>Flavocetraria nivalis</i>	+	+	1	1	5	5	5	6	2	2	1	+	+	1	1	1
Л	<i>Alectoria ochroleuca</i>	+	1	+	+	+	3	2	+	+	+	.	+	+	1	1	+
Преферентные х. в. класса <i>Oxycocco-Sphagnetes</i> и союза <i>Rubo chamaemori–Dicranion elongati</i>																	
КЧ	<i>Ledum palustre</i> subsp. <i>decumbens</i>	.	+	+	г	7	2	2	2	2	1	1	5	5	3	10	10
М	<i>Dicranum elongatum</i>	5	3	+	+	2	+	+	3	1	+	.	1	1	.	.	.
Т	<i>Rubus chamaemorus</i>	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	г	г	г	.	+	5
М	<i>Polytrichum strictum</i>	.	.	.	.	+	+	г	.	.	+	.	.	.	.	.	+
КЧ	<i>Andromeda polifolia</i> subsp. <i>pumila</i>	.	.	.	.	.	г	.	.	г	г	.	.	.	.	.	.
Виды, имеющие в восточноевропейских тундрах близкие показатели верности в классах <i>Loiseleurio procumbentis–Vaccinietae</i> , <i>Carici arctisibiricae–Hylocomietae alaskani</i> и <i>Oxycocco-Sphagnetes</i>																	
КК	<i>Betula nana</i>	5	4	3	3	10	10	10	2	+	+	2	3	5	2	2	2
КЧ	<i>Empetrum hermaphroditum</i>	4	5	10	10	7	1	3	10	20	20	5	20	20	10	10	10
КЧ	<i>Vaccinium uliginosum</i> subsp. <i>microphyllum</i>	3	1	10	10	2	5	5	7	5	5	3	1	2	3	5	10
КЧ	<i>V. vitis-idaea</i>	г	г	+	+	1	+	+	3	3	3	7	3	3	2	5	5
Т	<i>Equisetum arvense</i>	.	+	10	10	+	1	10	+	+	5	+	+	+	+	+	1
Л	<i>Cladonia arbuscula</i>	+	+	1	1	5	5	10	5	10	10	10	10	15	20	20	20
Л	<i>C. rangiferina</i>	г	г	1	+	5	5	5	5	10	10	2	10	7	15	15	15
Л	<i>Bryocaulon divergens</i>	2	1	1	1	8	5	3	5	3	3	5	5	3	10	10	5
Л	<i>Alectoria nigricans</i>	+	+	+	+	2	2	2	+	+	+	1	+	+	1	1	+
Л	<i>Bryoria nitidula</i>	1	+	+	+	2	2	+	+	1	+	2	+	+	2	+	+
Л	<i>Cladonia gracilis</i> subsp. <i>elongata</i>	+	+	+	+	+	+	+	1	1	+	+	1	+	1	1	1
Л	<i>Flavocetraria cucullata</i>	+	+	1	1	+	+	+	1	+	+	1	+	+	1	+	+
Л	<i>Peltigera aphthosa</i>	+	1	1	1	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Л	<i>Sphaerophorus globosus</i>	г	г	г	г	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Л	<i>Stereocaulon alpinum</i>	+	+	+	+	+	+	+	г	г	г	г	г	г	г	г	г
Л	<i>Thamnia vermicularis</i>	+	+	+	1	+	1	+	+	+	+	2	+	+	1	1	1
Л	<i>Cetraria islandica</i> subsp. <i>crispiformis</i>	+	+	+	+	+	1	1	1	1	+	+	+	+	3	1	1
Л	<i>Cladonia amaurocraea</i>	г	г	+	+	1	+	+	1	1	+	.	1	+	2	1	+
Л	<i>Ochrolechia androgyna</i>	г	г	.	+	+	+	г	+	+	+	г	г	г	+	+	+
Л	<i>O. frigida</i>	+	+	+	+	+	+	.	+	+	г	г	г	г	+	+	+
Л	<i>Peltigera membranacea</i>	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	.	+	+	.	+	+
Л	<i>Peltigera polydactylon</i>	+	+	+	+	+	+	+	.	.	+	+	+	+	.	г	+
Л	<i>Lecanora epibryon</i>	г	г	+	+	г	г	г	г	.	.	г	.	г	г	.	.
Л	<i>Cladonia chlorophaea</i>	г	г	г	г	.	+	г	.	.	.	+	+	.	.	.	г
Л	<i>Pertusaria bryonantha</i>	.	г	+	г	г	г	.	.	.	.	.	г	.	.	г	+
М	<i>Ditrichum flexicaule</i>	.	1	+	+	.	+	+	.	+	+	+	+	+	.	+	+
Т	<i>Poa alpigena</i>	+	1	+	1	.	+	+	+	+	г	.	.	.	.	.	.
М	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	.	г	+	.	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.
Т	<i>Equisetum pratense</i>	+	+	1	+	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
М	<i>Pleurozium schreberi</i>	.	.	.	+	1	5	5	2	1	1	+	1	1	1	1	2
Л	<i>Cladonia uncialis</i>	.	.	.	г	г	г	г	+	+	+	.	+	+	+	+	+
Л	<i>Peltigera scabrosa</i>	.	.	.	.	+	1	+	+	+	+	г	г	г	+	+	+
П	<i>Sphenobolus minutus</i>	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Л	<i>Cladonia stellaris</i>	.	.	.	.	+	1	3	+	+	г	г	г	.	.	+	г
Т	<i>Luzula multiflora</i> subsp. <i>frigida</i>	г	.	.	.	+	+	+	+	+	г	+	+	г	.	+	г
Т	<i>Calamagrostis lapponica</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	.	5	1	+	5	+	10	10
М	<i>Aulacomnium palustre</i>	.	.	.	.	.	1	1	10	20	20	1	3	1	3	1	5
М	<i>Dicranum majus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	3	3	3	2	2
Прочие виды																	
М	<i>Pohlia nutans</i>	г	г	+	г	.	г	г	.	.	.	.	.	г	.	.	.
М	<i>Dicranum spadiceum</i>	.	1	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Мониторинговая площадка		M6			M5			M9			M12			M11		
T	<i>Silene acaulis</i>	.	r	r	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
M	<i>Orthothecium strictum</i>	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.
M	<i>Stereodon subimponens</i>	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
M	<i>Abietinella abietina</i>	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
T	<i>Poa arctica</i>	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
T	<i>Carex bicolor</i>	.	.	.	.	+	+	r	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Solorina crocea</i>	.	.	.	.	+	r	r	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Cladonia pleurota</i>	.	.	.	.	+	+	r	r	.	.	r	.	.	.	.
T	<i>Pyrola grandiflora</i>	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.
T	<i>Bartsia alpina</i>	.	.	.	r	.	r	+	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Cladonia coccifera</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	r	r	.	+
T	<i>Festuca rubra</i>	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	+	.
M	<i>Rhizomnium pseudopunctatum</i>	.	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	.	.	.	.
M	<i>Distichium inclinatum</i>	.	.	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
M	<i>Bryum rutilans</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	1	.	.	.	.	+	.
M	<i>Catoscopium nigrum</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	+	+	.	.	.	.	.
Л	<i>Peltigera leucophlebia</i>	+	.	.	+	.	r	+	r	r	.	.	.	.	.	.
M	<i>Dicranum scoparium</i>	.	.	.	.	.	1	1	.	1	1	.	.	.	.	.
M	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	.	.	.	.	.	.	.	3	3	5	.	.	.	.	+
M	<i>Cinclidium subrotundum</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.
Л	<i>Stereocaulon paschale</i>	.	r	+	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	r	r
M	<i>Dicranella subulata</i>	1	+	.	.	.	+	.	+	1	.	.	.	.	.	r
M	<i>Warnstorfia sarmentosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	3	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Dicranum laevidens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	3	3	.	.	.	.	.
M	<i>Calliergon giganteum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Straminergon stramineum</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Oncophorus wahlenbergii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>O. virens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Polytrichum juniperinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	.
M	<i>Sanionia uncinata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Scorpidium revolvens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Sphagnum squarrosum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Stereodon holmenii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Drepanocladus polygamus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
M	<i>Distichium capillaceum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.
T	<i>Draba norvegica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	r	.	.
Л	<i>Cetraria islandica</i> subsp. <i>islandica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	r	.	.
Л	<i>Megaspora verrucosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	r	.	.	.
M	<i>Bryum</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	1
П	<i>Anthelia juratzkana</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	r	.	.	.	3	1
M	<i>Sphagnum fimbriatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+
M	<i>S. angustifolium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
M	<i>Dicranum acutifolium</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
M	<i>Myurella julacea</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	+
M	<i>Kiaeria glacialis</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.
Л	<i>Peltigera didactyla</i>	.	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	.	.	r	.
M	<i>Meesia uliginosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
M	<i>Dicranum groenlandicum</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.
T	<i>Corallorrhiza trifida</i>	.	.	r	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.
M	<i>Splachnum vasculosum</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Peltigera venosa</i>	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
M	<i>Dichodontium pellucidum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Cladonia crispata</i> s. l.	.	r	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
M	<i>Didymodon rigidulus</i>	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Caloplaca cerina</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Pertusaria dactylina</i>	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Л	<i>Cladonia cornuta</i> subsp. <i>cornuta</i>	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.
П	<i>Gymnomitrium corallioides</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
T	<i>Draba alpina</i>	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.
T	<i>Juncus triglumis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.
T	<i>Sagina intermedia</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.

Мониторинговая площадка	M6	M5	M9	M12	M11
т <i>Pedicularis labradorica</i>				. г . .	
л <i>Stereocaulon rivulorum</i>				. г . .	
т <i>Campanula rotundifolia</i>				. . г .	
м <i>Bryoerythrophyllum recurvirostrum</i>				. . г .	
л <i>Peltigera rufescens</i>				. . г .	
л <i>Pertusaria oculata</i>				. . г .	
л <i>Imadophylla ericetorum</i>					г . . .
т <i>Eriophorum vaginatum</i>					. . . г
м <i>Sphagnum balticum</i>					. . . +
м <i>Pohlia prolifera</i>					. . . г

Примечание. Сокращения: отм – отмирающие особи; здесь и Табл. П2и П3жизненные формы: кк – кустарник, кч – кустарничек, т – трава, м – мох, п – печеночник, л – лишайник.

Таблица П2. Видовой состав и проективное покрытие видов (%) по годам на мониторинговых площадках в кустарничково-лишайниковых тундрах

Мониторинговая площадка	М3			М4			М2		
Координаты с. ш.	68 17 30.7			68 17 24.8			68 17 31.5		
в. д.	54 29 52.7			54 30 13.1			54 29 51.6		
Дата	15.07.1999	16.07.2014	23.07.2020	17.07.1999	15.07.2014	23.07.2020	14.07.1999	26.07.2014	26.07.2020
Проективное покрытие (%), общее	>99	100	100	93	99	100	100	100	100
кустарники	8	15	15	25	30	30	3	1	1
кустарнички	20	30	30	30	30	30	15	20	25
травы	4	5	7	4	5	5	1	10	10
мхи	4	5	5	2	5	5	1	1	3
лишайники	65	65	55	35	40	40	80	80	80
Число видов, общее	53	53	57	55	60	67	29	33	35
кустарники	3	3	3	2	2	2	2	2	2
кустарнички	7	7	7	6	7	8	5	5	5
травы	6	7	6	8	8	9	5	7	6
мхи	7	10	12	7	11	14	5	6	7
лишайники	30	26	29	32	32	34	12	13	15
Дифференцирующая комбинация видов (д. к. в.) асс. <i>Loiseleurio-Diapsietum</i>									
п <i>Gymnomitrium corallioides</i>	3	2	+	.	1	+	.	.	.
м <i>Racomitrium lanuginosum</i>	+	+	+	+	+	+	.	.	.
кч <i>Diapensia lapponica</i>	г	г	г	.	.	г	.	.	.
Д. к. в. субасс. <i>L.-D.salicetosum nummulariae</i> в восточноевропейских тундрах									
л <i>Bryocaulon divergens</i>	10	10	3	10	10	5	+	1	1
л <i>Bryoria nitidula</i>	3	1	+	3	3	1	+	+	.
кч <i>Salix nummularia</i>	г	г	+	+	+	+	.	.	.
т <i>Luzula confusa</i>	г	.	.	г	г	+	.	.	.
м <i>Pogonatum urnigerum</i>	.	.	.	.	.	г	.	.	.
Д. к. в. асс. <i>Cladonietum rangiferino-arbusculae</i>									
л <i>Cladonia arbuscula</i>	20	25	25	10	20	20	40	40	40
л <i>C. rangiferina</i>	20	15	15	8	10	10	30	30	30
Преферентные характерные виды (х. в.) класса <i>Loiseleurio procumbentis-Vaccinieta</i> и союза <i>Loiseleurio-Arctostaphylian</i>									
кч <i>Arctous alpina</i>	+	3	3	3	5	2	+	+	+
л <i>Flavocetraria nivalis</i>	2	2	2	1	+	+	г	г	г
л <i>Alectoria ochroleuca</i>	3	5	5	+	3	3	г	г	г
л <i>Solorina crocea</i>	+	+	+	+	+	+	.	.	.
л <i>Cladonia verticillata</i>	+	+	+	.	.	.	.	.	.
т <i>Hierochloë alpina</i>	.	.	.	1	3	+	.	.	.
м <i>Polytrichum piliferum</i>	.	.	г	+	.	+	.	.	.
л <i>Cetraria aculeata</i>	.	.	.	.	г	г	.	.	.

Х. в. класса *Cariciarctisibiricae-Hylocomieteaalaskanica* class. prov., пор. *Caricetalia arctisibiricae-lugentis* ord. prov. и союза *Dryado octopetalae-Caricion arctisibiricae*

Мониторинговая площадка	М3			М4			М2		
кк <i>Salix glauca</i>	2	4	5	+	+	1	2	+	+
т <i>Carex bigelowii</i> subsp. <i>arctisibirica</i>	1	2	2	+	2	+	1	1	2
м <i>Hylocomium splendens</i>	3	2	2	1	1	1	.	.	г
м <i>Aulacomnium turgidum</i>	1	3	3	1	1	2	+	+	+
п <i>Ptilidium ciliare</i>	+	+	+	+	+	+	г	г	г
т <i>Eriophorum vaginatum</i>	.	г	г	.	.	.	+	1	1
м <i>Rhytidium rugosum</i>	.	+	+	.	1	+	.	.	.
т <i>Pedicularis lapponica</i>	г	г	.	.	г	г	.	.	.
кк <i>Salix lanata</i>	г	г	г	.	.	.	.	.	.
л <i>Psoroma hypnorum</i>	г	.	.	г	.	г	.	.	.
кч <i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	.
л <i>Nephroma expallidum</i>	г	.	.	.	.	.	.	.	.
Преперентные х. в. класса <i>Oxycocco-Sphagnetes</i> и союза <i>Rubro chamaemori-Dicranion elongati</i>									
кч <i>Ledum palustre</i> subsp. <i>decumbens</i>	2	15	15	7	10	10	4	5	5
т <i>Rubus chamaemorus</i>	+	+	+	1	+	+	+	5	5
м <i>Dicranum elongatum</i>	+	1	1	+	.	1	1	1	3
м <i>Polytrichum strictum</i>	+	+	+	.	+	.	+	г	+
Виды, имеющие в восточноевропейских тундрах близкие показатели верности в классах <i>Loiseleurio procumbentis-Vaccinietea</i> , <i>Carici arctisibiricae-Hylocomietea alaskani</i> и <i>Oxycocco-Sphagnetes</i>									
кк <i>Betula nana</i>	6	10	10	25	30	30	1	1	1
кч <i>Empetrum hermaphroditum</i>	12	7	7	20	10	10	7	10	12
кч <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	5	2	2	1	+	+	3	+	+
кч <i>V. uliginosum</i> subsp. <i>microphyllum</i>	+	2	2	1	+	5	+	5	5
т <i>Calamagrostis lapponica</i>	2	3	5	+	+	1	+	+	+
т <i>Equisetum arvense</i>	.	+	+	+	+	2	+	1	+
л <i>Alectoria nigricans</i>	2	1	1	3	3	3	+	+	+
л <i>Cetraria islandica</i> subsp. <i>crispiformis</i>	+	1	+	3	1	+	+	+	+
л <i>Cladonia gracilis</i> subsp. <i>elongata</i>	+	1	+	+	+	+	+	+	+
л <i>C. amaurocraea</i>	+	1	+	2	1	+	.	+	+
л <i>C. stellaris</i>	2	2	2	+	+	+	5	3	2
л <i>Flavocetraria cucullata</i>	+	+	+	1	+	+	+	+	+
л <i>Thamnolia vermicularis</i>	+	+	+	1	+	+	1	+	+
л <i>Peltigera aphthosa</i>	1	1	1	+	+	+	.	.	+
л <i>P. scabrosa</i>	+	+	+	+	+	г	.	.	+
л <i>Sphaerophorus globosus</i>	+	+	+	+	+	+	.	.	г
т <i>Festuca ovina</i>	г	г	+	+	+	+	.	.	.
л <i>Cladonia coccifera</i>	г	г	г	г	г	+	.	.	.
л <i>C. uncialis</i>	г	г	г	г	г	г	.	.	.
л <i>Ochrolechia androgyna</i>	+	+	г	г	г	г	.	.	.
л <i>Stereocaulon alpinum</i>	г	.	г	+	+	г	.	.	.
л <i>Peltigera polydactylon</i>	+	+	+	+	+	+	.	.	.
л <i>Ochrolechia frigida</i>	г	.	г	г	г	г	.	.	.
л <i>Peltigera membranacea</i>	.	г	г	+	+	+	.	.	.
м <i>Pleurozium schreberi</i>	.	.	+	+	+	+	.	+	+
п <i>Sphenolobus minutus</i>	.	+	+	.	.	.	+	+	+
Прочие виды									
л <i>Baeomyces carneus</i>	г	.	.	+	+	+	.	.	.
л <i>Peltigera didactyla</i>	г	.	.	г	г	г	.	.	.
л <i>P. malacea</i>	.	.	.	+	+	г	.	.	.
л <i>Stereocaulon glareosum</i>	.	.	.	г	г	г	.	.	.
м <i>Dicranum scoparium</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	.
м <i>Ditrichum flexicaule</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	.
м <i>Stereodon bambergeri</i>	.	.	.	.	г	+	.	.	.
т <i>Carex rariflora</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	1
л <i>Peltigera leucophlebia</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.
м <i>Polytrichum hyperboreum</i>	.	.	+	.	.	+	.	.	.
т <i>Pedicularis labradorica</i>	.	.	.	.	.	.	.	г	.
л <i>Cladonia crispata</i> s. l.	г	.	г	г	.	.	.	.	.
л <i>C. subfurcata</i>	.	г	г	.	.	.	.	.	.

Мониторинговая площадка	М3			М4			М2		
л <i>C. pleurota</i>	.	г	.	.	г	.	.	.	.
л <i>C. chlorophaea</i>	.	.	г	.	г	+	.	.	г
п <i>Anthelia juratzkana</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.
л <i>Pertusaria bryontha</i>	г	.	.	г	.	.	.	.	.
л <i>P. dactylina</i>	.	.	г	.	.	.	.	.	.
л <i>P. oculata</i>	.	.	.	г	.	г	.	.	.
т <i>Poa alpigena</i>	.	.	.	г	.	г	.	.	.
л <i>Lobaria linita</i>	.	.	.	.	г	.	.	.	.
л <i>Baeomyces placophyllus</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.
л <i>Pertusaria panyrga</i>	.	.	.	.	.	г	.	.	.

Таблица ПЗ. Видовой состав и проективное покрытие видов (%) по годам на мониторинговых площадках в заболоченных сообществах

Мониторинговая площадка				М10			М8			М7				М1		
Координаты с. ш.				68 17 37.2			68 17 38.6			68 17 38.5				68 17 33.9		
в. д.				54 30 44.0			54 30 14.6			54 29 59.8				54 29 46.9		
Дата				26.07.1999	18.07.2014	24.07.2020	25.07.1999	17.07.2014	25.07.2020	25.07.1999	17.07.2014	02.08.2017	23.07.2020	14.07.1999	26.07.2014	25.07.2020
Проективное покрытие (%), общее				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
кустарники				10	10	10	3	3	5	1	1	1	2	1	1	2
кустарнички				25	25	25	30	30	30	30	30	35	45	40	40	40
травы				8	10	13	10	35	30	40	60	60	45	30	45	60
мхи				30	35	40	30	30	30	55	55	55	55	50	50	60
лишайники				50	50	45	60	50	50	20	15	10	10	15	15	15
Число видов, общее				39	47	47	39	43	47	45	45	47	54	35	39	45
кустарники				1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	2	1	1
кустарнички				5	5	5	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6
травы				5	5	4	5	7	5	7	6	4	6	3	6	6
мхи				10	16	18	8	11	13	12	14	16	18	9	11	16
лишайники				18	20	19	18	17	21	19	17	19	21	15	15	16
Дифференцирующая комбинация видов (д. к. в.) асс. <i>Pleurozio schreberi–Eriophoretum vaginati</i>																
М	<i>Pleurozium schreberi</i>			1	1	1	+	+	+	+	+	1	1	+	+	+
М	<i>Aulacomnium palustre</i>			10	5	1	7	10	10	20	15	5	5	.	.	+
М	<i>Polytrichum jensenii</i>			+	+	+	3	+	+	1	+	+	+	.	.	+
Т	<i>Eriophorum vaginatum</i>			.	.	.	+	1	1	10	10	15	15	10	20	30
Д. к. в. субасс. <i>L.-D.shagnetosum lenenses</i>																
М	<i>Aulacomnium turgidum C.a.-H.a.</i>			+	2	2	+	2	2	5	2	3	3	10	10	10
Т	<i>Carex bigelowii</i> subsp. <i>arctisibirica C.a.-H.a.</i>			.	+	.	+	5	2	+	+	+	+	.	+	+
М	<i>Sphagnum lenense O.-S.</i>			.	1	2	.	.	.	.	.	5	5	5	5	5
Т	<i>Carex rariflora</i>			.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	5	1
Преферентные характерные виды (х. в.) класса <i>Oxycocco-Sphagnetea</i> и союза <i>Oxycocco microcarpi–Empetrium hermaphroditi</i>																
КЧ	<i>Ledum palustre</i> subsp. <i>decumbens</i>			10	10	10	15	20	20	15	15	5	7	8	10	10
М	<i>Sphagnum russowii</i>			.	2	2	.	2	2	10	10	10	10	.	.	5
М	<i>S. aongstroemii</i>			.	1	1	.	+	1	.	+	1	3	.	1	2
КЧ	<i>Andromeda polifolia</i> subsp. <i>pumila</i>			.	.	.	г	г	г	.	.	.	г	5	+	+
М	<i>Polytrichum strictum</i>			.	.	+	.	+	+	1	+	+	+	.	.	.
Т	<i>Pinguicula villosa</i>			.	.	.	.	г	.	г	.	.	.	.	г	г
Преферентных. в. союза <i>Rubochamaemori–Dicranionelongati</i>																
Т	<i>Rubus chamaemorus</i>			7	10	10	7	25	25	30	50	45	30	20	20	30
М	<i>Dicranum elongatum</i>			+	+	+	+	.	+	2	1	1	1	.	г	+
Х. в. класса <i>Cariciarctisibiricae–Hylocomieteaalaskanica</i> class. prov., пор. <i>Caricetalia arctisibiricae-lugentis</i> ord. prov. исоюза <i>Dryado octopetalae–Caricion arctisibiricae</i>																
М	<i>Hylocomium splendens</i>			1	5	5	+	+	+	+	1	1	1	+	1	+
КК	<i>Salix glauca</i>			.	.	.	2	3	5	+	+	+	+	+	.	.
М	<i>Rhytidium rugosum</i>			.	.	г	.	.	.	2	2	2	2	.	.	.
Т	<i>Pedicularis lapponica</i>			.	.	.	г	г	.	+	+	.	г	.	.	.
Т	<i>Luzula arcuata</i>			.	.	.	.	.	.	г	г	г	г	.	.	.

Мониторинговая площадка		M10			M8			M7				M1		
л	<i>Nephroma expallidum</i>	.	.	.	.	.	.	.	г	+	г	.	.	.
Константные виды синтаксонов														
м	<i>Sphagnum balticum</i>	15	20	20	15	15	15	10	20	20	20	30	30	40
Преферентные х. в. класса <i>Loiseleurio procumbentis–Vaccinieta</i> и союза <i>Loiseleurio-Arctostaphylon</i>														
кч	<i>Arctous alpina</i>	2	1	1	+	+	+	1	+	+	+	г	г	г
л	<i>Flavocetraria nivalis</i>	3	5	5	г	г	г	.	г	+	+	.	г	г
л	<i>Alectoria ochroleuca</i>	.	+	+	г	г	г	.	.	.	.	.	.	.
т	<i>Hierochloë alpina</i>	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
м	<i>Polytrichum piliferum</i>	г	г	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Виды, имеющие в восточноевропейских тундрах близкие показатели верности в классах <i>Loiseleurio procumbentis–Vaccinieta</i> , <i>Carici arctisibiricae–Hylocomieta alaskani</i> и <i>Oxycocco-Sphagneteta</i>														
кк	<i>Betula nana</i>	10	10	10	1	+	+	+	+	1	2	1	1	2
кч	<i>Empetrum hermaphroditum</i>	10	10	10	3	1	2	15	15	20	25	20	20	20
кч	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2	2	2	2	2	2	+	+	10	10	3	10	10
кч	<i>V. uliginosum</i> subsp. <i>microphyllum</i>	2	2	3	10	7	7	1	+	+	5	1	+	1
л	<i>Cladonia arbuscula</i>	10	15	15	25	30	30	3	5	3	3	10	10	10
л	<i>C. rangiferina</i>	10	15	15	25	15	20	5	5	3	3	5	5	5
л	<i>C. gracilis</i> subsp. <i>elongata</i>	3	3	1	1	1	1	2	1	+	+	+	+	+
л	<i>C. amaurocraea</i>	3	3	1	1	1	+	3	1	1	1	+	+	+
л	<i>Cetraria islandica</i> subsp. <i>crispiformis</i>	3	3	2	5	2	2	3	2	+	+	+	+	+
л	<i>Flavocetraria cucullata</i>	1	1	1	1	+	+	+	+	1	1	+	+	+
л	<i>Thamnolia vermicularis</i>	1	+	+	1	+	+	2	1	1	1	1	+	+
л	<i>Peltigera scabrosa</i>	г	г	.	+	+	+	+	+	+	+	1	1	1
л	<i>Bryocaulon divergens</i>	4	3	1	+	1	+	+	1	+	+	+	.	.
п	<i>Sphenolobus minutus</i>	+	+	+	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+
м	<i>Dicranum laevidens</i>	1	+	5	3	2	2	.	.	.	.	3	+	+
л	<i>Cladonia uncialis</i>	3	1	1	+	.	+	г	.	.	г	.	.	.
л	<i>C. stellaris</i>	+	+	+	г	г	+	.	.	.	.	.	+	+
л	<i>Bryoria nitidula</i>	+	+	+	г	.	г	.	.	+	+	.	.	.
л	<i>Alectoria nigricans</i>	2	+	+	г	г	г	.	.	.	.	.	г	.
т	<i>Calamagrostis lapponica</i>	+	+	2	1	5	2	.	.	.	.	.	.	.
л	<i>Sphaerophorus globosus</i>	+	.	+	г	.	г	г	.	.	.	.	.	.
л	<i>Peltigera aphthosa</i>	.	.	.	+	+	+	1	1	1	1	1	+	1
л	<i>P. membranacea</i>	.	.	.	.	+	+	+	1	1	1	+	+	+
л	<i>Nephroma arcticum</i>	.	.	.	.	г	г	.	+	+	+	.	г	г
Прочие виды														
т	<i>Carex rotundata</i>	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
л	<i>Cladonia coccifera</i>	г	г	г	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
л	<i>C. squamosa</i>	г	г	г	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
м	<i>Straminergon stramineum</i>	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
л	<i>Imadophylla ericetorum</i>	.	г	г	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
м	<i>Dicranum majus</i>	.	.	.	.	1	1	.	.	+	+	.	.	.
т	<i>Equisetum arvense</i>	.	.	.	.	г	1	.	.	.	.	.	.	.
м	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	.	1	1	.	.	+	5	5	5	5	.	.	+
кк	<i>Salix lanata</i>	.	.	.	.	.	.	.	г	+	+	.	.	.
т	<i>Luzula wahlenbergii</i>	.	.	.	.	.	.	г	г	.	г	.	.	.
л	<i>Stereocaulon alpinum</i>	.	.	.	.	.	.	г	г	+	.	.	.	.
м	<i>Dicranum groenlandicum</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	.	.	.
л	<i>Peltigera leucophlebia</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	.	г	.	.	.
л	<i>Omphalina umbellifera</i>	.	.	.	.	.	г	.	.	г	г	.	.	.
л	<i>Cladonia crispata</i> s. l.	.	.	.	.	.	.	г	.	+	.	.	.	.
м	<i>Polytrichum hyperboreum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2	+	+
л	<i>Cladonia cornuta</i> subsp. <i>cornuta</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	г	.	г	г
п	<i>Ptilidium ciliare</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+
м	<i>Sphagnum capillifolium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1
т	<i>Pedicularis labradorica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	г	г
л	<i>Cladonia pleurota</i>	г	г	.	.	.	.	г	.	.	.	г	.	.
л	<i>Ochrolechia androgyna</i>	.	+	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
л	<i>Peltigera polydactylon</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	+
л	<i>Dactylina arctica</i>	.	.	.	г	.	.	.	.	.	г	.	.	.
л	<i>Ochrolechia frigida</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	г	.	.

Мониторинговая площадка		M10			M8			M7			M1		
л	<i>Peltigera malacea</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
т	<i>Poa alpigena</i>	г	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
м	<i>Pohlia nutans</i>	.	г	г	.	.	.	.	.	.	.	.	.
м	<i>Sphagnum squarrosum</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
л	<i>Ochrolechia inaequatula</i>	.	.	.	.	.	г	.	.	.	.	.	.
л	<i>Cladonia subfurcata</i>	.	.	.	.	г	.	.	.	.	.	.	.
л	<i>C. chlorophaea</i>	.	.	.	.	.	.	.	г	.	.	.	.
л	<i>C. subulata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	г	.	.
л	<i>C. bellidiflora</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	г	.	.
л	<i>C. cyanipes</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	г	.

Таблица П4. Пределы и среднее значение СТС (см) на разных элементах нанорельефа на площадках с зональными редкоивовыми осоково-кустарничково-моховыми тундрами в динамике

Год обследования	1999					2014					2020				
№ площадки	M6	M5	M9	M11	M12	M6	M5	M9	M11	M12	M6	M5	M9	M11	M12
Дата	24.07.99	25.07.99	26.07.99	27.07.99	16.07.00	13.07.14	14.07.14	18.07.14	19.07.14	19.07.14	22.07.20	22.07.20	25.07.20	24.07.20	24.07.20
Ровные участки дернины с <i>Dryas</i>	<u>61-67</u> 63	–	–	–	–	<u>88-89</u> 89	–	–	–	–	<u>104-106</u> 105	–	–	–	–
Валики	–	<u>24-38</u> 29	<u>25-49</u> 39	<u>26-52</u> 40	–	–	<u>22-30</u> 27	<u>25-33</u> 28	<u>23-41</u> 29	<u>20-29</u> 24	–	–	<u>80-101</u> 92	<u>77-101</u> 89	<u>106-111</u> 108
Ложбинки с мхами и <i>Salix</i> spp.	<u>22-25</u> 23	<u>22-32</u> 27	<u>23-48</u> 38	<u>27-30</u> 29	–	<u>22-28</u> 27	<u>26-38</u> 37	<u>19-26</u> 25	<u>23-25</u> 24	<u>17-22</u> 20	<u>70-87</u> 81	<u>99-109</u> 105	<u>25-76</u> 54	<u>33-45</u> 39	<u>37-53</u> 45
Пятна обнаженного суглинка	<u>79-86</u> 82	<u>82-83</u> 82	–	–	<u>92-96</u> 94	>110	–	–	–	>95	>120	–	–	–	<u>103-125</u> 115
Пятна с корочками	–	<u>73-83</u> 78	<u>83-92</u> 88	<u>80-86</u> 83	–	–	>95	>95	>95	–	–	–	<u>80-103</u> 92	<u>90-94</u> 92	–
Пятна с кустистыми кладониями	–	<u>63-72</u> 66	<u>65-78</u> 71	<u>53-71</u> 62	–	–	<u>66-80</u> 71	<u>45-65</u> 54	<u>51-62</u> 58	<u>63-69</u> 66	–	<u>106-115</u> 112	<u>105-115</u> 111	<u>106-110</u> 107	<u>108-111</u> 110

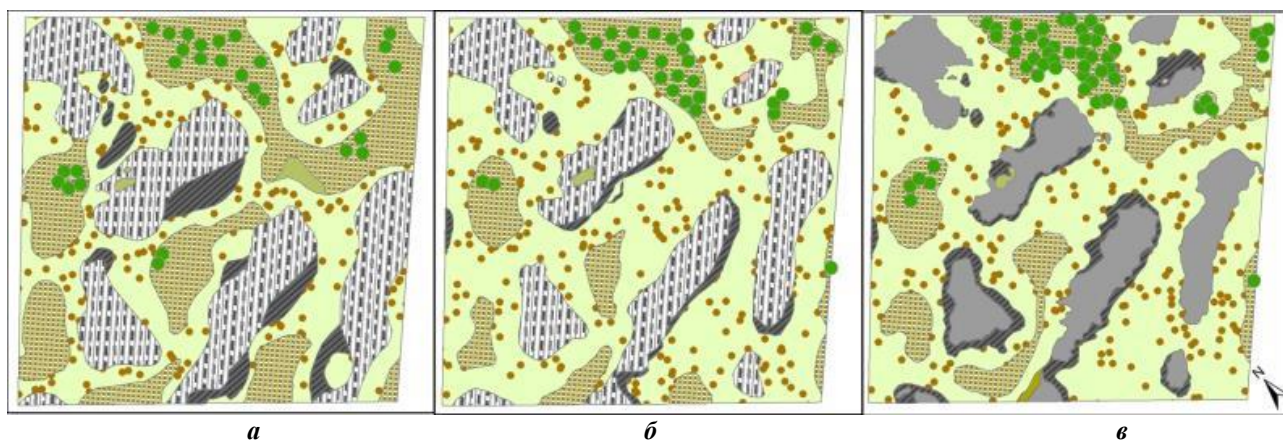
Примечание. Здесь и Табл. П5 и П6 над чертой – пределы, под чертой – среднее значение.

Таблица П5. Пределы и среднее значение СТС (см) на разных элементах нанорельефа на площадках с кустарничково-лишайниковыми тундрами в динамике

Год обследования	1999		2014		2020	
№ площадки	M3	M4	M3	M4	M3	M4
Дата	15.07.99	16.07.14	23.07.20	17.07.99	15.07.14	23.07.20
Кустарничково-лишайниковая дернина	<u>18-22</u> 20	<u>62-76</u> 70	<u>23-57</u> 34	<u>72-79</u> 76	<u>93-104</u> 103	<u>102-115</u> 108
Западины с мхами	–	<u>56-62</u> 59	<u>23-38</u> 29	<u>25-66</u> 54	<u>71-103</u> 87	<u>96-108</u> 108
Пятна	<u>31-62</u> 53	<u>76-83</u> 80	<u>43-89</u> 74	<u>67-83</u> 77	<u>87-111</u> 103	<u>111-113</u> 112

Таблица П6. Пределы и среднее значение СТС (см) на разных элементах нанорельефа на площадках с пушицевыми кочкарниками и сообществами торфяников в динамике

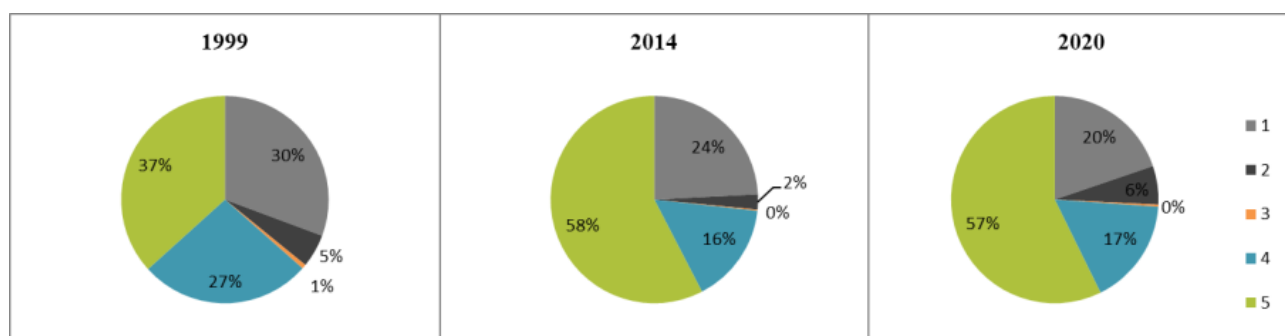
Год обследования	1999			2014			2020		
№ площадки	M7	M8	M10	M7	M8	M10	M7	M8	M10
Дата	25.07.99	25.07.99	26.07.99	17.07.14	17.07.14	18.07.14	23.07.20	25.07.20	24.07.20
Полигоны и участки с кустарничково-лишайниковым покровом	<u>30-49</u> 33	<u>26-30</u> 28	<u>22-31</u> 26	<u>27-40</u> 33	<u>23-29</u> 26	<u>26-29</u> 27	<u>77-86</u> 81	<u>70-93</u> 83	<u>36-41</u> 38
Западины, трещины с мхами и кустарниками, морошково-багульниково-сфагновый покров	<u>20-25</u> 22	<u>20-27</u> 25	<u>20-27</u> 24	<u>20-23</u> 22	<u>20-26</u> 24	<u>23-24</u> 24	<u>35-45</u> 40	<u>37-56</u> 45	<u>25-36</u> 35
Кочка <i>Eriophorum vaginatum</i>	<u>31-34</u> 32	–	–	<u>37-49</u> 42	–	–	<u>67-75</u> 71	<u>43-65</u> 50	–



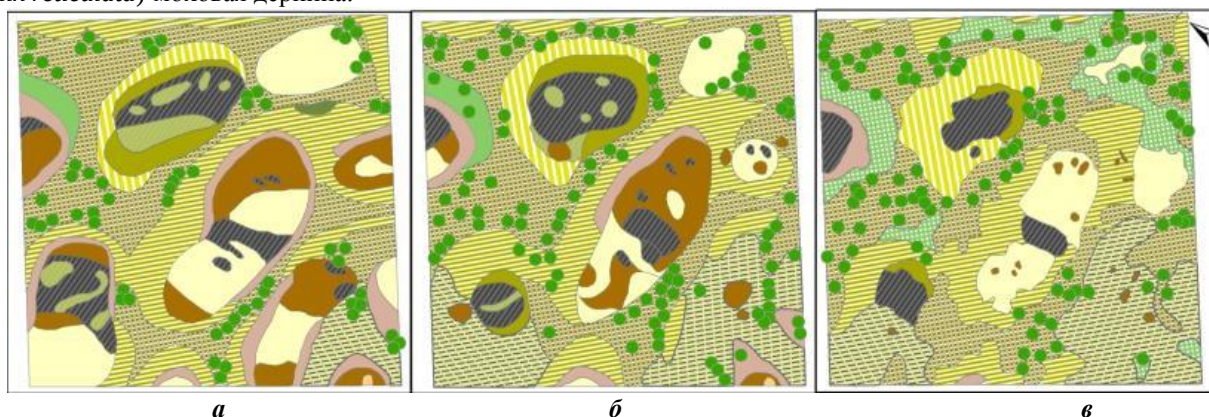
П. Рисунок 1. Горизонтальная структура растительности на площадке М6 в динамике: **а** – 1999 г., **б** – 2014 г., **в** – 2020 г.

Легенда к картам с горизонтальной структурой на П. Рис. 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 14, 15:

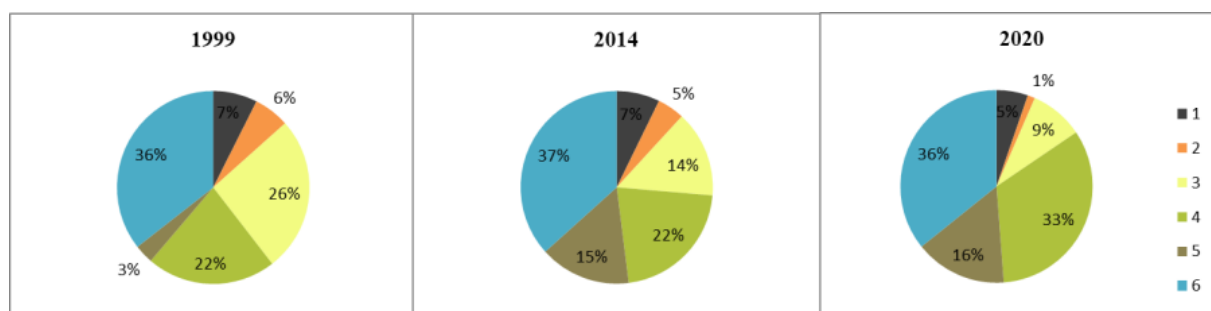
Пятна грунта	
	голые с ровной поверхностью
	голые с ноздреватым нанорельефом
	голые с ноздреватым нанорельефом и камнями
	заросшие криптогамными корочками и мелкими цветковыми
	заросшие кустарничками <i>Salix reticulata</i> и <i>Dryas octopetala</i>
	заросшие мхами (<i>Ptilidium</i> , <i>Hylocomium</i> , <i>Aulacomnium</i> , <i>Tomentypnum</i> , <i>Hypnum</i>)
	заросшие лишайниками, преимущественно темноокрашенными (<i>Bryocaulon divergens</i>)
	заросшие лишайниками, преимущественно светлоокрашенными (кустистыми <i>Cladonia</i>)
	заросшие осокой и травами поверх мхов
	заросшие кустарничками (<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Ledum</i>)
	подушка <i>Silene acaulis</i>
Валики	
	со светлоокрашенными кладониями и кустарничками (<i>Empetrum</i> , <i>Vaccinium</i> , <i>Arctous</i>), с <i>Betula nana</i>
	кустарничково-осоково-моховые, с <i>Salix hastata</i>
	кустарничково-лишайниковая микрогруппировка на стенках валика и подошве
Ложбинки / западинки / трещины	
	сырые, с водой
	с гигрофильными мхами (<i>Sphagnum</i> , <i>Aulacomnium palustre</i>), заболоченные
	с мхами, перекрытыми кустарниками (<i>Salix</i> , <i>Betula</i>) и кустарничками (<i>Ledum</i> , <i>Vaccinium</i>)
	травяно (осоково)-моховые микрогруппировки
	кустарнички (<i>Empetrum</i> , <i>Arctous</i> , <i>Vaccinium</i>) в молодых трещинках
	кустарничково-зеленомошные микрогруппировки
	кустарничково-морошково-моховые микрогруппировки
	кустарничково-лишайниковые с <i>Betula nana</i>
Ровные участки дернины	
	травяно (морошково, осоково)-кустарничково-лишайниковая
	осоково-дриадово-моховая
	кустарничково-лишайниковая с <i>Betula nana</i> (стланик)
	кустарничково-морошково-моховая
	/ ивы <i>Salix glauca</i> и <i>S. lanata</i>
	кочки <i>Eriophorum vaginatum</i>
	отмершие кочки <i>Eriophorum vaginatum</i>



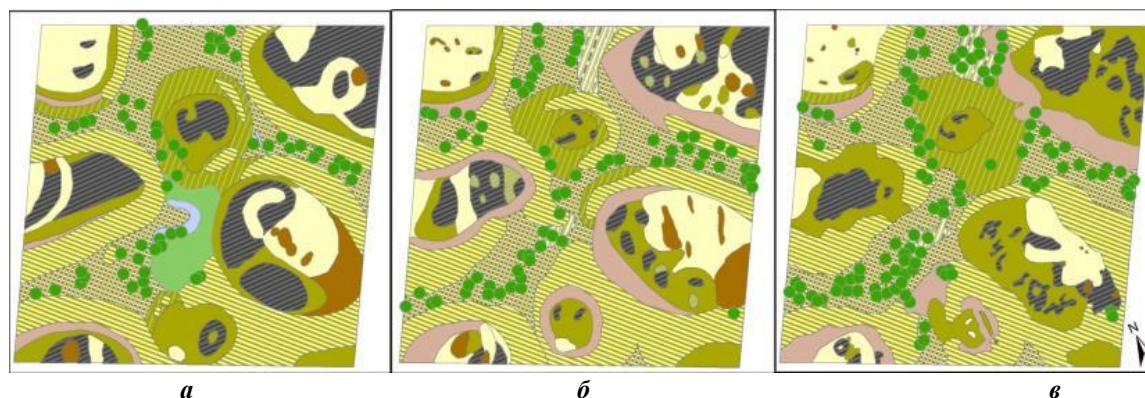
II. Рисунок 2. Соотношение микрогруппировок в растительном покрове площадки М6 в динамике: 1-3 – пятна: 1 – голого суглинка, 2 – с криптогамными корочками и мелкими цветковыми, 3 – заросшие мхами и кустарничками; 4 – западины моховые и ивово-моховые; 5 – кустарничково (*Dryas octopetala* subsp. *subincisa*, *Salix reticulata*)-моховая дернина.



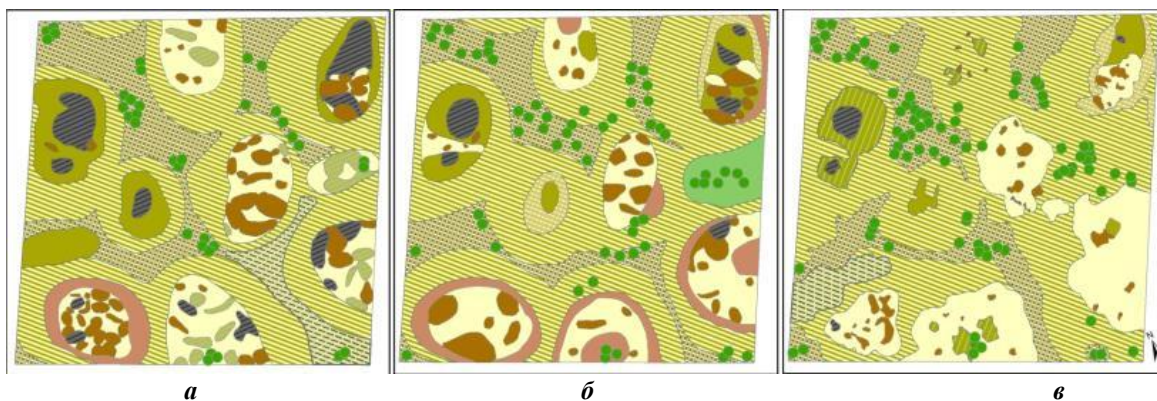
II. Рисунок 3. Горизонтальная структура растительности на площадке М5 в динамике: **а** – 1999 г., **б** – 2014 г., **в** – 2020 г.



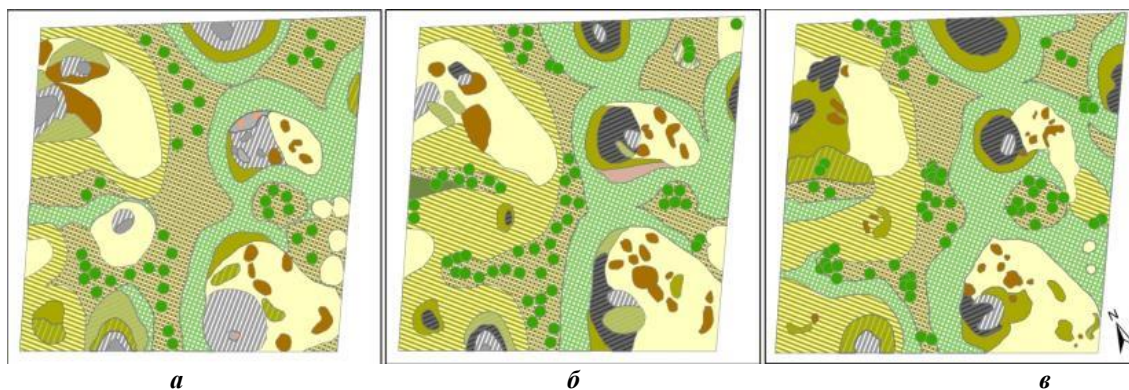
II. Рисунок 4. Соотношение микрогруппировок в растительном покрове площадки М5 в динамике: 1-3 – пятна: 1 – с криптогамными корочками и мелкими цветковыми, 2 – заросшие мхами и кустарничками, 3 – заросшие подушками светло- и темноокрашенных лишайников; 4 – валики преимущественно с кустарничково-лишайниковым покровом; 5 – осоково-кустарничково-лишайниковая дернина на ровных участках; 6 – западинки кустарничково- и ивово-моховые.



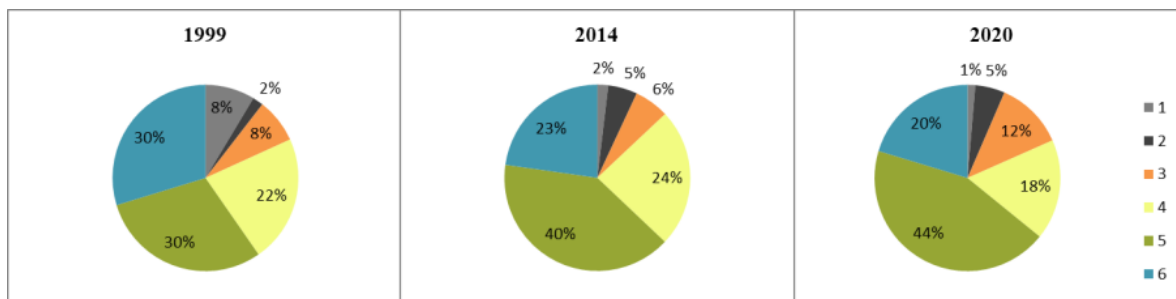
II. Рисунок 5. Горизонтальная структура растительности на площадке М9 в динамике: **а** – 1999 г., **б** – 2014 г., **в** – 2020 г.



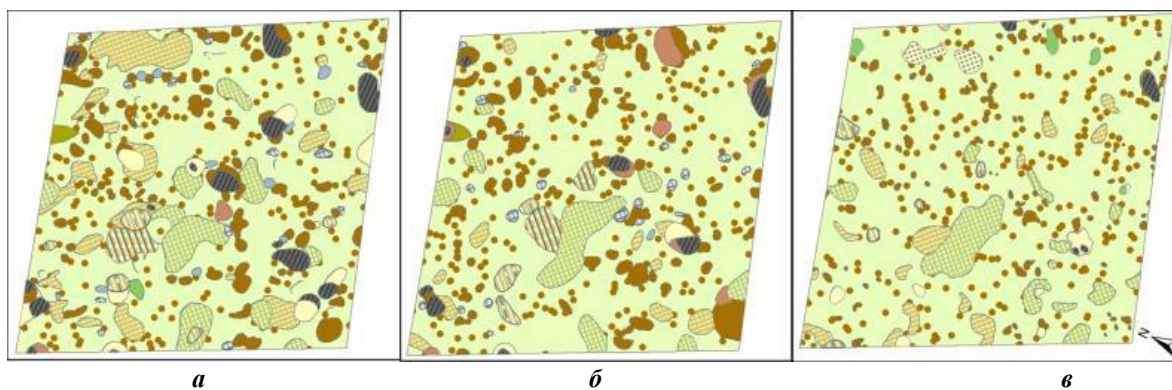
П. Рисунок 6. Горизонтальная структура растительности на площадке М11 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.



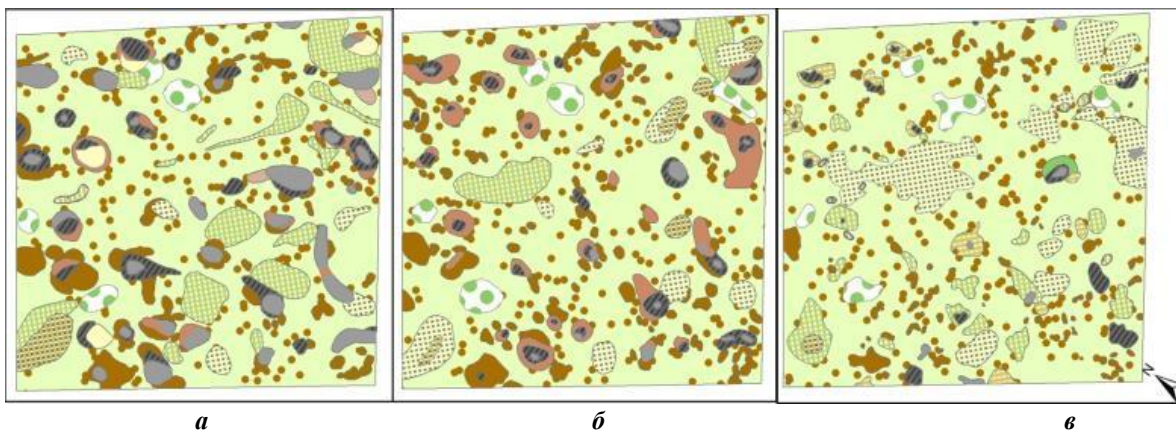
П. Рисунок 7. Горизонтальная структура растительности на площадке М12 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.



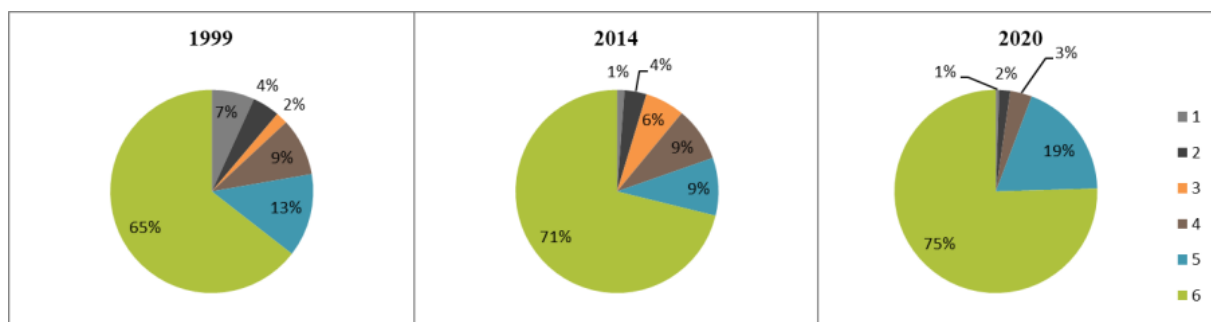
П. Рисунок 8. Соотношение микрогруппировок в растительном покрове площадки М12 в динамике: 1-3 – пятна: 1 – голого суглинка, 2 – с криптогамными корочками и мелкими цветковыми, 3 – заросшие мхами и кустарничками, 4 – заросшие подушками светло- и темноокрашенных лишайников; 5 – валики преимущественно с кустарничково-лишайниковым покровом; 6 – ложбинки кустарничково- и ивово-моховые.



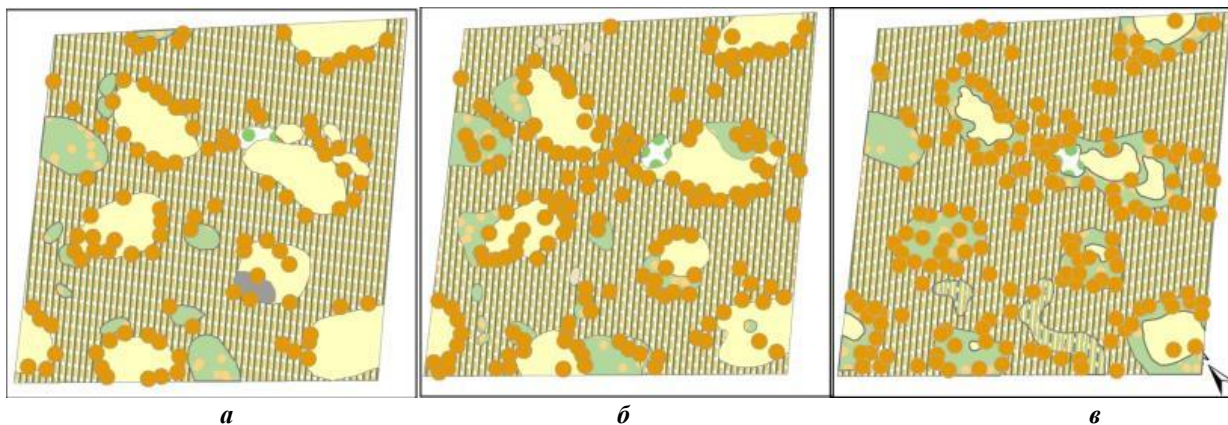
П. Рисунок 9. Горизонтальная структура растительности на площадке М3 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.



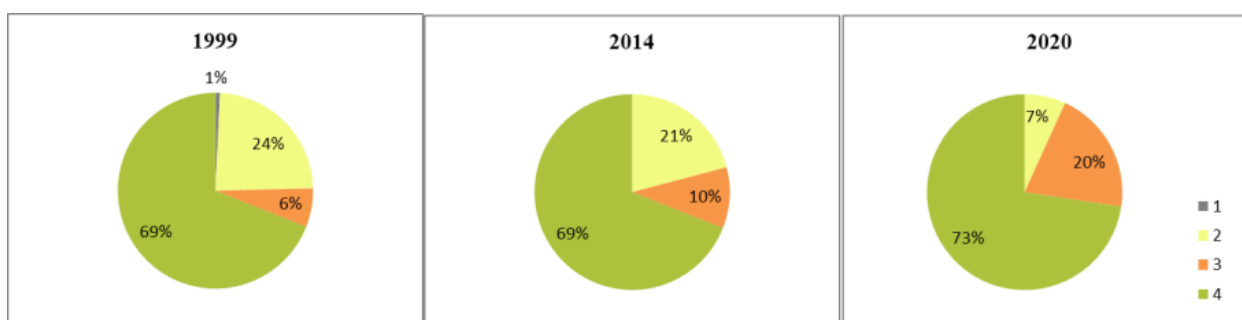
П. Рисунок 10. Горизонтальная структура растительности на площадке М4 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.



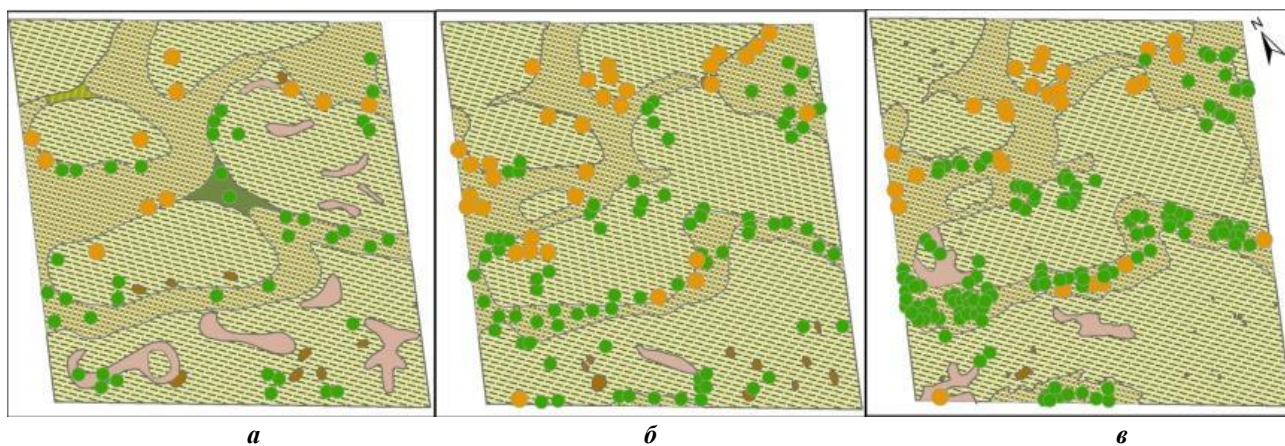
П. Рисунок 11. Соотношение микрогруппировок в растительном покрове площадки М4 в динамике: 1-4 – пятна: 1 – голого суглинка, 2 – с криптогамными корочками (печеночники, накипные лишайники, мелкие мхи), 3 – заросшие мхами и кустарничками, 4 – заросшие коричневоокрашенными лишайниками (*Bryocaulon divergens*); 5 – моховые западинки с ерником; 6 – стланиковоерниковая кустарничково-лишайниковая дернина.



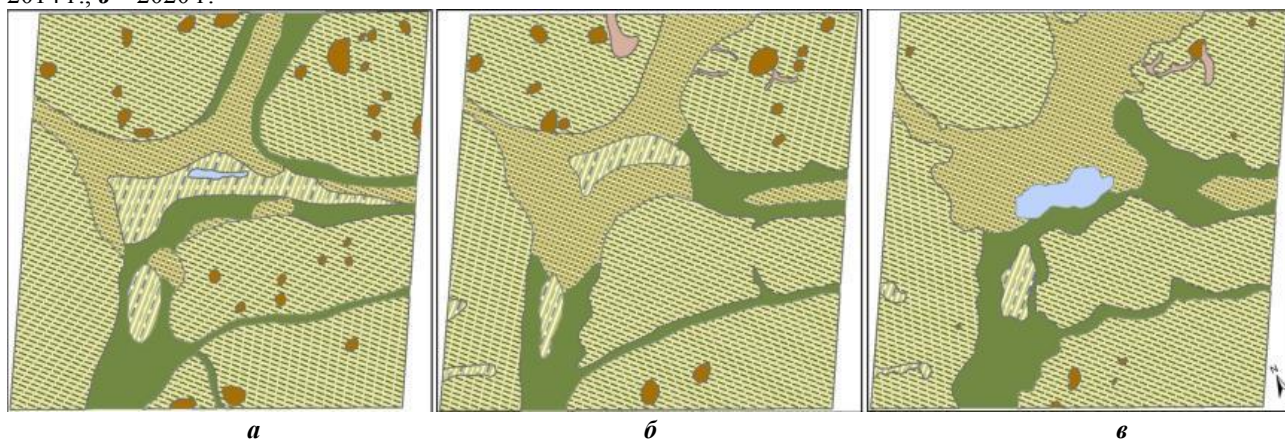
П. Рисунок 12. Горизонтальная структура растительности на площадке М7 в динамике: *а* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.



П. Рисунок 13. Соотношение микрогруппировок в растительном покрове площадки М7 в динамике: 1-3 – пятна: 1 – голого суглинка, 2 – с кустарничково-лишайниковым (преимущественно кладониевым) покровом, 3 – заросшие мхами и кустарничками; 4 – кустарничково-морошково-моховая дернина.



II. Рисунок 14. Горизонтальная структура растительности на площадке М8 в динамике: *a* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.



II. Рисунок 15. Горизонтальная структура растительности на площадке М10 в динамике: *a* – 1999 г., *б* – 2014 г., *в* – 2020 г.

DYNAMICS OF THE ABOVEGROUND PHYTOMASS OF THE OB FLOODPLAIN MEADOWS IN THE AREA OF THE TOMSK CARBON POLYGON (KAIBASOVO)

Shepeleva L.F.^{1,2*}, Kolesnichenko L.G.¹, Pudova M.S.¹

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University, Tomsk

² Sakhalin Research Institute of Agriculture. Yuzhno-Sakhalinsk

* shepelevalf@mail.ru

Citation: Shepeleva L.F., Kolesnichenko L.G., Pudova M.S. 2022. Dynamics of the aboveground phytomass of the Ob floodplain meadows in the area of the Tomsk carbon polygon (Kaibasovo) // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 2. P. 104-119.

DOI: [10.18822/edgcc119054](https://doi.org/10.18822/edgcc119054)

Text of the article in Russian: <https://edgccjournal.org/EDGCC/article/view/119054>

Summary. In this study, conducted over five years, we explored the year-to-year variability of the Middle Ob floodplain meadows in four trial plots at the Kaibasovo site of Tomsk carbon polygon (Krivosheinsky district, Tomsk region). The aboveground phytomass, the composition of dominant species, ecological and biological groups, and the number of species in meadow vegetation were analyzed. Weather conditions and the pattern of meadow flooding over 2017–2021 are presented. The dynamics of the meadow vegetation and the relationship between the productivity and the aboveground mortmass decomposition in hydroclimatic conditions are described. It is shown that dead plant residues tend to accumulate in arid conditions. Decomposition of plant litter is most active in humid and warm spring conditions.

Keywords. Western Siberia, Ob floodplain, meadow vegetation, dynamics, phytomass, mortmass

INTRODUCTION

Herbage phytocenoses have been comprehensively studied, yet they are still being explored primarily as fodder lands [Study and preservation..., 2013; Rothero et al., 2016; Thornley and Cannell, 1997; Altome et al., 2020]. Meadow vegetation is highly responsive to environmental factors [Rabotnov, 1974]; therefore, it can be used as adequate model objects for analysis of various impacts, which is fully exploited by foreign scientists. In particular, experiments are underway to study the impact of extreme climatic factors on vegetation growth [Zhang L. et al., 2021; Hossain et al., 2021] to maintain stable functioning of plant ecosystems.

In recent years, the studies of meadows have involved the analysis of the impact of climatic and hydrological factors on biodiversity [Zelnik and Carni, 2013, Zhang L. et al., 2021; Hossain et al., 2021] and the net primary productivity of meadows to study the global carbon cycle [Moore et al., 2013; Zhang F. et al., 2017; Zhang B. et al., 2019; Quan et al., 2020].

In 2022, Tomsk carbon polygon was launched in the system of Russian carbon polygons to develop and adapt mathematical models of productivity, CO₂ exchange between the ecosystem and the atmosphere, and other carbon balance parameters in the southern taiga (<https://minobrnauki.gov.ru/action/polygony/>). One of the polygon sites (Kaibasovo) is located in a floodplain ecosystem characterized by fertile soils, high productivity, and biodiversity (Shepeleva, 2019). Over 2017–2021, we studied year-to-year changes in the productivity of floodplain meadow phytocenoses in four permanent trial plots (Figs 1–3) to assess the carbon cycle parameters and elucidate the impact of weather conditions and floods on the growth of the aboveground phytomass.

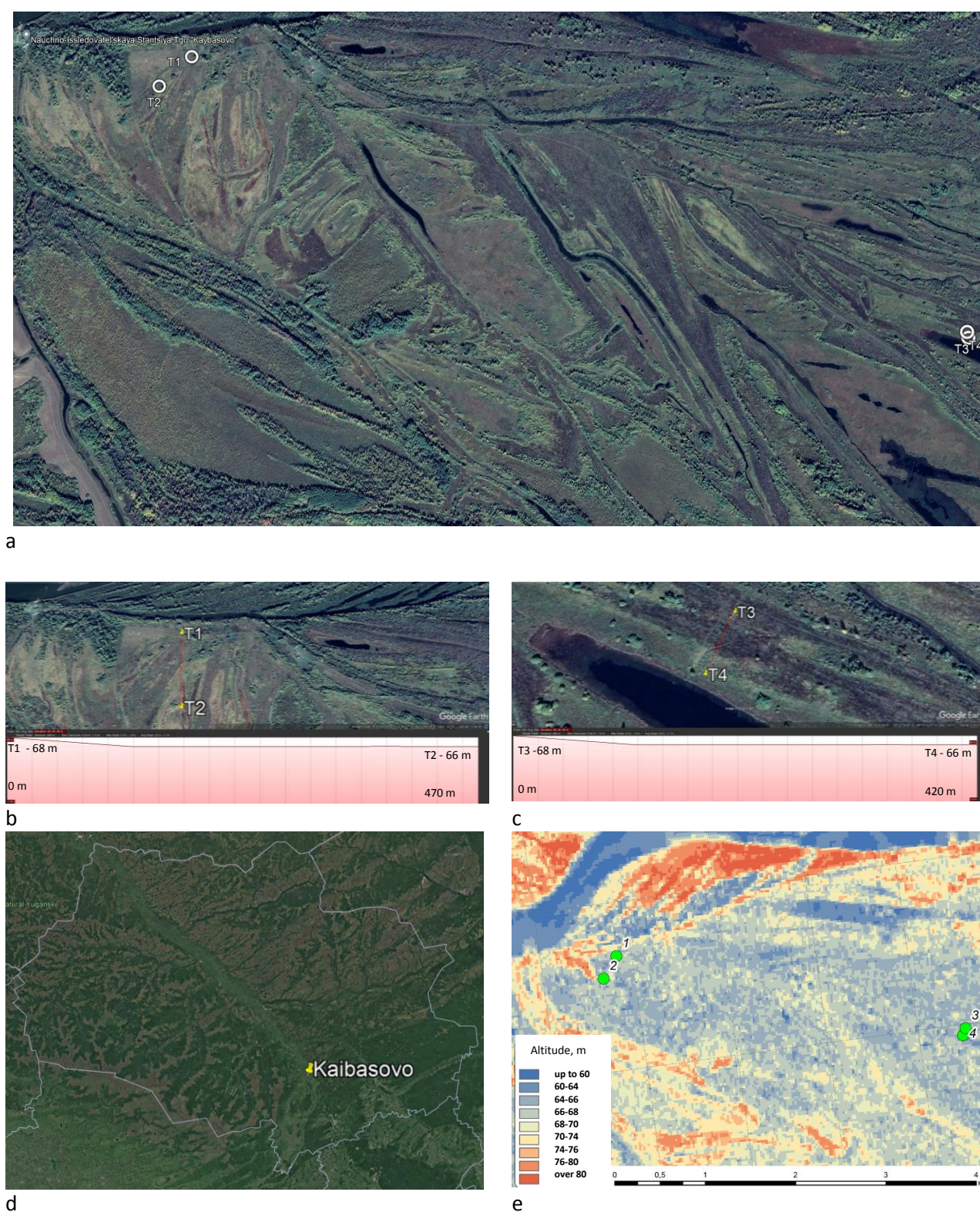


Figure 1 Study area: a – satellite image of the site location (Google Earth), b – location and relief profile in trial plots 1 and 2 (Google Earth), c – location and relief profile in trial plots 3 and 4 (Google Earth), d – location of the trial plots in the Tomsk region, e – height marks in the trial plots (<https://www.eorc.jaxa.jp/>)

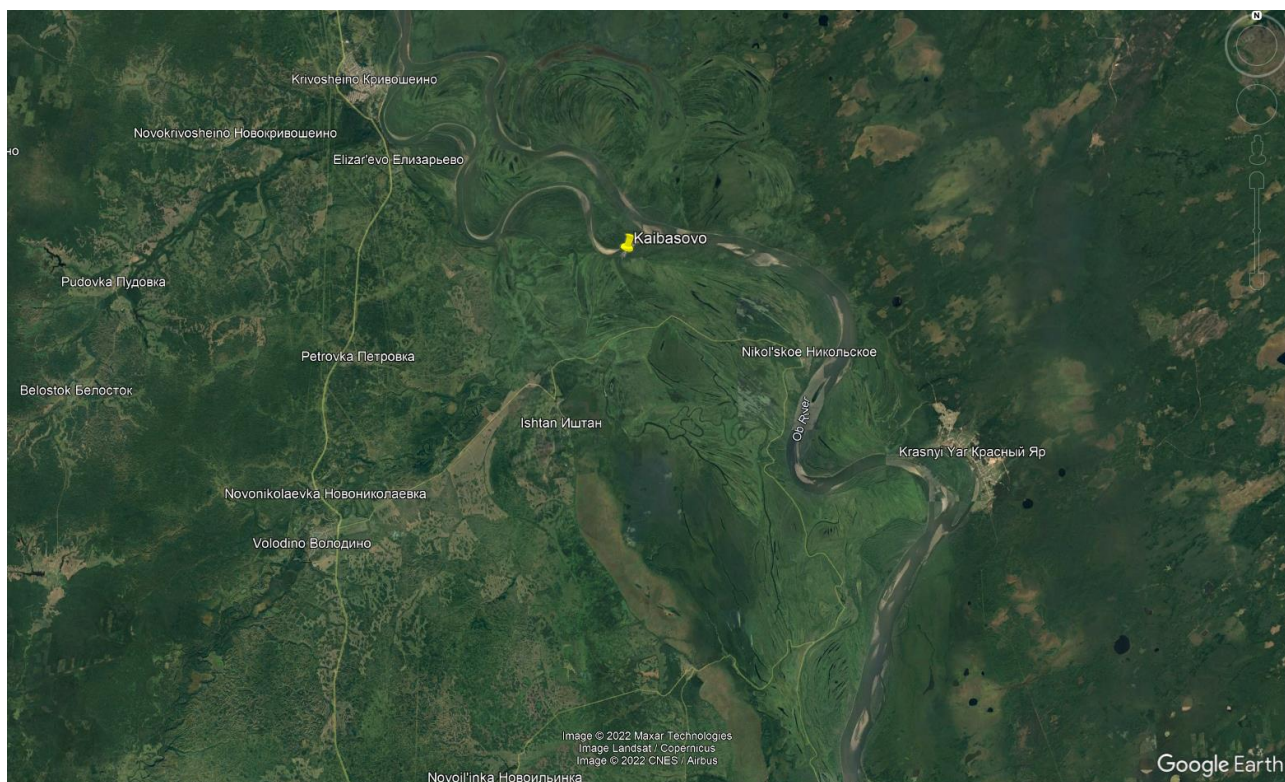


Figure 2 Location of the Kaibasovo site, Tomsk carbon polygon, relative to the settlements in Krivosheinsky district, Tomsk region (Google Earth)



Figure 3 Floodplain phytocenoses in the territory of Tomsk carbon polygon (Photo by A. Nikolenko)

OBJECTS AND METHODS OF RESEARCH

The study area is located in the southern taiga subzone of the forest zone [Shumilova, 1962]. According to the scheme of natural zoning of the Ob floodplain provided by Yu.A. Lvov [1963], this area belongs to the Shegarsky floodplain zone, namely, to its northern part, where the floodplain expands due to the confluence of the Tom river. Permanent trial plots were laid in the central floodplain on high crests (T1, T3) in the altitude range of 68–70 m of the Baltic coordinate system (hereinafter referred to as mBs), and in the areas of the middle (T4) and low (T2) altitude levels in the range of 66–68 mBs (Fig. 1). Due to the fact that the site is embanked from the side of the Ob river bed and by shafts of secondary watercourses, phytocenoses (T2, T4) are flooded along hollows in years of high and medium floods, T3 is flooded only in years of high floods, and T1 is not flooded.

Geobotanical descriptions [Program and method ..., 1974] and selection of the mowed grass to determine the aboveground phytomass were performed in the trial plots during the period of most active growth of vegetation (from June 28 to July 5). The descriptions were made for the area of 100 m², including the total projective cover of the meadow vegetation (TPC), its height, floristic composition, and abundance of plant species. These parameters were used to assess the mass share of individual species in the community, since the study focused on the integral indicator – phytomass. Mowing was performed in the area of 0.25 m² in 4 replicates with extrapolation of each mow per 1 m² and subsequent data averaging. The aboveground dead phytomass (aboveground mortmass, including plant litter) was assessed separately [Biological productivity..., 1988]. The mowed grass was sorted by species in the field to assess its abundance, and then it was air-dried and weighed; the aboveground green phytomass was determined by summing the masses of individual species.

Further, the average indicators of phytocenosis were determined per 1 m² – productivity (g/m²), biodiversity of the trial plot (species composition, dominant species composition, total number of species, composition and ratio of various fractions – biological (grasses, sedges, forbs, legumes) and ecological groups – in the green phytomass. The affinity of plant species to ecological groups was determined based on bioindicative ecological scales developed by L.G. Ramensky [Ramensky et al., 1956; Shepeleva, 2019]. In terms of soil fertility (trophicity), groups were distinguished and named in accordance with the work by Ramensky [Ramensky, 1938]. Hydroecological groups were identified and named according to Yu.A. Lvov et al. [1987]. Species names were taken in compliance with the WFO Plant List (<https://wfoplantlist.org/plant-list>). Statistical analysis was performed using the Statistica 6.0 software. Mortmass data for 2017–2018 were not included in the analysis due to haymaking in August 2017, which could have affected the mortmass of 2018.

For soil type determination, soil profiles from the key plots were taken and described by methods used in soil science.

The studied phytocenoses were as follows (Fig. 1):

T1 Forb-grass meadow is located on a high crest. The soils are alluvial sod-meadow loamy. TPC is about 80%.

T2 Reedgrass-sedge meadow is located in the lower flat part of the slope near the lake. The soils are alluvial-meadow. TPC is about 95%.

T3 Forb (elecampane) meadow is located in alluvial meadow loamy soils; it is of a fallow origin. TPC is 75%.

T4 Forb-soddy-sedge meadow is located on the slope of the crest. The soils are meadow-marsh. TPC is 95%.

The characteristics of the flooding pattern of habitats and assessment of weather conditions were provided based on data from the weather station in the settlement of Molchanovo (<https://meteoinfo.ru/>, <https://rp5.ru>) and the Nikolskoye hydropost (<https://allrivers.info/gauge/ob-nikolskoe>). In addition, the soil temperature was assessed based on data from the Kaibasovo weather station (IMCES SB RAS), and the surface moisture was assessed based on Modis Satellite images and the site <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndmi/>.

RESULTS AND DISCUSSION

Hydroclimatic conditions in 2017–2021

During the 5-year period preceding the study (until 2017), high crests in the Kaibasovsko-Podoba floodplain zone were flooded with hollow waters in 2013 and in 2015. Medium and low altitude areas with height marks in the range of 66–67 mBs were flooded annually.

Maximum flood levels in 2017–2018 and in 2020–2021 were slightly above the average level (Fig. 4), so the floodplain was flooded along hollows and channels; high crests (T3) were not flooded, and the flood was caused by the groundwater rise.

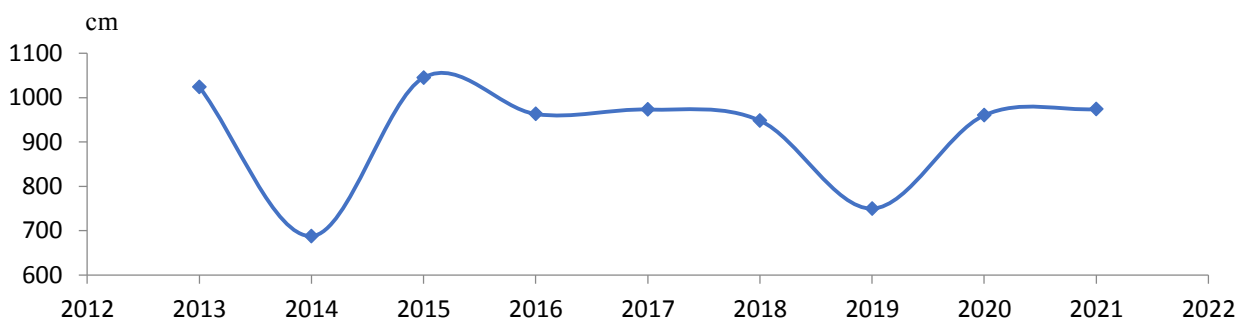


Figure 4 The maximum flood levels above 0 at the gauging station (61.20 m of the Baltic coordinate system) in the Ob river, the vicinity of Nikolskoye settlement, 2013–2019

In 2019, the maximum flood levels in the Ob river were below the long-term average. Only hollow areas were flooded. The trial plots were not affected by the flood that year.

The flood of 2020 was short, and its water level was similar to that in 2018 (Fig. 4). Hollows, low crests, and slopes of medium crests were flooded for about 10 days (T2, T4). The flood of 2021 was longer (Fig. 5) and the trial plots T2 and T4 were flooded for 20–30 days.



Figure 5 Graphs of changes in water levels for 2018–2021 in the riverbed of the Ob, the vicinity of Nikolskoye settlement

The weather in 2017 in Russia was warm and wet [Bulygina et al., 2018]. In Western Siberia, the spring was generally cool and wet; the third decade of April was abnormally hot, the air warmed up to 22–25 °C in the daytime. May and June were rainy and warm; the average monthly temperature was 1–2 °C above the climatic norm. July was very rainy and cool; the air temperature was 0.5–2 °C below the norm. August was warm, and in the second decade the temperature dropped. In September, the average monthly air temperature was 0.5–2 °C below the norm; the precipitation norm was exceeded more than 2-fold. In October, there was a precipitation deficit. According to the calculated G.T. Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC equal to the ratio of the amount of precipitation in mm for a period with average daily temperature above 10 °C to the sum of temperatures for this period reduced 10-fold) [Agricultural....1989] and according to data from the weather station in the settlement of Molchanovo, Tomsk region, the growing season of 2017 is estimated as wet (HTC = 1.6).

The year of 2018 was marked by cold wet spring. In April–May, the monthly precipitation norm was exceeded 1.5–2-fold. In May, the monthly average air temperature was 0.5–4.0 °C below the climatic norm. Warm weather in June was accompanied by heavy precipitation (up to 3 climatic norms in the Tomsk region). In cool dry July, the amount of precipitation was 80% of the climatic norm. The average temperature in August was 0.5–1.5 °C above the climatic norm, the precipitation was within the normal range [Korshunova et al. Weather... 2019]. The autumn period (September, October) was abnormally warm; the monthly average temperature of 2–4 °C exceeded the norm [Korshunova et al. Estimates..., 2019]. The upper soil layers suffered from moisture deficit. The HTC indicated the growing season as generally wet (HTC=1.40).

The growing season of 2019 was dry and very warm; however, spring and early summer (June) were cool and rainy [Arzhanova et al., 2020]. According to our calculations of precipitation indicators compared to 2018 (Table 1), in April, May, June, August, and September, the average monthly precipitation was 1.5–2-fold lower. An exception was the second decade of July with showers, which slightly alleviated the drought. HTC of the growing season was 1.07.

Table 1 Monthly average precipitation in April–September 2018–2021, mm

Year	April	May	June	July	August	September
2017	32,3	54,1	88,2	101,5	52,5	51,3
2018	74,0	81,3	102,7	39,6	79,8	29,4
2019	31,6	26,3	58,3	83,4	31,0	31,3
2020	13,4	82,4	49,9	58,8	38,0	80,9
2021	41,2	28,6	23,5	53,9	85,8	55,1

In 2019, the spring was warmer compared to 2018 (Table 2). Significant differences were evidenced by the temperature in the first decade of May. The average monthly air temperature in May 2019 was 7 °C higher than that in May 2018. The upper soil layers were naturally warmed up by the end of May. The average temperature in June was 3 °C lower. July and August were hotter; the differences in the average monthly air temperatures amounted to 2.5–3 °C. The first two decades of September were also warm.

Table 2 Monthly average temperature in April–September 2018–2021, °C

Year	April	May	June	July	August	September
2017	3,9	9,7	18,6	17,5	16,3	6,9
2018	3,0	3,1	20,0	18,7	15,5	10,2
2019	2,5	10,5	17,0	20,6	18,3	10,6
2020	8,6	14,2	15,5	18,8	17,9	10,1
2021	3,1	11,5	15,1	19,1	16,7	7,7

The growing season of 2020 was wetter than that in 2019. The spring was very warm; in April–May, the average monthly temperature was about 3 °C higher than that in April–May 2019. The summer months were cool (Table 2). The average monthly precipitation indicated the spring months as considerably wet, June–July were moderately wet, August was dry, and September was wet (Table 1). The HTC of the growing season was 1.24, which corresponds to slightly dry weather.

The growing season of 2021 (HTC=1.1), compared to 2020, was notable for cool and rather dry spring. The temperature in May was 3 °C lower. Precipitation on average corresponded to the indicators of 2019; in May, the last decade was the driest. June, compared to 2018–2020, was cooler and abnormally dry. The temperature in the second and third decades was 2–4 °C lower than that in 2020; the amount of precipitation was the lowest within the observation period. July and August were moderately hot and wet, and the third decade of September was characterized by low temperatures (Tables 1–2).

The general assessment of hydroclimatic conditions indicated the period of 2017–2018 as warm, wet, with average water level; 2019 was dry and hot, the floodplain was not flooded; 2020 was warm, slightly arid, with average water level; 2021 was cool and dry, with relatively high and long floods.

Dynamics of meadow vegetation

The average green phytomass of the studied phytocenoses in the Middle Ob was 402.6 g/m² (standard deviation was 164.5 g/m²). The mortmass in some years exceeded green phytomass and averaged 587.4 g/m² (standard deviation was 296.3 g/m²).

In 2017, 14 species were recorded in **the forb-grass meadow (T1)**, *Bromus inermis* Leyss. (25%) and *Poa angustifolia* L. (31%) dominated. Among grasses, *Elymus repens* (L.) Gould and *Dactylis glomerata* L. were found in significant amount (9–10%). The dominating species among forbs were *Cirsium arvense* (L.) Scop. (8%) and *Equisetum arvense* L. (13%). The productivity of the meadow vegetation was 219.9 g/m². Grasses and forbs prevailed among the biological groups; sedges and legumes were also recorded (about 1%) (Table 3).

Table 3 Structural indicators of the aboveground phytomass in the Kaibasovo zone of the Middle Ob floodplain, 2017–2021

Phytocenosis	Year	Above-ground biomass, g/m ²		Number of species	Predominant species		Biogroups, %			
		Plant biomass	Mortmass		Composition	%	Grasses	Forbs	Legumes	Sedges
Forb-grass, T.1 (57°14'40.31"C 84°11'50.37"B)	2017	220,0± 17,6	* no data	14	<i>Bromus inermis</i> , <i>Poa angustifolia</i> , <i>Equisetum arvense</i>	24,8 31,3 13,1	74,1	24,2	0,1	1,6
	2018	320,0± 54,7	no data	14	<i>Dactylis glomerata</i> <i>Poa angustifolia</i> <i>Equisetum arvense</i>	41,4 33,5 11,4	76,0	23,1	+	0,9
	2019	318,9± 23,3	622,6± 165,0	14	<i>Bromus inermis</i> <i>Alopecurus pratensis</i> <i>Poa angustifolia</i> <i>Elymus repens</i> <i>Dactylis glomerata</i>	19,2 18,2 17,8 14,9 11,9	82,0	17,9	0,1	+
	2020	221,4± 11,1	406,4± 54,3	22	<i>Bromus inermis</i> <i>Dactylis glomerata</i> <i>Poa angustifolia</i>	30,9 22,5 34,7	90,1	7,5	1,4	0,1
	2021	223,4± 64,2	440,0± 50,2	18	<i>Poa angustifolia</i> <i>Bromus inermis</i>	51,8 28,4	83,2	10,6	0,3	5,8
Elecampane, T3 (57°13'56.22"C 84°15'28.55"B)	2017	250,0± 64,6	no data	26	<i>Pentanema salicinum</i>	52,5	10,2	89,6	0,2	0,4
	2018	539,5± 27,4	no data	24	<i>Pentanema salicinum</i> <i>Bromus inermis</i> <i>Sanguisorba officinalis</i>	44,8 10,0 12,9	12,1	86,8	1,0	0,1
	2019	292,4± 5,1	613,3± 77,7	29	<i>Pentanema salicinum</i> <i>Thalictrum simplex</i> <i>Sanguisorba officinalis</i>	31,9 28,7 11,1	6,8	91,8	1,0	0,4
	2020	333,7± 28,3	284,1± 20,16	37	<i>Pentanema salicinum</i> <i>Thalictrum simplex</i>	24,4 35,7	8,0	90,6	1,0	0,04
	2021	406,5± 69,3	633,3± 78,95	35	<i>Pentanema salicinum</i> <i>Thalictrum simplex</i> <i>Phleum pratense</i>	28,7 17,6 10,5	23,7	67,6	8,7	0,02

Phytocenosis	Year	Above-ground biomass, g/m ²		Number of species	Predominant species		Biogroups, %			
		Plant biomass	Mortmass		Composition	%	Grasses	Forbs	Legumes	Sedges
Forb-soddy-sedge, T4 (57°13'55.35"C 84°15'28.74"B)	2017	659,1± 118,1	no data	21	<i>Carex cespitosa</i> <i>Phalaroides arundinacea</i>	43,5 10,3	18,1	33,4	3,6	44,9
	2018	573,9± 36,1	no data	27	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Carex cespitosa</i> <i>Phalaroides arundinacea</i>	23,2 9,4 13,8	51,3	30,7	2,8	15,2
	2019	302,9± 44,6	533,4± 49,4	24	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Carex cespitosa</i>	45,1 28,6	49,5	20,2	1,7	28,6
	2020	404,3± 57,0	329,2± 29,0	30	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Carex cespitosa</i> <i>Phalaroides arundinacea</i>	30,3 10,1 15,8	52,6	33,5	2,0	11,9
	2021	402,2± 71,2	786,9± 155,2	27	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Carex cespitosa</i> <i>Phalaroides arundinacea</i>	16,6 27,5 19,0	44,7	25,6	1,9	27,8
Reedgrass-sedge, T2 (57°14'34.61"C 84°11'42.09"B)	2017	438,3± 86,9	no data	11	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Carex atherodes</i>	72,6 19,6	72,6	7,1	0,1	19,6
	2018	500,7± 119,6	no data	17	<i>Carex riparia</i> <i>Carex atherodes</i> , <i>Carex cespitosa</i>	20,4 14,0 41,2	16,9	7,4	0,1	75,6
	2019	389,1± 41,0	864,6± 68,6	10	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Phalaroides arundinacea</i> <i>Carex atherodes</i>	56,9 21 12	77,9	1,4	+	20,7
	2020	667,8± 73,1	389,2± 169,7	9	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Phalaroides arundinacea</i> <i>Carex atherodes</i>	53,6 21,4 22,7	75,0	1,2	+	23,8
	2021	592,5± 163,3	1237,6± 261,85	6	<i>Calamagrostis purpurea</i> <i>Phalaroides arundinacea</i>	75,4 16,8	92,3	3,0	-	4,8
Note: for Table 3 and Table 4, the symbol “+” indicates the presence of species in the amount less than 0.1%, the symbol “-“ indicates the absence of species of a particular group. * “no data” indicates the absence of quantitative data										

In the ecological structure of the phytocenosis, mesophytes and xeromesophytes prevailed (49% and 33%, respectively) in the hydroecological groups; the share of eumesophytes was about 16%. In terms of trophicity, eutrophs and subeutrophs dominated (35%) among the groups; the groups less demanding of soil fertility accounted for 21%. (Table 4).

In 2018, the number of species in the meadow vegetation did not change, *Dactylis glomerata* became dominant (about 40%), the abundance of *Poa angustifolia* and *Cirsium arvense* slightly increased (33.5% and 10.3%, respectively). The vegetation mass increased, the ratio of the biological groups did not change, and the amount of legumes decreased.

Table 4 Ecological structure of meadow phytocenoses at the Kaibasovo-Podoba site in the Middle Ob floodplain, 2017–2021

Фитоценоз	Год	Ecological groups of plants, %										
		moisture						trophicity				
		км	м	эм	гм	сг	аг	мт	пм	сэ	э	пэ
Forb-grass, T1	2017	35,0	48,7	16,3					21,0	9,0	35,0	35,0
	2018	34,8	53,7	11,5					53,3	11,1	34,4	1,2
	2019	18,8	43,9	37,3	0				21,3	8,6	36,0	34,1
	2020	35,6	58,2	6,0	0,2			0,1	26,6	5,2	34,8	33,3
	2021	55,5	39,3	5,0	0,3	+			4,8	5,6	51,8	37,7
Elecampane, T3	2017	63,5	26,8	8,9	0,2	0,6		0,3	73,8	14,7	6,1	5,1
	2018	53,0	29,0	16,0	1,7				73,3	14,5	0,8	11,4
	2019	45,4	41,3	11,9	1,4	0		1,4	82,2	12,1	3,6	0,7
	2020	43,6	47,2	7,2	1,6	0,5		1,0	72,5	17,1	6,7	2,8
	2021	51,6	37,4	9,1	1,5	0,4		6,0	53,9	22,2	13,6	4,2
Forb-soddy-sedge, T4	2017	10,0	14,5	4,6	9,3	60,2	1,4	8,2	31,0	49,1	11,7	
	2018	2,9	21,5	15,6	34,3	25,7		23,2	23,1	24,6	21,6	7,5
	2019	1,1	6,2	10,7	46,5	35,0	0,5	45,1	11,1	38,9	4,9	
	2020	2,6	10,4	13,5	40,0	33,5		30,3	21,8	24,5	15,9	7,5
	2021	2,0	8,1	18,1	21,6	50,1		16,8	13,9	42,5	23,4	3,4
Reedgrass-sedge, T2	2017		1,0	0,2	77,4	1,8	19,6	72,7	5,6	1,5	20,2	
	2018		0	0,7	7,7	57,0	34,6	7,2	2,9	44,6	44,9	0,4
	2019		0,1	0,5	57,4	29,2	12,8	57,0	0,6	8,7	33,7	
	2020		0,4	0	54,2	22,5	22,9	53,6	1,0	1,1	44,3	
	2021			0,9	77,1	17,1	4,8	75,4	2,1	0,9	21,6	

Symbols: moisture content (Lvov et al., 1987): км – xeromesophytes, with optimum development at moisture content varying in the range of 53–63 estimated by the Ramensky moisture scale; м – mesophytes (64–68); эм – eumesophytes (69–76); гм – hydromesophytes (77–88); шг – subhydrophytes (89–95); аг – aerohydrophytes (96–103); аш – aerohydrophytes (104–120). Trophicity (Ramensky, 1938): мт – mesotrophs (6.5–9.5); пм – permesotrophs (9.5–11.5); се – subeutrophs (11.5–13.5); е – eutrophs (13.5–15.5); пе – pereutrophs (15.5–18).

The ratio of hydroecological groups shows an increased amount of mesophytes (53.7%) and xeromesophytes (35%), and a decreased share of more moisture-loving eumesophytes (11%). In terms of trophicity, the content of relatively undemanding permesotrophs increased (53%), which indicates deteriorated environmental conditions.

In 2019, *Bromus inermis*, *Poa angustifolia*, *Elymus repens*, *Alopecurus pratensis* L., and *Dactylis glomerata* dominated in the meadow vegetation (Table 3). In the forb group, *Equisetum arvense* prevailed (8.4%). The average abundance (3–5%) was represented by *Cirsium arvense* and *Geranium pratense* L. The vegetation mass was 318.8 g/m², whereas the total aboveground dry biomass (with mortmass) was about 923 g/m². Grasses (82%) and forbs (17.9%) dominated in the biological groups; sedges and legumes were sporadic.

The ratio of the ecological groups in the meadow vegetation (Table 4) indicates favorable moisture and nutrition conditions. In the hydroecological groups, mesophytes prevailed (44%), the share of xeromesophytes was 18.8%, and that of eumesophytes was about 37%. In terms of trophicity, eutrophs and pereutrophs dominated (about 35%); permesotrophs, less demanding of soil fertility, accounted for 21%.

In 2020, the aboveground phytomass, both live and dead, decreased; the total number of species in the meadow vegetation increased. The dominant structure of the meadow vegetation changed significantly. The share of grasses increased. In 2019, the meadow vegetation was polydominant; in 2020, species from two ecological groups, mesophytes (*Dactylis glomerata*, *Bromus inermis*) and xeromesophytes (*Poa angustifolia*), dominated. The share of *Alopecurus pratensis*, grass from the eumesophyte group, sharply decreased. In this ecological group, *Cirsium arvense* and *Sanguisorba officinalis* L., eumesophytes from the forb group, prevailed.

In general, the amount of forbs decreased, and the meadow vegetation was represented mainly by grasses. The amount of legumes slightly increased. The ratio of the ecological groups in terms of trophicity virtually did not change; in terms of moisture, the amount of xeromesophytes increased, and the mesophyte group became dominant. These changes indicate increased moisture conditions. Under such conditions, the most competitive were grasses, mesophytes, which was earlier reported for other xeromesophilic-mesophilic meadow phytocenoses [Shepeleva, 2019].

In 2021, the aboveground phytomass slightly increased, mainly due to the mortmass, and the number of species decreased. Two species, *Bromus inermis* and *Poa angustifolia*, dominated in the meadow vegetation, and the amount of xeromesophyte *Carex praecox* Schreb. increased significantly. In general, the share of grasses decreased, and that of forbs and sedges increased due to the increased number of eutrophic xeromesophytes (Tables 3, 4). In 2021, the forb-grass (T1) phytocenosis was not flooded, so the aridity and relatively low temperatures in May–June could have affected the growth of plants of this phytocenosis.

T3. Forb (elecampane) meadow. In 2017, 26 species were recorded in the meadow vegetation, and most of them belonged to the forb group, which phytomass attained 89.6%. Sedges (*Carex praecox*) and legumes (*Lathyrus pratensis* L.) were sporadic. The share of grasses (*Poa angustifolia*, *Elymus repens*, *Bromus inermis*, and *Melica nutans* L.) was about 10%. The total aboveground mass was 560.7 g/m²; the share of the dead phytomass exceeded 50%, and the vegetation mass was 250.1 g/m².

The ecological group of permesotrophic xeromesophytes dominated in the community and included the main dominant species – *Pentanema salicinum* (L.) D. Gut. Larr., Santos-Vicente, Anderb., E. Rico & M.M. Mart. Ort. The codominant group included subeutrophic mesophytes, mainly representatives of short-rhizome plants (*Geranium pratense*).

In 2018, the total aboveground phytomass increased (652.4 g/m²), with the share of the dead part being only 17.3%. The weather conditions of that year were apparently more favorable for decomposition of plant residues and for plant growth (green part of 539.6 g/m²), which was probably due to the cool rainy weather in early summer.

The number of species in the meadow vegetation decreased slightly (24 species); the ecological structure did not change; xeromesophytes, permesotrophs, and subeutrophs remained dominant. At the same time, the amount of moisture-loving species from mesophyte and eumesophyte groups increased; the share of these groups was 29% and 16%, respectively, which indicates increased moisture conditions. In the mesophyte group, the amount of *Bromus inermis* increased (up to 10%), and in the eumesophyte group, the amount of *Sanguisorba officinalis* increased (up to 12%). In general, increased moisture conditions increased the aboveground phytomass.

In 2019, the meadow vegetation included 29 species except for the main dominant *Pentanema salicinum*; the dominant species were *Thalictrum simplex* L. and *Sanguisorba officinalis* (Table 3). The share of *Poa angustifolia*, *Tanacetum vulgare* L., *Hieracium umbellatum* L., and *Equisetum arvense* was relatively large (3–5%). Other species were sporadic. The live to dead part ratio of the aboveground phytomass was approximately similar. Forbs dominated in the biological groups, and xeromesophytes and permesotrophic mesophytes prevailed in the ecological groups (Table 4).

In 2020, the aboveground phytomass and the number of species in the meadow vegetation increased. *Pentanema salicinum* and *Thalictrum simplex* remained dominant, and the amount of *Thalictrum simplex* even increased. The ratio of biological groups in the meadow vegetation did not change significantly. The hydroecological structure showed a decreased number of xeromesophytes and eumesophytes, whereas the amount of mesophytes increased. The trophoecological structure did not change. The change in the structure of the meadow vegetation indicated slightly increased moisture conditions.

In 2021, the groundwater level during the flood period increased, and during dry and cool spring, it had a positive effect on the growth of the aboveground mass, and the amount of grasses and legumes. The total number of species and the amount of forbs decreased slightly. *Phleum pratense* L. was also among the dominant species in the meadow vegetation. Xeromesophytes and mesophytes remained dominant ecological groups in terms of moisture; however, the amount of moisture-loving eumesophytes increased, and the share of eutrophs grew among the trophic groups (Tables 3, 4).

The fallow origin was evidenced by the dynamics of the elecampane phytocenosis, when increased moisture conditions in 2020 naturally increased not only the grass (Shepeleva, 2019), but also the forb share in the meadow vegetation. Only two wet years after the extreme drought, the amount of grasses and legumes started to grow, yet the phytocenosis retained its forb status.

T4. Forb-soddy-sedge meadow located on the slope of the crest was not flooded by hollow waters in 2019, it was flooded for about 10 days in 2020, and the flood lasted for 20–30 days in 2021.

In 2017, 21 species were recorded in the meadow vegetation. The total aboveground phytomass attained 659 g/m², plant litter accounted for 51.3%. The dominant species was *Carex cespitosa* L. (43.5%), and *Phalaroides arundinacea* codominated (10.3%). *Calamagrostis purpurea*, *Veronica longifolia* L., *Anemonastrum dichotomum* (L.) Mosyakin, and *Pentanema salicinum* were observed in significant amount (6–9.6%). The representatives of legumes, *Vicia cracca* L. and *Lathyrus pratensis* (3.5%), were found in the meadow vegetation.

The hydroecological structure of the phytocenosis was dominated by subhydrophytes (60%) and mesophytes (14.5%). In the ecological groups, in terms of soil fertility, subeutrophs and permesotrophs prevailed. The predominant biological group was sedges (45%), and the share of grasses accounted for about 18% (Table 3).

In 2018, 27 species were recorded in the meadow vegetation. The total vegetation mass was 583.2 g/m², and the green mass accounted for 574 g/m². The share of grasses increased (51.3%), especially *Calamagrostis purpurea* Trin., while the amount of sedges was observed to decrease. In the ecological structure, three groups of species dominated in terms of moisture – subhydrophytes, hydromesophytes, and mesophytes. Eutrophs, subeutrophs, permesotrophs, and mesoeutrophs were dominant in terms of soil fertility, their ratio being virtually similar. All this indicates favorable conditions for development of this community in 2018.

The year of 2019 was less favorable. The live part of the aboveground phytomass decreased, its dead part increased correspondingly (57.4%), and the number of species decreased slightly. A total of 24 species were recorded, and the live part of the phytomass attained 300 g/m². The main dominants were reedgrass and soddy sedge. *Sanguisorba officinalis*, *Cirsium arvense*, and *Phalaroides arundinacea* Rausch were found in significant amount (3–6%). The representatives of legumes, *Vicia cracca* and *Lathyrus pratensis*, were sporadic.

The hydroecological structure of the phytocenosis was dominated by hydromesophytes (46.5%), subhydrophytes (35%), and eumesophytes (10.7%). In the ecological groups, subeutrophs and mesotrophs dominated in terms of soil fertility. The ratio of the groups indicates drainage and depletion of the habitat. Grasses were the predominant biological group, sedges accounted for about 29%, and forbs were abundant (Table 3).

In 2020, the number of species grew up, and the amount of *Phalaroides arundinacea* increased – it became one of the main dominants. In the forbs group, the amount of *Cirsium arvense* and *Thalictrum flavum* L increased. Apparently, the increased amount of *Phalaroides arundinacea* and large forb species in the meadow vegetation caused an increase in the aboveground phytomass. No significant changes in the ecological structure of the phytocenosis were observed. The change in the ratio of biological groups was more significant; the amount of grasses and forbs increased, while the share of sedges decreased. Probably, in this phytocenosis, the increased moisture conditions induced the potential changes of the previous year.

In 2021, the state of the soddy-sedge phytocenosis changed insignificantly: the dominant species, the productivity of the meadow vegetation, and the number of species did not change. The amount of soddy sedge and the number of species from the groups of moisture-loving hydromesophytes and subhydrophytes increased. Apparently, due to the long water stagnation, the conditions for decomposition of the aboveground mortmass worsened and its amount increased.

T2. Reedgrass-sedge meadow is located in the lower flat part of the slope near the lake. In 2019, the area was not flooded. In 2018 and 2020, it was flooded for about 30 days, the longest flood lasted more than 30 days in 2021.

In 2017, 11 species were recorded in the meadow vegetation. The total aboveground phytomass attained 672.2 g/m², with the share of mortmass equal to 34%. The dominant species were *Calamagrostis purpurea* and *Carex atherodes* Spreng. (Table 3). *Thalictrum flavum* prevailed (4.7%) among forbs. Legumes (*Vicia cracca*, *Lathyrus palustris* L.) were sporadic. The ecological structure of the meadow vegetation was dominated by mesotrophic hydromesophytes and eutrophic aerohydrophytes.

In 2018, the number of species increased to 17, and the phytomass was 696.2 g/m² (mortmass accounted for 28%). Sedge species, in particular *Carex riparia* Curt., *C. atherodes*, and *C. cespitosa*, began to prevail, with the share being equal to 72.6%. The amount of grasses (*Calamagrostis purpurea*, *Phalaroides arundinacea*) reduced to 16%. The ecological structure exhibited an increased amount of moisture-loving aerohydrophytes and subeutrophic subhydrophytes (Table 4), which was probably due long water stagnation and soil degradation.

In 2019, 10 species were recorded in the meadow vegetation. The total aboveground phytomass was 1141.6 g/m², with the share of dead plant material equal to 69% (Table 3). The dominating species were *Calamagrostis purpurea*, *Carex atherodes*, and *Phalaroides arundinacea*. The amount of *Carex cespitosa* was negligible (8%). Other species were found sporadically. The ecological structure of the meadow vegetation was dominated by hydromesophytes and mesotrophic subhydrophytes, with the amount exceeding 50%.

In 2019, the reedgrass-sedge phytocenosis was apparently affected by arid conditions, which hampered the growth of moisture-loving sedges. Grasses suffered to a lesser extent and dominated in the meadow vegetation. Yet, the number of species and the live aboveground mass of the phytocenosis

decreased significantly compared to the previous year, and the share of the dead aboveground mass increased (Table 3).

The increased moisture conditions in 2020 led to a 2-fold increase in the aboveground phytomass and increased the share of the hydrophilic *Carex atherodes* in the meadow vegetation. The ratio of biological and ecological groups in the meadow vegetation changed slightly – the content of eutrophic arohydrophytes increased slightly, which indicates the improved conditions of the habitat.

The autumn drought in 2020 in combination with long water stagnation in 2021 decreased the green mass and the total number of species of reedgrass-sedge phytocenosis, while the total aboveground mass increased due to the mortmass. The share of grasses increased significantly, especially *Calamagrostis purpurea*, which, apparently, was most resistant to these conditions.

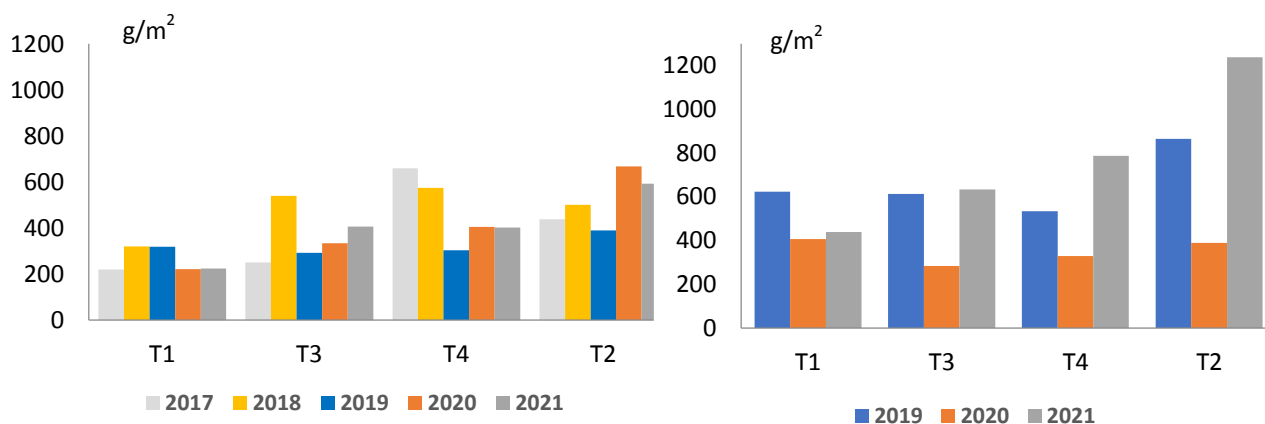
DISCUSSION

Meadows of the Middle Ob floodplain in the Tomsk region were extensively studied in 1960–1970 to assess the forage base for development of animal husbandry. In 1980–1990, the study focus was on the patterns of their natural long-term dynamics in order to predict year-to-year conditions in terms of productivity and plant composition; the results were reported by L.F. Shepeleva [2019]. The studies assessing the biological productivity of meadow ecosystems in the vast territory of the floodplain have been and remain so far sporadic and isolated (Titlyanova et al., 1996).

At present, most of the meadows of the Kaibasovo site in the Middle Ob floodplain are not mowed, which makes this territory appropriate for analysis of the production and destruction processes of the meadow vegetation. The trial plots show the patterns of the dynamics of meadows of the upper (T1, T3), medium-low (T4) and low (T2) altitude levels of the floodplain. Meadows are characterized by pronounced year-to-year variability in the aboveground phytomass, the composition of dominant species, and the ecological and biological structure of the meadow phytocenoses.

The changed status of the forb-grass phytocenosis (T1) was due to the dynamics of weather conditions. The range of changes in the productivity of the meadow vegetation was the smallest (Fig. 6) owing to good adaptation of the phytocenosis to these conditions. This is due to the variety of vegetatively mobile long-rhizome grasses from the ecological groups of xeromesophytes, mesophytes and eumesophytes, which are able to develop new shoots and maintain phytomass.

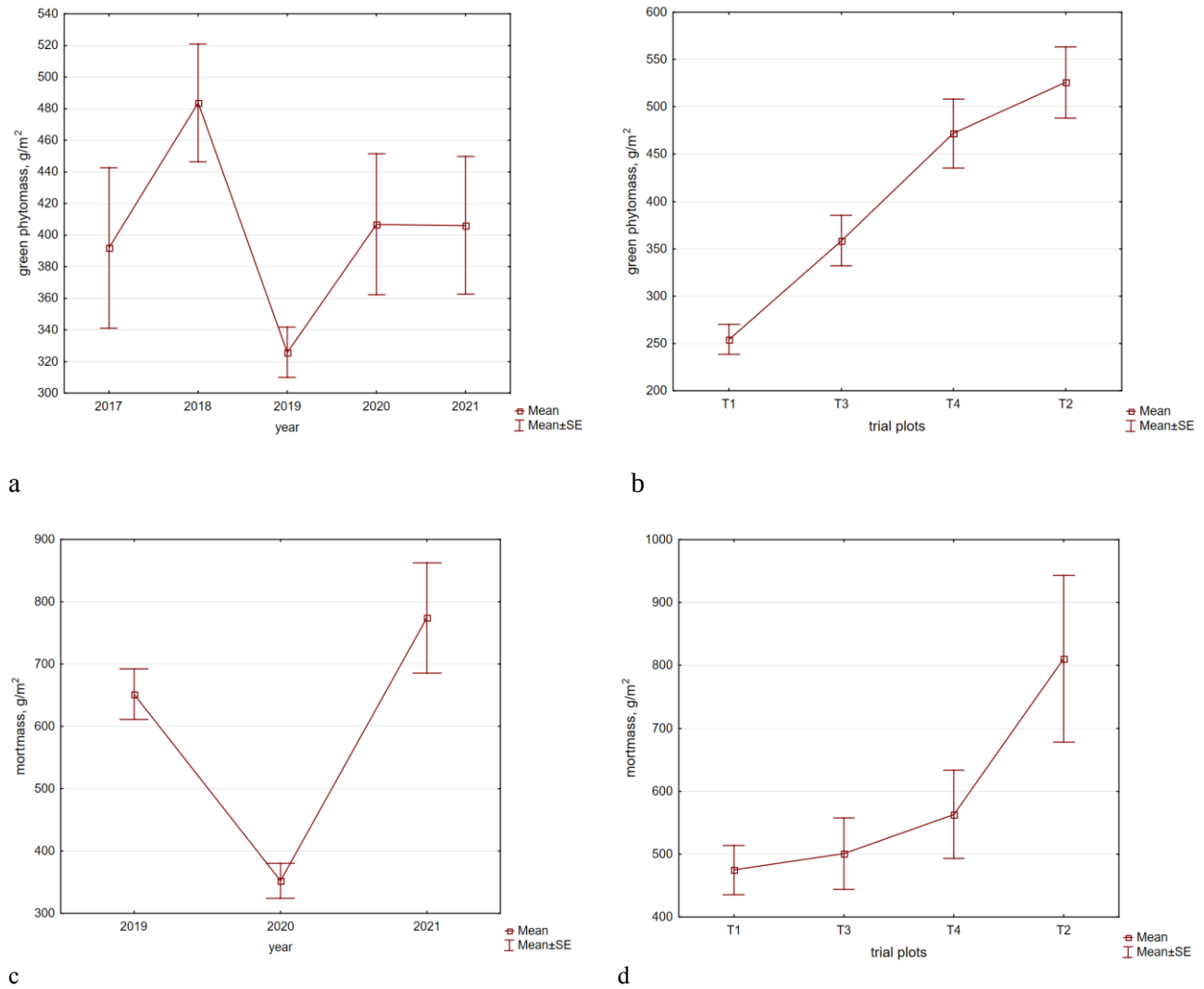
The status of other studied communities depended not only on weather conditions, but also on meadow floods and groundwater rise. Their productivity was found to be higher, and the range of fluctuations in the aboveground phytomass over the years was wider (on average, 2-fold). Elecampane and forb-soddy-sedge phytocenoses exhibited the highest productivity of the meadow vegetation in the mid-water and humid 2018, and the long-term flooded hydrophilic reed-sedge phytocenosis showed the highest yield in wet and warm 2020 (Figs 6–8). In 2019, the phytomass of the phytocenoses (T2, T3, T4) was relatively small due to the dry summer of 2019 and September of 2018, and no flooding effects.



a

b

Figure 6 Changes in the aboveground biomass of meadows at the key site of Kaibasovo, 2017–2021 (a – plant biomass; b – mortmass)

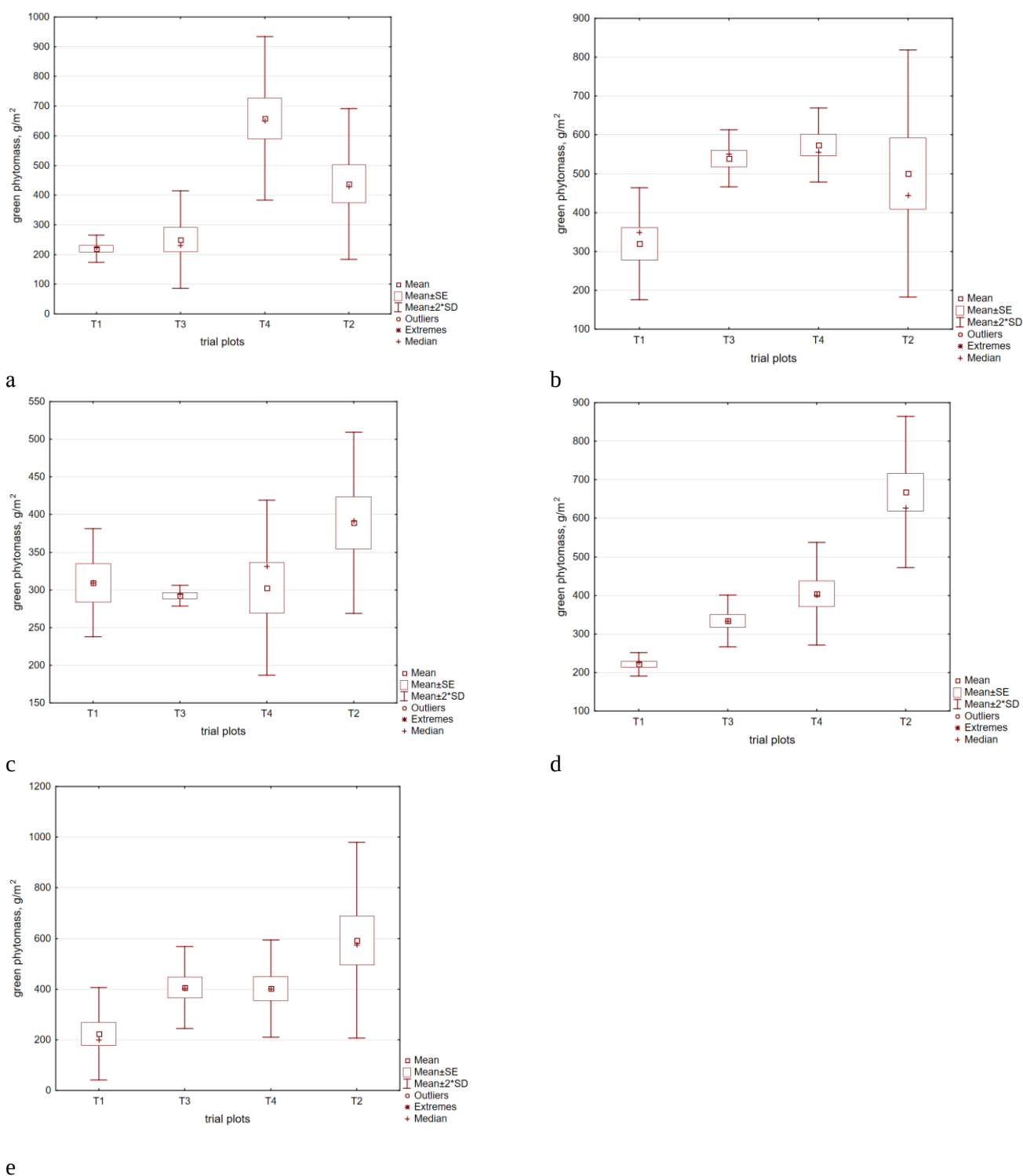


a – distribution of green phytomass by years ($F=1.45$; $p=0.2$); b – distribution of green phytomass in the trial plots ($F=15.8$; $p=0.0000$); c – distribution of mortmass by years ($F=13.4$, $p=0.00003$); d – distribution of mortmass in the trial plots ($F=3.5$, $p=0.03$)

Figure 7 Average biomass value in the trial plots of Kaibasovo, 2017–2019

Our results obtained on year-to-year variability of the phytomass of the meadow phytocenoses at different floodplain altitude levels are generally consistent with previously published data on the effect of various environmental factors on the productivity [Shepeleva, 1986; Skulkin, 1992; Tyurin, 2017, 2018; Cherepinskaya and Shepeleva, 2017). It is shown that the effect of precipitation, air temperature, meadow biodiversity, floods and groundwater levels (Tyurin, 2018), HTC, soil temperature, and the ecological structure of the meadow vegetation (Shepeleva et al., 1995) on the productivity varies for different altitude levels.

As mentioned above, virtually no data are available on the patterns of the aboveground mortmass dynamics, which show the production and destruction processes and the carbon cycle in floodplain meadow ecosystems. Our study results provide few data on these patterns. In the extremely dry and hot year of 2019, without meadow floods, a large amount of dead plant residues was found on the soil surface in the studied meadow phytocenoses (Table 3, Fig. 6). This combination of environmental factors seemingly hampered not only the development of meadow vegetation, but also the decomposition of mortmass. The study [Productivity of meadow communities, 1978] showed that the increased amount of dead plant residues was due to summer droughts. In wetter conditions of 2020–2021, these communities exhibited grassland restoration and phytomass growth.



a – average biomass, 2017, g/m²; b – average biomass, 2018, g/m²; c – average biomass, 2019, g/m²; d – average biomass, 2020, g/m²; e – average biomass, 2021, g/m²

Figure 8 Distribution of green phytomass in the trial plots, 2017–2021

We assume that wet years provide most appropriate conditions for the decomposition of mortmass in the studied phytocenoses. The dry conditions of 2019 were not favorable for plant material destruction, which was most evident at the highest and lowest altitude levels of the floodplain (phytocenoses T1 and T2).

The warm and humid spring of 2020 accelerated the decomposition of mortmass (Fig. 6), while the dry autumn and dry, cool conditions at the beginning of the growing season of 2021 caused its accumulation on the soil surface.

Changes in the ecological and biological structure of phytocenoses during relatively wet 2020–2021 indicate the improved moisture and nutrition conditions, which was evidenced by the increased share of hydrophilic and eutrophic species in the meadow vegetation.

The structure of the meadow vegetation in 2020–2021 was affected by the arid conditions of the previous year. In particular, in 2020–2021, the elecampane phytocenosis (T3) exhibited the increased mass of drought-resistant xeromesophytes and mesophytes, whereas the soddy-sedge phytocenosis (T4) showed the increased amount of grasses and the decreased share of sedges.

It should be noted that the average values of the phytomass and aboveground mortmass obtained in this study differ from those published for the Ob floodplain [Titlyanova et al., 1996], in particular, the mortmass exceeds the phytomass 2-fold. This rather corresponds to the conditions of steppe meadows and steppes [Biological productivity..., 1988; Grass Ecosystem Productivity: Handbook, 2020]. The latter may be due to the fact that the floodplain area at the Kaibasovo site has existed for about 50 years in the regime of the regulated flow of the Ob river, and the meadows of the upper altitude levels are flooded only in extremely high-water years. In addition, the so-called preservation regime currently established in large areas of the Ob floodplain also contributes to accumulation of the aboveground mortmass [Zvereva, 2022].

CONCLUSIONS

The dynamics of the meadow vegetation at the Kaibasovo site in the Ob floodplain is strongly affected by weather conditions in the current and previous years, including floods and groundwater levels, which is evidenced by changes in the aboveground mass, the ratio of dominants, and the ecological and biological groups in the meadow vegetation.

The increased moisture conditions increase the aboveground phytomass of the communities in the upper and middle altitude zones, increase the phytomass, and decrease the share of dead plant matter. Aridity leads to accumulation of dead plant residues, decreases the vegetation mass, and increases the share of forbs and grasses.

The productivity of medium-low and low sedge phytocenoses is observed to grow in years with floods. In this case, the amount of moisture-loving grasses and sedges increases. Dead plant matter is accumulated in dry years.

Acknowledgements. The field work by L.F. Shepeleva was supported by the RFBR grant No. 18-00-01654 (K), 18-00-01493 and the state order, project No. 0721-2020-0019. The research by M.S. Pudova was supported by the Development Program of Tomsk State University (Priority-2030). The research by L.G. Kolesnichenko was supported by the Russian Science Foundation, project No. 18-17-00237-P. The work was carried out using the equipment of the unique TSU scientific facility “System of experimental bases located along the latitudinal gradient” with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia (RF-2296.61321X0043, 13.UNU.21.0005, contract No. 075-15-2021-672). We are grateful to the reviewers for their valuable comments, which allowed us to significantly improve the quality of this work.

REFERENCES

- Arzhanova N.M., Davletshin S.G., Dementieva T.V., Kleshchenko L.K., Korshunova N.N. 2020. Weather on the territory of the Russian Federation in 2019. Department of Climatology. 34 p
- Biological productivity of grass ecosystems. Geographical patterns and ecological features / Titlyanova A.A., Bazilevich N.I., Snytko V.A. etc. Novosibirsk: Nauka. 1988. 134 p.
- Bulygina O.N., Korshunova N.N., Dementieva T.V., Kleshchenko L.K., Davletshin S.G. 2018. Weather on the territory of the Russian Federation in 2017 // Federal Service for Hydrometeorological Monitoring of the Environment, 55 p. URL <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskije-usloviya/179-klimaticheskije-usloviya-na-territorii-rossii>
- Zvereva G.K. 2022. Dynamics of aboveground phytomass in the communities of the Ob River forest-steppe and Northern Kulunda during protective regime // Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia. Vol. 21, No. 1. Pp. 81-85.
- Study and conservation of floodplain meadows: Proceedings of the International Meeting, Kaluga, June 26-28, 2013. 2013. Kaluga: Noosphere LLC. 180 p.
- Korshunova N.N., Dementieva T.V., Kleshchenko L.K., Davletshin S.G. 2019. Weather on the territory of the Russian Federation in 2018 // Federal Service for Hydrometeorological Monitoring of the Environment URL. <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskije-usloviya/179-klimaticheskije-usloviya-na-territorii-rossii>
- Korshunova N.N., Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Davletshin S.G. 2019. Estimates of the extremes of the temperature regime and precipitation regime for the territory of the Russian Federation and its regions in 2018 // Federal Service for Hydrometeorological Monitoring of the Environment. URL <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/196-extremclim>

- Lvov Yu.A., Shepeleva L.F., Lapshina E.D. 1987. Assessment of floodplain meadows by the fluctuation ability of their vegetation cover // Bot.journal. Vol. 72, No. 5. pp. 599-609.
- Lvov Yu.A. 1963. On the characteristics of vegetation of the floodplain of the Ob River // Trudy Vol. un-ta. T. 152. pp. 258-267.
- Program and methodology of biogeocenological research. 1974. Moscow: Nauka. 403 pp.
- Productivity of meadow communities. 1978. L.: Nauka. 287 p.
- Productivity of grass ecosystems: guide. 2020 / compiled by A.A. Titlyanova, S.V. Shibareva. M.: IBA Publishing House LLC. 100 s.
- Rabotnov T.A. 1974. Meadow science. M.: Publishing house of the Moscow State University. 384 p
- Ramensky L.G. 1938. Introduction to the complex soil-geobotanical study of lands. Moscow: Selhozgiz. 620 pp.
- Ramensky L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipin N.A. 1956. Ecological assessment of forage lands by vegetation cover. M.: Publishing house of agricultural literature. 472 p.
- Agricultural Encyclopedic Dictionary / Ed. V.K. Months. M.: Sov. encyclopedia, 1989. 656 p.
- Skulkin M.I. 1992. Productivity of floodplain meadows and its dynamics // Nature of the floodplain of the Lower Ob. Terrestrial ecosystems. Yekaterinburg.: UrO RAS. Vol. 1. pp. 76-91.
- Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P. 1996. Underground plant organs in grass ecosystems. N.: Nauka. 128 p.
- Tyurin V.N. 2017. The results of long-term observations of the productivity dynamics of grass communities of coastal shoals (Surgut section of the Ob River) // Izv. Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 19. No. 2(3). pp. 570-577.
- Tyurin V.N. 2018. The experience of estimating the aboveground productivity dynamics of grass communities in the Malaya Sosva River floodplain (Nature Reserve "Malaya Sosva") taking into account weather, climate and hydrological features // Environmental dynamics and global climate change. V. 9. № 2. P. 17-27.
- Cherepinskaya A.N., Shepeleva L.F. 2017. Fluctuations of floodplain meadows of the Bolshoy Yugan River // Bulletin of KrasGAU. № 12. Biological Sciences. pp. 170-178.
- Shepeleva L.F. 1986. On the effect of high water on the productivity of floodplain meadows // Ecology. No. 2. – pp. 3-8
- Shepeleva L.F., Pashneva G.E., Moskovkina E.V., Nesvetailo V.D. 1995. Influence of dynamics of ecological factors on productivity of meadow phytocenoses and annual growth of woody plants in the floodplain of the Middle Ob // Siberian Ecological journal. No. 4. pp. 368-372.
- Shepeleva L.F. Structure and dynamics of meadow communities of the floodplain of the Middle Ob. 2019. Tomsk: Publishing House Vol. un-ta. 348 p.
- Shumilova L.V. 1962. Botanical geography of Siberia. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University. 439 p.
- Altome A. I., Hou L., Yan R., Xin X., Zainelabdeen Y. 2020. The Joint Effect of Grazing Intensity and Soil Factors on Aboveground Net Primary Production in Hulunber Grasslands Meadow Steppe // Agriculture. V. 10 (263). doi:10.3390/agriculture10070263
- Hossain L., Kabir H., Nila U. S., Rubaiyat A. 2021. Response of grassland net primary productivity to dry and wet climatic events in four grassland types in Inner Mongolia // Plant-Environment Interactions. V. 2 (5). PP. 250-262. doi: 10.1002/pei3.10064
- Moore P. E., van Wagtenonk J. W., Yee J. L., McClaran M. P., Cole D. N., McDougald N. K., Brooks M. L. 2013. Net primary productivity of subalpine meadows in yosemite national park in relation to climate variability // Western North American Naturalist. V. 73(4). PP. 409–418. URL. <http://www.jstor.org/stable/24644074> (the data of access: 1 Mar. 2022).
- Quan Q., Zhang F., Meng C., Ma F., Zhou Q., Sun F., Niu S. 2020. Shifting biomass allocation determines community water use efficiency under climate warming // Environmental Research Letters. V.15. doi: 10.1088/1748-9326/aba472
- Rothero, E., Lake, S. and Gowing, D. (eds) 2016. Floodplain Meadows – Beauty and Utility. A Technical Handbook. Milton Keynes, Floodplain Meadows Partnership. UK: The Open University PP. 10-24, 38-55
- Thornley J.H.M., Cannell M.G.R. 1997. Temperate Grassland Responses to Climate Change: an Analysis using the Hurley Pasture Model. // Annals of Botany. V. 80. PP. 205-221. doi:10.1006/anbo.1997.0430
- Zelnik I., Carni A. 2013. Plant species diversity and composition of wet grasslands in relation to environmental factors // Biodiversity and Conservation. V. 22 (10). doi:10.1007/s10531-013-0448-x
- Zhan L., Gao J., Tang Z., Jiao K. 2021. Quantifying the ecosystem vulnerability to drought based on data integration and processes coupling // Agricultural and Forest Meteorology. V. 301-302. doi:10.1016/j.agrformet.2021.1083
- Zhang B., Cadotte M., Chen S., Tan X., You C., Ren T., Chen M., Wang S., Li W., Chu C., Jiang L., Bai Y., Huang J., Han X.-G. 2019. Plants alter their vertical root distribution rather than biomass allocation in response to changing precipitation // Ecology. V. 100. doi: 10.1002/ecy.2828
- Zhang F., Quan Q., Song B., Sun J., Chen Y., Zhou Q., Niu S. 2017. Net primary productivity and its partitioning in response to precipitation gradient in an alpine meadow // Scientific Reports. V. 7(1). doi:10.1038/s41598-017-15580-6

Поступила в редакцию: 25.08.2022

Переработанный вариант: 16.11.2022

Опубликовано: 16.12.2022

HAS HUMANITY LOST ITS MIND: IS IT TIME FOR PLANET B?

Jheeta S.^{1*}, Kotsyurbenko O.R.², Smith D.¹¹Network of Researchers on the Chemical Evolution of Life (NoRCEL), Leeds, LS7 3RB, UK.²Yugra State University, Russia

*sohan@sohanjheeta.com

DOI: 10.18822/edgcc112437

Citation: Jheeta S., Kotsyurbenko O.R., Smith D. 2022. Has Humanity Lost its mind: Is it Time for Planet B? // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 2. P. 120-121.

The question which is being asked is, “Is it Time for Planet B?” (Video: <https://vimeo.com/763421741> and <https://vimeo.com/763152017>); it seems that the quest is in the air, and on everyone’s lips; this is primarily due to the sense of an impending imminent doomsday—the demise of human race. This doomsday scenario has already been put forward by the Late Professor Stephen Hawking; in fact, he pointed out: “humanity might have as little as 100 years before needing to leave Earth.” In other scenarios eco-scientists point out that the situation does not have to be so dire, they declare that we should proactively take care of this world’s ecosystems, so as to sustain the environment.

Humanity’s problems are twofold: first there is the question of overpopulation and then there are pressures imparted on the environment. So, a pertinent question to ask is: “should we continue to pursue this *pipe-dream* about going to inhabit Planet B, or should we attempt to mitigate the damage we are doing to our present environment?” If one were to carry out thought experiments on the pros and cons of travelling to other worlds in far-flung corners of our Galaxy, they may find this to really be an illusory diversion and that the Earth’s problems are here and now. It is akin to saying: “we have trashed our house and instead of cleaning it, we’ll just move to a house in the nearby pristine green valley.” Who is to say we wouldn’t trash that place also? So, shall we fall for a fallacy by thinking that we can migrate to “planet B”? Do we need to care about Earth’s sustainability? The question being asked concerns humanity’s desire to find other habitable planets versus taking good care of Earth’s natural resources and environments, Figure 1.



Figure 1: Why attend NoRCEL’s Blue Earth Project? Because Earth is our only home and it matters!

The discussion will be led by six international panellists (Figure 2), each of whom will deliver a 15 minutes oral presentation. Following that there will be two types of discussions—the first one being amongst the panellists themselves and the next including both the local and international audience.



Figure 2: Our international panellists

This, the 2nd Blue Earth Project symposium of the Network of Researchers on the Chemical Evolution of Life (NoRCEL, <https://norcel.net/>), is being held at the Quarry Hill Campus of Leeds City College, as well as online—so offering a truly hybrid experience. NoRCEL aims at fostering a global inspirational community of original creative thinkers cutting across disciplinary confines who are keen to engage in respectful discourse in order to explore new directions and to build collective endeavours. With “Blue Earth Project,” we are building a bridge between the emergence and sustainability of life, the co-evolution of life with its environment, and humankind’s responsibility for the ecosystems of our small planet. Readers may wish to gain more insight of BEP’s endeavours by consulting our first report: The Blue Earth Project: “Is Humanity Settling its Own Fate on Ecological Survival?” (Jheeta, *et al.*, 2022). The 2nd BEP hybrid symposium entitled: “Is it time for Planet B?” will be a free to attend event—to register for the event please follow this link: <https://norcel.net/bep/bep2023/> or scan the QR code.

Reference

JheetaS., ChatzitheodoridisE., DominikM., KotsyurbenkoO.R., LaineP., PérezM.P., TorresdeFariasS., McGrathK. , RezaeiA., NyambuyaG., GuptaV., ChangelaH., BhattM.C., SimpembaP., GustafsonL., Kadirim.O., Godoy-FaúndezA., NelsonN.,NielsenJ.N., SmithD. 2022. The Blue Earth Project: “Is Humanity Settling its own Fate on Ecological Survival?” // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 1. P. 49-58. doi:10.18822/edgcc108267

Received by the editor: 23.10.2022

Reworked version: 08.11.2022

Published: 16.11.2022