https://edgccjournal.org/EDGCC

ISSN 2541-9307 (Online)

ДИНАМИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Environmental Dynamics and Global Climate Change

Том 15 Выпуск 3 2024

Volume Issue

PEER-REVIEWED ACADEMIC JOURNAL

ISSN 2541-9307 (Online)

ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Volume 15
Issue 3
2024

https://edgccjournal.org

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF

Mikhail V. Glagolev, PhD of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena D. Lapshina, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Khanty-Mansiysk, Russia)

EDITORIAL BOARD

Elena V. Agbalyan, Dr. habil. of Biol. Sci. (Salekhard, Russia)
Sergey A. Blagodatskiy, Dr. habil. of Biol. Sci. (Stutgart, Germany)
Sergey S. Bykhovets, PhD in Geogr. Sci. (Pushchino, Russia)
Vasiliy A. Vavilin, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci. (Moscow, Russia)
Aleksandra A. Gol'eva, Dr. habil. of Geogr. Sci. (Moscow, Russia)
Egor A. Dyukarev, PhD in Phys. and Math. Sci. (Tomsk, Russia)
Nikolay B. Ermakov, Dr. habil. of Biol. Sci., senior researcher (Yalta, Russia)
Radomir B. Zaripov, PhD in Phys.and Math. Sci. (Moscow, Russia)
Dmitriy V. Karelin, Dr. habil. of Biol. (Moscow, Russia)
Roman A. Kolesnikov, PhD. in Geogr. Sci. (Salekhard, Russia)
Nadezhda A. Konstantinova, Dr. habil. of Biol. Sciences, Professor (Apatity, Russia)
Oleg P. Kotsyurbenko, Dr. habil. of Biol. Sci. (Khanty-Mansiysk, Russia)
Alexei V. Kouraev, PhD in Geogr. Sci., Assistant professor (Toulouse, France)
Irina N. Kurganova, Dr. habil. of Biol. Sci. (Pushchino, Russia)
Trofim K. Maksimov, Dr. habil. of Biol. Sci.(Yakutsk, Russia)
Shamil S. Maksyutov, PhD in Phys. and Math. Sci. (Tsukuba, Japan)
Sergey V. Mamikhin, Dr. habil. of Biol. Sci. (Moscow, Russia)
Vasiliy B. Martynenko, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Ufa, Russia)
Nsdezhda V. Matveeva, Dr. habil. of Biol. Sci. (Sankt-Petersburg, Russia)
Evgeniy Y. Milanovskiy, Dr. habil. of Biol. Sci., Associate Professor (Pushchino, Russia)
Ol'ga V. Morozova, PhD in Geogr. Sci. (Moscow, Russia)
Valentina Y. Neshataeva, Dr. habil. of Biol. Sci., senior researcher (St. Petersburg, Russia)
Aleksandr V. Ol'chev, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Moscow, Russia)
Oleg S. Pokrovskiy, PhD in Geol.-Mineral. Sci. (Tomsk, Russia)
Alexander V. Puzanov, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Barnaul, Russia)
Irina A. Repina, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci.(Moscow, Russia)
Irina M. Ryzhova, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Moscow, Russia)
Yuriy A. Semenishchenkov, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Bryansk, Russia)
Ol'ga N. Solomina, Dr. habil. of Geogr. Sci., corresp.member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Viktor M. Stepanenko, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci. (Moscow. Russia)
Alexey L. Stepanov, Dr. habil. of Biol. Sci. (Moscow, Russia)
Pavel V. Frolov, PhD in Biol. Sci. (Pushchino, 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)
Mariusz Lamentowicz, Dr. habil., Full-Professor (Poznan, Poland)
Kári Fannar Lárusson, PhD, CAFF program manager (Akureyri, Iceland)
Ivan Mammarella, PhD, Assistant Professor (Helsinki, Finland)
Vincent F. Warwick, Dr., Full-Professor (Quebec Canada

Editorial Office

O.A. Frolov, managing editor (Moscow, Russia)
D.D.Ochirova, technical editor (Moscow, Russia)
S.M. Turchinskaya, 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

Federal Supervisory Service on Mass Media, Information Technologies and Mass Communication (Roskomnadzor)
ЭЛ № ФС 77-82594 18.01.2022

Indexing: Russian Science Citation Index, Google Scholar, Ulrich's Periodicals directory, WorldCat, EBSCO

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ ISSN 2541-9307 (Online)

ДИНАМИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Том 15
Выпуск 3
2024

Журнал издается с 2008 года https://edgccjournal.org

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Михаил Владимирович Глаголев, канд. биол. наук (Москва, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Елена Дмитриевна Лапшина, д-р биол. наук, профессор (Ханты-Мансийск, Россия)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Е.В. Агбалян, д-р биол. наук (Салехард, Россия)
С.А. Благодатский, д-р биол. наук (Штутгарт, Германия)
С.С.Быховец, канд. геогр. наук (Пущино, Россия)
В.А. Вавилин, д-р физ.-мат. наук (Москва, Россия)
А.А.Гольева, д-р геогр. наук (Москва, Россия)
Е.А. Дюкарев, канд. физ.-мат. наук (Томск, Россия)
Н.В.Ермаков, д-р биол. наук, старший научный сотрудник (Ялта, Россия)
Р.Б.Зарипов, канд. физ.-мат. наук (Москва, Россия)
Д.В. Карелин, д-р биол. наук (Москва, Россия)
Р.А. Колесников, канд. геогр. наук (Салехард, Россия)
*Н.А.Константинова,*д-р биол. наук, профессор (Апатиты, Россия)
О.Р. Коцюрбенко, д-р биол. наук (Ханты-Мансийск, Россия)
А.В. Кураев, канд. геогр. наук, доцент (Тулуза, Франция)
И.Н.Курганова, д-р биол. наук (Пущино, Россия)
Т.Х.Максимов, д-р биол. наук (Якутск, Россия)
Ш.Ш. Максютов, канд. физ.-мат. наук (Цукуба, Япония)
С.В.Мамихин, д-р биол. наук (Москва, Россия)
В.Б. Мартыненко, д-р биол. наук, профессор (Уфа, Россия)
Н.В. Матвеева, д-р биол. наук (Санкт-Петербург, Россия)
Е.Ю.Милановский, д-р биол. наук, доцент (Пущино, Россия)
О.В.Морозова, канд. геогр. наук (Москва, Россия)
В.Ю.Нешатаева, д-р биол. наук, старший научный сотрудник (Санкт-Петербург, Россия)
А.В.Ольчев, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
О.С.Покровский, канд. геол.-минерал. наук (Томск, Россия)
А.В. Пузанов, д-р биол. наук, профессор (Барнаул, Россия)
И.А.Репина, д-р физ.-мат. наук (Москва, Россия)
И.М.Рыжова, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
Ю.А.Семенищенков, д-р биол. наук, профессор (Брянск, Россия)
О.Н.Соломина, д-р геогр. наук, чл.-корр.РАН (Москва, Россия)
В.М. Степаненко, д-р физ.-мат. наук (Москва, Россия)
А.Л. Степанов, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
*П.В.Фролов,*канд. биол. наук (Пущино , Россия)
Е.В. Шеин, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)
С.А. Шоба, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН (Москва, Россия)
М. Ламентович, д-р, профессор (Познань, Польша)
И. Маммарелла, д-р, доцент (Хельсинки, Финляндия)
В.Ф. Варвик, д-р, профессор (Квебек, Канада)

Редакция

О.А.Фролов, заведующий редакцией (Москва, Россия)
Д.Д.Очирова, редактор (Москва, Россия)
С.М.Турчинская,, редактор (Москва, Россия)

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

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

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

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

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций, связи и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77-82594 от 18.01.2022 г.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

ОБЗОРЫ И ЛЕКЦИИ / OVERVIEWS AND LECTURES

Matveyeva N.V., Zanokha L.L., Yanchenko Z.A.
Vegetation of the Tareya (Western Taymyr): forty years later 133-188

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ/ THEORETICAL WORKS

Satosina E., Gushchina D., Tarasova M., Gibadullin R., Zheleznova I., Emelianova E., Osipov A., Olchev A.V
Effects of temperature and precipitation anomalies on carbon dioxide and latent heat fluxes in wetland ecosystems 189-199

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ / EXPERIMENTAL WORKS

Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A.
The impact of wildfires on the dynamics of vegetation cover in the middle taiga subzone of Western Siberia during the Holocene 200-210

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ / NOTES

Muldashev A.A., Ishbulatov M.K., Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Baisheva E.Z., Bikbaev I.G.
On rare vascular plant species in the mires of the Bashkir Trans-Urals. 211-219

VEGETATION OF THE TAREYA (WESTERN TAYMYR): FORTY YEARS LATER

***Matveyeva N.V.*[1*], *Zanokha L.L.*[1], *Yanchenko Z.A.*[2]**

[1] *Ботанический институт им.В.Л.Комарова РАН, Санкт-Петербург*
[2] *Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики ,Норильск*

*nadya_mat@mail.ru

Citation: Matveyeva N.V., Zanokha L.L., Yanchenko Z.A. 2024. Vegetation of the Tareya (Western Taymyr): forty years later. *Environmental dynamics and global climate change*. 15(3): 133–188.

DOI: 10.18822/edgcc641772

По результатам повторных геоботанических исследований в рамках международного проекта «Back to the Future» в 2010 г. на западе п-ова Таймыр в среднем течении р. Пясина в окрестностях рыбацкого пос. Тарея, где в 1965-77-х гг. действовал Таймырский биогеоценологический стационар Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР, сделан вывод о стабильности растительного покрова, который базируется на том, что у подавляющего большинства видов сосудистых растений осталась прежней их активность в ландшафте и что сохранилась принадлежность сообществ, в том числе в зональных позициях, к тем же ассоциациям, к которым они были отнесены ранее. Их разнообразие было отражено на крупномасштабной карте, которую не пришлось бы изменять при повторении работы в полном объёме. Поразительным и пока не слишком понятным и объяснимым является то, что лишь незначительные изменения во флоре и в растительности произошли на фоне ошеломляющей трансформации важнейших частей ландшафта – масштабной полигонизации водоразделов, на которых образовались бугры-полигоны и ложбины, и выравнивании поверхности в валиково-полигональных болотах, в которых опустились валики, что стало причиной усиления внутрипочвенного и поверхностного стока воды. В XX веке полигонизацию водораздельных увалов на Таймыре не фиксировали, это современный процесс. Данные, полученные нами в Тарее и другими исследователями в разных районах Заполярья, свидетельствуют о стабильности растительности в период, который приходится на восходящую волну потепления климата в высоких широтах (второго в XX веке) даже в условиях мобильного ландшафта.

***Ключевые слова**:* Арктика, Западный Таймыр, Тарея, полигонизация, ландшафт, динамика растительности, стабильность растительного покрова.

The tiny fishing settlement of Tareya (73.253389° N, 90.596806° W) on the right bank of the river Pyasina (Fig. 1, this and others see in text) in its middle reaches (Western Taymyr) is well known in the circumpolar scientific community due to the long-term Biogeocenological field station of the Komarov Botanical Institute of the Academy of Sciences of the USSR, which operated in 1965-1977. A huge amount of complex researches has been done by numerous scientists, and the results were published in a lot of proceedings, reports at the Arctic conferences, and papers published in various journals, which formed the basis of several monographs as well as the large article in the multi-volume international edition «Ecosystems of the world» [Chernov, Matveyeva, 1997]. It was the reason why just this site was considered as point number one for doing work within the project “Back to the Future” (hereinafter BTF).

The idea of visiting the sites of long-term work carried out in circumpolar Arctic within UNESCO “International Biological Program” arose in connection with the popular concept of global warming. The BTF task suggested to assess the current state of arctic ecosystems in details studied half a century ago. In several sites in the North American Arctic this was achieved on the eve of the International Polar Year (2008) [Callaghan et al., 2011a]. The Taymyr trip, took place in July–August 2010. Only the first author worked at the station from its beginning in 1965 and last time was there 40 years ago (1970).

The period of field works in 2010 (July 21 – August 8), was not promising for detailed researches due both to the extremely short (18 days) stay and unfavorable weather. Botanists managed to re-inventory the flora of vascular plants and assess their activity in landscape, to make relevés at two permanent experimental stands and selectively some communities as well walk around the territory with vegetation map [Matveyeva, 1978]. The results on the flora were published [Matveyeva et al., 2014]. This paper presents the results of assessing the state of plant cover.

We were well aware that opportunities for such a short time of repeated study in assessing the state of ecosystems and making not just expert conclusions about any changes, but to evaluate these quantitatively and to explain their reasons, were minor. In our case, different not only at moments far apart in time, but also at the same time in the past were the methodology doing relevés, including the size of sample plots, the totality of species records and quantitative assessment of their presence in communities, as well as professionalism by researchers, including their field work experience. We kept all this in mind when assessing the results, trying to distinct objectivity, subjectivity and expertise when interpreting these.

In the past, detailed studies were carried out at six permanent sites [see: Matveyeva, 1968, 1969; Matveyeva et al., 1973], the most important of which were zonal communities on watersheds – frost-boils and hummock stands.

DRYAD_SEDGE_MOSS FROST_BOILS STAND (Matveyeva, 1968: Fig. 1, 3-5, Table 1; Matveyeva et al., 1973: Fig. 4, Table 1. Site N 2) is located on terrace above the floodplain close to high river bank of approx. 10 m high. In the checklist of Taymyr communities, according to the dominant classification [Matveyeva, 1985] it is classified as the ass. *Hylocomium splendens* var. *alaskanum+Aulacomnium turgidum+Tomentypnum nitens–Carex ensifolia+Dryas punctata*; according to the Zürich-Montpellier (hereinafter Z-M) school floristic one (Braun-Blanquet (hereinafter B-B) approach) – to the ass. ***Carici arctisibiricae–Hylocomietum alaskani*** Matveyeva 1994.

In the past, the relevés were carried out on two sample plots located in close proximity to each other, 10 × 10 m (in 1966) and 15 × 15 m (in 1969), with lists of species (vascular plants, mosses, liverworts, lichens) according to 3 nanorelief elements (soil patch, rim, trough), with measurements of their size, and the horizontal structure schemes on both. We did not find those sample plots in 2010, so the relevé was performed on a new plot of 10 × 10 m. Only vascular plants were guaranteed to be identified totally with assessment of their abundance/cover on the B-B scale while that of bryophytes and lichens was estimated only for the most common and large-sized species, relatively easy identified in the field.

Due to nanorelief of cryogenic genesis community horizontal structure is of 3-item regularly cyclic type [see. Matveyeva, 1988, 1998], with module repeating in space: soil patch (up to ~0.8 m diam.) at different stages of overgrowth on the medallion (up to 1.3 m diam.) +rim along its periphery (up to ~0.5 m wide)+trough (~0.3 m wide) between medallions (Fig. 2).

This type of horizontal structure was preserved in 2010, although some values of element sizes were close, but not identical (Appendix 1, Table П1). However, the fact that after more than 40 years the number of modules per 100 m^2 (32 and 31) and the ratio of their elements (patches 30%, rims 50%, troughs 20%) are the same, is rather evidence in favor of the horizontal structure stability, with variances due to measurement error of items widely varying in shape. Visually, the share of bare soil decreased slightly (no more than 2-3%), that caused a minor increase of total community plant cover, ~90% in 1966, 1969. up to ~92% in 2010. The dominating species in the ground layer were *Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Aulacomnium turgidum, Tomentypnum nitens*, in the sparse upper one – *Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica* and *Dryas punctata*. There were 197 species (60 vascular plants, 49 mosses, 27 liverworts, 61 lichens) on two sample plots, being different (135 and 180) on each one, due to some nuances of methodology (the lower number in 1966 is the work of a beginning graduate student, while later is the professional job by specialists in bryophytes; the lichen number was close because lichenologists were working on both plots). This community is the richest in species known in circumpolar Arctic [Matveyeva, 2009].

In 2010, on 10 × 10 m plot the composition of vascular plant species was identified with assessment of their abundance/coverage in points on the B-B scale for the entire area; that of bryophytes and lichens was estimated only for the most common and large-sized species. The most abundant (> 1%) species in the sparse low dwarf shrub-herbaceous layer were the same as before – sedge *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* and dryad *Dryas punctata*. 11 species (all previously with low abundance/occurrence or single specimen) were not found, including two (underlined) in the past were recorded only on one of the two plots – *Androsace chamaejasme, Cardamine bellidifolia, Koeleria asiatica, Orthilia obtusata, Papaver pulvinatum, Pedicularis capitata, P. hirsuta, Petasites frigidus, Nardosmia gmelinii, Ranunculus nivalis, Saxifraga oppositifolia, Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*) and found, also single specimen, 6 (*Carex misandra, Eriophorum brachyantherum, Hedysarum arcticum, Polygonum bistorta, Ranunculus affinis, Saxifraga foliolosa*). Such small variances gave practically the same species richness of vascular plants – 55/57 and 56. The abundance of species and their pattern at nanorelief elements remained unchanged except the cover increase of the most active species in the landscape – sedge Carex *bigelowii* subsp. *arctisibirica*. For entire community with rims occupying half of its area, this gives an increase of ~10% in layer density, i. e. the sedge abundance over the whole area remained the same (2 points). As cryptogams composition was not completely assessed, we cannot comment their richness, however all co-dominants in ground layer (mosses *Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Aulacomnium turgidum, Tomentypnum nitens* and liverwort *Ptilidium ciliare*), as well species with previously significant (> +) cover kept their abundance. The obtained results provide the basis for a partly objective, partly expert conclusion that there are no significant changes in the composition of species and in their distribution within this stand.

DRYAD_SEDGE_MOSS HUMMOCK STAND [Matveyeva, 1968: Fig. 6, 8, Table 1; Matveyeva et al., 1973: Fig. 3, Table 1. Site N 1] is located on the first terrace above the floodplain in the upper part of stream valley gentle slope at 1.5 km from the riverbank. In the checklist of Taymyr communities, according to the dominant classification [Matveyeva, 1985] it is classified as the ass. *Hylocomium splendens* var. *alaskanum+Aulacomnium turgidum+Tomentypnum nitens–Carex ensifolia+Dryas punctata*. This community with closed cover is the same in dominants as the above frost-boils one: *Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Aulacomnium turgidum, Tomentypnum nitens*, and *Ptilidium ciliare* in the ground layer, and *Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica* and Dryas punctata in the sparse upper one. Despite the common dominants and significant number of species with similar abundance, communities with closed cover are poorer in species due to the lack of species obligate to bare or partly overgrown soil. The positioning of such communities in the classification of the Z-M school (B-B approach) was not proposed. In the future, it is possible either to describe new association or to identify a subassociation.

There is nanorelief of cryogenic genesis, caused by frost ground cracking and its consequences – hummocks 0.10-0.12 m high and 0.15-0.30 m diam. which sometimes, merging together, form chains or almost locked rims, and

troughs 0.15-0.20 m wide, with no patches of bare soil (Fig. 3). The type of horizontal structure is irregular mosaic (Matveyeva, 1988).

In 2010, what awaited us in this community was not just a surprise, but rather a shock. A transformation took place that we [Matveyeva et al., 2011; Matveyeva, Zanokha, 2013] formulated as "polygonization" of loamy watersheds – the previously leveled surface (with described nanorelief) turned into a system of mounds (7-10 m diam.) and trenches (2-5 m wide) with significant (0.5-1.0 m) excess in height (Fig. 4). In terms of the area size and the pattern of heterogeneity with rows of mounds and trenches, these are most similar to the massifs of bajdzharakhs (the Yakutian name for mounds that appears a result of the fossil ice wedge melting). Such serious changes occurred without disturbances in the plant cover, as well as in the absence of erosion, with the previous nanorelief and the same irregular mosaic type of horizontal structure both on the surface of mounds and their almost vertical slopes, and in trenches. Since there were no signs of this until 1994 (evidence from colleagues who worked here after 1970), and the system already existed in 2003 (Google Earth Quick Birds, 8.11.2003), the transformation has occurred in less than 9 years. We were not able to find the old sample plots in 2010, and only a wooden stick and small (10 × 20 and 50 × 50 cm) metal frames (used for horizontal structure study) near it convinced us that this was the same permanent stand.

More than 40 years later, the horizontal structure on both new microrelief elements looked the same: the familiar combination of hummocks and troughs, but visually the surface became smoother due to the decrease in the height of the elements relative to each other. The link of species with nanorelief elements did not change, with the same dominants on hummocks (mosses *Hylocomium splendens* var. *alaskanum* and *Aulacomnium turgidum*, sedge *Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica* and dwarf shrub *Dryas punctata*) and in troughs (*Tomentypnum nitens* and *Ptilidium ciliare* and the same vascular plants but with lower abundance). In general, the variances in species composition between the sample plots in 1966 and 1969 were similar to those recorded in the frost boils stand, but noticeably more dissimilar (69 and 141), and not only in cryptogams but in vascular plants (Appendix 1, Table П3).

In 2010, full information was obtained only about vascular plants: 43 species (32 and 33 on 2 mounds) with the same dominants both on mounds and in trenches that were previously on the flat stand surface. The abundance of sedge *Carex bigelowii* ssp. *arctisibirica* has increased up to 3 points versus 2 and that of cotton grass *Eriophorum angustifolium* to 2 versus 1 and +, with the same abundance of dwarf shrubs Dryas punctata and *Cassiope tetragona*. We found no changes in species composition or abundance in dry trenches compare to the formerly flat surface of the community and the current mound one.

The second object is 3-element rim-polygonal mire.

RIM-POLYGONAL MIRE [Matveyeva et al., 1973: Fig. 4, Table 3. Site N 4] in 1969 was located in: flat-concave lake depression on a river terrace above the floodplain in about 1 km from the riverbank. There are from hundreds to thousands of modules polygon center+rim+trench – wet polygon 15-20 m diam. with 1) concave center and 2) rim along it periphery 1.0-1.5 m wide, rising (0.15-0.20 m) above central part and 3) water trenches between polygons in a polygonal system (Fig. 6). Quite arbitrarily, without assigning their vegetation to any units of any classification, lists of species were made for three microrelief elements. Altogether there are 110 species (vascular plants 24, mosses 47, liverworts 24, lichens 15) were identified, with respectively 34 (10, 24, 0, 0) on polygon centers, 80 (16, 28, 21, 15) on rims, and 34 (8, 23, 3, 0) in trenches. Co-dominants in continuous moss layer are *Cinclidium latifolium, Sarmentypnum sarmentosum, Scorpidium revolvens, Meesia triquetra* on polygon centers and in trenches, and *Aulacomnium turgidum, Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens* on rims; these in the sparse above moss layer are *Carex aquatilis* subsp. *stans and C. chordorrhiza* on polygon centers and *Carex aquatilis* subsp. *stans* in trenches, and *Betula nana*, *Dryas punctata* and *Salix pulchra* on rims.

The classification of such complex object is debatable in all respects, beginning from the relevé methodology (choice of sample plots, their size, number) as well as defining the object status. It is most logical to consider the plant cover of each of the 3 elements as communities, trying to classify them independently, however this is not too obvious: there are 18 numbers in the scheme legend, that demonstrates both the obvious cover complexity (3 types of communities) and the mosaic nature of each type – 7 units on polygon centers, 8 on rims, 3 in trenches. In the Z-M school system (B-B approach), vegetation on polygon centers and in trenches is classified as mires of the class ***Scheuczerio–Caricetea nigrae*** (Nordh. 1936) R. Tx. 1937; while that on rims as communities close to zonal ones of the class ***Carici arcrtisibiricae–Hylocomietea alaskani*** Matveyeva & Lavrinenko 2023 (ass. ***Carici arcrtisibiricae–Hylocomietum alaskani*** Matveyeva 1994).

In 2010, we not only failed to make relevé on previous sample plot, but could not determine its exact location in wet depression. This was because the general picture of microrelief in the area, where site in question was situated, was so different from described above, that an attempt to obtain a photo of a "classical" rim-polygonal mire for a lecture course for students (which was so easy to do before) turned in vain: there were only isolated hummocks due to partial going down (subsidence) of most rims (Fig. 7), In another massif (south of Lake Bolshoye), which vegetation on map [Matveyeva, 1978] is shown as a 3-item rim-polygonal mire, all rims went downwards, and the polygon surface became flat (Fig. 8, а). As a result, the previously clearly heterogeneous plant cover visually (from a human height) became looked homogeneous. Although heterogeneity remained (Fig. 8, б): in 2010, obviously hygrophilic grasses (*Carex aquatilis* subsp. *stans, Eriophorum medium, Hierochloë pauciflora*) and mosses (*Sarmentypnum sarmentosum, Cinclidium latifolium, Scorpidium revolvens, Meesia triquetra*, etc.) and just as obviously mesophilic shrub/dwarf shrub (*Betula nana* and *Dryas punctata*) and mosses (*Aulacomnium turgidum, Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens*, etc.) cohabit at the same surface level with high soil moisture. Anyone who has seen this would

not be able to find an adequate explanation for this phenomenon without knowing the past of such areas. Our expert conclusion is that, despite significant transformations in microrelief, the heterogeneity of plant cover as well as species composition are the same as before, with slight change in the abundance of some dominants.

Another type of polygonal complexes is developed in the upper reaches of numerous brook valleys.

BOG-TUNDRA POLYGONAL COMPLEX [Matveyeva et al., 1973: Fig. 5, Table 3. Site N 3] in 1969 was located on a river terrace above the floodplain in 1 km from the riverbank in a depression in the upper reaches of a short valley directly close to settlement.

The structure of sample plot (50 × 60 m) is a complex of drained polygons of diverse shape and size (15-30 m diam.) and trenches (0.5-6.0 m wide and 0.2-0.3 m deep), filled with water (Fig. 9). The area ratio polygons/trenches is 80/20%. The name of the complex reflects the heterogeneity of its vegetation. Plant cover on polygons is close to that of low watersheds with dominance of willows *Salix reptans, S. pulchra* and dwarf birch *Betula nana* in the shrub layer, sedge *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* and cotton grass *Eriophorum angustifolium* and dwarf shrubs *Dryas punctata, Cassiope tetragona, Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus* in dwarf shrub–herbaceous, and *Aulacomnium turgidum, Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens* in moss one; and mire in trenches with the same shrubs as on the polygons, sedge *Carex aquatilis* subsp. *stans* and cotton grass *Eriophorum angustifolium* and hygrophilic mosses *Sarmentypnum sarmentosum*, *Cinclidium latifolium, Scorpidium revolvens, Meesia triquetra, Polyrichum jensenii*. There were 85 species (35 vascular plants, 41mosses, liverworts were not detected, 9 lichens), respectively – 59 (30, 20, 9) on polygons and 35 (12, 23, 0) in trenches.

The classification of this object is no less problematic in all respects, as of rim-polygonal mire vegetation. Most logical is to consider the vegetation on each of two elements as communities and try to classify them separately, which is quite difficult. There are 19 numbers in the map legend – two community types with 13 inside units on polygons and 6 ones in trenches. Such complexes so far have not been described in literature.

In 2010, visually everything looked as before, however this conclusion is subjective being based upon only on two routes through a vast complex system, including a stationary site with wooden sticks.

TUNDRA AND NIVAL-MEADOW COMMUNITIES ON THE SOUTHERN SLOPE OF THE RIVER BANK [Matveyeva et al., 1973: Fig. 7, Table 4, Site N 5]. The steep slope, is cut by hollows (with 3-5 m snow beds) formed due to the ice wedge melting (Fig. 10). Ridges, in winter with little snow, melting completely in June, are in summer the warmest biotopes with the maximum (up to 1.5 m) depth of frozen ground seasonal thawing. The great biotope diversity determines the heterogeneity of the plant cover, with elements small (2-3 m^2) in size that form ecological series, contrasting in soil moisture and heating. There are 13 community types on sample plot (70 × 70 m).

The most contrasting in comparison with stands in zonal habitats were in 1969 and remained (visually) in 2010 are herb communities on ridges (Fig. 11) with grasses (*Festuca brachyphylla, Koeleria asiatica, Trisetum sibiricum subsp. litorale*) and forbs (*Astragalus alpinus, Cerastium maximum, Myosotis alpestris* subsp. *asiatica, Oxytropis adamsiana, Pachypleurum alpinum, Pedicularis verticillata, Polemonium boreale*) from 0.10-0.15 to 0.30-0.35 m high and thin (up to 0.01 m), and sparse moss layer of *Hypnum revolutum, Sanionia uncinata, Thuidium abietinum*. Later such community types became the object of close attention [Zanokha, 1993] in different areas of Taymyr (but not in Tareya), and was classified as the ass. ***Pediculari verticicillatae–Astragaletum arctici*** Zanokha 1993, but with no placing in any higher unit. The plant cover of such herb communities, in terms of life form set and horizontal and vertical cover structure is closest to boreal meadows of the class ***Molinio-Arrhenatheretea*** Tüxen 1937, however composed of not boreal, but of arctic and arctic-alpine species, that stops these from being placed in this class. As well, conditional is the positioning [Matveyeva, Lavrinenko, 2021] of such communities in the class. ***Mulgedio-Aconitetea*** Hadač et Klika in Klika et Hadač 1944.

In 2010, the lists of vascular plant species were compiled for such herb communities along the whole riverbank of the field station area, and no differences were recorded in their activity [Matveyeva et al., 2014]. It is worth to notice that the methodology for getting data in the past is not described, and it differs from that adopted in the Z-M school. This will not allow objectively assessing possible changes in the future that should be kept in mind by those who will manage to visit this area.

VEGETATION UNDER MAN IMPACT [Matveyeva et al., 1973; FIG. 8. SITE N 6]. In 1965, when six BIN researchers arrived to Tareya, life in tiny fishing settlement was in full swing. The basis of this was a vast man-made cave in the permanently frozen ground of the high river bank. It was used to store fish that was caught by teams of fishermen from Norilsk State Industrial Enterprise, scattered across the vast Western Taymyr territory. Fishermen were flown to “points” on AN-2 planes, from where the catch was regularly taken, brought to Tareya, frozen and stored until the autumn fishing season, when ships with barges arrived along the river from the Norilsk city. There were three small houses (at the edge of the floodplain) for living and a house where the radio operator lived and worked. In addition, there was a large plank house owned by the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), permission for its use became the basis for organization of a long-term BIN field station (Appendix 2, Fig. П1). In the first summer (1965), the pioneer group lived in a plank house (future laboratory). The following summer, scientific field station began to function, which gathered from 18 (1966) to 30-40 (1967-1969) people from various scientific institutes, who lived in numerous tents located on a gentle slope between the laboratory and the radio operator' house. After 1977, the living buildings continued to be used by fishermen, as well as geologists. Fishing intensity gradually decreased becoming private. In a spring (the year is unknown) high flood, three small houses were carried away by water; the laboratory house was burned down in 1998.

Before 1965, the plant cover was quite changed, since for a long time the base of the geological expedition of the AARI was located here. Its initial state is dryad-sedge-moss hummock tundra, common on gentle slopes with the dominance of mosses *Aulacomnium turgidum, Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens*, sedge *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*, dwarf shrub *Dryas punctata*. During the field station functioning, the load (trampling) on plant cover in summer (late June–early September) was quite strong. In 1968, the vegetation of the territory was verbally described, and a map-scheme was made, with 12 items in legend [Matveyeva et al., 1973].

In 1968, the most of area between houses, where the original vegetation was damaged almost completely, was occupied by suppressed and sparse grass cover. In 2010, it looked like the original dryad-sedge-moss tundra, with no obvious signs of disturbance and with no high abundance of apophytic grasses (Alopecurus alpinus and Poa alpigena). However walking along, it at the end of July–beginning of August was possible only in rubber boots, i. e., the soil moisture was significantly higher than before, when we lived in tents and walked in light sports shoes.

VEGETATION MAP. The conclusion that in 2010 communities have kept their belonging to the same earlier classified community types is made according to their look when walking around the territory with vegetation map that would not have to be changed (Fig. 13). Some of the objectivity of this opinion is supported by the fact that it was done by the researcher who made this map, as well as by few relevés, where the community structure and species composition remained the same.

FLORA OF VASCULAR PLANTS. There were 212 species on the territory that was studied in 2010 [Polozova, Tikhomirov, 1971]. After 40 years, we did not find 29 species (all rare in the landscape) and discovered 10 new ones (all in the floodplain of the Pyasina River, rare, many in a single specimen). We refer a reader to the publication [Matveyeva et al., 2014], the main conclusions of which are as follows: 1) the main reason for the incomplete identification of the flora is the short duration of the research in 2010; 2) there is no firm conviction that newly found species were absent 40 years ago; 3) assuming that the last are still present, the systematic and geographical structure flora remains unchanged. It is possible to assess changes in species activity within landscape only for a total of 184 species – in 162 (88.5%) it remained unchanged, in 5, with the same activity, abundance slightly increased or decreased; activity decreased by 1 point in 22 (mean and low active) species. Small changes in the landscape pattern of species with low activity may be considered both objective and subjective (short duration of observations in 2010 and uncertainty in estimations in the 1971 annotated list).

No information was obtained on the cryptogam flora (mosses, liverworts, lichens), earlier detailed studied. Our partly expert opinion is that their composition and presence in communities have not undergone noticeable changes. However, for an objective assessment it is necessary to conduct studies similar to those that were done at high professional level [Pijn, Trass, 1971; Blagodatskikh, 1973; Zhukova, 1973].

THE DISCUSSION OF THE RESULTS. The most general conclusion based on the results of various observations in the course of repeated (after 40 years) visit to the area of long-term field station functioning can be formulated as follows: stability in the plant cover with significant transformations in the landscape, micro- and nanorelief, and as a consequence in changes in surface/inside soil water flow.

From the diverse cryometamorphic processes, we focus the most significant and noticeable one, that might considerably change the plant cover on the above-floodplain terrace, where previously there were 2 systems, both in depressed landscape sites: 1) rim-polygonal mires (in lake depressions, bottoms of drained lakes of thermokarst origin) and 2) bog-tundra complexes (concave surfaces of watersheds, dissected by trenches as a result of backward erosion). The third one, with flat mounds of different height and size and trenches of various width and depth, appeared in zonal sites. (Fig. 15). This happened on a large area, lot of watersheds is transformed completely with some (most wide and flat) being so far rather uniform.

The beginning or early stages of this process in the form of future polygonal system were recorded already in 1968 by geocryologist [Danilov et al., 1971]. In 2010, already in the field on many interfluves between brook valleys, especially on the widest ones, with a horizontal surface in their middle part, we observed the beginning of polygonization so far with no upcoming mound exceeding the trenches in height (< 1-2 cm), which is clearly visible on satellite images (Fig. 16). Potentially, the presence of trench system on watersheds may strengthen the hydrological cycle through higher inside soil flow (that will eliminate trench wetting), however as drainage system it will reduce the moisture amount on watersheds, that may lead to larger frozen soil seasonal thawing, and greater thermokarst in zonal sites. What will be a result of such large transformation is a subject of professional interest for geocryologists. We can only state the landscape instability, which was not recorded 40 years ago in Tareya.

The second phenomenon of significant change is the coming down of rims in rim-polygonal mires, in the place of which only isolated hummocks remained, or the surface of the polygons has become flat, the most important consequence of which was a radical change in hydrological regime. In classic rim-polygonal mire systems, the water on the isolated concave polygon centers surrounded by rims is standing water, while in trenches between polygons it is running, and there is a general waterway, which gathers water from connected trenches. This is the source of brooks through which the general (surface and inside) water flow is running away the wetland (Fig. 17). Without rims, the previously standing water on polygons, being no longer isolated, has become running, that increased the total flow (a kind of drainage).

On the downed rims, the plant cover is so far (visually) the same. Although the fact that the mire, heavily watered throughout the growing season in 1967-1969 (and according to satellite image in 2003), in 2010 has lost part of water, affected the activity of the most important grasses – the abundance of *Hierochloë pauciflora* and *Carex*

chordorrhiza previously dominated on the most watered polygons became less, while that of *Carex aquatilis* subsp. stans (previously also rather abundant) increased. This expert conclusion is based on difficulty in finding the first two species, which previously were common in these biotopes.

At first sight, our judgment about stability in plant cover along with great landscape transformation, looks at least contradictory. In our defense, we propose thesis that stability does not mean the absence of any changes. The latter includes changes in the activity (abundance, occurrence) of some vascular plant species, dominants in communities in zonal sites (*Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*) and in mires (*Carex chordorrhiza, C. aquatilis* subsp. *stans, Hierochloë pauciflora*). However, for the majority (88.5%) of species it remained unchanged; for few ones the abundance slightly increased or decreased, which did not cause noticeable changes in the structure of communities and their diversity.

To explain the slight increase in the cover density on ground patches in frost-boils stands and that of main dominant, the long-rhizome sedge *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*, is hardly makes sense to attach the argument, most common in the last decade, about global warming. A series of questions arises – what do we know about vegetation before we worked in this area 40 years ago? how much do we know about the life cycles of Arctic species populations, about the species individual growth? as well, without single-vector climate trend, changes in vegetation do not occur? or we ignore natural succession?

Our conclusion about the stability of syntaxonomic diversity, with small changes in the communitiy structure and with minor variation in vascular plant species set in local flora and their activity in landscape, in general coincides with the opinion of colleagues, who worked within the BTF project in Canada and Greenland, and repeated studies over shorter periods in Alaska and the European North, differing in minor details. This is inspiring and at the same time amazing, because only on Taymyr (besides Tareya, in the Dickson area) this stability takes place against the background of spectacular landscape transformation – polygonization of watersheds and modification of rim-polygonal mires.

The formation of the third polygonal system on watersheds, in addition to the widespread polygonal mires and bog-tundra polygonal complexes in depressions, may continue, which gradually lead to radical transformation of the Arctic landscape on the plains. However, to predict exactly, what consequences will follow, is difficult. The existence of new formed trenches proposes their greater moisture, in comparison with mounds and the former flat surface, but the fact that these are not isolated, but form system, suggests a drainage effect. We are not ready to predict to what extent the intra-soil moisture runoff increasing will balance or exceed the current greater moisture in trenches, this is a matter for soil scientists. However, there is no doubt that the dynamics of vegetation in zonal sites depends on this, and significant changes in the plant cover may be expected over vast areas.

The data obtained by us and other researchers in different Arctic regions indicate the stability of the plant cover in the course of the period that coincides with the ascending wave of climate warming in high latitudes, which is the second in the 20th century [Vize. 1937; Rosenbaum, Shpolyanskaya, 2000; Malinin, Vainovsky, 2018], even in situations of mobile landscape.

Key words: the Arctic, Western Taymyr, Tareya, polygonization, landscape, vegetation dynamic, plant cover stability.

ВВЕДЕНИЕ

Обсуждение динамики растительности всегда было в сфере интересов геоботаников, работавших в высоких широтах. Однако заключения о времени, скорости и сути изменений в растительном покрове базировались преимущественно на теоретических представлениях, а не на прямых наблюдениях. Это приемлемо при оценке планетарных процессов на протяжении длительных периодов (тысячелетия) и смен под влиянием глобальных факторов. Объективно оценить изменения в составе и структуре сообществ за периоды относительно кратковременных колебаний климата можно только при повторении аналогичных исследований гарантированно в одних и тех же районах и сообществах/биотопах.

Мест, где на протяжении XX века повторно фиксировали состояние растительного покрова, на территории Арктики крайне мало. В Российской Арктике в первую очередь это самый северный массив леса в урочище Ары-Мас на юго-востоке п-ова Таймыр (далее Таймыр), первое упоминание о котором оставил нам выдающийся исследователь XIX века А. Миддендорф [1860-1878] и где впоследствии (1965-1977) функционировал стационар Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (в то время АН СССР) (далее БИН). В XX веке ботаники неоднократно бывали на о-ве Диксон и на берегу через пролив от него. Основной недостаток таких посещений – как их кратковременность, так и разные детальность и объём работы.

Идея посетить места проведения многолетних работ, выполненных в начале второй половины XX столетия по программам «Международная биологическая программа» (далее МБП) и «Человек и биосфера», возникла в связи с популярной концепцией глобального потепления климата. Её

воплощением стал международный проект «Back to the Future» (далее BTF), в рамках которого была поставлена задача – оценить современное состояние экосистем. Своевременность проекта заключалась в том, что ещё была возможность провести исследование теми, кто работал в те отдаленные времена, что позволило бы оценкам стать наиболее объективными. (К объективности и субъективности не только получения результатов, но и их интерпретации мы в этой статье будем возвращаться неоднократно.)

В нескольких местах зарубежной Арктики это удалось осуществить в преддверии Международного Полярного года (2008) [Callaghan et al., 2011a]. На тот момент российские исследователи остались вне этого проекта: ни денег, ни большого энтузиазма ехать в труднодоступное место, где флора и растительность были уже хорошо изучены, не было. Но контакты с зарубежными коллегами и их впечатления об увиденном не пропали даром. Понимание необходимости аналогичных исследований и мягкое давление, чтобы проект осуществился и в Российской Арктике, принадлежали проф. Т. Каллагану (T. Callaghan) (Великобритания). В результате через 2 года появился и интерес, и, хоть и небольшое, финансирование.

Первым кандидатом на такой проект было крошечное рыбацкое поселение Тарея[1] (73.253389° с. ш. 90.596806° в. д.; далее Тарея) на правом берегу р. Пясина в её среднем течении (Западный Таймыр), куда поездка и состоялась в 2010 г. (Рис. 1). Двумя годами позже (в 2012) с той же целью мы посетили и окрестности морского порта Диксон. Участие в обеих поездках первого автора данного сообщения, которая работала в обоих районах и была в них последний раз соответственно 40 и 32 года назад (1970 и 1980), предполагало возможность наиболее объективной оценки возможной динамики растительности.

Рис. 1. Район исследования: а – местонахождение пос. Тарея на Таймыре; б – в овале ландшафт, обследованный в 2010 г.; в – снимок Google Earth от 08.11.2003; цифры – номера стационарных участков.
Fig. 1. Study area: a – location of the Tareya settlement on Taymyr; б – in the oval – landscape surveyed in 2010; в – Google Earth image 11/8/2003; figures – numbers of stationary sites.

В 1960-1980 гг. прошлого столетия Таймыр оказался объектом пристального внимания биологов различных специальностей. Во многих районах были выполнены многосторонние исследования. Наиболее продолжительными (1965-1977 гг.), интенсивными и комплексными они были на биогеоценологическом стационаре БИН как раз в окрестностях Тареи, инициатором и научным руководителем которого многие годы был выдающийся исследователь и знаток Арктики проф. Б.А. Тихомиров. Стационар стал одним из опорных пунктов МБП – долгосрочной программы, принятой под эгидой ЮНЕСКО в 1964 г., в рамках которой предполагался комплексный подход к изучению разнообразных природных факторов, влияющих на биологическую продуктивность растительных и животных организмов и их сообществ в разных природных зонах. К работе были привлечены специалисты разных направлений (ботаники, зоологи, микробиологи, почвоведы, климатологи, гидрологи, геоморфологи) из разных научных институтов и университетов, благодаря чему впервые в научном «освоении» Арктики было проведено столь масштабное исследование. Результаты нашли отражение в нескольких тематических сборниках [Biogeocenoses of Taymyr tundra…, 1971, 1973, 1980; The structure and functions of biogeocenoses…, 1978], в многочисленных докладах на конференциях по Крайнему Северу и статьях, опубликованных в разных журналах и

[1] В настоящее время в интернет-ресурсах этот пункт именуют как Пром-Тарея или как Усть-Тарея. Последнее название до 1992 г. относили только к а/порту и метеостанции на острове в 35 км ниже по течению, а название Тарея (на всех российских и зарубежных (Tareya) мелкомасштабных картах и даже на глобусах) принадлежало именно рыбацкому поселению на правом берегу р. Пясина в 7 км от устья р. Тарея.

сборниках. Они легли в основу нескольких монографий [Chernov, 1975; 1978; 1980; Romanova, 1977; Chernov, 1985; Vasilevskaya, 1980; Parinkina, 1989; Matveyeva, 1998] и статьи монографического плана в многотомном международном издании «Ecosystems of the world» [Chernov, Matveyeva, 1997].

Во второй половине XX века интенсивность биологических арктических исследований была очень высокой, включая работу многолетних полевых стационаров и полустационаров. В Российской Арктике это Сивая Маска (1960-1964) на Европейском Севере; Тарея (1965-1977), Ары-Мас (1969-1977), Диксон (1978-1980), пос. Кресты (1975-1977), Бухта Марии Прончищевой (1972-1973), мыс Челюскин (1974) и реки Рагозинка (1983, 1985, 1986, 1990) и Убойная (1988, 1990) на Таймыре; острова Большевик, Северная Земля (1997, 1998, 2000) и Врангеля (1964-1975, 1988-1990). В Канадском Арктическом Архипелаге на о-ве Девон комплексные исследования проводили на научной станции Devon Island Research Station (1960-1991) в течение более 30 лет [Truelove lowland…, 1977]. Более кратковременные, преимущественно ботанические работы были выполнены на Аляске (в районе залива Прудо (Prudhoe Bay) (1972, 1973) и в Гренландии начиная с 1912 г., в том числе в окрестностях пос. Аммасалик (Angmagssalik) (1968, 1969).

Даже в сравнении с этими территориями окрестности Тареи – одна из самых многосторонне исследованных экосистем в циркумполярной Арктике, что и стало причиной, почему для проведения работы в рамках проекта BTF в Российской Арктике Тарею рассматривали как пункт номер один. Поездка, в которой приняли участие ботаники (авторы статьи) и зоологи А.Б. Бабенко и О.Л. Макарова (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва), состоялась в июле – августе 2010 г. Из этого дружного коллектива только Н.В. Матвеева работала на стационаре начиная с первого посещения в 1965 г. и последний раз была на нём в 1970 г.

Период нахождения в 2010 г. в поле оказался очень коротким – с 21 июля по 8 августа. Попасть туда удалось благодаря любезности норильских коллег, которые согласились доставить нас по реке на баржах, направлявшихся в район Тареи для отстрела оленей. Соответственно, и начало поездки, и возвращение назад были определены этим производственным процессом. Из-за предельно краткого (18 дней) пребывания и крайне неблагоприятных погодных условий (низкие температуры воздуха, дожди, ветры – столь необычные для этого периода пика лета в сравнении со всеми полевыми сезонами в прошлом) времени для детальных исследований было очень мало.

Ботаникам удалось провести реинвентаризацию флоры сосудистых растений, оценить их активность [Yurtsev, 1968] в ландшафте, сделать описания пробных площадок на двух стационарных участках комплексных исследований и выборочно некоторых типов сообществ, обойти территорию с картой растительности [Matveyeva, 1978]. Результаты по флоре опубликованы [Matveyeva et al., 2014]. В данной статье представлены итоги оценки состояния растительного покрова.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Крошечное (в прошлом 4 рыбацких домика, несколько хозяйственных построек, ледник для хранения рыбы и большой дощатый дом) рыбацкое поселение Тарея расположено на правом берегу главной речной артерии Таймыра р. Пясина, где её русло после впадения р. Тарея резко изменяет направление с северного на западное. Природные условия его окрестностей в деталях описаны в 1970-е годы [Danilov et al., 1971; Ignatenko, 1971; Polozova, Tikhomirov, 1971; Matveyeva et al., 1973; Matveyeva, 1978] и вкратце в статье по результатам реинвентаризации флоры сосудистых растений в 2010 г. [Matveyeva et al., 2014]. Ограничимся краткой информацией об особенностях ландшафта.

Геоморфологически правобережье р. Пясина в данном районе – древняя речная терраса (20-25 м[2]), при постепенном повышении переходящая в высокую (до 50 м) равнину, сложенную морскими четвертичными отложениями (темноцветными суглинками и глинами), местами перекрытыми древнеаллювиальными наносами. Ежегодно заливаемая во время паводков низкая илистая пойма в устьях двух притоков (рек Неура и Танунку-Тари) на отрезке между ними расширена до 50-60 м. Высокий (до 10 м) берег реки (яры), обращенный на юг, вследствие активных эрозионных процессов изрезан глубокими ложбинами, в которых снежный покров (зимой до 3 м) сохраняется до начала августа. Участки между ними имеют вид гребней с круто падающими склонами. Водная эрозия здесь сочетается со снежной, что вызывает оползни, образующиеся преимущественно весной во время паводка, но возможны и в разгар лета. Густой дендритной сетью распадков (коротких долин

[2] Здесь и далее все высоты над ур. м.

эрозионного происхождения), по которым осуществляется сток воды из озерных и болотных депрессий, поверхность террасы расчленена на невысокие увалы с пологими склонами. В 60-70-е годы для них была характерна выровненная поверхность или со сплошным мозаичным растительным покровом – бугорковые[3] тундры, или с разорванным из-за присутствия пятен голого грунта (до 20%) – пятнистые тундры.

На месте спущенных и вокруг существующих озер имеются обширные заболоченные плоскодонные понижения, для которых характерен валиково-полигональный рельеф: полигоны с вогнутыми днищами и приподнятыми валиками по их периферии и разделяющие их ложбины. В неглубоких «веерных» депрессиях в верховьях долин ручьев имеются 2-членные образования – болотно-тундровые комплексы с сухими плоскими полигонами и разделяющими их обводненными ложбинами.

Район расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, общая мощность которых не менее 300-400 м (возможно, 500-600 м). Оттаивание деятельного слоя [Danilov et al., 1973] начинается с момента схода снежного покрова в начале июня и продолжается до конца августа. В период наблюдений в 1966-1970 гг. глубина оттаивания на увалах – 0.6-0.7 м, в заболоченных депрессиях – 0.4-0.5 м, на высоком берегу реки – 1.3-1.5 м.

Общее представление о климате лучше всего можно было получить на основании данных метеостанции Усть-Тарея, которая в годы её работы в 1955-1992 гг. находилась на острове в 35 км ниже по течению от Тареи, а также из материалов климатологов стационара [Romanova, 1971]. Снежный покров устанавливался во второй декаде сентября. На водораздельных увалах, где его глубина зимой не превышает 0.4 м, он разрушается в первую неделю июня и растаивает в течение нескольких дней (личное наблюдение Н.В. Матвеевой весной 1967 г.). В долинах распадков снег в виде плотных снежников сохраняется до конца июля – начала августа. Продолжительность безморозного периода –около 2 месяцев (июль, август). Среднегодовая температура -13°С, января – -31°С, июля 10°С. По данным климатических наблюдений, в районе стационара за 5 полевых сезонов (1966-1970) среднеиюльская температура – около 8°С, что более соответствует зональному положению территории.

Растительность описана в трёх статьях: в двух приведены геоботанические очерки с детальными (с таблицами, зарисовками горизонтальной структуры) характеристиками стационарных участков [Matveyeva, 1968; Matveyeva et al., 1973]; в третьей имеется карта с краткой характеристикой всех единиц легенды [Matveyeva, 1978]. Детали состава и структуры сообществ приведены ниже, при описании результатов работы 2010 г.

Согласно зональному делению, район находится в подзоне типичных тундр [Chernov, Matveyeva, 1979; Matveyeva, 1998] (Circumpolar Arctic Vegetation Map (далее CAVM) subsones C, D [CAVM Team, 2003, 2024)] и относится к Средне-Таймырскому округу полосы моховых и лишайниковых тундр [Geobotanical zoning…, 1947]. Предваряя обсуждение результатов 2010 г., скажем, что у нас не возникло повода пересмотреть что-либо в зональном положении территории.

К МЕТОДОЛОГИИ

Возможности за короткий период повторных наблюдений оценить состояние экосистем и сделать не просто экспертное заключение о том, произошли ли какие-либо изменения, но оценить их количественно и объяснить причины, например отделить результаты естественной сукцессии от каких-то форс-мажорных обстоятельств («внезапное» потепление климата, катастрофические эрозионные события, антропогенное/зоогенное воздействие и др.), крайне малы.

Для Арктики объективных представлений о скорости естественных (без физического разрушения) изменений нет, хотя попытки были сделаны в процессе программы ITEX (International Tundra Experiment), стартовавшей в 1990 г. Нет ответа, какие объекты растительности наиболее подходят для достаточно кратковременных (длиною в 40 лет) процессов. На стационаре разнообразные наблюдения вели в течение 12 лет, но в литературе отражены главным образом результаты того, что было выполнено в 1966-1970 гг. Была выявлена флора сосудистых растений и

[3] В литературе часто для сообществ с таким типом нанорельефа используют термин «мелкобугорковые», полагаем, что это излишнее уточнение размера бугорков, поскольку семантика этого слова подразумевает, что объект маленький, мелкий.

споровых (мхи, печёночники, лишайники, почвенные водоросли). Детально (установлен состав видов, дана оценка их обилия/встречаемости по элементам нанорельефа (которым соответствуют микрогруппировки растительности), сделаны зарисовки горизонтальной структуры, взяты укосы биомассы, проведены фенологические наблюдения, прослежена динамика оттаивания мерзлоты) была описана (и результаты опубликованы) растительность лишь двух из 6 участков (см. ниже), поэтому мы были нацелены повторить описание этих сообществ и хотя бы визуально оценить состояние остальных.

В 1969-1970 гг. было выполнено геоботаническое обследование территории стационара на площади ~3 × 7 км между реками Неура и Танунку-Тари и подготовлена карта растительности М 1:10 000. Жесткого требования обязательной публикации геоботанических описаний в открытой печати в то время не было, и геоботаники, следовавшие принципам «доминантной» классификации, их почти (тем более в повторности) не публиковали. Из большого объёма геоботанических данных (около 200 описаний, авторы Н.В. Матвеева и Т.Г. Полозова), положенных в основу карты, впоследствии в процессе классификации растительности в разных районах Таймыра согласно принципам школы Цюрих – Монпелье (далее Ц-М), более известным как подход Браун-Бланке (далее Б-Б), было опубликовано их небольшое число [Matveyeva, 1994, 1998]. Отыскать те же самые пробные площадки было проблематично, поскольку точно они не были зафиксированы ни в поле, ни в координатах GPS, но найти сообщества, где выполняли описания, представлялось возможным, так как в прошлом имелся аэрофотоснимок М 1:60 000, на котором их отмечали. Спустя 40 лет планировали провести визуальную оценку состояния растительного покрова при маршрутном обходе территории с картой растительности (с легендой в 38 номеров) её автором (Н.В. Матвеева), что в какой-то степени давало шанс на объективность – один участник прошлых и настоящих наблюдений, хотя и с достаточно иным опытом и квалификацией, к примеру, знание флоры (сосудистых!) и распознавание видов, включая массовые споровые, на глаз.

«Подводных камней» в методике предстоящей работы было достаточно, например, возможность другой, чем прежде, оценки обилия видов. И, главное, было понимание, что повторить всё не получится, значит, надо выбрать наиболее наглядное из того, что возможно.

Как упомянуто выше, в прошлом комплексные исследования проводили на 6 участках; со словесными русскими названиями (как они приведены в статьях) доступны характеристики с таблицами пяти из них [см. Matveyeva, 1968, 1969; Matveyeva et al., 1973].

Позднее была предпринята попытка классификации растительности Таймыра в соответствии с принципами отечественной доминантной системы и предложена иерархическая система от ассоциации до типа растительности [Matveyeva, 1985], в которой изложены проблемы классификации, начиная с того, какой системе и принципам следовать, как называть единицы (по-русски, на латыни?), и приведен чек-лист (за которым описания с таблицами в рукописном виде в архиве автора) 4 уровней: тип растительности (5 – Кустарниковый, Кустарничковый, Травяной, Моховой, Лишайниковый), формация (32), группа ассоциаций (58), ассоциация (116). Принципы организации названий: тип растительности – русский и латынь, формация и ассоциация – латынь, группа ассоциаций – русский. Число видов в названии формации 1, ассоциации – от 1 до 9 (перечень видов в одном ярусе с +, разные ярусы через короткое (–) тире = мини-описание!). Результат не удовлетворил автора, поскольку обработка описаний была достаточно произвольной, а классификация индивидуально-авторской. Интерес к проблеме подтолкнуло знакомство в 1989 г. с принципами классификации школы Ц-М (подход Б-Б), после чего описания сообществ на Таймыре и их обработку выполняли согласно этим принципам, включая оценку обилия видов в баллах.

В 2010 г. при том что задачей было оценить, что же произошло в растительном покрове за достаточно длительный промежуток времени, отрицательным был фактор времени, а вернее, его очевидный недостаток – по 3-5 полевых сезонов (по 2-4 месяца) хотя бы у одного из участников в прошлом и меньше 3 недель в настоящем. Это определило невозможность повторить весь спектр исследований. Удалось сделать описания на 2 стационарных участках зональной растительности, хотя и не на тех же самых пробных площадках, и обойти бóльшую часть территории. И встал вопрос: а как мы можем это сделать не на уровне общих впечатлений и рассуждений, а документированно, чтобы уйти из формата «искусства» наблюдения и представить какие-то доказательства?

Завершая обсуждение методологических проблем, ещё раз акцентируем некоторые моменты, о которых упомянуто во введении.

Геоботаническое описание – почти идеальный инструмент как для «портрета» объекта – растительного сообщества, в момент времени характеристики его состава и структуры, так и для

достоверной оценки динамических процессов при повторных наблюдениях. При выполнении описания существенно всё. Уязвимый момент, что при первичных и повторных исследованиях различные методики могут дать разные результаты при сохранении всех характеристик объекта. Существенны такие обстоятельства, как: размер и местонахождение пробных площадок; полнота выявления видового состава (зависит от продолжительности выполнения описания и от квалификации исследователей); различия в точности оценок обилия/покрытия видов; разные продолжительности полевых работ, календарные сроки наблюдений и погодные характеристики вегетационного периода. Суждение об изменениях будет объективным только при условии одинаковости перечисленных моментов, а субъективность – тем выше, чем больше несоответствий в методике.

Но даже при соблюдении столь жёстких ограничений остается вероятность сделать разные (до противоположных) заключения по поводу выявленных различий. Так, нахождение на пробной площадке вида, прежде на ней не зарегистрированного, может быть истолковано и как его «появление», и как пропуск в прошлом; так же как и отсутствие – как действительное «исчезновение» или же ненахождение при повторном описании. Обе ситуации вероятны, когда это небольшие растения, особенно споровые, с низкими величинами обилия и встречаемости, да ещё и трудно не то что определяемые, а визуально различаемые в поле (чтобы попасть в образцы для дальнейшего определения).

Результаты предыдущих наблюдений должны быть не просто доступны (например, в авторских архивах), но опубликованы в открытой печати или хотя бы извлекаемы из интернета, что повышает гарантию достоверности данных, и необходимо, чтобы были понятны методы их получения.

В нашем случае методика выполнения описания, включая размер пробной площадки, полноту выявления видов и количественную оценку их участия в сложении сообществ, а также профессионализм и опыт полевой работы, была различной не только в моменты, далеко разведённые во времени, но и в одно и то же время в прошлом. Всё это мы имели в виду при оценке результатов, стараясь разделить объективность, субъективность и экспертность при их интерпретации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Стационарные участки (зональные сообщества)

Важнейшим объектом наблюдений в прошлом в первую очередь были зональные сообщества на водораздельных увалах – пятнистые и бугорковые тундры (привычные названия в русскоязычной литературе по растительности Арктики).

ДРИАДОВО-ОСОКОВО-МОХОВАЯ ПЯТНИСТАЯ ТУНДРА (ДОМП) [Matveyeva, 1968: Рис. 1, 3-5, Табл. 1; Matveyeva et al., 1973: Рис. 4, Табл. 1. Участок № 2].

Сообщество расположено на надпойменной террасе в непосредственной близости высокого (около 10 м) берега реки (Рис. 2).

В чек-листе сообществ Таймыра, согласно доминантному подходу [Matveyeva, 1985], оно отнесено к асс. *Hylocomium splendens* var. *alaskanum+Aulacomnium turgidum+Tomentypnum nitens–Carex ensifolia+Dryas punctata*[4]; в рамках классификации школы Ц-М (подход Б-Б) – класс ***Carici arctisibiricae–Hylocomietum alaskani*** Matveyeva et Lavrinenko 2023.

В прошлом описания были выполнены на двух пробных площадках, расположенных в непосредственной близости друг от друга, размером 10 × 10 м (в 1966 г.) и 15 × 15 м (в 1969 г.). На обеих были проведены замеры элементов нанорельефа; горизонтальная структура зарисована на площадках 2 × 5 м и 0.5 × 0.5 м [Matveyeva, 1968: Табл. 1, Рис. 1, 3-5) и 15 × 15 м; Matveyeva et al., 1973: Табл. 1, Рис. 4]; списки видов (сосудистые, мхи, печёночники, лишайники) составлены по 3 элементам нанорельефа (пятно грунта, валик, ложбинка) с глазомерной оценкой покрытия (в %) каждого вида в 1966 г. на каждом 1 м^2, в 1969 г. на всю площадь.

[4] Номенклатура видов в основном следует: сосудистых растений по [Panarkticheskaya…] (*Dryas punctata*: [Sekretareva, 2004]), мхов – по [Moss flora …, 2017, 2018, 2020, 2022] (*Racomitrium canescens*: [Ignatov et al., 2006]), печеночников – по [Hodgetts et al., 2020], лишайников – по [Checklist …, 2010]. Широко используемые синонимы даны в квадратных скобках (см. Приложение 1, Табл. 2, 3, 4).

В 2010 г. найти конкретно эти площадки не удалось (GPS в те времена не было, колышки не сохранились). Растительность описали на новой площадке 10 × 10 м (73.2514° N, 90.5872° E). Не было и времени на столь же детальную работу, как ранее. Гарантированно полно был выявлен состав видов только сосудистых растений с глазомерной оценкой их обилия/покрытия в баллах по шкале Б-Б на всю площадь; обилие мохообразных и лишайников оценено лишь для самых массовых и крупных видов, относительно легко идентифицируемых в поле[5]; получены данные о размерах элементов нанорельефа, горизонтальная структура зарисована на части (5 × 5 м) пробной площадки.

Результаты сравнительной оценки структуры и состава ДОМП *сообщества по прошествии более 40 лет (1966, 1969, 2010).*

Структура. Для сообщества характерен регулярно-циклический 3-членный тип горизонтальной структуры [см. Matveyeva, 1988, 1998], обусловленный развитием нанорельефа криогенного генезиса: повторяющийся в пространстве модуль пятно грунта (до ~0.8 м в диам.) на разных стадиях зарастания на поверхности медальонов[6] (до 1.3 м в диам.) + валик по их периферии (до ~0.5 м шир.) + ложбинка (~0.3 м шир.), разделяющая медальоны. В подзоне типичных тундр (= CAVM subsones C, D) на Таймыре такой тип структуры обычен в самом распространённом типе зональных сообществ на водораздельных увалах [Matveyeva, 1998].

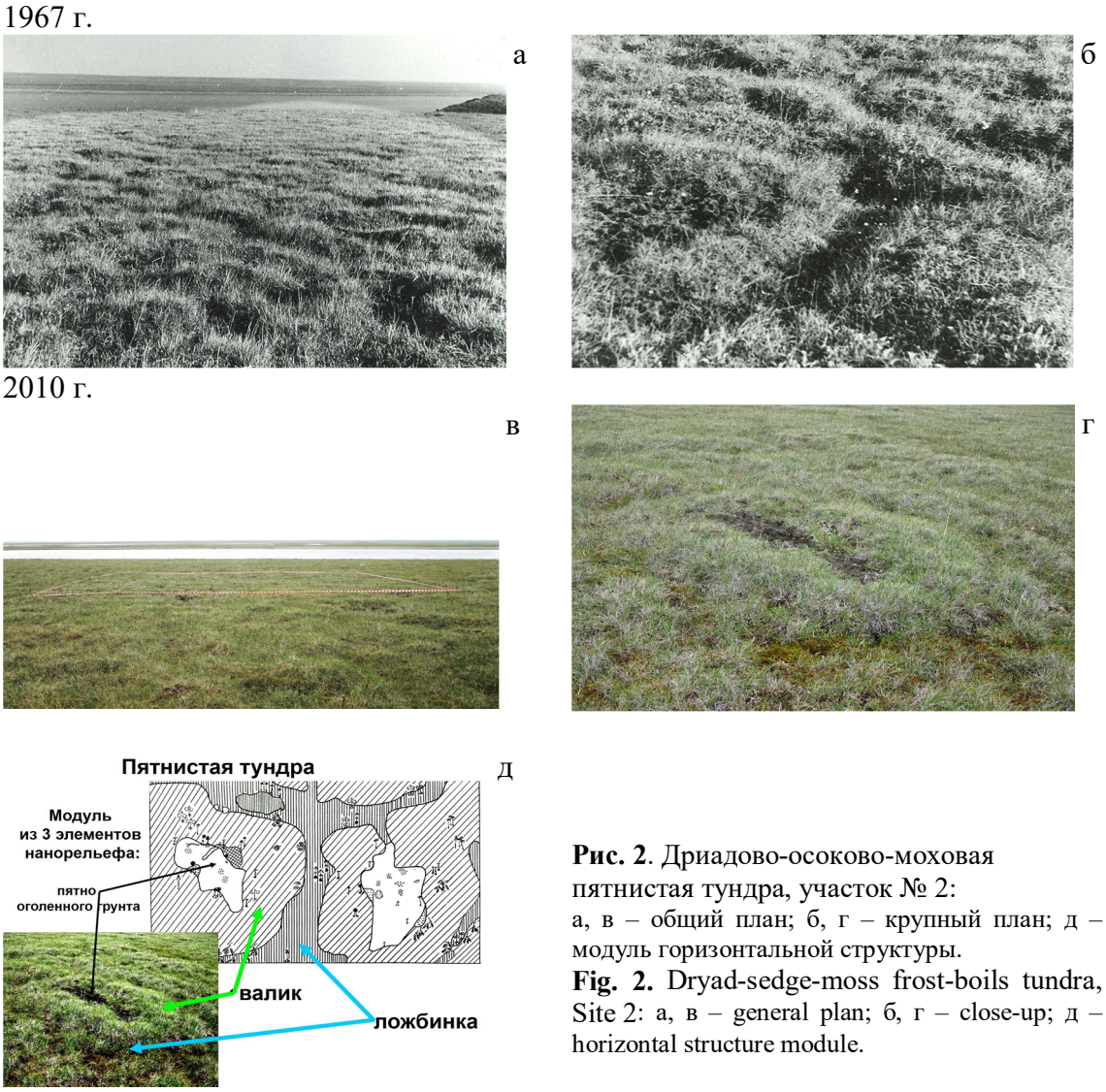

Рис. 2. Дриадово-осоково-моховая пятнистая тундра, участок № 2:
а, в – общий план; б, г – крупный план; д – модуль горизонтальной структуры.
Fig. 2. Dryad-sedge-moss frost-boils tundra, Site 2: а, в – general plan; б, г – close-up; д – horizontal structure module.

[5] При сравнении прежние данные по сосудистым растениям и по доминирующим/наиболее частым споровым перевели в баллы.
[6] В литературе для этого элемента нередко используют и термин «полигон».

В 2010 г. сохранился регулярно-циклический 3-членный тип горизонтальной структуры. В разные сроки наблюдений зафиксированы близкие, но не полностью одинаковые (Приложение 1, Табл. П1) величины размеров элементов нанорельефа. В 2010 г. диаметр пятен и расстояние между их центрами на 0.2 м больше, чем в 1966 г. Но то, что спустя более 40 лет число модулей на 100 м^2 (32 и 31) и соотношение их элементов (пятна 30%, валики 50%, ложбинки 20%) одни и те же, скорее, свидетельство в пользу того, что горизонтальная структура стабильна, а различия, возможно, связаны с погрешностями измерения элементов, сильно варьирующих по форме. Визуально несколько (не более 2-3%) уменьшилась доля голого грунта, из-за чего общее проективное покрытие (далее ПП) растительности увеличилось с ~90% в 1966 и 1969 гг. до ~92% в 2010 г. Сложилось впечатление (экспертная оценка), что покров стал более выровненным из-за уменьшения превышения валиков над поверхностью грунта (было 0.05-0.10 м, стало (на глаз) до 0.05 м).

Наше заключение: в целом нанорельеф остался без существенных изменений при сохранении регулярно-циклического 3-членного типа горизонтальной структуры, числа модулей на 100 м^2 и площадного соотношения их элементов.

Состав и обилие видов (Приложение 1, Табл. П2). В разорванном пятнами грунта наземном моховом ярусе доминируют *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Aulacomnium turgidum*, *Tomentypnum nitens*, в верхнем разреженном – *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и *Dryas punctata*. Это сообщество – самое богатое из известных в циркумполярной Арктике [Matveyeva, 2009]. Но на разных площадках в прошлом оно было различным: 135 видов (56 сосудистых растений, 16 мхов, 10 печеночников, 53 лишайника) на 10 × 10 м в 1966 г. [Matveyeva, 1968 – работа начинающего аспиранта] и 180 видов (соответственно 57, 48, 26, 49) на 15 × 15 м в 1969 г. (Matveyeva et al., 1973: Табл. 1; Zhukova, 1973: Таблица). В 1966 г. на площадке 10 × 10 м из сосудистых растений не было *Carex vaginata, Draba* sp., *Minuartia macrocarpa, Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus* и *Valeriana capitata* и были *Gasrolychnis apetala* и *Pedicularis hirsuta* – все с низкими встречаемостью и обилием, что могло быть как реальностью, так и следствием разной детализации работы. Всего на двух площадках в 1966 и 1969 гг. было 195 видов (соответственно 60, 49, 27, 59). Мы сочли полезным привести эту информацию, потому что в ранее опубликованных статьях для этого сообщества приведена несколько различающаяся информация о числе видов.

В 2010 г. повторить столь детальную работу не удалось даже в приближенном виде. На площадке 10 × 10 м гарантированно полно был выявлен состав видов сосудистых растений с глазомерной оценкой их обилия/покрытия в баллах (по шкале Б-Б) на всю площадь; обилие мохообразных и лишайников оценено лишь для самых массовых и крупных видов.

Самые обильные виды (> 1%) в разреженном низком кустарничково-травяном ярусе – те же осока *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и дриада *Dryas punctata*. Не найдены 12 видов (все ранее с низким обилием/встречаемостью или одиночные особи), в том числе 3 (подчеркнуты) в прошлом были выявлены только на одной из двух площадок (*Androsace chamaejasme*, *Cardamine bellidifolia*, *Draba* sp., *Koeleria asiatica, Orthilia obtusata*, *Papaver pulvinatum*, *Pedicularis capitata*, *P. hirsuta*, *Petasites sibiricus*, *Ranunculus nivalis*, *Saxifraga oppositifolia*, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*) и найдены (одиночные особи) 8 (*Carex misandra, Eriophorum brachyantherum, E. vaginatum, Hedysarum arcticum, Pedicularis dasyantha, Polygonum bistorta, Ranunculus affinis, Saxifraga foliolosa*). Такие несущественные различия дали практически одно и то же видовое богатство сосудистых растений – 56/57 и 56). Но категорически утверждать, что какие-то из этих видов отсутствовали в 1966 и 1969 гг. или исчезли/появились 44-41 год спустя, нельзя.

Осталось без изменений обилие видов и их распределение по элементам нанорельефа. Исключение – увеличение ПП у особо активного (в ландшафте) вида *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*, основного доминанта в зональных сообществах обсуждаемой ассоциации, по поводу чего в процессе описания пробной площадки у троих геоботаников была длительная дискуссия. После неоднократных глазомерных определений ПП в процентах и баллах мы пришли к заключению, что на валиках (где этот вид доминирует в верхнем ярусе) покрытие увеличилось с 15-20 до 40%, или от 2 до 3 баллов по шкале школы Ц-М (подход Б-Б). На всю площадь сообщества, где валики занимают половину площади, это дает прибавку сомкнутости яруса ~10%, т.е. обилие осоки на всю площадь в баллах осталось прежним (2). Исчерпывающего объяснения, что стало причиной увеличения обилия, нет. Возможно, это результат жизни популяции длиннокорневищного вида, которому ничто не препятствовало увеличивать свою массу. Тщательное, хотя тоже глазомерное определение участия в сложении покрова на валиках же второго доминанта – кустарничка *Dryas*

punctata, позволило отказаться от первоначального впечатления об уменьшении его обилия, которое создалось из-за слабого цветения и малочисленности генеративных побегов в 2010 г.

Про видовое богатство споровых сказать что-либо чётко нельзя, поскольку их состав не был выявлен полностью из-за значительно меньшего времени, затраченного на полевое описание. Все содоминанты наземного яруса (мхи *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Aulacomnium turgidum*, *Tomentypnum nitens* и печёночник *Ptilidium ciliare*), а также виды со значимым (> +) ПП остались в том же обилии.

Полученные результаты дают повод сделать отчасти объективное, отчасти экспертное заключение, что в составе видов и в их распределении по 3 элементам нанорельефа на данном стационарном участке существенных изменений за более чем 40 лет не произошло.

Спустя годы, объективно подтвердить стабильность или оценить динамику не удалось. Причины – методика, квалификация исследователей, время, затраченное на описание.

В статье 1968 г. отражены первые результаты аспирантской работы Н.В. Матвеевой в самом её начале (1966 г.). Хотя исследование было достаточно скрупулезным – составлены списки видов (и взяты гербарные образцы) на каждом 1 м^2 на пробной площадке 100 м^2, что позволило оценить не только ПП (на 1 м^2, определяемом достаточно точно), но и встречаемость каждого вида. Образцы печёночников по возвращении из поля определила ведущий знаток этой группы К.И. Ладыженская. Но опыт начинающего специалиста был ещё очень небольшой, так что собрано было, очевидно, не всё (16 видов мхов и 10 печёночников). В последующие (1968 и 1969) годы к работе как по характеристике стационарных участков, так и по выявлению конкретных флор подсоединились Л.Л. Благодатских [Blagodatskich, 1973] и А.Л Жукова [Zhukova, 1973], специализирующиеся на этих двух группах мохообразных, что и стало основанием для заметно большего числа видов бриофитов (Приложение 1, Табл. П2) на пробной площадке (48 и 26 соответственно). Стоит заметить, что такие высокие цифры видового богатства мхов (16/48) и печёночников (10/26) в зональных тундровых сообществах никогда более не приводили в геоботанических описаниях северных фитоценологов, в том числе в статьях по классификации растительности. А вот число лишайников на обеих площадках было достаточно близким (53 и 49), поскольку непосредственно в поле все образцы сразу смотрели и определяли профессиональные эстонские лихенологи – в 1966 г. Х. Трасс, в 1969 г. Т. Пийн, которые подготовили и список лишайников стационара [Piin, Trass, 1971]. Ни в каких других описаниях той же ассоциации, ни в Тарее, ни в дальнейшем в других районах Таймыра (да и за его пределами) столько лишайников никогда не находили. Число сосудистых растений, определение которых было под силу аспиранту, на обеих площадках практически одно и то же (56 и 57).

ДРИАДОВО-ОСОКОВО-МОХОВАЯ (МЕЛКО)[7]БУГОРКОВАЯ ТУНДРА [ДОМБ] (Matveyeva, 1968: Рис. 6, 8, Табл. 1; Matveyeva et al., 1973: Рис. 3, Табл. 1. Участок № 1).

Сообщество расположено на первой надпойменной террасе в верхней части пологого склона распадка на расстоянии 1.5 км от берега реки (Рис. 3).

Рис. 3. Дриадово-осоково-моховая бугорковая тундра, участок № 1. 1967 г.: а – общий план; б – крупный план.

Fig. 3. Dryad-sedge-moss hummock tundra, Site 1: a – general plan; б – close-up.

[7] Так в оригинале публикации 1973 г.

В чек-листе сообществ Таймыра, согласно доминантному подходу [Matveyeva, 1985], оно отнесено к асс. *Hylocomium splendens* var. *alaskanum+Aulacomnium turgidum+Tomentypnum nitens–Carex ensifolia+Dryas punctata*; в классификации школы Ц-М (подход Б-Б) формально – к асс. ***Carici arctisibiricae–Hylocomietum alaskani***, при описании которой в неё были включены только сообщества с разорванным покровом (пятнистые). Данное сообщество с сомкнутым покровом по составу доминантов не отличается от описанной выше пятнистой тундры: в наземном сплошном ярусе содоминируют *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Aulacomnium turgidum*, *Tomentypnum nitens*, *Ptilidium ciliare*, в разреженном верхнем – *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и *Dryas punctata.* При общности доминантов и значительном числе общих видов с близкими величинами обилия такие сообщества беднее видами из-за отсутствия видов, облигатных на голом или слабозаросшем грунте. Позиционирование таких сообществ в классификации школы Ц-М (подход Б-Б) не предлагалось. В перспективе возможно как описание самостоятельной ассоциации, так и выделение субассоциации. В аспирантской работе это было сформулировано так: «…типы тундр с одинаковыми доминантами, но различной структурой растительности, по-видимому, не следует выделять как отдельные ассоциации, скорее, их надо рассматривать как экологические варианты одной дриадово-осоковой моховой ассоциации» [Matveyeva, 1968: стр. 1603]. Сукцессионно сообщества с сомкнутым покровом – конечная (климаксовая?) стадия развития покрова в зональных условиях в срединной части тундровой зоны в подзоне типичных тундр (= CAVM subsones C, D) в азиатской части Арктики.

Рис. 4. Дриадово-осоково-моховая бугорковая тундра, участок № 1. 2010 г.: а – система бугров-полигонов и ложбин; б – металлические рамки, пролежавшие на стационарном участке более 40 лет; в – гигрофильная растительность в местах пересечения ложбин; г – полигонизация на снимке Google Earth от 08.11.2003.

Fig. 4. Dryad-sedge-moss hummock tundra, Site 1. 2010: a – system of mounds-polygons and trenches; б – metal frames rested on stationary site for more than 40 years; в – hygrophilous vegetation in trench intersections; г – polygonization on Google Earth image 11/8/2003.

В прошлом описания были выполнены на двух пробных площадках размером 10 × 10 м (в 1966 г.) и 15 × 15 м (в 1969 г.), расположенных в непосредственной близости друг от друга. Зарисована горизонтальная структура на площадках 2 × 5 м и 0.5 × 0.5 м [Matveyeva, 1968: Табл. 1,

Рис. 6, 8] и 15 × 15 м [Matveyeva et al., 1973: Табл. 1, Рис. 4]; в 1966 г. покрытие и встречаемость видов (сосудистые, мхи, печёночники, лишайники) определены на каждом 1 м^2 [Matveyeva, 1969; Beshel, Matveyeva, 1972], в 1969 г. списки видов составлены на всю площадь с глазомерной оценкой покрытия (в %) каждого вида.

В 2010 г. в этом сообществе нас ожидал не просто сюрприз, а, скорее, даже шок. Произошла трансформация, которую мы [Matveyeva et al., 2011; Matveyeva, Zanokha, 2013] сформулировали как «полигонизация» водораздельных суглинистых увалов – ранее выровненная (с нанорельефом, описанным ниже) поверхность превратилась в систему бугров (7-10 м в поперечнике) и разделяющих их ложбин (2-5 м шир.) со значительным (0.5-1.0 м) превышением по высоте (Рис. 4). По обширности площадей и рисунку гетерогенности с рядами бугров и ложбин они больше всего похожи на массивы байджарахов (якутское название бугров, возникающих вследствие таяния ископаемого жильного льда).

Впервые мы увидели это как раз на данном стационарном участке. Картина спокойная, всё выглядит как будто так и было всегда (таковой была реакция участников экспедиции, которые ранее в этом районе не бывали: для них это был всего лишь «своеобразный» ландшафт). Столь серьезные изменения произошли без разрывов в растительной дернине, в отсутствие признаков эрозии, с сохранением нанорельефа и прежним нерегулярно-мозаичным типом структуры покрова как на поверхности бугров и их почти вертикальных склонах, так и в ложбинах.

Масштаб данного явления как в пространстве, так и во времени поразителен. Сначала в поле, а затем и на спутниковом снимке Quick Bird системы Google Earth от 08.11.2003 мы увидели, что формирование системы бугров и ложбин произошло на всей территории стационара: относительно узкие увалы без горизонтальной поверхности полигонизированы тотально, а широкие и плоские – по краям вблизи перегибов в долины распадков. Поскольку признаков этого не было до 1994 г. (свидетельство коллег, работавших в этом районе после 1970 г.), а в 2003 г. система уже существовала, трансформация ландшафта произошла менее чем за 9 лет.

В 2010 г. найти старые пробные площадки не удалось, но был обнаружен большой кол и около него металлические рамки (10 × 20 и 50 × 50 см), с помощью которых в прошлом изучали структуру сообщества, что и убедило, что это тот самый участок (Рис. 4, б).

Результаты сравнительной оценки структуры и состава сообщества по прошествии более 40 лет (1966, 1969, 2010).

Структура. В сообществе был выражен нанорельеф криогенного генезиса, обусловленный морозной трещиноватостью грунтов и её последствиями – бугорки (первоначально появляются в результате сжатия и выдавливания грунта, в их основании всегда есть минеральное ядро) 0.10-0.12 м выс. и 0.15-0.30 м диам., которые иногда, сливаясь вместе, образуют цепочки или почти замкнутые валики, и ложбинки 0.15-0.20 м шир. Пятен голого грунта нет. Тип горизонтальной структуры – нерегулярно-мозаичный [Matveyeva, 1988]. Соответственно двум элементам нанорельефа физиономически выделяются 2 микрогруппировки: растительность бугорков и ложбинок. Растительность бугорков сходна с растительностью валиков в ДОМП; доминируют мхи *Hylocomium splendens* var. *alaskanum* и *Aulacomnium turgidum*, осока *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и кустарничек *Dryas punctata*; в ложбинках осока и дриада присутствуют, но в меньшем обилии, чем на бугорках, а в моховом ярусе обильны *Tomentypnum nitens* и *Ptilidium ciliare.*

В 2010 г. описания были выполнены на 2 буграх (73.26200° с. ш. 90.57528° в. д. – бугор, где стоит кол) и в 6 ложбинах (условно 2 сухие и 4 сырые) на площадке 30 × 40 м, где 9 бугров (7-12 м диам.) в двух рядах разделены ложбинами (3-5 м шир.). Спустя более 40 лет общая картина горизонтальной структуры сохранилась на обоих новых элементах рельефа: знакомое сочетание бугорков и ложбинок, но визуально поверхность стала более ровной из-за уменьшения высоты бугорков. Не изменилась и приуроченность видов к элементам нанорельефа при тех же доминантах на бугорках и в ложбинках.

Состав и обилие видов (Приложение, Табл. П3). В целом различия по составу видов на пробных площадках в 1966 и 1969 гг. аналогичны тем, что были выявлены в ДОМП. Но на разных площадках тогда было найдено заметно разное число видов, и различались не только данные по споровым (возможные причины чего обсуждены выше), но и по сосудистым растениям: 69 видов (26 сосудистых растений, 10 мхов, 6 печеночников, 27 лишайников) на 10 × 10 м в 1966 г. [Matveyeva, 1968] и 141 вид (соответственно 38, 40, 26, 37) на 15 × 15 м в 1969 гг. [Matveyeva et al., 1973: Табл. 1; Zhukova, 1973: Табл.]. В 1969 г. выявлены 13 видов (одиночные особи), которые не были

зарегистрированы на площадке в 1966 г. (*Alopecurus alpinus*, *Carex vaginata*, *Draba lactea*, *Eutrema edwardsii*, *Lagotis glauca* subsp. *minor*, *Minuartia arctica*, *Orthilia obtusata*, *Pedicularis capitata*, *P. dasyantha*, *P. sudetica*, *Salix arctica*, *Saxifraga cernua*, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*), и не найден 1 (*Minuartia macrocarpa*). Всего на 2 площадках – 150 видов (39, 41, 26, 44).

В 2010 г. полную информацию удалось получить о сосудистых растениях: на 2 буграх найдены 44 вида (32 и 33). По сравнению с прошлым выявлены единичные (r) особи 10 видов (*Draba micropetala*, *Draba* sp., *Eriophorum brachyantherum*, *E. russeolum*, *Festuca brachyphylla*, *Gastrolychnis apetala*, *Juncus biglumis*, *Luzula tundricola*, *Poa arctica*, *Ranunculus sulphureus*, *Saxifraga foliolosa*) и не найдены 6 (*Draba lactea*, *Lagotis glauca* subsp. *minor*, *Minuartia arctica*, *Pedicularis dasyantha*, *Saxifraga cespitosa*, *S. nivalis*).

И на буграх, и в сухих ложбинах те же доминанты, что ранее были на плоской поверхности: в кустарничково-травяном ярусе – *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и *Dryas punctata*, в моховом – *Hylocomium splendens* var. *alaskanum* и *Aulacomnium turgidum* на бугорках и *Tomenthypnum nitens* и *Ptilidium ciliare* в ложбинках, а также наиболее обильные и частые виды мхов и лишайников. На буграх стало выше обилие осоки *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* (до 3 баллов против 2) и пушицы *Eriophorum angustifolium* (2 против 1 и +) при сохранившемся обилии кустарничков *Dryas punctata* и *Cassiope tetragona.*

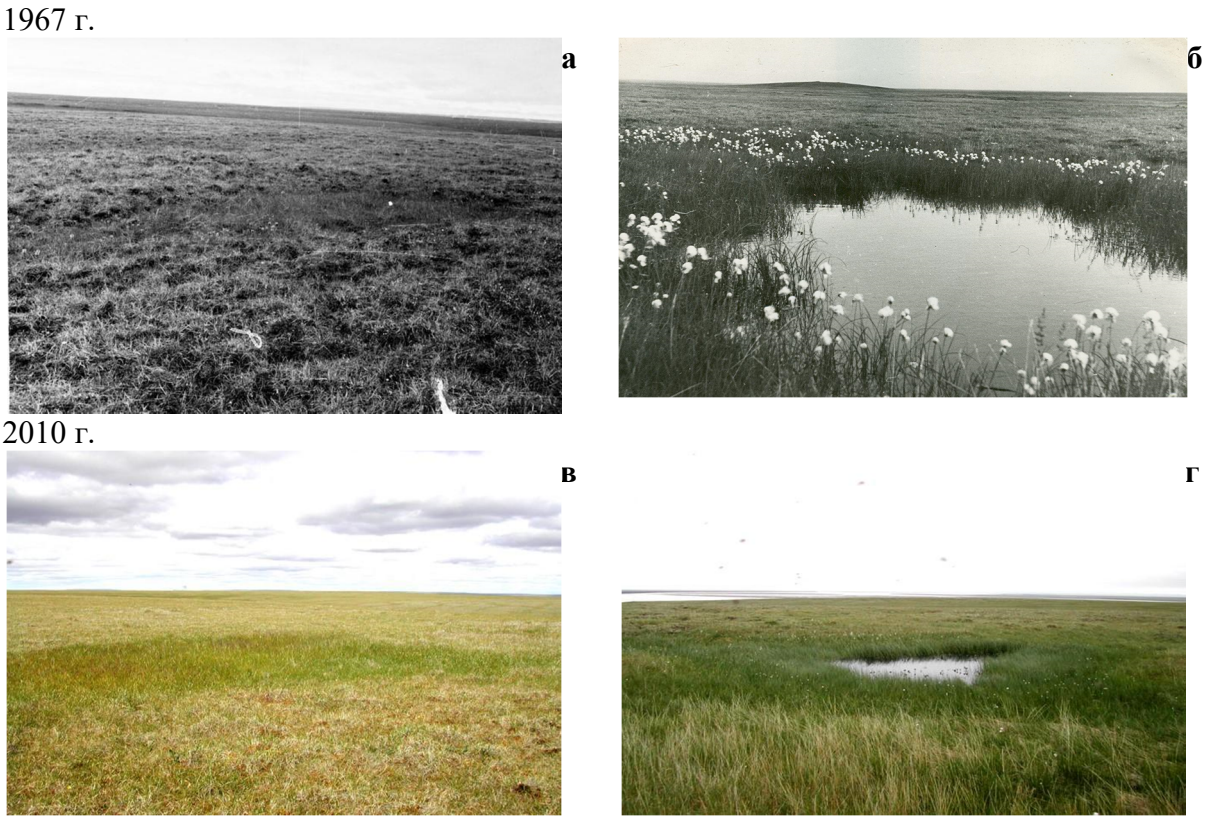

Рис. 5. Термокарстовые «просадки» (а, в) и водоёмы (б, г) на водоразделах.
Fig. 5. Thermokarst “subsidences” (а, в) and water bodies (б, г) on watersheds.

По сравнению с прежде ровной поверхностью всего сообщества и современными поверхностями бугров некоторые отличия в составе и обилие видов зафиксированы на днищах относительно сырых ложбин – отсутствие немногих видов с обилием +, r, скорее, результат методики описания (небольшая площадь); более высокое обилие пушицы *Eriophorum angustifolium* и более низкое осоки *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и злака *Arctagrostis latifolia* – вероятно, реакция на увеличение влажности. Несколько более зеленый цвет покрова в ложбинах (Рис. 4, а) объясняется отсутствием ветоши (мертвых прикрепленных листьев) осоки, которые в сырых (из-за мощного и длительно лежащего снега) условиях весной полностью опадают; в зональных позициях (каковыми остались поверхности бугров) в прошлом ветошь сохранялась более 2 вегетационных сезонов [Parinkina, 1978].

Заметно отличной (визуально) растительность была лишь в наиболее глубоких ложбинах и особенно в местах их пересечения, где доминирует гигрофильная осока *Carex aquatilis* subsp. *stans* (Рис. 4, в). По нашему мнению, это не динамика за обсуждаемый период времени. В прошлом на стационарном участке (не на пробных площадках) имелись «…крупные пятна, 2-3 м диам. с повышенной влажностью, в которых изменяется соотношение площадей, занимаемых бугорками и ложбинками, в сторону увеличения последних. Образование этих понижений связано с явлением термокарста» [Matveyeva et al., 1973: стр. 23], признаки которого фиксировали и ранее на водораздельных увалах, где имелись немногочисленные влажные фрагменты (Рис. 5, а) 3-4-угольной формы на разных стадиях увлажнения от гигрофитных сообществ до неглубоких водоёмов (Рис. 5, б).

С одинаковой долей неопределенности можно утверждать, что растительность таких фрагментов изменилась в сравнении с прежней поверхностью, или полагать, что она осталось прежней на месте в прошлом слабо выраженных термокарстовых понижений с повышенной влажностью с участием *C. aquatilis* subsp. *stans*.

Стационарные участки (болотные сообщества)

Вторым объектом наблюдения были болота низинного типа (без мощного торфяного горизонта, основой которого являются сфагновые мхи). В полигональных арктических болотах моховой покров сложен видами родов *Bryum, Calliergon, Cinclidium, Scorpidium, Meesia, Sarmentypnum*. Горизонтальная структура полигональных болотных систем бывает 2- или 3-членная. На ранней стадии имеются 2 элемента – поверхность полигонов и разделяющие их ложбины; на более поздней – по периферии полигонов имеются замкнутые валики, приподнятые над плоской или слабовогнутой (чаще) поверхностью, из-за чего такие болота логично называть валиково-полигональными[8]. Для приозерных депрессий на высоких надпойменных речных террасах характерен второй тип, формирующийся в ходе усиления дренажа и уменьшения размеров водоёма (до полного его исчезновения). К нему относился стационарный Участок 4.

ВАЛИКОВО-ПОЛИГОНАЛЬНОЕ БОЛОТО [Matveyeva et al., 1973: Рис. 4, Табл. 3. Участок № 4].

В 1969 г. стационарный участок находился на надпойменной речной террасе в 1 км от берега реки в приозерной депрессии, на южной и северной окрайках которой от когда-то большого озера остались 2 маленьких изолированных водоёма, а вся остальная площадь занята валиково-полигональным болотом (Рис. 6), где слабовогнутые полигоны многоугольной формы (15-20 м диам.) разделены мочажинами в виде ложбин (1.5-2.0 м шир.); по периферии полигонов имеются валики (1.0-1.5 м шир.), возвышающиеся (на 0.15-0.20 м) над их центральной частью.

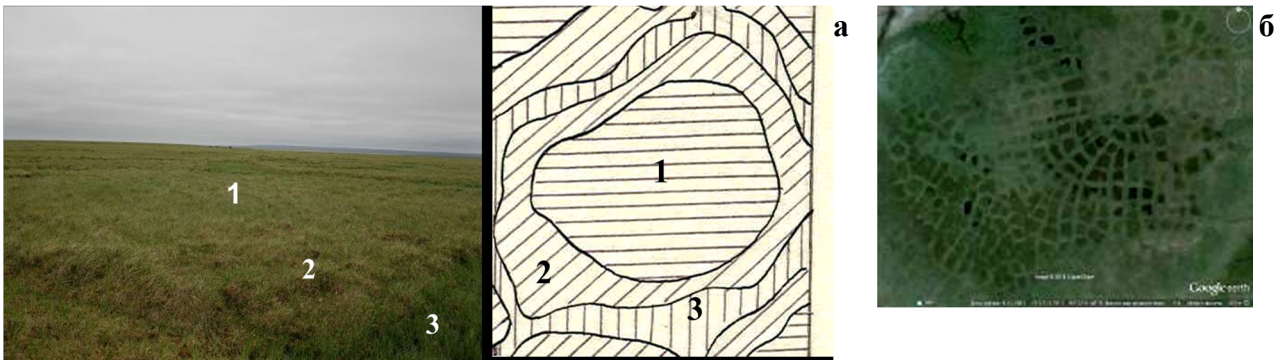

Рис. 6. Валиково-полигональное болото: а – модуль комплекса (1 – днище полигона, 2 – валик, 3 – ложбина); б – система валиково-полигонального болота.

Fig. 6. Rim-polygonal mire: a – module of complex (1 – bottom of the polygon, 2 – rim, 3 – trench); б – system of rim-polygonal mire.

[8] В литературе более употребительно наименование с иным порядком слов – полигонально-валиковые. На наш взгляд, логично определение «полигональные» ставить на второе место для отражения основной черты их горизонтальной структуры и для связки с болотами с 2-членной структурой, которые называют просто полигональные.

Таких модулей (вогнутое днище полигона + валик + ложбина) в одном массиве бывает от сотен до тысяч; на участке размером 60 × 60 м (примерное нахождение см. на Рис. 1, в) их было около 10. Растительность модуля – комплекс сообществ, повторяющийся в пространстве, до сих пор почти не описанный геоботаниками. На стационарном участке достаточно произвольно, без отнесения к каким-то единицам какой-либо классификации, были составлены списки видов (с глазомерной оценкой обилия в процентах) микрогруппировок (так в статье) по 3 элементам микрорельефа[9] (не на пробных площадках стандартного размера). Всего выявлено 110 видов (сосудистые растения 24, мхи 47, печёночники 24, лишайники 15), в каждой микрогруппировке соответственно – днища полигонов 34 (10, 24, 0, 0), валики 80 (16, 28, 21, 15), ложбины 34 (8, 23, 3, 0). В сплошном моховом ярусе содоминируют на днищах полигонов и в ложбинах *Sarmentypnum sarmentosum, Cinclidium latifolium, Scorpidium revolvens, Meesia triquetra*, на валиках – *Aulacomnium turgidum, Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Tomentypnum nitens*; в разреженном надмоховом на днищах полигонов – *Carex aquatilis* subsp. *stans* и *C. chordorrhiza,* в ложбинах – *Carex aquatilis* subsp. *stans*, на валиках – *Betula nana*, *Dryas punctata* и *Salix pulchra*.

Классификация такого сложного объекта дискуссионна по всем параметрам, начиная от методики описания (выбор пробных площадок, их размер, повторность) и определения статуса объекта. Логичнее всего считать растительность каждого из 3 элементов микрорельефа сообществами и пытаться их классифицировать раздельно. Но и это не слишком очевидно: в легенде к картосхеме участка (60 × 60 м) 18 номеров, что демонстрирует как очевидную комплексность покрова (3 типа сообществ), так и мозаичность каждого типа – 7 микрогруппировок на днищах полигонов, 8 на валиках, 3 в ложбинах. В системе школы Ц-М (подход Б-Б) растительность на днищах полигонов и в ложбинах относят к болотам класса ***Scheuczerio–Caricetea nigrae*** Tx. 1937; на валиках – к сообществам союза ***Carici concoloris–Aulacomnion turgidi*** Telyatnikov, Troeva, Gogoleva, Cherosov, Pestryakova et Pristyazhnyuk 2023, близким к зональным тундрам класса ***Carici arcrtisibiricae–Hylocomietea alaskani.***

Такие элементарные комплексы, тысячекратно повторяясь в пределах одного уровня увлажнения болотного массива, объединяются в совокупности фитоценотически гетерогенных территориальных единиц, которые, в свою очередь, образуют концентрические ряды поперек градиента влажности (от самых мокрых в центре до относительно дренированных на периферии депрессии). Затраты времени для описания даже одного подобного массива велики настолько, что пока ни у кого в Арктике такого времени не нашлось.

Рис. 7. Валиково-полигональное болото с опустившимися валиками в 2010 г.
Fig. 7. Rim-polygonal mire with rim subsidence in 2010.

В 2010 г. мы не только не повторили описание участка, но даже не нашли точно его местонахождение в болотной депрессии. Примерно там, где он находился в прошлом (~73.25833° с. ш. 90.59167° в. д.), общая картина микрорельефа настолько отличалась от описанной выше, что трудно оказалось сделать фотографию «классического» валиково-полигонального болота для лекционного курса студентам (что раньше не составило бы никакого труда): почти везде вместо замкнутых валиков, приподнятых над поверхностью полигонов, из-за их частичного опускания (оседания) на территории не только стационарного участка, но и всего массива остались небольшие фрагменты бывших валиков или вообще изолированные бугорки (Рис. 7).

[9] По высоте элементы рельефа в полигональных болотах измеряются в сантиметрах до немногих дециметров, что соответствует определению нанорельефа. Но протяженность элементов – многие, до десятка, метры, поэтому используют термин «микрорельеф».

Ещё в одном массиве (у южной окрайки оз. Большое), растительность которого на карте показана как 3-членное валиково-полигональное болото, опустились все валики, и поверхность стала ровной, как в 2-членном (Рис. 8, а). В результате ранее визуально отчетливо гетерогенный покров с высоты человеческого роста стал выглядеть гомогенным.

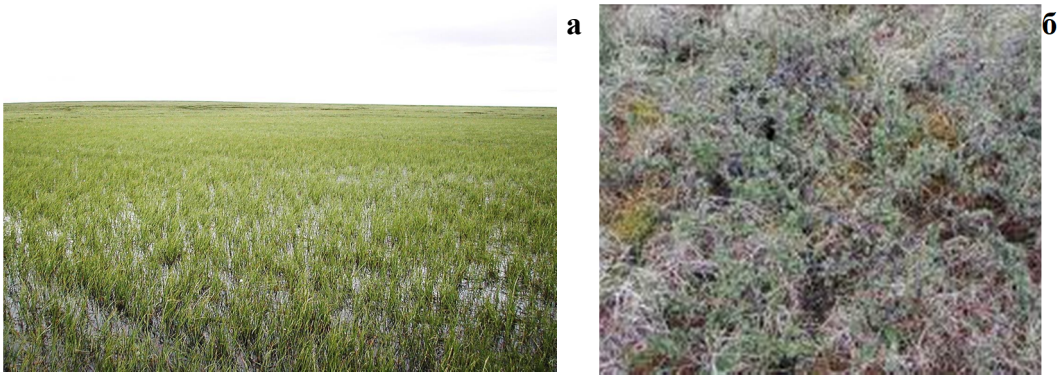

Рис. 8. Бывшее валиково-полигональное болото в приозерной депрессии оз. Большое в 2010 г.: а – общий вид; б – фрагмент растительности бывшего валика с мезофильными кустарниками, кустарничками, мхами.
Fig. 8. Former rim-polygonal mire in the lakeside depression of the Lake Bolshoe in 2010: a – general view; б – vegetation fragment of the former rim with mesophilic shrubs, dwarf shrubs, mosses.

Но гетерогенность сохранилась (Рис. 8, б): в 2010 г. на одном уровне поверхности почвы соседствовали очевидно гигрофильные травы (*Carex aquatilis* subsp. *stans*, *Eriophorum medium, Hierochloë pauciflora*) и мхи (*Sarmentypnum sarmentosum, Cinclidium latifolium, Scorpidium revolvens, Meesia triquetra* и др.), и столь же очевидно мезофильные кустарник *Betula nana* и кустарничек *Dryas punctata* и мхи (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Tomentypnum nitens* и др.). Увидевшему современную картину совместного произрастания данных видов (в том же обилии, что и раньше) в одинаковых условиях увлажнения не удастся найти адекватное объяснение этому феномену, если не знать прошлого (и не столь отдаленного) таких участков.

Удалось посетить только 2 депрессии с болотами (на карте (см. далее) выделены зелёным); на территории стационара их значительно больше.

Наше экспертное заключение: при значительных трансформациях в микрорельефе, в растительности сохранились прежняя гетерогенность покрова и общий состав видов, при небольшом изменении обилия некоторых доминантов (см. далее).

Иной тип полигональных комплексов развит в водосборных понижениях в веерных верховьях многочисленных распадков, образующихся в результате пятящейся эрозии.

БОЛОТНО-ТУНДРОВЫЙ ПОЛИГОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС [Matveyeva et al., 1973; Рис. 5, Табл. 3. Участок № 3].

В 1969 г. стационарный участок был расположен на надпойменной речной террасе в 1 км от берега реки в депрессии в верховьях короткой долины распадка непосредственно у рыбацкого поселения (Рис. 9).

Рис. 9. Болотно-тундровый полигональный комплекс.
Fig. 9. Bog-tundra polygonal complex.

Структура пробной площадки (50 × 60 м) – сочетание дренированных полигонов разной формы и размера (15-30 м диам.) и разделяющих их ложбин (0.5-6.0 м шир. и 0.2-0.3 м глубиной), заполненных водой. Соотношение по площади полигоны/ложбины – 80/20%. Поверхность полигонов плоская, несколько приподнятая в углах и иногда вдоль края. Название комплекса отражает гетерогенность его растительности. На буграх она тундровая, близкая к растительности низких водоразделов с доминированием ив *Salix reptans*, *S. pulchra* и березки *Betula nana* в кустарниковом ярусе, осоки *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и пушицы *Eriophorum angustifolium* и кустарничков *Dryas punctata*, *Cassiope tetragona*, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus* в кустарничково-травяном, *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens* в моховом. В ложбинах – болотная (но отличная от растительности полигонов в валиково-полигональных болотах) с теми же кустарниками что и на полигонах, осокой *Carex aquatilis* subsp. *stans* и пушицей *Eriophorum angustifolium* и гигрофильными мхами *Sarmentypnum sarmentosum, Cinclidium latifolium, Scorpidium revolvens, Meesia triquetra, Polyrichum jensenii.*

Без отнесения к единицам какой-либо классификации растительности микрогруппировок на полигонах и в ложбинах было выявлено (с глазомерной оценкой обилия (в %) 85 видов (сосудистые растения 35, мхи 41 (печёночники не выявляли), лишайники 9), соответственно, на полигонах 59 (30, 20, 9), в ложбинах 35 (12, 23, 0).

Классификация этого объекта не менее сложна и дискуссионна по всем параметрам, как и гетерогенная растительность болот. Логично воспринимать растительность каждого из 2 элементов рельефа сообществами и пытаться их классифицировать раздельно, что достаточно сложно. В легенде к картосхеме участка (50 × 60 м) 19 номеров, что демонстрирует как комплексность покрова (условно 2 типа сообществ), так и мозаичность каждого из них – 13 микрогруппировок на полигонах, 6 в ложбинах. В литературе подобные комплексы не описаны.

В 2010 г. не хватило времени на повторное описание участка. Визуально всё выглядело как прежде. Это заключение из разряда субъективных, поскольку сделано на основании всего лишь 2-кратного прохода через обширный комплекс, включая стационарный участок (~73.25722° с. ш. 90.57722° в. д.), на котором сохранились деревянные колья.

Стационарные участки (нивально-луговые сообщества)

ТУНДРОВЫЕ И НИВАЛЬНО-ЛУГОВЫЕ СООБЩЕСТВА НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ КОРЕННОГО БЕРЕГА [Matveyeva et al., 1973: Рис. 7, Табл. 4. Участок № 5].

Крутой склон берега реки, в целом южной экспозиции, изрезан глубокими ложбинами, образовавшимися в результате оттаивания ледяных клиньев древней полигональной системы (Рис. 10).

Рис. 10. Берег р. Пясина: а – общий вид, б – крупный план.
Fig. 10. Bank of the Pyasina River: a – general view, b – close-up.

Ложбины – место глубоких (до 3-5 м) снежников, где снег сохраняется до середины июля. Гребни зимой малоснежные, снег полностью сходит в июне; летом это самые прогреваемые биотопы с максимальной (до 1.5 м) глубиной сезонного оттаивания многолетнемерзлых пород. Большое экотопическое разнообразие обусловливает неоднородность растительного покрова, элементы которого небольших (2-3 м^2) размеров сменяют друг друга, образуя экологические ряды, контрастные

по дренажу и прогреву почвы в вегетационный период разной (от 1.5 до 3 месяцев) продолжительности. На стационарном участке площадью 70 × 70 м были выделены 13 типов сообществ, которые не исчерпывают всего разнообразия растительности отрезка берега, отраженного на карте [Matveyeva, 1978]. О высокой гетерогенности дает представление перечень названий сообществ по жизненным формам наиболее обильных видов сосудистых растений (*выпуклые гребни* (сверху вниз): кустарничково-осоково-моховые (горизонтальная окрайка коренного берега) – дриадовые и разнотравно-дриадовые (верхняя часть) – разнотравно-моховые и разнотравные (средняя часть); *днища ложбин*: злаково-разнотравно-моховые и злаково-моховые; *конусы выноса*: разнотравно- и злаково-хвощево-моховые), описать которую исчерпывающе с возможностью дальнейшей классификации не удалось ни в прошлом, ни в 2010 г. Для 5 элементов (3 на выпуклом гребне, 1 в ложбине, 1 на конусе выноса) в 1969 г. были составлены списки видов с глазомерными оценками (в %) их обилия [Matveyeva et al., 1973: Табл. 4]. На гребнях выявлены 140 видов (сосудистые растения 64, мхи 43, печёночники 7, лишайники 26).

Самыми контрастными по сравнению с зональными тундрами были и остались (визуально) разнотравные сообщества с ярусом злаков (*Festuca brachyphylla, Koeleria asiatica*, *Trisetum sibiricum* subsp. *litorale* и разнотравья (*Astragalus alpinus, Cerastium maximum, Myosotis alpestris* subsp. *asiatica*, *Oxytropis adamsiana, Pachypleurum alpinum, Pedicularis verticillata, Polemonium boreale*) от 0.10-0.15 до 0.30-0.35 м выс. и маломощным (тонким до 0.01 м и разреженным) моховым ярусом (*Thuidium abietinum*, *Sanionia uncinata*, *Hypnum revolutum*) в средней и нижней частях гребня склона (Рис. 11).

Такой тип сообществ в последующие годы в разных районах Таймыра (но не в Тарее) стал объектом пристального внимания [Zanokha, 1993], и они были отнесены к асс. ***Pediculari verticillatae–Astragaletum arctici*** Zanokha 1993. В 2010 г. для подобных разнотравных сообществ были составлены списки видов (с оценкой обилия в баллах) на всём протяжении берега реки [Matveyeva et al., 2014].

Из 64 видов сосудистых растений на выпуклой части гребня, хотя бы относительно обильных (> 1%) 16: 4 кустарничка (*Cassiope tetragona, Dryas punctata* и ивы *Salix arctica* и *S. polaris*), 2 осоки (*Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* и *C. rupestris*), 3 злака (*Festuca brachyphylla, Koeleria asiatica* и *Trisetum sibiricum* subsp. *litorale*), 7 видов разнотравья (*Astragalus alpinus, Cerastium maximum, Myosotis alpestris* subsp. *asiatica*, *Oxytropis adamsiana, Pachypleurum alpinum, Pedicularis verticillata, Polemonium boreale*). Соответственно, из 43 видов мхов обильных 6 (*Aulacomnium turgidum*, *Dicranum flexicaule*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Hypnum revolutum*, *Sanionia uncinata*, *Tomentypnum nitens*), из 26 видов лишайников таких 5 (*Flavocetraria cucullata, Peltigera aphthosa*, *P. canina*, *P. erumpens*, *Stereocaulon alpinum*), у всех 7 видов печёночников обилие низкое.

Рис. 11. Разнотравные сообщества на гребнях высокого берега р. Пясина.
Fig. 11. Forb communities on the ridges of the high Pyasina River bank.

В 2010 г. мы нашли участок, на котором сохранились многочисленные колышки, используемые в прошлом для наблюдений за фенологией, но описания не сделали, что не позволяет сделать объективное заключение о сохранении или изменении структуры и состава сообществ. Чисто внешне отметили красочность сообществ из-за обилия видов разнотравья с яркими цветками, что было характерно для них и в прошлом. Выборочная информация о составе и обилии видов в наиболее благоприятных (летом по теплу и влажности почвы, глубине деятельного слоя, продолжительности

вегетационного периода, зимой по глубокому снежному покрову, снижающему промерзание зимующих органов многолетних растений) биотопах дает представление о растительности таких сообществ, по составу жизненных форм и горизонтальной и вертикальной структуре покрова, наиболее близких к суходольным бореальным лугам класса ***Molinio-Arrhenatheretea*** Tx. 1937, но сложенных не бореальными, а арктическими и арктоальпийскими видами, что и останавливает помещать их в этот класс. В Арктике они описаны недостаточно, и авторы ассоциаций оставляют их вне высших единиц классификации школы Ц-М. Условно и позиционирование таких сообществ в классе ***Mulgedio-Aconitetea*** Hadač et Klika in Klika et Hadač 1944 [Matveyeva, Lavrinenko, 2021]. В Тарее методология получения данных в прошлом не описана, и она отлична от принятой в данной школе (размер пробной площадки, границы и размер сообществ, эффект соседства и мн. др.). Это и в будущем не позволит объективно оценить возможные изменения, что надо иметь в виду тем, кому удастся посетить этот район.

В долине р. Пясина берег экспонирован на юг на сравнительно небольшом отрезке между устьями рек Тарея и Пура, где она течет с востока на запад. В подзоне типичных тундр (= CAVM subsones C, D) на Таймыре растительность южных склонов берегов рек описана в Тарее и в устье р. Рагозинка (западный берег Таймыра) [Matveyeva et al., 1973; Matveyeva, Chernov, 1992; Zanokha, 1995a], остальная информация имеется для подзон южных (= CAVM subsone E) (пос. Кресты) и арктических (= CAVM subsone B) (окрестности пос. Диксон и устье р. Убойная) тундр [Matveyeva, Zanokha, 1986; Zanokha, 1995б, 2001] и для о-ва Большевик в зоне полярных пустынь (= CAVM subsone A) [Zanokha, 2001, 2009].

Антропогенная растительность

АНТРОПОГЕННАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПОС. ТАРЕЯ [Матвеева и др., 1973: Рис. 8. Участок № 6].

В 1965 г., когда в Тарею приехали 6 сотрудников БИН, жизнь в крошечном рыбацком поселении «била ключом». Основой этого был «мерзлотник» (Приложение 2, Рис. П1) – обширная рукотворная пещера в многолетнемерзлом грунте высокого берега реки. В нём хранили рыбу, которую ловили бригады рыбаков Норильского госпромхоза, разбросанные на огромной территории западного Таймыра (включая оз. Таймыр). Рыбаков забрасывали в «точки» на самолетах Ан-2 (зимой на лыжах, летом на поплавках), откуда регулярно и забирали улов, который замораживали и хранили до осенней путины, когда по реке из Норильска приходили катера с баржами (на них завозили продукты, уголь, жидкое топливо). Для жизни имелись 3 маленьких домика у края поймы (Приложение 2, Рис. П1, а), где круглогодично жила семья рыбака (с женой и маленькими детьми), и дом, в котором жил и работал радист для связи с авиацией. Периодически с «точек» привозили рыбаков. Кроме этого, был ещё большой дощатый дом (Приложение 2, Рис. П1, б), принадлежавший Арктическому и антарктическому научно-исследовательскому институту (ААНИИ), разрешение на его использование и стало основанием для планирования организации многолетнего стационара БИН, а также крупный балок со складом-магазином с продуктами и предметами быта. В первое лето (1965 г.) участники жили в дощатом доме (с печкой!!!). Следующим летом начал функционировать научный стационар, на котором собиралось от 18 (1966 г.) до 30-40 (1967-1969) сотрудников из разных научных институтов и университетов. Жили в многочисленных палатках (Приложение 2, Рис. П1, в), расположенных на пологом склоне между лабораторией и домом радиста (одну из комнат которого использовали как столовую).

До 1965 г. растительность была уже достаточно изменена, поскольку долгое время здесь располагалась база геологической экспедиции ААНИИ (никаких деталей о длительности и интенсивности воздействия нет). Её исходное состояние – дриадово-осоково-моховая тундра, обычная на пологих склонах (ДОМБ, аналог участка 2) с доминированием мхов *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens*, осоки *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*, кустарничка *Dryas punctata*. В период работы стационара нагрузка (вытаптывание) на растительный покров в летнее время (конец июня – начало сентября) была достаточно сильной. В 1968 г. была словесно описана (Е.В. Дорогостайская) растительность территории и выполнена картосхема, в легенде которой приведены 12 названий группировок [Matveyeva et al., 1973].

После 1977 г. жилые помещения продолжали использовать рыбаки, а также геологи и геодезисты, в распоряжении которых были и вездеходы. Интенсивность рыболовства постепенно снижалась; в1990-е годы госпромхоз прекратил свою деятельность и рыболовство стало частно-

индивидуальным. В одно из половодий (год неизвестен) домики рыбаков в пойме были унесены водой. Большой дощатый дом, в котором жила семья рыбаков, сгорел в 1998 г.

В момент нашего прибытия в 2010 г. (Приложение 2, Рис. П2) имелся новый небольшой дом рыбака (Анатолий Матков) и старый дом радиста в полуразрушенном состоянии; от лаборатории остался только фундамент (Приложение 2, Рис. П2).

Наибольшую площадь в 1968 г. на территории между домами, где летом стояли многочисленные палатки, а исходная растительность была вытоптана почти полностью, занимали «…угнетенные и разреженные лисохвостово-мятликовые группировки» [Matveyeva et al., 1973: стр. 45, Рис. 7]. В 2010 г. растительность выглядела как исходная дриадово-осоково-моховая тундра, без явных признаков нарушения и без обилия злаков-апофитов (*Alopecurus alpinus* и *Poa alpigena*). Но ходить по ней в конце июля – начале августа можно было лишь в резиновых сапогах, т.е. влажность почвы была существенно выше в сравнении с тем, как было раньше, когда жили в палатках и передвигались в легкой спортивной обуви (кеды). В верхней части пологого склона, где в прошлом была исходная растительность, образовался полигональный массив с буграми и ложбинами – аналогичный ДОМБ на участке 2 (Рис. 12). Возможно, образование ложбин стало причиной усиления поверхностного стока почвенной влаги, что и привело к повышенному увлажнению нижерасположенной поверхности.

Рис. 12. Полигонизация в верхней части пологого склона в поселении.
Fig. 12. Polygonization at the top of gentle slope in settlement.

Карта растительности

Суждение, что сохранилась принадлежность сообществ к тем же типам сообществ, к которым их относили ранее, сделано по их внешнему облику при обходе территории с крупномасштабной картой растительности (Рис. 13), которую не пришлось бы изменять; толика объективности такого мнения поддержана тем, что оно высказано исследователем, который и делал эту карту. Кроме повторного описания 2 стационарных участков (зональных сообществ ДОМП и ДОМБ), были выполнены описания аналогичных сообществ на водораздельных увалах, структура и состав видов которых остались прежними.

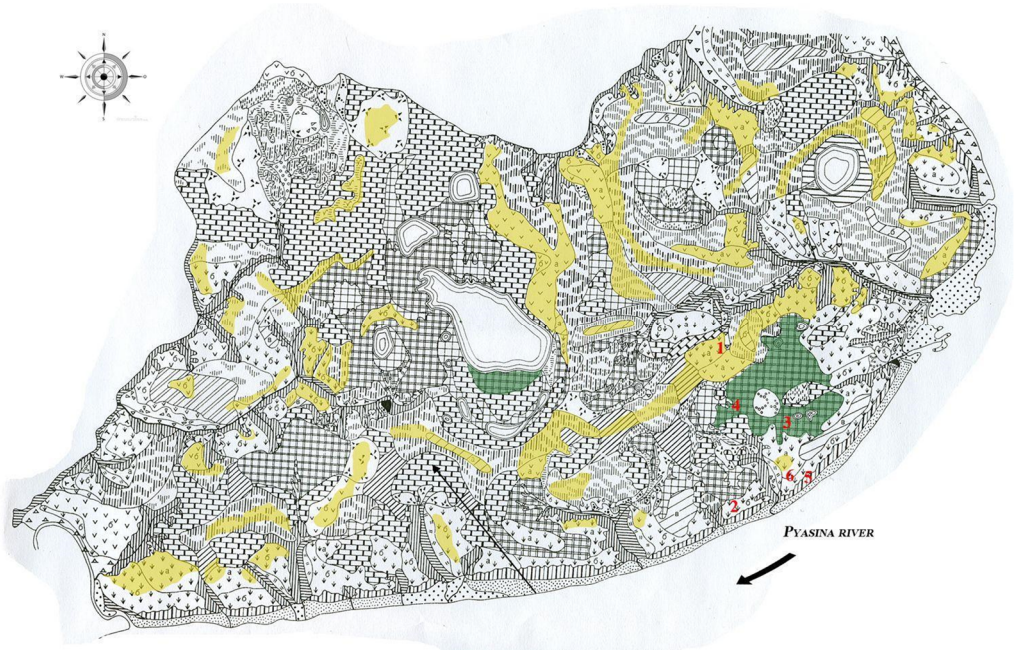

Рис. 13. Карта растительности (Матвеева, 1978)
Желтый цвет – территории с полигонизацией водораздельных увалов в 2010 г.; зелёный – в прошлом валиково-полигональные болота, в 2010 г. с частично или полностью опустившимися валиками; цифры – номера стационарных участков.
Fig. 13. Vegetation map (Matveeva, 1978)
Yellow – areas with polygonization of watersheds in 2010; green – former rim-polygonal mires, in 2010 with partially or completely rim subsidence; figures – numbers of stationary sites.

Растительность на песке

На пологом (3-5º) склоне южной экспозиции узкого песчаного участка коренного берега реки (Рис. 14) между двумя ложбинами стока было повторно описано астрагалово-дриадовое сообщество (оп. 10, 1965, архив Н.В. Матвеевой).

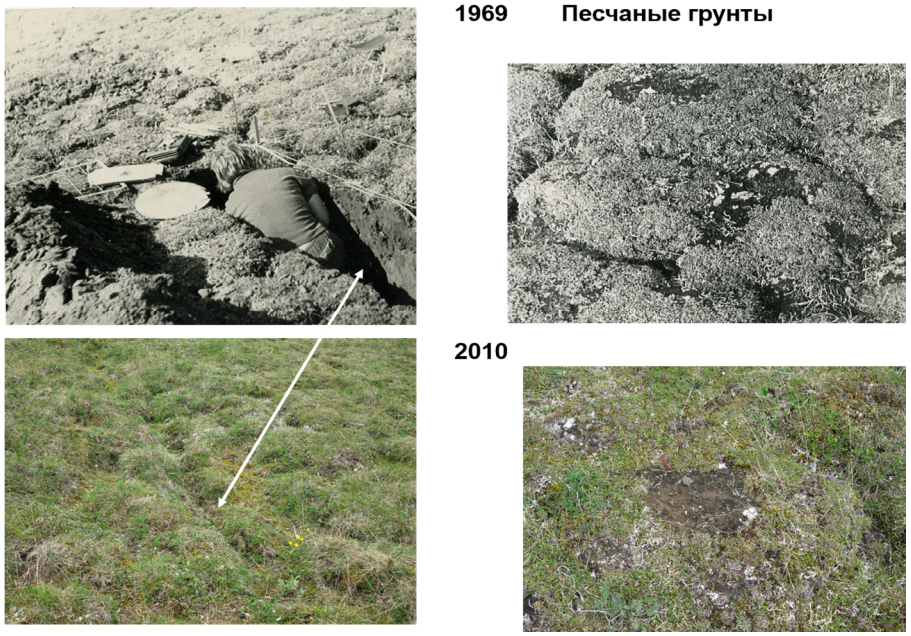

Рис. 14. Астрагалово-дриадовое сообщество на пологом (3-5°) склоне южной экспозиции песчаного участка коренного берега реки.
Fig. 14. Astragalus-dryad community on southern gentle (3-5°) slope of sandy part of the indigenous riverbank.

Горизонтальная структура – выровненная поверхность, разделённая узкими (до 0.10 м шир.) глубокими (до 0.12 м) трещинами (10%), местами углубленными деятельностью леммингов, на небольшие (0.5 м диам.) округло 4-5-угольные медальоны (90%). На поверхности медальонов в средней части (30%) разреженный (5%) покров накипных лишайников, на периферии (60%) густой (~80%) из кустарничков *Dryas punctata* (дом.) и *Salix arctica* и *Astragalus subpolaris.* Трещины заполнены лишайниками (*Cetraria cucullata*, *C. nivalis*, *C. islandica*, *Dactylina arctica*, *Stereocaulon paschale*, *Thamnolia vermicularis*) и мхами (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocominum splendens* var. *alaskanum*, *Tomentypnum nitens* (дом.); единичны особи всех видов с периферии медальонов, местами обилен кустарничек *Cassiope tetragona.* Описание в 1965 г. было сделано не на пробной площадке, и состав видов не был выявлен гарантированно полно (особенно споровых); все количественные характеристики определяли на глаз на всю площадь визуально ограниченного сообщества.

В 2010 г. пробная площадка (10 × 10 м) была заложена вблизи начала (73.26417° с. ш. 90.61917° в. д.) 5-метровой траншеи, которую после описания почвенного разреза в 1969 г. закопали, вернув на место неповреждённую растительную дернину (Рис. 14), так что траншея не нарушила сообщество (дернина на ней немого вогнута, но каких-то отличий от фона нет). Спустя 44 года общий вид сообщества, горизонтальная структура, доминирующие (*Dryas punctata*) и хотя бы относительно массовые (обилие >1 балл) виды, как сосудистые растения (кустарнички *Cassiope tetragona* и *Salix arctica* и астрагал *Astragalus subpolaris*), так и мхи (*Aulacomnium turgidum, Ditrichum flexicaule, Hylocominum splendens* var. *alaskanum, Tomentypnum nitens,* а также *Rhytidium rugosum*, который в первый сезон работы в 1965 г. в момент описания ещё не распознавали) и лишайник *Cetraria cucullata*, остались прежними (Приложение 1, Табл. П4). Если и есть какие-то различия, то они минимальны, например, по сравнению с 1965 г. не нашли 6 видов сосудистых растений (*Minuartia rubella*, *Salix nummularia*, *S. polaris*, *S. pulchra*, *Saxifraga oppositifolia*, *Saussurea tilesii*) и зафиксировали 4 новых (*Papaver pulvinatum*, *Saxifraga nelsoniana*, *S. spinulosa*, *Senecio resedifolius*) – все единичными особями. Сложилось, скорее, впечатление о более заросшей поверхности медальонов: многие из них сплошь затянуты дерниной дриады, но остались и с голым грунтом (1%) с корочкой накипных лишайников. Поскольку в оба момента времени описания не были достаточно полными (приводим таблицу с призрачной надеждой, что кому-нибудь удастся увидеть и описать это сообщество в обозримом будущем), и что нельзя исключить возможные различия в оценке покрытия/обилия видов, общее заключение о стабильности покрова относим к разряду экспертных.

То же можно сказать и о растительности немногих мест с песчаными почвами, например, на эрозионном останце среди депрессии с валиково-полигональным болотом.

Флора сосудистых растений

Состав видов. Для территории, которую удалось обследовать в 2010 г., в прошлом [Polozova, Tikhomirov, 1971] были известны 212 видов (96 родов, 35 семейств). Спустя 40 лет мы не нашли 29 видов (все редкие в ландшафте) и обнаружили 10 новых (все в пойме р. Пясина, редкие, многие в единственном экземпляре). В результате в 2010 г. зафиксированы 193 вида (87 родов, 32 семейства) сосудистых растений [Matveyeva et al., 2014]. Отсылаем читателя к публикации, основные выводы из которой здесь сформулируем следующим образом:

1) основная причина неполного (не нашли 29 видов) выявления флоры – кратковременность исследований в 2010 г., что сократило площадь и детальность работы; велика возможность пропуска (в прошлом это были одиночные находки, многие в единственном экземпляре)[10];

2) нет твердой уверенности, что вновь найденные (10) виды отсутствовали 40 лет назад (большинство из них встречаются и севернее), но нельзя исключить и заноса семян во время весенних половодий реки, текущей с юга (730 км);

3) при допущении, что ненайденные виды на данной территории присутствуют, систематическая и географическая структура флоры осталась неизменной.

Активность видов в ландшафте. Оценить изменения в активности возможно только для общих 184 видов – у 162 (88.5%) она осталась неизменной, у 5 при той же активности незначительно

[10] При известном месте находок видов, в прошлом очень редких в ландшафте, они были обнаружены в них и много лет спустя.

возросло или снизилось обилие; на 1 градацию понизилась активность у 22 (средне- и низкоактивные) видов. Небольшие изменения в распределении видов с низкой активностью можно считать как объективными, так и субъективными (кратковременность наблюдений в 2010 г. и неопределенность оценок в аннотированном списке 1971 г.).

Уместно замечание, что критерий активности видов в ландшафте касается таких количественных характеристик, как их обилие/покрытие, встречаемость, широта экологической амплитуды [Yurtsev, 1968]. Его субъективность намного выше качественного критерия присутствия (всего 2 категории: есть – нет). В отечественной литературе по Арктике для адекватного отражения «количества» вида в покрове ландшафта предлагали разные подходы. То, что различные баллы, шкалы, градации и пр. далеки от объективности, в полной мере относится даже к работе геоботаников при описании небольших пробных площадок; намного менее точно это возможно сделать для крупных выделов растительности и тем более для всего ландшафта. И погрешность ещё выше при внушительном временно́м разрыве, даже если работа выполнена теми же самыми людьми, поскольку нельзя исключить, что одно и то же обилие вида они могли по-разному оценивать в прошлом и настоящем, т.е. субъективность была и тогда, и теперь, но она могла быть разной (как, например, в Диксоне, где в 1980 и 2012 гг. это осуществляли Н.В. Матвеева и Л.Л. Заноха [Matveyeva, Zanokha, 2017]. Что уж говорить про Тарею, где это делали и разные люди – Т.Г. Полозова (в аннотированном списке) в 1971 г. и авторы данной статьи в 2010 г.). Отсюда вывод [Matveyeva et al., 2014], что у подавляющего большинства видов их активность в ландшафте осталась неизменной, при незначительном изменении обилия у немногих, скорее экспертен, нежели объективен.

Информации о флоре споровых (мхи, печёночники, лишайники), детально изученной в первые периоды наблюдений, повторно получено не было.

Наше отчасти экспертное суждение: их состав и распределение в сообществах не претерпели заметных изменений. Но для объективной оценки состояния этого важнейшего компонента растительности необходимо провести исследования, аналогичные тем, какие на высоком профессиональном уровне были выполнены ранее [Piin, Trass, 1971; Blagodatskich, 1973; Zhukova, 1973].

Мелкомасштабные криометаморфические процессы в деятельном (активном) слое многолетнемерзлых грунтов

Процессы, связанные с существованием многолетнемерзлых грунтов, – эрозия, морозная трещиноватость, сжатие и выдавливание, солифлюкция, термокарст. Их последствия в виде образования оползней, оврагов, криогенных форм нано- (пятнистые и бугорковые сообщества) и микрорельефа (полигональные системы в неглубоких депрессиях), мочажин и небольших водоёмов на водоразделах в Тарее были вполне заурядны и 40 лет назад.

Эрозионные процессы. К самым обычным, а скорее, привычным, относятся оползни. На высоком южном берегу реки имеются как свежие оползни с голым грунтом, так и разные стадии восстановления растительности (Приложение 2, Рис. П3). Сползание оттаявшего слоя грунта по поверхности многолетнемёрзлого грунта фиксировали как в начале вегетационного сезона после интенсивного таяния снега, так и в разгар лета, в частности, после гроз в третьей декаде июля. В такие моменты появлялись и разрывы в грунте, что в результате пятящейся эрозии в дальнейшем приводило к образованию оврагов. Подобные формы мы наблюдали и в 2010 г., в том числе видели свежие отроги распадка у поселения и оползни на его склоне (Приложение 2, Рис. П4). Оползневые процессы в разные годы мы отмечали (фотографировали и описывали) во многих районах Таймыра.

В болотно-тундровых комплексах в верховьях распадков продолжается (развивается) пятящаяся эрозия, что проявляется в появлении ложбин с разрывами в покрове и мини-оврагов с обнажённым грунтом. Процесс не слишком активный, но очень вероятно его усиление.

Останец в пойме (в устье р. Неура), который когда-то был частью высокого берега, во время работы стационара был изолирован и воспринимался как невысокий холм (Приложение 2, Рис. П5, а) с покровом дриады и разнотравья, как и на берегу (см. выше описание растительности на песке). В 2010 г. холм стал значительно меньше по размеру и высоте (Приложение 2, Рис. П5, б), с разрушенными склонами и развеваемым песком, с единичными особями разнотравья. Скорее всего, уже на следующий год во время половодья он был полностью размыт.

Морозная трещиноватость, сжатие и выдавливание. Пятнистые и бугорковые сообщества как были, так повсеместно и остались на горизонтальных и слабонаклонных поверхностях водоразделов при сохранении размеров элементов нанорельефа и их соотношения, при небольшом (визуальная оценка) снижении их высоты (как валиков в первых, так и бугорков во вторых). Из вполне естественных процессов и в прошлом в пятнистых тундрах можно отметить как зарастание голого грунта на поверхности медальонов, так и появление голого грунта в пересечении ложбинок.

Полигонизация. О полигонизации на водоразделах подробно написано выше при оценке изменений в сообществах с бугорковым рельефом. Но этот процесс затронул и пятнистые тундры как непосредственно вдоль берега р. Пясина, так и на отдалении, и не только на пологих поверхностях увалов, но и на склонах распадков, где бугры имеют не горизонтальную, а выпуклую поверхность, и их массивы выглядят как классические байджарахи (Приложение 2, Рис. П6, а). В ложбинах между буграми сохранилась структура пятнистых сообществ с 3-членным модулем (пятно грунта + валик + ложбинка), но поверхность выровнена (из-за опустившихся (?) валиков, которые в таком виде логичнее называть каймой), т.е. при очевидной гетерогенности нанорельеф почти не выражен (Приложение 2, Рис. П6, б). Похожая система с более выпуклыми буграми-полигонами, напоминающая массивы байджарахов, образовалась недалеко (до 500 м к востоку) от поселка на небольшом удалении от края речной террасы на месте кустарничково-осоково-моховой тундры.

Подобные массивы ранее на Таймыре фиксировали только в приморских районах либо вдоль берегов моря (Диксон, бухта Марии Прончищевой), либо на склонах долин ручьев (Диксон, реки Рагозинка и Убойная) [Matveyeva, 1998, 2017, 2020; Matveyeva, Zanokha, 2013, 2017]. Для внутренних районов полуострова это новое явление.

И в поле, и на спутниковом снимке видно, что процесс фрагментации не остановился: без признаков эрозии продолжается разделение бугров на единицы меньших размеров и не только квадратно-прямоугольной, но и треугольной формы (Приложение 2, Рис. П7). Нечасто на краях бугров с пятнистой тундрой (ДОМП) единичные медальоны (пятно грунта + валик) оползают с разрывом дернины и обнажением грунта в ложбинке, что в перспективе может вызвать эрозию (Приложение 2, Рис. П8).

Солифлюкция на склонах. К новейшим процессам, в прошлом в данном районе не отмечавшимся, следует отнести солифлюкцию – медленное смещение надмерзлотных масс сезонно-талого слоя грунта. Мы полагаем, что именно вследствие солифлюкции на ранее выровненной поверхности склонов распадков средней крутизны без разрыва в исходной растительной дернине сформировался нанорельеф в виде бугорков до 0.30 м выс. с основанием около 0.50 м в диам., разделяемых широкими (до 0.50 м) понижениями на местах прежних ДОМБ сообществ со сплошным покровом, где размеры элементов нанорельефа были заметно меньше – бугорки соответственно до 0.15-0.20 и 0.15-0.30 м диам., ложбинки – до 0.15-0.20 м; последние стали восприниматься как фон, на котором возвышаются бугорки (изменение нанорельефа вследствие движения поверхностного слоя грунта). Такой склон в 2010 г. мы видели однажды (Приложение 2, Рис. П9), сделали замеры элементов нанорельефа и сфотографировали без повторного описания. О его прежнем облике судим отчасти по памяти, но также и по карте растительности и описанию, выполненному в 1970 г., потому заключение об изменении горизонтальной структуры относим к разряду экспертных.

Термокарст. Опускание поверхности вследствие оттаивания льдистых мерзлых пород и/или линз льда – обычный феномен в данном районе, в том числе в прошлом фиксируемый и на стационарном участке ДОМБ (за пределами пробных площадок) в виде 3- и 4-сторонних неглубоких впадин, значительно более влажных по сравнению с окружающей растительностью (см. Рис. 4, в). Детально подобные фрагменты не были описаны ни в прошлом, ни спустя годы, что не дало возможности дать однозначный ответ: покров в таких местах изменился или был таким раньше? В оба срока наблюдений «просадки» в виде серии от слабо (до 0.05 м) вогнутых фрагментов с почти неизменённой растительностью (Рис. 5, а, в) и небольших (до 5.0 м в диам.) до относительно глубоких (> 0.5 м) водоёмов (Рис. 5, б, г) были вполне обычны на горизонтальных поверхностях увалов и в отсутствие таких систем. По спутниковым снимкам 2003, 2017, 2020 гг. и фото с самолёта 2017 г. видно, что число «просадок» и небольших водоёмов заметно увеличилось (Приложение 2, Рис. П10), из чего заключаем, что термокарст усилился.

Снежники

В прошлом снежники в виде небольших изолированных массивов в нижних частях склонов распадков оставались почти до середины августа. В 2010 г. их не было уже в конце июля. В районе Диксона мощные (зимой более 3 м глубиной) снежники в 1978-1980 гг. при уменьшении мощности не стаивали до конца вегетационного периода, а в 2012 г. полностью растаяли к середине августа [Matveyeva, Zanokha, 2017].

Сезонное оттаивание мерзлоты

В 1966-1969 гг. глубина оттаивания многолетнемерзлого грунта, которую измеряли, используя металлический щуп, на 5 стационарных участках каждые 5 дней с июня по август [детали методики и результаты см.: Matveyeva, 1971]: на увалах – 0.6-0.7 м, в заболоченных депрессиях – 0.4-0.5 м, на гребне высокого берега реки – 1.3-1.5 м. В зависимости от метеоусловий вегетационного периода амплитуда глубины в разные годы была 0.10-0.15 м [Matveyeva, 1971].

В 2010 г. было однократное измерение на стационарных участках зональных сообществ – 21 июля (в ДОМП) и 22 июля (в ДОМБ).

Из опыта прошлого известно [Matveyeva, 1971], что оттаивание грунта продолжается до первой декады августа, когда и фиксируется его максимальная сезонная глубина, которая 21 и 22 июля 2010 г. ещё не была достигнута.

В ДОМП на день измерения под пятнами грунта это было 0.62 м, что больше, чем в те же числа в 1966-1969 гг., в том числе в самый тёплый (за период наблюдений) вегетационный сезон 1967 г. (0.52 м). Однако сделать однозначное заключение о возможно большей глубине оттаивания в 2010 г. при том, что июль 2010 г. был холодным и дождливым, не получится, поскольку в 1967 г. после 20 июля почва оттаяла ещё на 0.2 м. Отсюда трудно ожидать, что в 2010 г. максимальная глубина оттаивания могла быть больше, тем более значительно больше, чем в 1967 г. (нельзя исключить и погрешности измерения). За все годы наблюдений (до 1970 г.) максимальная мощность деятельного слоя в ДОМП была 0.75 м.

В ДОМБ 22 июля на бугре средняя (измерения на 3 буграх (по 10 под каждым из двух элементов нанорельефа) и 10 в ложбинах между ними) глубина оттаивания была такая же (0.50 на буграх и 0.55 в ложбинах), как в это время и в 1967 г. (0.50 м), при тогда максимальной (в конце августа) 0.60 м.

Наше заключение: глубины оттаивания многолетнемёрзлого грунта (= мощность деятельного, активного, сезонно-талого слоя) за 40 лет остались прежними. В 25-летнем (1984-2009) исследовании J.C. Jorgenson et al. [2015] на севере Аляски для данного процесса трендов также не установлено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Самый общий вывод по результатам различного рода наблюдений при повторном (через 40 лет) посещении территории стационара можно сформулировать так: стабильность в растительном покрове при значительных метаморфозах в ландшафте, микро- и нанорельефе и, как следствие этого, в изменении поверхностного и внутрипочвенного стока воды.

Из общего комплекса криометаморфических процессов в деятельном слое многолетнемёрзлых грунтов выделяем наиболее значительное и заметное явление, которое могло существенно изменить растительный покров на высокой надпойменной террасе реки, где ранее в интразональных условиях в депрессионных частях ландшафта имелись 2 системы с полигонами (с протяженностью элементов в метрах): 1) валиково-полигональные болота (приозерные депрессии, днища спущенных озёр термокарстового происхождения с сетью древних полигонально-жильных льдов) и 2) болотно-тундровые комплексы (вогнутые поверхности водоразделов, расчленённые ложбинами в результате пятящейся эрозии, в верховьях небольших долин ручьев). К ним добавилась третья полигональная система (с массивами плоских/плоско-выпуклых бугров разной высоты и размеров и ложбин разной ширины и глубины) в зональных условиях на слабонаклонных поверхностях водоразделов и их склонах (Рис. 15).

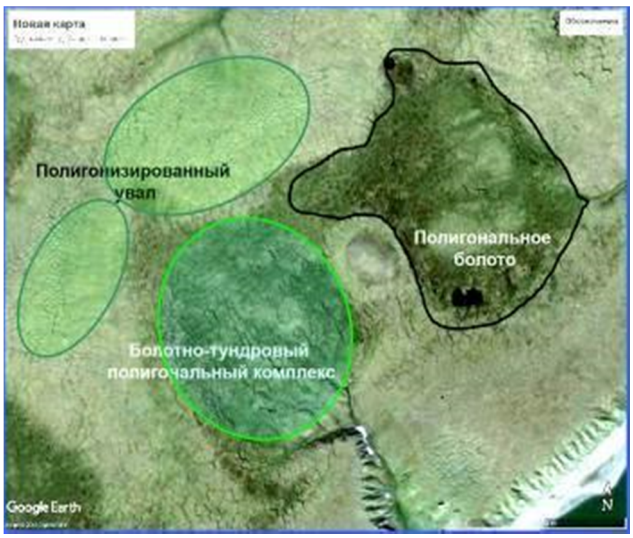

Рис. 15. Три полигональные системы.
Fig. 15. Three polygonal systems.

Объяснение причин почти тотальной трансформации больших пространств – за пределами нашей компетенции. Доклады первого автора в разных аудиториях и беседы со специалистами-геокриологами не прояснили, как и почему и особенно почему полигонизация произошла так быстро. Наиболее обоснованно это связывают с современными процессами в многолетнемёрзлых грунтах. В деталях этот тезис рассмотрен в статье международного коллектива авторов [Liljedahl et al., 2016]. В Тарее это предположительно случилось не раньше 1994 г., но уже существовало в 2003 г. По серии косвенных климатогенных характеристик толчком к резкой деградации полигонально-жильных льдов могло стать соотношение тепла и влаги в 1998 г., когда в зимний период совпали низкие температуры и большие осадки (как правило, в тундре с большими осадками сопряжены теплые зимы, а тут случилось наоборот) [Liljedahl et al., 2016]. Но чёткого профессионального ответа, почему полигонизация увалов случилась в этот момент (на восходящей ветви синусоидной температурной кривой (причём преимущественно в зимнее время) [Rozenbaum, Shpolyanskaya, 2000; Shpolyanskaya, 2010], а, например, не раньше – в период «теплой Арктики» [Malinin, Vainovsky, 2018] в 30-е годы прошлого столетия, когда абсолютные показатели потепления (первого в XX веке) были выше, чем в 2010 г. (по данным самой старой метеостанции в циркумполярной Арктике на о-ве Диксон), пока нет.

Начало или ранние стадии этого процесса в виде будущей полигональной системы 40 лет назад фиксировали как специалисты-геокриологи, которые отмечали, что особенностью террасового уровня на высоте 20-25 м над урезом воды р. Пясина является «…прослеживающийся на его поверхности, *хотя и не всегда чёткий* (курсив наш), мерзлотный полигонально-валиковый рельеф, в настоящее время … в большинстве случаев реликтовый …» [Danilov et al., 1971: стр. 23], так и геоботаники, но только в полевом дневнике.

В 2010 г. уже в поле на многих увалах, особенно на наиболее широких, с горизонтальной поверхностью, в их средней части мы видели начало полигонизации ещё почти без превышения будущих бугров над ложбинами по высоте (<1-2 см), что хорошо видно и на спутниковых снимках (Рис. 16). Это, а также разделение бугров на более мелкие фрагменты разнообразной, в том числе треугольной формы, – аргумент в пользу того, что фрагментация поверхности водоразделов может увеличиться. К чему это приведет, неясно – возможно ли (нельзя исключить) восстановление прежней структуры нанорельефа в бугорковых и особенно в пятнистых сообществах из-за дробной фрагментации по ложбинкам-трещинам, разделяющим медальоны (до 1 м в диам.) при общем опускании поверхности (процесс пенепленизации рельефа?). Нельзя исключить и интенсификацию эрозионных процессов вследствие разрывов в растительной дернине и обнажения грунта, что единично имеет место на краях бугров.

Пока неясно, насколько долго останется стабильной растительность в изменившихся условиях, в первую очередь в ложбинах, где при относительной стабильности микрорельефа предположительно сначала должно измениться обилие видов, а затем и состав, в сторону усиления нивальности (бóльшая мощность снежного покрова и укороченность вегетационного периода) и гигрофитности (повышенная влажность почвы). Потенциально присутствие системы ложбин на водоразделах, с одной стороны, значительно усилит гидрологический цикл через существенно возрастающий внутрипочвенный сток (что исключит заболачивание ложбин), независимо от каких-либо изменений в количестве твёрдых (снег) и жидких осадков (дожди), с другой, как дренажная система снизит

объём влаги на водораздельных увалах в целом и буграх-полигонах на них, что может привести к увеличению глубины сезонного оттаивания многолетнемёрзлых грунтов и усилению термокарста в зональных условиях. Но возможно временное (?) повышенное увлажнение поверхности ниже полигонизированной системы, образовавшейся в верхней части пологого склона, что мы реально ощутили непосредственно на территории поселения.

Каковым в перспективе станет результат столь масштабной трансформации рельефа на водоразделах – предмет профессионального интереса геокриологов. Мы же можем только констатировать нестабильность ландшафта, которую в Тарее 40 лет назад в таком ракурсе не фиксировали.

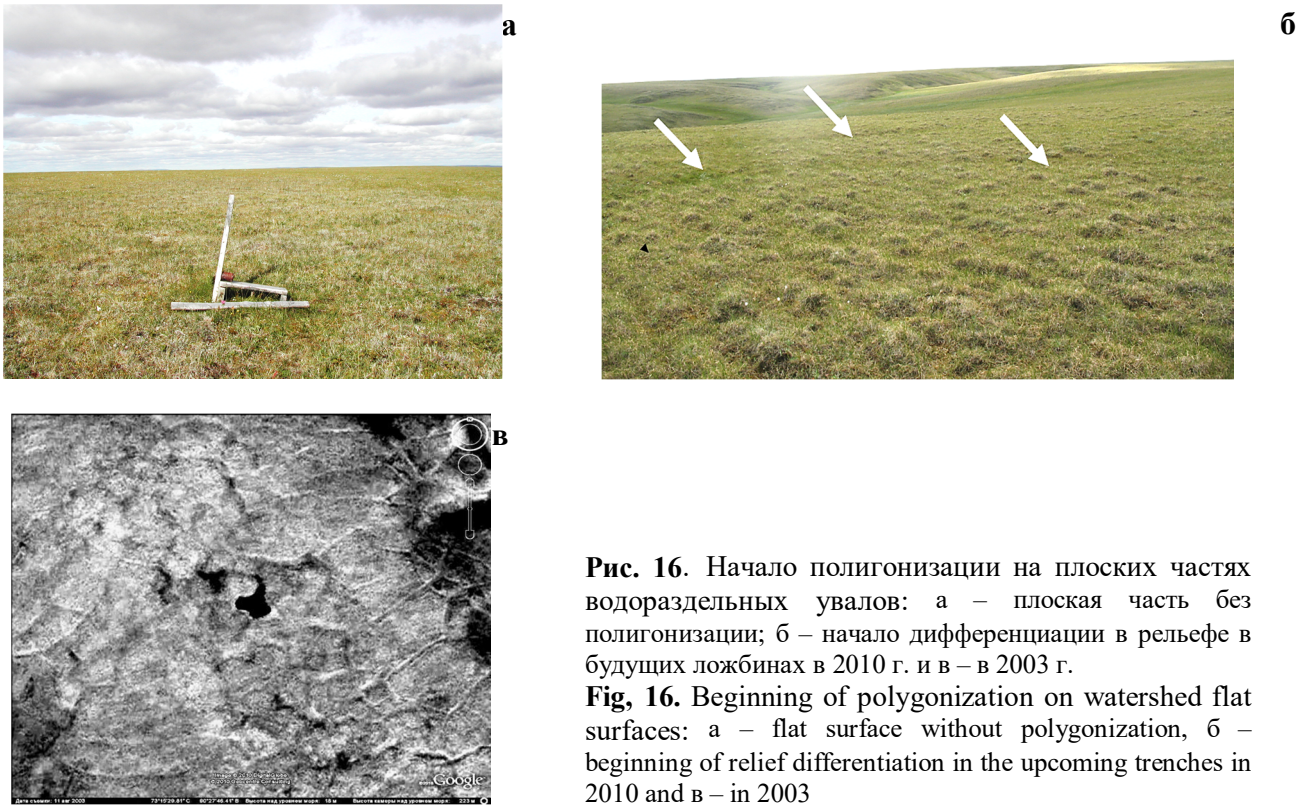

Рис. 16. Начало полигонизации на плоских частях водораздельных увалов: а – плоская часть без полигонизации; б – начало дифференциации в рельефе в будущих ложбинах в 2010 г. и в – в 2003 г.

Fig, 16. Beginning of polygonization on watershed flat surfaces: а – flat surface without polygonization, б – beginning of relief differentiation in the upcoming trenches in 2010 and в – in 2003

Второй феномен значительного изменения ландшафта – опускание валиков в валиково-полигональных болотах, на месте которых либо остались изолированные бугорки, либо поверхность на полигоне стала ровной, важнейшим последствием чего стало кардинальное изменение гидрорежима. В классических валиково-полигональных болотных системах в ложбинах между полигонами увлажнение проточное, а на изолированных вогнутых днищах полигонах, окруженных валиками, – застойное, и всегда имеется генеральный водоток, куда поступает вода из соединенных между собой ложбин. Это истоки ручьев, через которые осуществляется общий (поверхностный и внутрипочвенный) сток воды. После разрушения валиков прежде застойная вода на полигонах стала проточной, что увеличивает общий сток (своего рода мелиорация) через систему ложбин, поскольку после деградации валиков вода на полигонах уже не изолирована.

На опустившихся фрагментах растительность пока (визуально) осталась прежней. Но то, что болото, сильно обводнённое в течение всего вегетационного периода в 1967-1969 гг. (а судя по спутниковому снимку, ещё и в 2003 г.), в 2010 г. утратило часть воды на полигонах, отразилось на обилии важнейших видов трав в растительности полигонов – по оценкам активности видов, в ландшафте стало меньше *Hierochloë pauciflora* и *Carex chordorrhiza*, ранее доминировавших в покрове наиболее обводнённых полигонов, и увеличилось обилие *Carex aquatilis* subsp. *stans*, хотя и в прошлом эта осока была наиболее массовой [Matveyeva et al., 2014, Matveyeva, 2018, 2022, 2023]. Это экспертное заключение, сделанное не на основе описаний одних и тех же участков, а по наблюдениям, воспоминаниям и трудностям найти первые 2 вида, которые раньше в этих биотопах были вполне обычными. То, что вода продолжает уходить, отражено на более поздних спутниковых снимках и фото с самолета Л.А. Колпащикова в 2017 г., где видно, что в июле воды практически нет не только на поверхности полигонов, но без неё остались и небольшие водоёмы (Рис. 17).

Рис. 17. Снижение обводнённости в исходно валиково-полигональном болоте вследствие опускания валиков и усиления общего стока воды. Справа снимок с самолёта в 2017 г.
Автор Л.А. Колпащиков.
Fig. 17. Reduction of water content in the initially rim-polygonal mire due to the rim subsidence and the increase of general water flow. On the right is photo from airplane in 2017. Author L.A. Kolpashchikov.

Наше заключение о стабильности в растительном покрове при значительной трансформации ландшафта на первый взгляд выглядит как минимум противоречивым. В свою защиту предложим тезис, что стабильность не означает отсутствие каких-либо перемен. К последним мы отнесли изменения в активности некоторых видов (их обилии, встречаемости) сосудистых растений, доминантов в сообществах на водоразделах (*Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica*) и в болотах (*Carex chordorrhiza, C. aquatilis* subsp. *stans, Hierochloë pauciflora*). Но у подавляющего большинства (88.5%) видов она осталась неизменной, у немногих незначительно возросло или снизилось обилие, что не повлекло заметных изменений в структуре сообществ и их разнообразии, особенно в зональных позициях.

Для объяснения небольшого увеличения общей сомкнутости покрова в пятнистых сообществах и ПП основного доминанта – длиннокорневищной осоки *Carex bigelowii* subsp. *arctisibirica* вряд ли имеет смысл привлекать наиболее привычный в последнее десятилетие аргумент про глобальное потепление. Напрашивается серия вопросов: а что мы знаем о состоянии растительности до того, когда 40 лет назад мы работали в данном районе? а много мы знаем о жизненных циклах популяций арктических видов, о росте особей в высоту и разрастании в ширину? а без одновекторного изменения климата изменений в растительности не происходит? а естественную эндогенную сукцессию мы игнорируем?

Общее впечатление при обходе территории с картой растительности, рисунками горизонтальной структуры стационарных участков и полевыми дневниками с описаниями прошлых лет – все сообщества хорошо узнаваемы (к месту напомнить о важности того, насколько необходимо было увидеть всё «теми же глазами»). Не возникло повода отнести их к иным, нежели ранее, единицам классификации, что и позволило сделать экспертное заключение о том, что синтаксономическое разнообразие осталось прежним. Экспертное потому, что мы выборочно повторили лишь немногие описания.

Об объективности оценки можно было бы говорить, если бы повторно были описаны все сообщества, как это сделали наши коллеги Ф. Даниэльс и Дж. Моленаар на юго-востоке Гренландии, где они через 38 лет (1968-1969 и 2007 гг.) заново выполнили описание растительности в районе Тасиилак (Tasiilaq) (ранее Аммасалик (Angmagssalik) и пришли к тому же самому результату классификации, что и ранее, хотя зафиксировали небольшие изменения в обилии некоторых видов, особенно лишайников, объяснив это снижением антропогенной нагрузки [Daniëls, Molenaar, 2011; Daniëls et al., 2011]. О стабильности флоры сосудистых растений в этом районе за более внушительный период (первые данные в 1900 г.) говорят такие величины её богатства: в 3 срока (1900, 1968-1969 и 2007) наблюдений выявляли примерно одинаковое (144, 146, 141) число видов, не

находили по 6-13 известных в какой-то год и обнаруживали до 16 новых. Сходство в составе было 90% между самым концом позапрошлого XIX века и концом 1960-х гг. и 98% между вторым и третьим сроками [Daniëls, Molenaar, 2011; Daniëls et al., 2011]. Еще более впечатляющим подтверждением стабильности состояния растительного покрова можно считать наблюдение на о-ве Диско (Гренландия), где одни и те же клоны злака *Phleum alpinum* через 40 (1967 и 2007) лет сохранили все биометрические характеристики [Callaghan et al., 2011b].

Для оценки состояния растительности на протяжении многих лет наиболее объективны результаты, полученные на тех же самых пробных площадках, выполненные по тем же методикам теми же исследователями, что в Арктике довольно проблематично из-за трудностей попадания в отдалённые районы. При меньшем временно́м разрыве уже дважды – в 2014 г. (через 15 лет) и в 2020 г. (через 21 год) такая работа выполнена на Европейском Севере на 12 площадках, заложенных в 1999 г. на мысе Болванский Нос на северо-западе Большеземельской тундры [Lavrinenko, Lavrinenko, 2017, 2020, 2022]. Часть выявленных изменений в зональных сообществах аналогичны тем, которые мы отметили в Тарее, – уменьшение площади голого грунта (вследствие зарастания пятен), выравнивание поверхности из-за этого и частичного опускания валиков, увеличение ПП трав. На наш взгляд, это картина естественной эндогенной сукцессии. Такие же (увеличение общего ПП и уменьшение доли пятен голого грунта) тенденции отмечены на Аляске и в Канадской Арктике по результатам работы, в том числе на одном участке, в течение почти двух десятилетий в 1999-2017 гг. [Gould et al., 2009; Elmendorf et al., 2012; Myers-Smith et al., 2019; Harris et al., 2021]. Увеличение обилия и высоты как кустарников и кустарничков, так и трав (злаков) также вполне укладывается в логику естественного развития особей на продолжительном отрезке их жизни (при отсутствии у нас точных знаний о её продолжительности) от всходов/проростков, молодых экземпляров до зрелых возрастных.

При самой высокой оценке работы на постоянных участках и/или пробных площадках для оценки изменений растительности крупных территорий во времени акцентируем такой момент: при любой степени объективности данных геоботанических описаний они относятся к небольшой (100 м^2, 25 м^2, 9 м^2, 1 м^2) площади в пределах одного фитоценоза, обычно значительно большего размера. Для того чтобы объективно судить о стабильности синтаксона (ассоциации), необходимо повторить описания во всех сообществах, относимых к нему ранее, как это было сделано в Гренландии [Daniëls, Molenaar, 2011; Daniëls et al., 2011].

Разносторонняя комплексность исследований в прошлом и, пусть минимальная, 40 лет спустя даёт возможность прокомментировать стабильность на примере хотя бы одной группы животного мира, конкретно группы почвенных беспозвоночных – ногохвосток (Collembola). Целью исследования зоолога А.Б. Бабенко было сравнение группировок ногохвосток в почвах одних и тех же растительных сообществ с интервалом в 40 лет. Символично наименование статьи – «Коллемболы Западного Таймыра»: сорок лет спустя [Babenko, 2013], в котором его начало приведено в кавычках, как точное цитирование наименования кандидатской диссертации С.И. Ананьевой [Ananyeva, 1973], которая, в то время аспирантка будущего академика АН СССР Ю.И. Чернова, в 1968-1969 гг. провела, по сути, первое исследование по экологии этой группы в Арктике. В 2010 г. оно было выполнено ведущим специалистом по ногохвосткам в арктических экосистемах. Одно это, естественно, определило значительные расхождения с данными С.И. Ананьевой. Видовое богатство локальной фауны ногохвосток в 1968-1969 гг. и в 2010 г. – 62 и 117, всего 119 (2 вида из списка С.И. Ананьевой). Но А.Б. Бабенко профессионально и корректно комментирует вероятные причины этих таксономических различий, а также изменений в количественных характеристиках обилия разных видов, называя среди них как нюансы методики сбора данных (разница в полноте экстракции ногохвосток из почвенных образцов, иной уровень выгонки, включая неравноценность использованной методики для разных таксономических групп, невозможность гарантировать полную идентичность мест отбора образцов в 1968-1969 гг. и сборов 2010 г., например, существенная доля видов, обнаруженных на песчаных пляжах, которые не были обследованы в 1968-1969 гг., и др.), так и то, что «…за 40 лет произошла настоящая революция в таксономии ногохвосток, которая превратила сравнение с любыми устаревшими видовыми списками в весьма субъективный процесс, основанный главным образом на опыте и интуиции автора» [Babenko, 2013: стр. 442]. Более половины обнаруженных в 2010 г. видов были описаны после публикаций работ С.И. Ананьевой, причем около полутора десятков из них – по материалам, собранным в данном районе, что объясняет и «отсутствие» большинства видов, не обнаруженных С.И. Ананьевой. По мнению А.Б. Бабенко, никаких специфических особенностей количественных характеристик населения ногохвосток в 2010

г. не обнаружено, а выявленные изменения не выходят за рамки естественных межгодовых флуктуаций относительной численности. И видовое богатство, и состав современной фауны не выходят за рамки изменчивости группировок типичных тундр на Таймыре. Население ногохвосток фоновых местообитаний хотя и изменилось, но явно не стало более «южным», и это трудно считать ответом на однонаправленное действие какого-нибудь одного фактора, в частности, прямым результатом «глобального потепления», большинство из существующих сценариев которого предполагает выраженную экспансию «южных» форм в высокие широты (Wolf et al., 2008; Callaghan, Johanson, 2009). Общее заключение А.Б. Бабенко – отсутствие каких-либо направленных изменений в составе фауны ногохвосток, которая как в целом, так и в деталях вполне соответствует зональному положению района исследований.

Наше заключение о стабильности синтаксономического разнообразия при небольших различиях в структуре (сомкнутость покрова) сообществ и при временно́м варьировании в составе видов сосудистых растений в локальной флоре и их активности в ландшафте в целом совпадает с выводами коллег, работавших в рамках программы BTF в Канаде и Гренландии и проводивших повторные (за менее продолжительные периоды времени) исследования на Аляске и на Европейском Севере, незначительно различаясь в количественных деталях. Это вдохновляет и одновременно поражает, потому что только на Таймыре (кроме Тареи, в районе Диксона) эта стабильность проявилась на фоне ошеломляющей трансформации ландшафта – полигонизации водоразделов и модификации валиково-полигональных болот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повторные наблюдения, как непрерывные долговременные, так и периодические, в местах работ геоботаников и фиксация всех изменений в растительном покрове – необходимый элемент в мониторинге и прогнозировании динамики арктических экосистем.

Нашей задачей как специалистов в области изучения растительности было получить информацию о флоре, активности видов в ландшафте, составе и структуре сообществ, синтаксономическом разнообразии.

Ограниченность во времени и ряд методологических нюансов заведомо уменьшали полноту исследований и безоговорочную объективность выводов.

Наш общий вывод о стабильности растительного покрова базируется на том, что у подавляющего большинства видов сосудистых растений осталась прежней их активность в ландшафте и что сохранилась принадлежность всех сообществ к тем же ассоциациям, к которым они были отнесены ранее. Разнообразие сообществ было отражено на крупномасштабной карте, которую не пришлось бы изменять при повторении работы в полном объёме.

Поразительным и пока не слишком понятным и объяснимым является то, что лишь незначительные изменения во флоре и в растительности произошли на фоне ошеломляющей трансформации важнейших частей ландшафта – полигонизации водоразделов, на которых образовались бугры-полигоны и ложбины, и выравнивания поверхности в валиково-полигональных болотах, в которых опустились валики.

В XX веке полигонизацию водораздельных увалов на Таймыре не фиксировали, это современный процесс. О том, что эти события недавние (последние десятилетия прошлого века и начала нынешнего), поддержано в ряде публикаций зарубежных коллег, которые обобщили аналогичные данные по всей Арктике. Просмотр многочисленных спутниковых снимков высокого разрешения в общедоступной системе Google Earth позволяет сделать заключение о масштабе этого явления: оно повсеместно на суглинистых грунтах на небольших (от 50 до 100 м) высотах над уровнем моря в азиатской и североамериканской Арктике. Но пока только для 4 мест – на Таймыре (2 района – Тарея, Диксон), на Аляске залив Прудо (Prudhoe Bay) и в Канадском Арктическом архипелаге на о-ве Эллеф-Рингнес (Ellef-Ringnes) есть свидетельства непосредственных участников работ в прошлом, что это произошло, во-первых, недавно, во-вторых, быстро. При отсутствии публикаций по материалам прежних лет, каковых нет для огромных территорий большинства районов Крайнего Севера, такие измененные ландшафты не вызовут у исследователей, ранее их не видевших, какого-либо удивления, и масштабная полигонизация поверхности водоразделов, и деградация валиково-полигональных болот будут восприняты как давно (всегда) существующая данность.

Феномен формирования третьей полигональной системы на водоразделах в дополнение к широкому распространению полигональных болот и болотно-тундровых полигональных комплексов в депрессиях рельефа может иметь продолжение, что в перспективе приведет к кардинальной трансформации арктического ландшафта на равнинных территориях. Но каковы будут её последствия, однозначно прогнозировать трудно. Существование ложбин предполагает их большее увлажнение в сравнении с буграми и прежней ровной поверхностью водоразделов, но то, что это не изолированные фрагменты отрицательных элементов рельефа, а их система, предполагает дренажный эффект. Насколько процесс усиления стока внутрипочвенной влаги уравновесит или превзойдет современное повышение увлажнения в ложбинах, мы предсказать не возьмёмся, это дело почвоведов (физика почвы). Но что от этого зависит динамика растительного покрова в зональных позициях, сомнений нет, и можно подтвердить высказанное ранее мнение [Matveyeva, 2020], что в перспективе можно ожидать серьезные изменения покрова на громадных пространствах.

Изменение гидрорежима в валиково-полигональных болотах из-за опускания в них валиков и общее увеличение стока поверхностной воды отмечали в разных районах Арктики в Сибири (в низовьях р. Индигирка) и на Аляске. Снижение обводнённости депрессионных частей ландшафта ведёт к существенному изменению гидрологического режима не только в заболоченных депрессиях, где прогнозируется дальнейшая деградация ледяных клиньев в грунте [Liljedahl et al., 2016], но и на водоразделах. Нам, увидевшим воочию такие явления, было непросто осознать, что масштабная деградация жильных льдов – очевидный современный циркумполярный феномен; время их образования – сотни-тысячи лет, таяния – немногие десятки.

Акцентируем ещё раз: в перспективе как появление полигональных систем на водоразделах, так и деформация валиково-полигональных болот могут значительно изменить поверхностный и внутрипочвенный сток вод, что в обозримом будущем приведёт к масштабным изменениям как в ландшафте, так и в растительном покрове. Но вот какими они будут через следующие 40 лет…, хорошо бы, чтобы это было в сфере интересов современных молодых специалистов, начинающих работать в Арктике.

Регистрация и мониторинг феномена полигонизации в мезоусловиях на водоразделах актуальны как с позиций фундаментальной науки, так и последствий его проявления и развития. Особенно жизненно это в районах, подвергаемых антропогенному воздействию, которое может многократно усилить естественные процессы и привести не просто к трансформации, но и нарушению почвенно-растительного покрова, а в результате этого к усилению эрозионных процессов на больших площадях, включая территории поселений, строительства и эксплуатации аэропортов. Так, «полигонизация» зафиксирована (с гарантией очевидца, что этого не было в конце 1980-х гг.) в непосредственной близи взлётно-посадочной полосы в прошлом важнейшего в Заполярье а/порта на о-ве Диксон.

Результаты работы в рамках BTF в двух районах на Таймыре (Тарея, Диксон) показали, насколько очевидна важность как непрерывных долговременных, так и периодических наблюдений за состоянием растительного покрова и динамикой мерзлотных процессов в разных районах Российской Арктики.

Данные, полученные нами и другими исследователями в разных районах Заполярья, свидетельствуют о стабильности растительного покрова в период, который приходится на восходящую волну потепления климата в высоких широтах (второго в XX веке) [Vize, 1937; Rozenbaum, Shpolyanskaya, 2000; Malinin, Vainovsky, 2018] даже в условиях мобильного ландшафта.

БЛАГОДАРНОСТИ

Идея повторного посещения района пос. Тарея и мягкое давление, чтобы проект осуществился, принадлежат проф. Т. Каллагану (Великобритания). Реальное воплощение поездки стало возможным благодаря большим усилиям по её организации нашего друга и коллеги Л.А. Колпащикова (Большой арктический заповедник, Норильск), известного исследователя таймырской популяции дикого северного оленя, и охотоведа А. Лобанова, который любезно согласился доставить нас на барже из Норильска в пос. Тарея и обратно. Несмотря на крайне неблагоприятные погодные условия, наша полевая жизнь была достаточно комфортной благодаря постоянной заботе рыбака А. Маткова, который позволил использовать его крошечную теплую избушку в качестве лаборатории, где можно было высушить гербарий и согреться самим после длительных маршрутов. Все сложности полевой жизни разделили с нами наши коллеги-зоологи А.Б. Бабенко и О.Л. Макарова (Институт проблем

эволюции и экологии им. А.Н. Северцова, Москва). Во время подготовки и проведения экспедиции нас постоянно (включая радиосвязь в полевых условиях) поддерживал и консультировал академик Ю.И. Чернов (1934-2012), который был организатором и активным участником комплексных исследований по МБП в разных природных зонах, в том числе и на Таймырском биогеоценологическом стационаре. Полевые исследования в 2010 г. удалось провести при финансовой поддержке разных программ и проектов РАН, а также организаторов проекта BTF через проф. Т. Каллагана. Обработка материалов для данной статьи выполнена в рамках государственного задания № 122041100242-5 согласно тематическому плану БИН.

ПРИЛОЖЕНИЯ
APPENDIX

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1. Размеры элементов нанорельефа в дриадово-осоково-моховой пятнистой тундре. Участок 2.
Table П1. Sizes of nanorelief elements in dryad-sedge-moss frost-boils tundra, Site 2.

Размеры, см	Публикация		
	Матвеева,1968	Матвеева и др., 1973	Данная статья
	Год исследования		
	1966	1969	2010
Диаметр пятен	79	79	99 (40-180)
Ширина валиков	30-80	48	38 (15-85)
Ширина ложбинок	20-30	30	36 (20-60)
Превышение валик/грунт	10	5/10	?
Глубина ложбинок	10-20	10-15	?
Расстояние между центрами пятен	200	192	220 (140-350)
Число модулей на 100 м^2	32 (29-37)	32	31 (23-37)
Соотношение пятно /валик/ложбинка, %	20/50/30	20/50/30	20/50/30
Глубина сезонного оттаивания, см	60	60-70	62

Знак «?» – не измеряли (визуально высота валиков уменьшилась).
The sign "?" was not measured (visually the height of the rollers decreased).

Таблица П2. Дриадово-осоково-моховая пятнистая тундра. Участок 2: состав видов в 1966, 1969 и 2010 гг.
Table П1. Dryad-sedge-moss frost-boils tundra, Site 2: species composition in 1966, 1969 and 2010.

ОПП (%): общее	90	90	97
сосудистые	25	25	35
лишайники	10	10	15
бриофиты	70	70	70
Число видов: общее	135	180	?
сосудистые	56	57	56
мхи	16	48	?
печеночники	10	26	?
лишайники	53	49	?
Год описания	1966	1969	2010
Год публикации	1968	1973	2024
Сосудистые			
Carex bigelowii subsp. *arctisibirica* [*Carex arctisibirica, C. ensifolia*]	2	2	3
Dryas punctata	2	2	2
Alopecurus alpinus	r	1	1
Salix arctica	1	1	1
Salix polaris	1	1	1
Arctagrostis latifolia	1	+	+
Luzula nivalis	1	+	+
Polygonum viviparum	1	+	+
Astragalus subpolaris	r	+	r
Astragalus umbellatus	r	+	r
Betula nana	r	+	+
Cassiope tetragona	+	+	+
Cerastium bialynickii	r	+	+

Продолжение таблицы П2

Claytonia arctica	r	+	+
Draba lactea	+	+	r
Draba micropetala	+	+	r
Epilobium davuricum	r	+	+
Eriophorum angustifolium	r	+	+
Eutrema edwardsii	+	+	r
Festuca brachyphylla	+	+	+
Festuca cryophila	r	r	r
Juncus biglumis	+	+	+
Lagotis glauca subsp. *minor*	r	+	r
Luzula confusa	r	r	r
Luzula tundricola	r	+	+
Minuartia arctica	+	+	r
Minuartia rubella	+	+	r
Myosotis asiatica	r	+	+
Parrya nudicaulis	+	+	r
Pedicularis oederi	+	+	+
Poa arctica	r	+	+
Ranunculus borealis	r	+	r
Sagina intermedia	+	+	+
Salix pulchra	+	+	+
Salix reptans	+	+	+
Saxifraga cernua	r	+	+
Saxifraga hieracifolia	+	+	r
Saxifraga hirculus	+	+	+
Saxifraga nelsoniana	+	+	+
Saxifraga nivalis	r	+	r
Saxifraga spinulosa	+	+	r
Senecio resedifolius	r	+	+
Stellaria ciliatosepala	+	+	+
Trisetum sibiricum	r	+	r
Koeleria asiatica	r	+	
Androsace chamaejasme	r	+	
Cardamine bellidifolia	+	+	
Papaver pulvinatum	r	+	
Ranunculus nivalis	r	r	
Orthilia obtusata	r	+	
Petasites sibiricus	r	+	
Pedicularis capitata	r	+	
Saxifraga oppositifolia	r	+	
Gasrolychnis apetala	r		r
Pedicularis hirsuta	+		
Draba sp.	+		
Vaccinium vitis-idaea subsp. *minus*		+	
Minuartia macrocarpa		+	r
Valeriana capitata		+	r
Carex vaginata		r	r
Carex misandra			r
Eriophorum brachyantherum			r
Eriophorum vaginatum			r
Hedysarum arcticum			r
Pedicularis dasyantha			r
Polygonum bistorta			r
Ranunculus affinis			r
Saxifraga foliolosa			r

Мхи			
Hylocomium splendens var. *alaskanum*	3	3	3
Tomentypnum nitens	3	3	3
Aulacomnium turgidum	2	2	2
Racomitrium lanuginosum	1	1	1
Rhytidium rugosum	1	1	+
Dicranum elongatum	1	1	+
Flexitrichum flexicaule [*Ditrichum flexicaule*]	+	1	1
Campylium bambergeri [*Hypnum bambergeri*]	+	1	+
Orthothecium chryseon	+	+	+
Polytrichum juniperinum	+	+	+
Abietinella abietina	r	+	+
Bryum wrightii	r	r	
Scorpidium cossonii [*Drepanocladus intermedius*]	r	r	
Brachythecium mildeanum	+	-	
Dicranum scoparium	+	-	
Grimmia torquata	+	-	
Dicranum spadiceum	-	+	1
Brideliella wahlenbergii [Oncophorus wahlenbergii]	-	+	+
Brachythecium cirrosum [*Cirriphyllum cirrosum*]	-	+	+
Campylium stellatum	-	+	+
Tetraplodon mnioides	-	1	r
Dicranum angustum	-	+	
Bartramia pomiformis	-	+	
Bryoerythrophyllum recurvirostre	-	+	
Drepanocladus polycarpus [*Campylium polygamum*[	-	+	
Ceratodon purpureus	-	r	
Cinclidium subrotundum	-	r	
Pseudostereodon procerrimus [*Ctenidium procerrimum*]	-	r	
Dicranum acutifolium	-	+	
Dicranum bongeanii	-	+	
Dicranum congestum	-	+	
Distichium capillaceum	-	r	
Distichium inclinatum	-	+	
Drepanocladus aduncus	-	r	
Hamatocaulis lapponicus [*Drepanocladus lapponicus*]	-	r	
Drepanocladus brevifolius [*Drepanocladus latifolius*]	-	r	
Aplodon wormskioldii [*Haplodon wormskioldii*]	-	r	
Scorpidium revolvens [*Limprichtia revolvens*]	-	r	
Meesia triquetra	-	r	
Myurella julacea	-	+	
Orthothecium strictum	-	r	
Philonotis fontana	-	+	
Philonotis tomentella	-	r	
Polytrichum strictum	-	+	
Drepanocladus turgescens [*Pseudocalliergon turgescens*]	-	r	

Продолжение таблицы П2

Racomitrium canescens	-	+	
Sanionia uncinata	-	r	
Tortella fragilis	-	r	
Sarmentypnum sarmentosum [*Warnstorfia sarmentosa*]	-	r	
Печеночники			
Ptilidium ciliare	1	1	
Sphenolobus minutus [*Anastrophyllum minutum*]	+	+	
Blepharostoma trichophyllum	r	+	
Odontoschisma macounii	r	+	
Neoorthocaulis floerkei [*Orthocaulis floerkei*]	r	+	
Frulania tamarisci	r	r	
Peltolepis quadrata [*Peltolepis grandis*]	+	+	
Scapania simmonsii	r	+	
Trilophozia quinquedentata [*Tritomaria quinquedentata*]	r	+	
Aneura pinguis [*Riccardia pinguis*]	r	-	
Arnelia fennica	-	+	
Mesoptychia badensis [*Leiocolea badensis*]	-	+	
Barbilophozia barbata	-	+	
Fuscocephaloziopsis conveniens [*Cephalozia connivens*]	-	+	
Cephaloziella varians	-	+	
Mesoptychia gillmanii [*Leiocolea gillmanii*]	-	+	
Barbilophozia sudetica [*Lophozia sudetica*]	-	+	
Lophoziopsis excisa [*Lophozia excisa*]	-	+	
Lophoziopsis longidens [*Lophozia longidens*]	-	+	
Marchantia polymorpha	-	+	
Odontoschisma denudatum	-	+	
Schljakovia kunzeana [*Orthocaulis kunzeanus*]	-	+	
Jungermannia atrovirens [*Solenostoma atrovirens*]	-	+	
Plagiochila arctica	-	+	
Scapania gymnostomophila	-	+	
Jungermannia pumila [*Solenostoma pumilum*]	-	+	
Orthocaulis cavifolius [*Sphenolobus cavifolius*]	-	+	
Лишайники			
Flavocetraria cucullata [*Cetraria cucullata*]	1	1	1
Cladonia arbuscula subsp. *mitis*	1	1	1
Cladonia rangiferina	1	1	1
Cladonia amaurocraea	1	1	1
Cladonia gracilis subsp.*elongata*	1	1	+
Dactylina arctica	1	1	1
Peltigera aphthosa	1	1	1
Cladonia pyxidata	1	+	+
Stereocaulon alpinum	1	+	+
Thamnolia vermicularis	1	+	+
Nephroma expallidum	+	1	+
Bilimbia lobulata	+	1	1
Alectoria nigricans	+	+	+
Alectoria ochroleuca	+	+	+
Asahinea chrysanta	+	r	+
Baeomyces carneus	+	r	r
Bilimbia sphaeroides	r	r	+

Продолжение таблицы П2

Bryocaulon divergens	+	+	+
Cetraria ericetorum	r	1	+
Cetraria laevigata	+	+	+
Cladonia degenerans	+	+	+
Cladonia chlorophaea	r	+	+
Cladonia pleurota	+	+	+
Cladonia uncialis	+	+	+
Japewia tornoënsis	+	r	+
Lecanora epibryon	+	+	+
Lecidea osloënsis	r	r	
Lobaria linita	r	r	+
Lopadium pezizoideum	r	r	+
Peltigera canina	+	+	+
Peltigera didactyla	r	r	+
Peltigera polydactylon	+	+	+
Peltigera venosa	r	+	+
Pertusaria bryontha	+	+	+
Pertusaria dactylina	r	r	+
Psoroma hypnorum	1	+	+
Rinodina roscida	+	r	r
Rinodina turfacea	r	+	+
Solorina saccata / bispora	+	r	+
Solorina spongiosa	r	r	r
Sphaerophorus globosus	+	+	+
Bacidia affinis / alpina	+	-	
Bryocaulon sp.	1	-	
Buellia aethalea	r	-	
Diplotomma chlorophaeum [*Buellia porphyrica*]	r	-	
Flavocetraria nivalis [*Cetraria nivalis*]	r	-	
Cladonia macrophylla [*Cladonia alpicola*]	r	-	
Lecanora verrucosa	r	-	
Lecidea sp.	r	-	
Hypogymnia bitteri	r	-	
Peltigera malacea	+	-	
Pertusaria octomela	r	-	
Physcia dubia	r	-	
Bryoria nitidula	-	+	+
Tetramelas insignis	-	r	
Cetraria ericetorum	r	1	+
Cladonia bellidiflora	-	+	
Cladonia arbuscula subsp. *beringiana*	-	+	+
Ochrolechia frigida	-	+	+
Ochrolechia upsaliensis	-	+	+
Peltigera didactyla	-	+	+

Примечание. Здесь и в таблицах 3 и 4 в квадратных скобках приведены наиболее известные синонимы видов. Обилие видов приведено по шкале, используемой школой Ц-М (подход Б-Б): r – крайне рассеяно, единично (1-5 особей), + – рассеяно, единично, 1 – достаточно обильно, обычно, но с незначительным покрытием (менее 5%), 2 – обильно, обычно, покрытие 5-25%, 3 – 26-50%, 4 – 51-75%, 5 – 76-100%); знак «?» – не определяли; дефис «-» – вид не найден; пустое место – отсутствие информации. В поле в 1966 и 1969 гг. обилие определяли в процентах по элементам нанорельефа/микрогруппировкам, для данной публикации данные переведены в баллы.

Note. Here and in Tables 3 and 4, the most well-known synonyms of species are given in square brackets. Species abundance is given according to the scale used by the C-M school (B-B approach): r – extremely scattered, single (1-5 individuals), + – scattered, single, 1 – fairly abundant, usual, but with insignificant coverage (less than 5%), 2 – abundant, usually, coverage 5-25%, 3 – 26-50%, 4 – 51-75%, 5 – 76-100%); the sign "?" – not determined; hyphen "-" – species not found; empty space – no information. In the field in 1966 and 1969, abundance was determined as a percentage of nanorelief elements/microgroups; for this publication, the data have been converted to points.

Таблица П3. Дриадово-осоково-моховая бугорковая тундра. Участок 1: состав и обилие видов в 1966, 1969 и 2010 гг.

Table П3. Dryad-sedge-moss hummock tundra, Site 1: species composition in 1966, 1969 and 2010.

ОПП (%): общее	100	100	100	100	100
сосудистые	25	25	40	40	40
лишайники	5	5	5	5	5
бриофиты	75	75	75	75	75
Число видов: общее	69	141	?		
сосудистые	26	38	44		
мхи	10	40	?		
печеночники	6	26	?		
лишайники	27	37	?		
Элемент микрорельефа	площадка 10 х 10 м	площадка 15 х 15 м	2 бугра	3 сухие ложбины	4 сырые ложбины
Год описания	1966	1969	2010	2010	2010
Год публикации	1968	1973	2024	2024	2024
Сосудистые					
Carex bigelowii subsp. *arctisibirica* [*Carex arctisibirica, C. ensifolia*]	2	2	3	3	2
Dryas punctata	2	2	2	2	1
Eriophorum angustifolium	1	+	2	2	2
Cassiope tetragona	1	1	1	r	r
Salix reptans	1	1	1	1	1
Arctagrostis latifolia	1	+	1	+	+
Polygonum viviparum	1	+	+	2	1
Salix polaris	+	+	+	+	+
Luzula nivalis	+	+	+	r	r
Saxifraga hieracifolia	r	+	r	+	+
Saxifraga hirculus	r	+	r	+	+
Saxifraga nelsoniana	r	+	+	+	+
Stellaria ciliatosepala	+	+	+	r	r
Eriophorum vaginatum	+	+	r	+	+
Pyrola rotundifolia	+	+	+	+	+
Ranunculus sulphureus	r	+	r	r	+
Parrya nudicaulis	+	+	r	-	-
Pedicularis oederi	r	+	r	-	-
Cardamine bellidifolia	+	+	r	-	-
Ranunculus nivalis	r	+	r	-	-
Pedicularis hirsuta	r	+	+	-	-
Minuartia macrocarpa	r	-	r	-	-
Betula nana	r	+	r	-	-
Saxifraga spinulosa	r	+	+	-	-
Saxifraga cespitosa	r	+	-	-	-
Saxifraga nivalis	r	+	-	-	-
Alopecurus alpinus	-	+	+	-	-
Carex vaginata	-	+	r	r	r
Eutrema edwardsii	-	+	r	r	r
Orthilia obtusata	-	+	+	r	r
Pedicularis capitata	-	+	r		
Pedicularis sudetica	-	+	r		
Salix arctica	-	+	r		

Продолжение таблицы П3

Saxifraga cernua	-	+	+	r	+
Vaccinium vitis-idaea subsp. *minus*	-	+	+		
Draba lactea	-	+	-		
Lagotis glauca subsp. *minor*	-	+	-	r	r
Minuartia arctica	-	+	-		
Pedicularis dasyantha	-	+	-		
Draba micropetala	-	-	r		
Draba sp.	-	-	+		
Eriophorum brachyantherum	-	-	r		
Eriophorum russeolum	-	-	r		
Festuca brachyphylla	-	-	r		
Gasrolychnis apetala	-	-	r		
Juncus biglumis	-	-	r		
Luzula tundricola	-	-	r		
Poa arctica	-	-	r	+	+
Ranunculus sulphureus	-	-	r		
Saxifraga foliolosa	-	-	r		
Мхи					
Hylocomium splendens var. *alaskanum*	3	3	3		
Aulacomnium turgidum	2	2	2		
Tomentypnum nitens	2	2	2		
Racomitrium lanuginosum	1	+	1		
Dicranum scoparium	1	-	1		
Polytrichum juniperinum	1	+	+		
Flexitrichum flexicaule [*Ditrichum flexicaule*]	r	+	+		
Campylium bambergeri [*Hypnum bambergeri*]	r	+	+		
Orthothecium chryseon	r	+	+		
Rhytidium rugosum	r	+	+		
Bartramia pomiformis	-	+			
Brachythecium mildeanum	-	+			
Calliergon giganteum	-	+			
Calliergon richardsonii	-	+			
Campylium stellatum	-	+			
Cinclidium latifolium	-	+			
Brachythecium cirrosum [*Cirriphyllum cirrosum*]	-	+			
Dicranum acutifolium	-	+			
Dicranum angustum	-	+			
Dicranum bongeanii	-	+			
Dicranum congestum	-	+			
Dicranum elongatum	-	+			
Dicranum spadiceum	-	+			
Distichium capillaceum	-	+			
Drepanocladus brevifolius [*Drepanocladus latifolius*]	-	+			
Haplodon wormskioldii	-	+			
Scorpidium revolvens [*Limprichtia revolvens*]	-	+			

Продолжение таблицы П3

Meesia triquetra	-	+			
Meesia uliginosa	-	+			
Mnium rugicum	-	+			
Myurella julacea	-	+			
Brideliella wahlenbergii [*Oncophorus wahlenbergii*]	-	+			
Orthothecium strictum	-	+			
Philonotis fontana	-	+			
Polytichum strictum	-	+			
Polytrichastrum alpinum	-	+			
*Racomitrium canescens**	-	+			
Sanionia uncinata	-	+			
Splachnum ovatum	-	+			
Tetraplodon mnioides	-	+			
Sarmentypnum sarmentosum [*Warnstorfia sarmentosa*]	-	+			
Печеночники					
Ptilidium ciliare	2	2			
Frulania tamarisci	r	+			
Scapania simmonsii	r	+			
Sphenolobus minutus [*Anastrophyllum minutum*]	r	+			
Odontoschisma macounii	r	+			
Barbilophozia barbata	-	+			
Blepharostoma trichophyllum	-	r			
Cephaloziella varians	-	r			
Mesoptychia badensis [*Leiocolea badensis*]	-	+			
Mesoptychia gillmanii [*Leiocolea gillmanii*]	-	+			
Lophoziopsis alpestris [*Lophozia alpestris*]	-	+			
Lophoziopsis excisa [*Lophozia excisa*]	-	+			
Marchantia polymorpha	-	r			
Mesoptichia sahlbergii	-	+			
Odontoschisma denudatum	-	+			
Schljakovia kunzeana [*Orthocaulis kunzeanus*]	-	+			
Schljakovianthus quadrilobus [*Orthocaulis quadrilobus*]	-	+			
Peltolepis quadrata [*Peltolepis grandis*]	-	+			
Plagiochila arctica	-	+			
Aneura pinguis [*Riccardia pinguis*]	-	+			
Scapania gymnostomophila	-	+			
Scapania irrigua	-	+			
Sphenolobus cavifolius	-	r			
Tritomaria heterophylla	-	+			
Tritomaria scitula	-	+			
Лишайники					
Flavocetraria cucullata [*Cetraria cucullata*]	1	+			
Cetraria laevigata	1	+			
Cladonia amaurocraea	1	+			
Cladonia gracilis subsp.*elongata*	1	+			
Dactylina arctica	1	+			

Продолжение таблицы П3

Peltigera aphthosa	1	1			
Psoroma hypnorum	1	+			
Thamnolia vermicularis	1	+			
Peltigera canina	+	1			
Cladonia rangiferina	+	+			
Cladonia degenerans	+	+			
Cladonia pleurota	+	+			
Cladonia uncialis	+	+			
Nephroma expallidum	r	+			
Peltigera polydactylon	r	+			
Pertusaria bryontha	+	+			
Pertusaria octomela	r	+			
Physcia dubia	r	+			
Solorina saccata / bispora	r	+			
Sphaerophorus globosus	r	+			
Bacidia affinis / alpina	r	-			
Bryocaulon sp.	1	-			
Cladonia arbuscula subsp. *mitis*	+	-			
Cladonia alpicola	r	-			
Lecidea sp.	r	-			
Ochrolechia frigida	r	-			
Stereocaulon alpinum	r	-			
Alectoria ochroleuca	-	+			
Baeomyces carneus	-	+			
Bryoria nitidula	-	+			
Cetraria ericetorum	-	+			
Cetraria islandica	-	+			
Flavocetraria nivalis [*Cetraria nivalis*]	-	+			
Cladonia bellidiflora	-	+			
Cladonia arbuscula subsp. *beringiana* [*Cladonia. beringiana*]	-	+			
Cladonia pyxidata	-	+			
Lecidea osloënsis	-	+			
Lopadium pezizoideum	-	+			
Bilimbia lobulata	-	+			
Ochrolechia upsaliensis	-	+			
Peltigera didactyla	-	+			
Peltigera rufescens	-	+			
Peltigera venosa	-	+			
Pertusaria dactylina	-	+			

Таблица П4. Астрагалово-дриадовое сообщество на пологом склоне южной экспозиции узкого песчаного участка коренного берега реки.
Table П4. Astragalus-dryad community on a southern gentle slope of narrow sandy part of the indigenous river bank.

ОПП (%): общее	90	99
сосудистые	70	75
лишайники	5	10
бриофиты	20	20
Число видов: общее	53	51
сосудистые	31	29
мхи	9	9
печеночники	-	-
лишайники	13	13
Соотношение элементов нанорельефа медальоны/трещины	90/10	90/10
Диаметр медальонов, см	25-50	40-60
Ширина трещин	5-10	7-10
Глубина трещин	4-12	5-10
Год описания	1965	2010
Сосудистые		
Dryas punctata	4	4
Astragalus subpolaris	2	2
Cassiope tetragona	1	1
Salix arctica	1	1
Androsace chamaejasme	r	r
Armeria sibirica	r	r
Astragalus umbellatus	+	+
Draba lactea	r	r
Festuca brachyphylla	r	r
Festuca cryophila	+	+
Gastrolychnis affinis	r	r
Juncus biglumis	r	r
Koeleria asiatica	+	+
Luzula confusa	+	+
Luzula nivalis	+	+
Luzula tundricola	r	r
Minuartia arctica	r	r
Oxytropis adamsiana	+	+
Parrya nudicaulis	+	+
Pedicularis dasyantha	+	r
Pedicularis oederi	+	+
Poa alpigena	+	+
Poa arctica	r	r
Polygonum viviparum	+	+
Tofieldia coccinea	+	r
Saxifraga oppositifolia	+	-
Saussurea tilesii	+	-
Minuartia rubella	r	-
Salix polaris	r	-
Salix pulchra	r	-
Salix nummularia	r	-
Papaver pulvinatum	-	r
Saxifraga nelsoniana	-	r
Saxifraga spinulosa	-	r
Senecio resedifolius	-	r

Продолжение таблицы П4

Мхи		
Tomentypnum nitens	2	2
Aulacomnium turgidum	1	1
Rhytidium rugosum	?	2
Flexitrichum flexicaule [*Ditrichum flexicaule*]	+	2
Hylocomium splendens var. *alaskanum*	+	2
Dicranum congestum	+	+
Polytichum strictum	+	+
Polytrichastrum alpinum	+	+
Abietinella abietina	+	+
Лишайники		
Накипные на грунте	2	2
Flavocetraria cucullata [*Cetraria cucullata*]	1	1
Ochrolechia upsaliensis	1	1
Thamnolia vermicularis	+	1
Alectoria nigricans	+	+
Alectoria ochroleuca	+	+
Flavocetraria nivalis [*Cetraria nivalis*]	+	+
Cetraria ericetorum	+	+
Cetraria laevigata	+	+
Dactylina arctica	+	+
Cladonia pyxidata	r	r
Peltigera aphthosa	+	+
Stereocaulon alpinum	+	-
Peltigera canina	-	+

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
APPENDIX 2

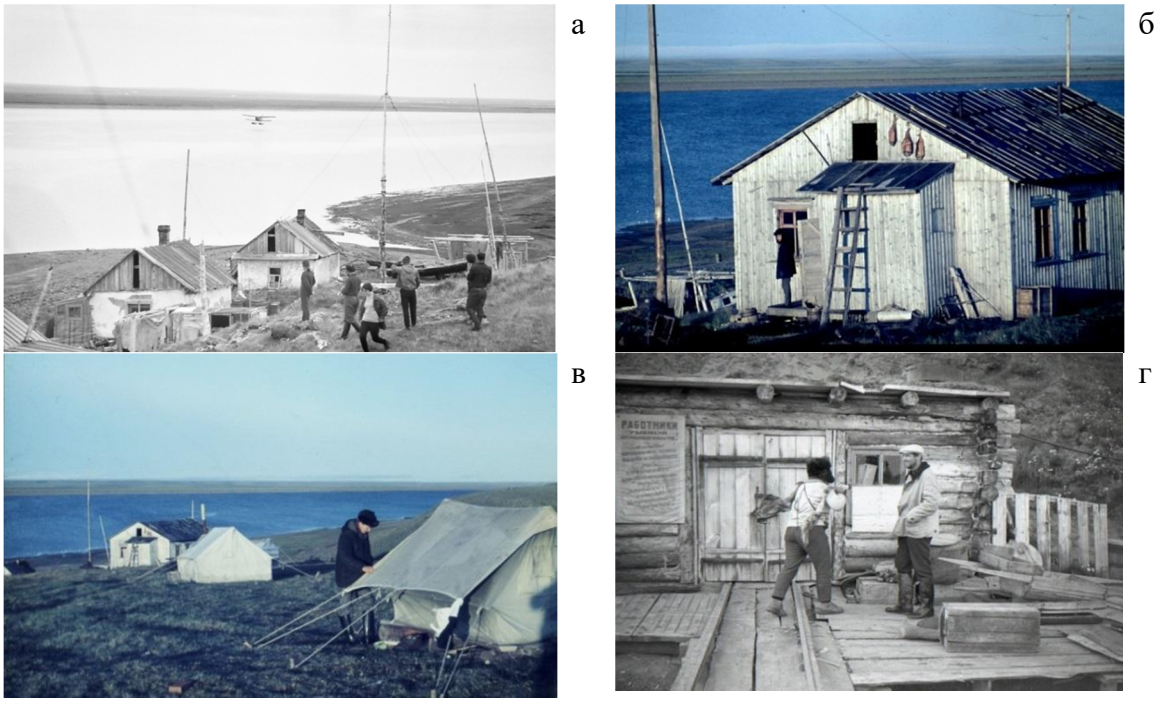

Рис. П1. Поселение Тарея в 1966 г.:
а – жилые домики рыбаков; б – лаборатория в 1966-1977 гг.; в – палатка-столовая и «кают-компания»; г – вход в «мерзлотник».
Fig. П1. Tareya settlement in 1966: а – fishermen's houses; б – laboratory in 1966-1977; в – tents for living; г – entrance to the "permafrost cave".

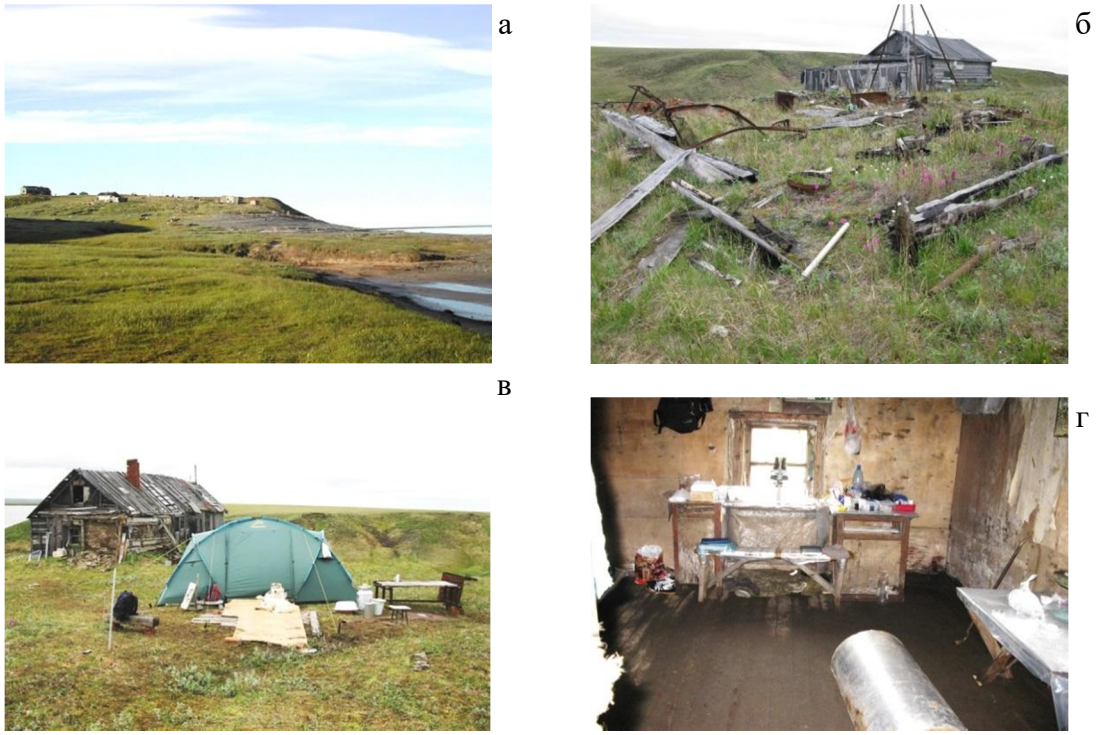

Рис. П2. Поселение Тарея в 2010 г.: а – общий вид; б – остаток дома-лаборатории; в – палатка-столовая и «кают-компания»; г – лаборатория в разрушенном доме радиста.
Fig. П2. Tareya settlement in 2010: а – general view; б – remnants of the house-laboratory; в – dining tent and "wardroom"; г – laboratory in the destroyed radio operator's house.

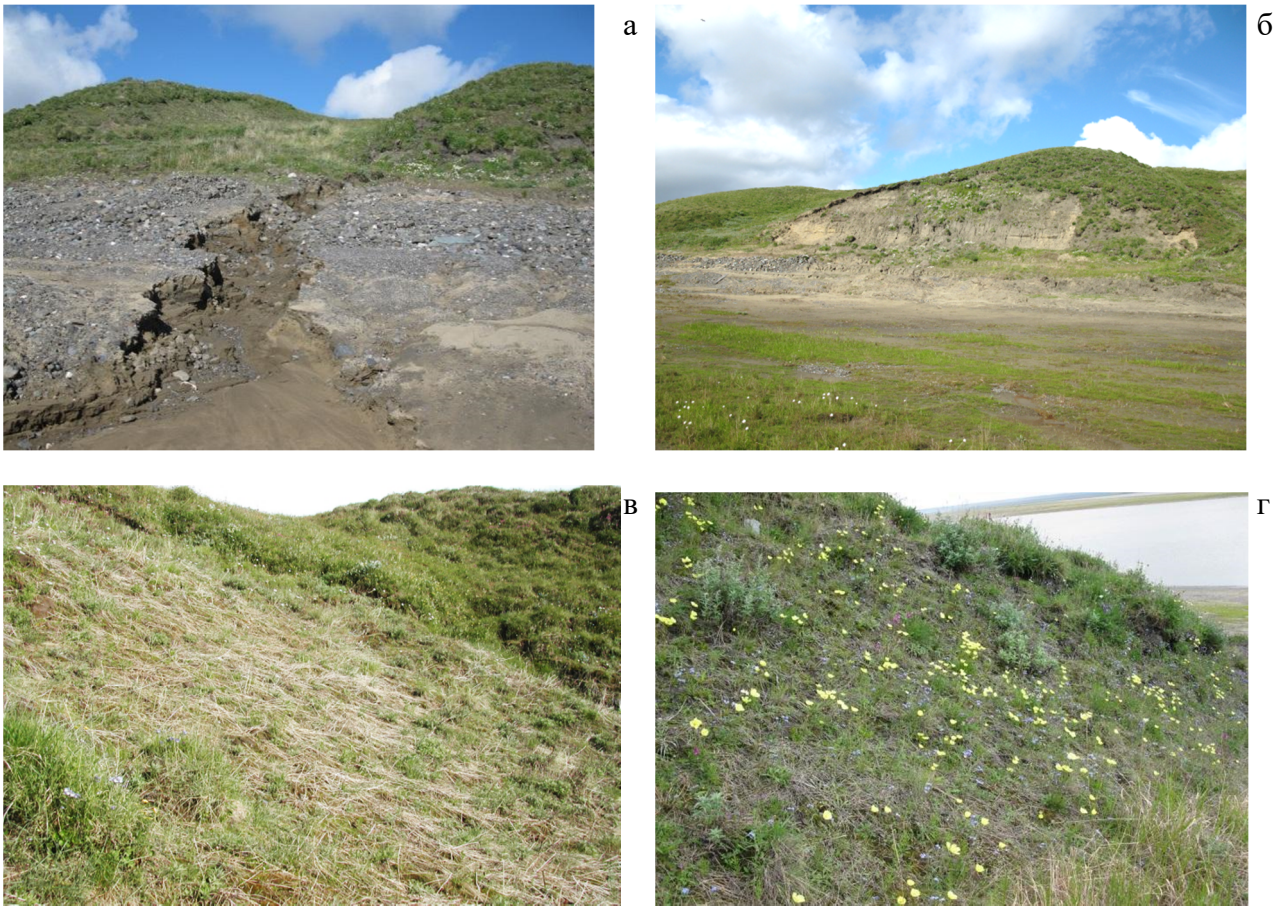

Рис. П3. Последствия эрозионных процессов на высоком берегу реки: а – эрозия и начало образования оползня, 2010 г.; б – недавний оползень с голым грунтом; в – зарастающий оползень; г – восстановившаяся разнотравная растительность.
Fig. П3. Consequences of erosion processes on the high riverbank: a – erosion and the beginning of the landslide in 2010; б – recent landslide with bare soil; в – overgrowning landslide; г – restored forb vegetation.

Рис. П4. Начало образования (пятящаяся эрозия) нового отрога долины ручья: а – свежий оползень на склоне долины ручья у поселения; б – вытаивание ледяного клина.
Fig. П 4. Beginning of formation (backward erosion) of new stream valley spur: a – fresh landslide on the stream valley slope near settlement; б – ice wedge melting.

1967 г. **2010 г.**

а б

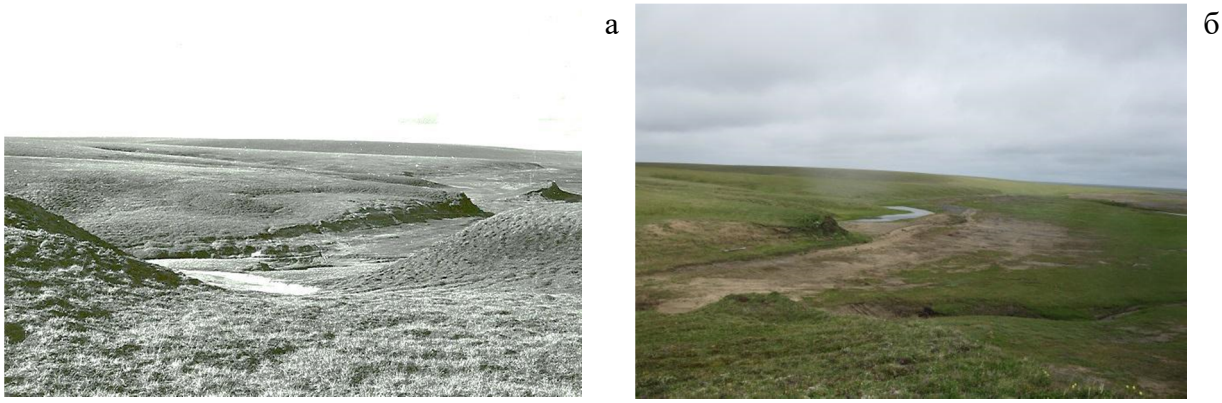

Рис. П5. Останец в пойме вблизи устья р. Неура в 1967 г. (а) и в 2010 г. (б).
Fig. П5. Remnant hill in the floodplain near the Neura River mouth in 1967 (a) and in 2010 (б).

а б

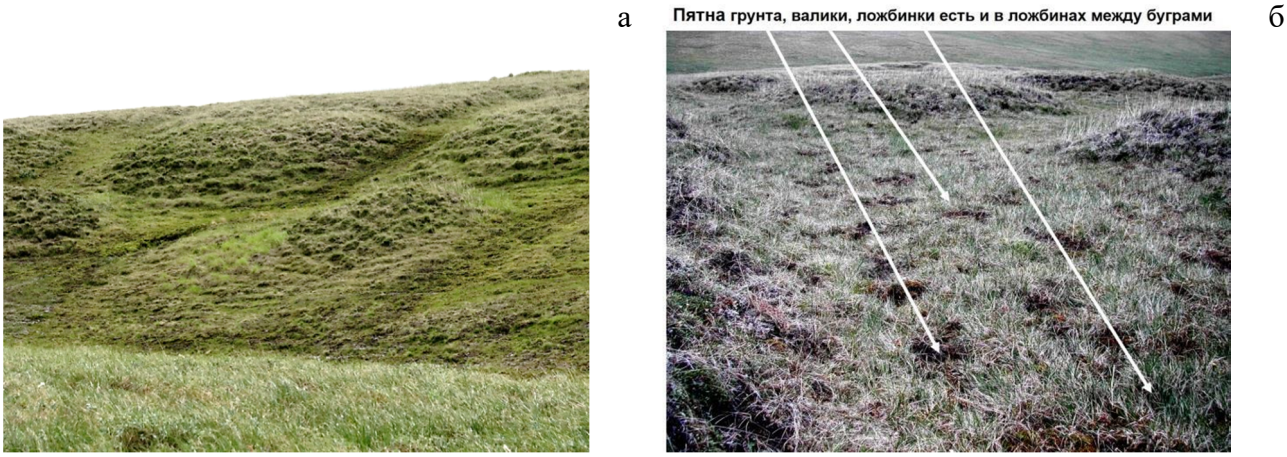

Рис. П6. Полигонизация на склонах долин ручьёв: а – бугры выпуклые, как байджарахи; б – дриадово-осоково-моховая пятнистая тундра с выровненным нанорельефом в ложбинах.
Fig. П6. Polygonization on the stream valley slopes: a – convex mounds like baydzharakhs; б – dryad-sedge-moss frost-boils tundra with leveled nanorelief in the hollows.

Рис. П7. Разные формы и размеры бугров. Полигонизация на снимке Google Earth от 08.11.2003.
Fig. П7. Different shapes and sizes of mounds. Polygonization on Google Earth image 11/8/2003.

Рис. П8. Эрозия по краям бугров-полигонов.
Fig. П8. Erosion along the edges of mounds-polygons.

Рис. П9. Бугорковость на склоне из-за солифлюкции.
Fig. П9. Slope tuberculosis due to solifluction.

Рис. П10. Многочисленные водоёмы на плоских полигонизированных частях водораздельных увалов. Снимок с самолёта в 2017 г. Автор Л.А. Колпащиков.
Fig. П10. Numerous water bodies on watershed flat polygonized surfaces. Photo from airplane in 2017. Author L.A. Kolpashchikov.

ЛИТЕРАТУРА

Ananyeva S.I. Collembola of the Western Taymyr. Dis. cand. biol. sciences. Moscow, 135 pp. (in Russian). [Ананьева С.И. 1973. Коллемболы Западного Таймыра. Дис. … канд. биол. наук. Москва. 135 с].

Babenko A.B. 2013. Collembola of the Western Taymyr: Forty years later. In: *Zoologicheskii Zhurnal*, 92 (4): 428-444 (in Russian). [Бабенко А.Б. 2013. Коллемболы Западного Таймыра: сорок лет спустя // Зоологический журнал. Т. 92. № 4. С. 428-444]. DOI:10.1134/S0013873813060079

Beshel R.E., Matveyeva N.V. 1972. Species distribution in mossy–dryas–sedge hummock tundra (Western Taymyr) // Canad. J. Bot., 50(9): 1851-1857.

Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity. 1971. Nauka, Leningrad. 239 pp. (in Russian). [Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. 1971. Л. 239 с].

Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity. Part 2. 1973. Nauka, Leningrad. 239 pp. (in Russian). [Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Вып. 2. 1973. Л. 239 с].

Biogeocenoses of Taymyr tundra. 1980. Nauka, Leningrad. 256 pp. (in Russian). [Биогеоценозы таймырской тундры. 1980. Л. 256 с].

Blagodatskich L.S. The mosses of the vicinities of the Taymyr Biological Station (Western Taymyr) 1973. In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity. Part 2*. Nauka, Leningrad. 2: 107-119 (in Russian). [Благодатских Л.С. 1973. Листостебельные мхи района Таймырского стационара (Западный Таймыр) // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Вып. 2. Л. С. 107-119].

Callaghan T.W., Johanson M. 2009. The changing life of the tundra: in the footsteps of Yuri Chernov. In: *Species and communities in extreme conditions.* Moscow-Sofia. Partnership of scientific publications KMK and Pensoft, pp. 14-48 (in Russian). [Каллаган Т.В., Йохансон М. 2009. Меняющаяся жизнь тундры: по стопам Юрия Чернова // Виды и сообщества в экстремальных условиях. Москва-София: Товарищество научных изданий КМК и Pentsoft. С. 14-48].

Callaghan T.V., Tweedie S.E., Weber P.J. 2011a. Multi-decade changes in tundra environments and ecosystems: the international polar year-Back to the future Project (IPY-BTF). *Ambio*, XI (6):555-557.

Callaghan T.V., Christensen T.R., Jantze E.J. 2011b. Plant and vegetation dynamics on Disko Island, West Greenland: snapshots separated by over 40 years. *Ambio*, XI(6): 624-637.

Chernov Yu.L. 1975. *Natural Zonation and the Terrestrial Animal World*. Mysl, Moskva, 222 pp (in Russian). [Чернов Ю.И. Природная зональность и животный мир суши. М. 1975. 222 с.].

CAVM Team. 2003. Circumpolar Arctic Vegetation Map. Scale 1:7500000. Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF). Map N 1. US Fish and Wildlife Service. Anchorage, Alaska.

CAVM Team 2024. Rast.er circumpolar arctic vegetation map. Conservation of Arctic Flora and Fauna. Akureyri. DOI::10.18739/A2RX93F75 (PDF)

Checklist of the lichen flora of Russia. 2010. (G.P. Urbanavichus, compiler). Saint Petersburg: Nauka. 194 pp. (in Russian). [Список лихенофлоры России. / сост. Г. П. Урбанавичюс Санкт-Петербург: Наука. 194 с.

Chernov Yu.L. 1978. *Structure of the Animal Population in the Subarctic*. Nauka, Moskva, 167 pp. (in Russian). [Чернов Ю.И. Структура животного населения Субарктики. М. 1978. 167 с.].

Chernov Yu.I. 1985. *The living tundra*. Cambridge University Press. Cambridge. 213 pp.

Chernov Yu., Matveyeva N.V. 1979. Patterns of zonal distribution of communities on Taymyr. In: *Arctic tundras and polar deserts of Taymyr*. Nauka, Leningradskoye otdeleniye, Leningrad, pp. 166-200 (in Russian). [Чернов Ю.И., Матвеева Н.В. 1979. Закономерности зонального распределения сообществ на Таймыре // Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра. Л. С. 166-200].

Chernov Yu.I., Matveyeva N.V. 1997. Arctic ecosystems in Russia. In: *Polar and alpine tundra. Ecosystems of the world, 3*. (Wielgolaski, F.E. ed.) Amsterdam et al. The Netherland. pp. 361-507.

Daniëls F.J. A., Molenaar J.G. de. 2011. Flora and vegetation of Tassiilaq, formerly Angmagssalik, southeast Greenland: a comparison of data between 1900 and 2007. *Ambio*, XI (6): 650-659.

Daniëls F.J.A., Molenaar J.G. de, Chytrý M., Tichý L. 2011. Vegetation change in Southeast Greenland, Tasiilaq revisted after 40 years. *J. Applied Veg. Sci*., 14: 230-241.

Danilov I.D., Popov A.I., Smirnova T.I. 1971. Geological, geomorphological and permafrost structure of the Taymyr Biological Station area (Tareya mouth). In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity*. Nauka, Leningrad, pp. 17-34 (in Russian). [Данилов И.Д., Попов А.И., Смирнова Т.И. 1971. Геолого-геоморфологическое и мерзлотное строение района Таймырского стационара (устье Тареи) // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Л. С. 17-34].

Elmendorf S.C., Henry G.H.R., Hollister R.D., Björk R.G., Boulanger-Lapointe N., Cooper E.J., and 41 others. 2012. Plot scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming. *Nature Climate Change*, 2: 453-457. DOI:10.1038/nclimate1465.

Geobotanical zoning of the USSR. 1947. Moscow, Leningrad. 152 pp. (in Russian). [Геоботаническое районирование СССР. М.; Л. 1947. 152 с].

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

Hodgetts N.G., Söderström L., Blockeel T.L., Caspari S., Ignatov M.S., Konstantinova N.A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M., Bell D., Bell N.E., Blom H.H., Bruggeman-Nannenga M.A., Brugués M., Enroth J., Flatberg K.I., Garilleti R., Hedenäs L., Holyoak D.T., Hugonnot V., Kariyawasam I., Köckinger H., Kučera J., Lara F., Porley R.D. 2020. An annotated

checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology* 42 (1): 1-116. DOI: 10.1080/03736687.2019.1694329

Ignatenko I.V. 1971. Soils of the main types of tundra biogecenoses of western Taymyr. In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity*. Nauka, Leningrad, pp. 57-107 (in Russian). [Игнатенко И. В. 1971. Почвы основных типов тундровых биогеценозов западного Таймыра // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Л. 1971. С. 57-107].

Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A., Abolina A., Akatova T.V., Baisheva E.Z., Bardunov L.V., Baryakina E.A., Belkina O.A., Bezgodov A.G., Boychuk M.A., Cherdantseva V.Ya., Czernyadjeva I.V., Doroshina G.Ya., Dyachenko A.P., Fedosov V.E., Goldberg I.L., Ivanova E.I., Jukoniene I., Annukene L., Kazanovsky S.G., Kharzinov Z.Kh., Kurbatova L.E., Maksimov A.I., Mamatkulov U.K., Manakyan V.A., Maslovsky O.M., Napreenko M.G., Otnyukova T.N., Partyka L.Ya., Pisarenko O.Yu., Popova N.N., Rykovsky G.F., Tubanova D.Ya., Zheleznova G.V., Zolotov V.I. 2006. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*. 15: 1-130 (In English, Russian). [Игнатов М.С., Афонина О.М., Игнатова Е.А., Аболинь А.А., Акатова Т.В., Баишева Э.З., Бардунов Л.В., Барякина Е.А., Белкина О.А., Безгодов А.Г., Бойчук М.А., Черданцева В.Я., Чернядьева И.В., Дорошина Г.Я., Дьяченко А.П., Федосов В.Э., Гольдберг И.Л., Иванова Е.И., Юкониене И., Каннукене Л., Казановский С.Г., Харзинов З., Курбатова Л.Е., Максимов А.И., Маматкулов У.К., Манакян В., Масловский О.М., Напреенко М.Г., Отнюкова Т.Н., Партыка Л. Я., Писаренко О.Ю., Попова Н.Н., Рыковский Г.Ф., Тубанова Д., Железнова Г.В., Золотов В.И. 2006. Список мхов Восточной Европы и Северной Азии // Arctoa. № 15. С. 1-130. DOI:10.15298/arctoa.15.01.

Jorgenson J.C., Raynolds M.K., Reynolds J.H., Benson A.-M. 2015. Twenty-five year record of changes in plant cover on tundra of northeastern Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 47(4): 785-806. DOI:10.1657/AAAR0014-097

Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2017. Stability of tundra communities in a changing climate. In: *Rasteniya v kholodnom regione. Sbornik materialov Vseros. nauchno-prakticheskoi konferentsii (Yakutsk, 20-21 oktyabrya 2016 g.). Yakutsk*. pp. 140-149 (in Russian). [Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2017. 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., Lavrinenko I.A. 2020. Stability of tundra communities in a changing climate. In: *Tez. dokl. Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Kompleksnye issledovaniya prirodnoi sredy Arktiki i Antarktiki» (Sankt-Peterburg, 2-4 marta 2020 g.)*. Sankt-Peterburg. GNTs RF AANII. pp. 387-391. (in Russian). [Лавриненко О.В., 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., Lavrinenko I.A. 2022. Twenty-one year dynamics of vegetation from long-term plots in East European tundra. *Environmental dynamics and global climate change,* 13(2): 70-103 (in Russian). [Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2022. Twenty-one year dynamics of vegetation from long-term plots in East European tundra // Environmental dynamics and global climate change 13(2): 70-103].

Liljedahl A.K., Boike J., Daanen R. ., Fedorov A.N., Frost G.V., Grosse G., Hinzman L.D., Iijma Yo., Jorgenson J.C., Matveyeva N., Necsoiu M., Raynolds M.K., Romanovsky V.E., Schulla J., Tape K.D., Walker D.A., Wilson C.J., Yabuki H., Zona D. 2016. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology. *Nature Geoscience*. 1(3): 1-7.

Malinin V.N., Vainovsky P.A. 2018. On the causes of the first Arctic warming in the XX century. *Uchenye zapiski Leningradskogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 53: 34-55 (in Russian). [Малинин В.Н., Вайновский П.А. 2018. О причинах первого потепления Арктики в XX столетии // Учёные записки Ленинградского гидрометеорологического университета. № 53. С. 34-55.].

Matveyeva N.V. 1968. Structure of main tundra types in the middle current of Pyasina river (western Taymyr). *Botanicheskii zhurnal*, 53(11): 1588-1603 (in Russian). [Матвеева Н.В. 1968. Особенности структуры растительности основных типов тундр в среднем течении реки Пясины (Западный Таймыр) // Ботанический журнал. Т. 53. № 11. С. 1588-1603].

Matveyeva N.V. 1969. On the degree of homogeneity of tundra communities. *Botanicheskii zhurnal*, 54(3): 399-409 (in Russian). [Матвеева Н.В. 1969б. О степени однородности тундровых сообществ // Ботанический журнал. Т. 54. № 3. С. 399-409].

Matveyeva N.V. 1971. Dynamics of thawing of the active soil layer in the tundras of western Taymyr. In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity*. Nauka, Leningrad, pp. 45-56 (in Russian). [Матвеева Н.В. 1971. Динамика оттаивания мерзлоты в тундрах Западного Таймыра // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Л. С. 45-56].

Matveyeva N.V. 1978. Vegetation of the surroundings of the Taymyr biogeocenological station. In: *The structure and functions of biogeocenoses of the Taymyr tundra*. Leningrad, pp. 72-113 (in Russian). [Матвеева Н.В. 1978. Растительность окрестностей Таймырского биогеоценологического стационара // Структура и функции биогеоценозов таймырской тундры. Л. С. 72-113].

Matveyeva N.V. 1985. Principles of classification of vegetation of the tundra zone (on the example of Taymyr). In: *Communities of the Far North and people*. Moscow, pp. 56-89 (in Russian). [Матвеева Н.В. 1985. Принципы классификации растительности тундровой зоны (на примере Таймыра) // Сообщества Крайнего Севера и человек. М. С. 56-89].

Matveyeva N.V. 1988. The horizontal structure of tundra communities (Werger M.J.A. Ed.). *Diversity and pattern in plant communities*. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands. pp. 59-65.

Matveyeva N.V. 1994. Floristic classification and ecology of tundra vegetation of the Taymyr Peninsula, northern Siberia. *Journ. Veg. Sci.*, 5: 813-828.

Matveyeva N.V. 1998. Zonation in plant cover of the Arctic. In: *Proceedings of Komarov Botanical Institute. Issue 21*. Saint-Petersburg, 220 pp. (in Russian). [Матвеева Н.В. 1998. Зональность в растительном покрове Арктики. Тр. Ботанического института им. В.Л. Комарова. Вып. 21. Санкт-Петербург. 220 с.].

Matveyeva N.V. 2009. Species diversity of arctic plant communities. In: *Species and communities in extreme environments (Festschrift towards the 75th anniversary and a laudation in honor of academician Yuri Ivanovich Chernov)*. pp. 190-208, Moscow (in Russian). [Матвеева Н.В. 2009. Видовое разнообразие растительных сообществ в Арктике // Виды и сообщества в экстремальных условиях / Юбилейный сборник, посвященный 75-летию академика Ю.И. Чернова. М. С. 190-208].

Matveyeva N.V. 2017. Response of vegetation cover to degradation of residential ice in the Arctic. In: *West Siberian peatlands and carbon cycle: past and present. Mater. Fifth International Symposium (Khanty-Mansiysk, June 19-29, 2017)*. Tomsk, pp. 34-36 (in Russian). [Матвеева Н.В. 2017. Реакция растительного покрова на деградацию жильных льдов в Арктике // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Матер. Пятого международного симпозиума (Ханты-Мансийск, 19–29 июня 2017 г.). Томск. С. 34-36].

Matveyeva N.V. 2018. Perspectives for the dynamics of the formation of new and deformation of old polygonal systems in conditions of current ice-wedge degradation within the Arctic. In: *Proceedings of the «IX meeting in memoriam of Ekaterina Alexeevna Galkina» (Saint-Petersburg 5-7 February 2018)*. Saint-Petersburg, 156-160 (in Russian). [Матвеева Н.В. 2018. Перспективы динамики образования новых и деформации старых полигональных систем в условиях современной деградации жильных льдов в Арктике // Материалы конференции «IX Галкинские Чтения». Санкт-Петербург, 5-7 февраля 2018 г. СПб. С. 156-160].

Matveyeva N.V. 2020. Large-scale transformation of watersheds due to ice-wedge degradation in the Arctic. In: *Abstracts of International Scientific Conference "Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic" (Saint Petersburg, March 2–4)*. Saint-Petersburg, 391-394 (in Russian). [Матвеева Н.В. 2020. Масштабная трансформация водораздельных увалов в связи с деградацией жильных льдов в Арктике // Тезисы докладов Международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики», Санкт-Петербург, 24 марта 2020 г. Санкт-Петербург. С. 391-394].

Matveyeva N.V. 2022. Assessment of changes in vegetation cover as a result of polygonization of watersheds and deformation of polygonal bog systems in the conditions of modern degradation of vein ice in the Arctic. In: *Abstracts of the conference "Plants in the monsoon climate – IX: Plant systems in conditions of global change. (Vladivostok, June 26 – July 1). Vladivostok*, pp. 49-50 (in Russian). [Матвеева Н.В. 2022. Оценка изменений в растительном покрове в результате полигонизации водоразделов и деформации полигональных болотных систем в условиях современной деградации жильных льдов в Арктике. // Тезисы конференции «Растения в муссонном климате – IX: Растительные системы в условиях глобальных изменении». 26 июня – 1 июля 2022 г. Владивосток. С. 49-50].

Matveyeva N.V. 2023. Degradation of rim-polygonal mires and developing of polygonal system and thermokarst strengthening on interfluves at Taymyr – temporal assessment and forecast. In: *Abstracts of International Symposium "Mires of Northern Eurasia: biosphere functions, diversity and management" (Petrozavodsk, September 25-28, 2023). Petrozavodsk*, pp. 60-61 (in Russian). [Матвеева Н.В. 2023. Деградация валиково-полигональных болот и формирование полигональной системы и усиление термокарста на водоразделах на Таймыре – временна́я оценка и прогноз // Болота северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление. Тезисы докладов международного симпозиума. Петрозаводск, 25–29 сентября 2023 г. Петрозаводск. С. 60-61].

Matveyeva N.V., Chernov Yu.L. 1992. An oasis in the tundra. In: *Priroda*, 6: 42-46 (in Russian). [Матвеева Н.В., Чернов Ю.И. 1992. «Оазис» в тундре // Природа. № 6. С. 42-46].

Matveyeva N.V., Lavrinenko O.V. 2021. The checklist of the syntaxa within the Russian Arctic: current state with vegetation classification. *Rastitel'nost' Rossii*, 42: 3-41 (in Russian, English summary). [Матвеева Н.В., Лавриненко О.В. 2021. Чек-лист синтаксонов Российской Арктики: текущее состояние классификации растительности // Растительность России. № 42. С. 3-41]. DOI: 10.31111/vegrus/2021.42.3

Matveyeva N.V., Zanokha L.L. 1986. Vegetation of southern tundras at western Taymyr. *In: Yu.I. Chernov and N.V. Matveyeva (Editors), Yuzhnye tundry Taymyra.* Leningrad, pp. 5-67 (in Russian). [Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 1986. Растительность южных тундр на Западном Таймыре // Южные тундры Таймыра. Л. С. 5-67].

Matveyeva N.V., Zanokha L.L. 2013. Plant cover stability under significant landscape transformation in western Taymyr tundras. In: *Abstracts of II Russian Scientific Conference «Biodiversity of the far north ecosystems: inventory, monitoring, protection» (Komi Republic, Syktyvkar, June 3–7, 2013).* Syktyvkar, pp. 96-106. (in Russian). [Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 2013. Стабильность растительного покрова при существенной трансформации ландшафта в тундрах западного Таймыра // Труды Всероссийской научной конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар (Республика Коми), 37 июня 2013 г.). Сыктывкар. С. 96-106].

Matveyeva N.V., Zanokha L.L. 2017. Changes in vascular flora in Dickson settlement vicinity (western Taymyr) in between 1980 and 2012 years. *Botanicheskii zhurnal*, 102(6): 812-846 (in Russian). [Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 2017. Изменения во флоре сосудистых растений в окрестностях пос. Диксон (Западный Таймыр) с 1980 г. по 2012 г. // Ботанический журнал. Т. 102. № 6. С. 812-846].

Matveyeva N.V., Polozova T.G., Blagodatskikh L.L., Dorogostaiskaya E.V. 1973. A brief essay of plant cover in the vicinity of the Taymyr biogrocoenologicat field station. In: *Biogeocenoses of the Taymyr tundra and their productivity*, *Part 2*. Nauka, Leningrad, pp. 7-49. (in Russian). [Матвеева Н.В., Полозова Т.Г., Благодатских Л.Л., Дорогостайская Е.В. 1973. Краткий очерк растительности окрестностей Таймырского биогеоценологического стационара // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность, 2. Л. С. 7-49].

Matveyeva N.V., Zanokha L.L., Yanchenko Z.A. 2011. Biogeocenological field station «Tareya» – a glance from the past. In: *Razvitiye geobotaniki: istoriya i sovremennost. Materialy Vserosiiskoi nauchnoi konferentsii*. St. Petersburg, pp. 76-77. (in Russian). [Матвеева Н.В., Заноха Л.Л., Янченко З.А. 2011. Биогеоценологический стационар «Тарея»: взгляд из прошлого // Развитие геоботаники: история и современность. С. 76-77].

Matveyeva N.V., Zanokha L.L., Yanchenko Z.A. 2014. Changes in vascular plant flora in the region of the Taymyr biogeocenological field station (mid course of the Pyasina river, Western Taymyr) in between 1970 and 2010 years. In: *Botanicheskii Zhurnal*, 99(8): 841-867. (in Russian). [Матвеева Н.В., Заноха Л.Л., Янченко З.А. 2014. Изменения во флоре сосудистых растений в районе Тарейского биогеоценологического стационара (среднее течение р. Пясины, Западный Таймыр) с 1970 по 2010 гг. // Ботанический журнал. Т. 99. № 8. С. 841-867].

Middendorf A. F. 1860–1978. *Travel to the north and east Siberia. Part 1 North and East Siberia in natural-historical terms. Dep. IV. Vegetation of Siberia.* St. Petersburg, pp. 491-758. (in Russian). [Миддендорф А.Ф. 1860-1978. Путешествие на север и восток Сибири. СПб. Ч. 1. Север и восток Сибири в естественно-историческом отношении. Отд. IV. Растительность Сибири. СПб. С. 491-758].

Moss flora of Russia 2017, 2018, 2020, 2022 / M.S. Ignatov (Editor-in-Chief). Vol. 2 Oedipodiales -Grimmiales, Vol. 4. Bartramiales – Aulacomniales, Vol. 5. Hypopterygiales - Hypnales (Plagiotheciaceae – Brachytheciaceae), Vol. 6. Hypnales (Calliergonaceae – Amlystegiaceae). Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 560, 543, 600, 427 pp. [Флора мхов России / отв. ред. М.С. Игнатов. Т. 2, 4-6. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 560 с., 543 с., 600 с., 427 с.]

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*, 89(2): e01351. URL. https://www.jstor.org/stable/26641244

[Panarkticheskaya…]. Annotated Cheklist of the Panarctic Flora (PAF). Vascular plants version 1.0. http://www.bonran.ru/recources/archive/paf/ (date of request.10.11.2020).

Parinkina O.M. 1978. Decomposition of plant litter and fiber in the Taymyr tundra. *Soil science*. 8: 47-55 (in Russian). [Паринкина О.М. 1978. Разложение растительного опада и клетчатки в таймырских тундрах // Почвоведение. № 8. С. 47-55].

Parinkina O.M. 1989. *Microflora of Tundra Soils.* Nauka, Leningrad, 159 pp. (in Russian). [Паринкина О.М. 1989. Микрофлора тундровых почв. Л. 159 с].

Piin T.H., Trass H.H., 1971. Terricolous lichens in the vicinity of Tareya (western Taymyr). In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity.* Nauka, Leningrad, pp. 151-160 (in Russian). [Пийн Т.Х., Трасс Х.Х. 1971. Напочвенные лишайники окрестностей Тареи (Западный Таймыр) // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность, 2. Л. С. 151-160].

Polozova T.G., Tikhomirov B.A., 1971. Vascular plants in the vicinity of Taymyr station (right Pyasina river bank near Tareya river mouth, western Taymyr). In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity*. Nauka, Leningrad, pp. 161-183 (in Russian). [Полозова Т.Г., Тихомиров Б.А. 1971. Сосудистые растения района Таймырского стационара (правобережье Пясины близ устья Тареи, западный Таймыр) // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Л. С. 161-183].

Romanova E.N. 1971. Microclimate of tundras near the Taymyr Biogeocenological Station. In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity*. Nauka, Leningrad, pp. 35-44 (in Russian). [Романова Е.Н. 1971. Микроклимат тундр в районе таймырского стационара // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Л. С. 35-44].

Romanova E.N. 1977. *Microclimatic variability of major climate elements*. Nauka, Leningrad. 280 pp. (in Russian). [Романова Е.Н. 1977. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л. 280 с].

Rozenbaum G.E., Shpolyanskaya N.A. 2000. *Late Cenozoic history of the cryolithic zone of the Arctic and its future development trend.* Moscow, 103 pp. (in Russian). [Розенбаум Г.Э., Шполянская, Н.А. 2000. Позднекайнозойская история криолитозоны Арктики и тенденция ее будущего развития. М. 103 с].

Sekretareva N.A. 2004. *Sosudistye rasteniya Rossiyskoy Arktiki i sopredel'nykh territoriy* [Vascular plants of the Russian Arctic and adjacent territories]. Moscow. 129 pp. (in Russian). [Секретарева Н.А. 2004. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. М. 129 с.

Shpolyanskaya N. A. 2010. *Permafrost and Global Climate Change*. Moscow, 199 pp. (in Russian). [Шполянская Н.А. 2010. Вечная мерзлота и глобальные изменения климата М. 199 с].

The structure and functions of biogeocenoses of the Taymyr tundra. 1978. Leningrad. 304 pp. (in Russian). [Структура и функции биогеоценозов таймырской тундры. Л. 1978. 304 с.].

Truelove lowland, Devon Island, Canada: a high Arctic ecosystem. 1977. Ed. L.C. Bliss. Canada. 714 pp.

Vasilevskaya V.D. 1980. *Soil formation in the tundras of central Siberia*. Nauka, Moscow. 235 pp. (in Russian). [Васильевская В.Д. 1980. Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М. 235 с].

Vize V.Yu. 1937. The reason for the warming of the Arctic. In: *Soviet Arctic*, 1: 59-68. (in Russian). [Визе В.Ю. 1937. Причина потепления Арктики // Советская Арктика. № 1. С. 59-68].

Wolf A., Callaghan T.V., Larson K. 2008. Future changes in vegetation and ecosystem function of the Barents Region. *Climatic Change*, 87: 51-73.

Yurtsev B. A. 1968. *Suntar-Hayata Flora. Problems of the history of the high mountain landscapes of North-East Siberia.* Leningrad, 235 pp. (in Russian). [Юрцев Б.А. 1968. Флора Сунтар-Хаята. Проблема истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л. 235 с].

Zhukova A.L. 1973. Species composition and distribution of liver mosses in plant communities of the Taymyr Biological Station area. In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity. Part 2.* Nauka, Leningrad. 2: 120-127. (in Russian). [Жукова А.Л. 1973. Видовой состав и распределение печеночных мхов в растительных сообществах района Таймырского стационара // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Вып. 2. Л. С. 120-127].

Zanokha L.L. 1993. Classification of meadow communities of the tundra zone in Taymyr Peninsula: association ***Pediculari verticillatae–Astragaletum arctica***. *Botanicheskii zhurnal*, 78(5): 25-35 (in Russian). [Заноха Л.Л. 1993. Классификация луговых сообществ тундровой зоны полуострова Таймыр: ассоциация ***Pediculari verticillatae–Astragaletum arctica*** // Ботанический журнал. Т. 78. № 5. С. 25-35].

Zanokha L.L. 1995a. Association ***Sanguisorbo officinalisAllietum schoenoprasi*** in the west of the tundra zone of the Taymyr Peninsula. *Botanicheskii zhurnal*, 80(8): 85-92 (in Russian). [Заноха Л.Л. 1995а. Ассоциация ***Sanguisorbo officinalisAllietum schoenoprasi*** на западе тундровой зоны полуострова Таймыр // Ботанический журнал. Т. 80. № 8. С. 85-92].

Zanokha L.L. 1995б. Classification of meadow communities of the tundra zone in Taymyr Peninsula: association ***Saxifrago hirculi–Poetum alpigenae***. *Botanicheskii zhurnal*, 80(5): 25-36 (in Russian). [Заноха Л.Л. 1995б. Классификация луговых сообществ тундровой зоны полуострова Таймыр: ассоциация ***Saxifrago hirculi–Poetum alpigenae*** // Ботанический журнал. Т. 80. № 5. С. 25-36].

Zanokha L.L. 2001. Classification of zoogenic and anthropogenic vegetation of Central-Siberian sector of the Arctic (Taymyr Peninsula, Severnaya Zemlya Archipelago). *Rastitel'nost' Rossii* 1: 6-16 (in Russian). [Заноха Л.Л. 2001. Классификация зоогенной и антропогенной растительности центральносибирского сектора Арктики (полуостров Таймыр, архипелаг Северная Земля) // Растительность России. № 1. С. 6-16]. https://doi.org/10.31111/vegrus/2001.01.6

Zanoha L.L. 2009. Meadow vegetation of the Central Siberian sector of the Arctic (Taymyr Peninsula, Severnaya Zemlya archipelago). In: *Species and communities in extreme environments (Festschrift towards the 75th anniversary and a laudation in*

honor of academician Yuri Ivanovich Chernov). Moscow, 251-272 pp. (in Russian). [Заноха Л.Л. 2009. Луговая растительность среднесибирского сектора Арктики (полуостров Таймыр, архипелаг Северная Земля) // Виды и сообщества в экстремальных условиях / Юбилейный сборник, посвященный 75-летию академика Ю.И. Чернова. М. С. 251-272].

Zhukova A.L. 1973. Species composition and distribution of liver mosses in plant communities of the Taymyr Biological Station area. In: *Biogeocenoses of Taymyr tundra and their productivity. Part 2.* Nauka, Leningrad. 2: 120-127 (in Russian). [Жукова А.Л. 1973. Видовой состав и распределение печеночных мхов в растительных сообществах района Таймырского стационара // Биогеоценозы таймырской тундры и их продуктивность. Вып. 2. Л. С. 120-127].

Поступила в редакцию: 03.09.2024
Переработанный вариант: 21.10.2024

EFFECTS OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION ANOMALIES ON CARBON DIOXIDE AND LATENT HEAT FLUXES IN WETLAND ECOSYSTEMS

Satosina E.[1,2*], Gushchina D.[1], Tarasova M.[1], Gibadullin R.[1], Zheleznova I.[1], Emelianova E.[2], Osipov A.[1], Olchev A.V.[1]

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии
[2] Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, лаборатория эколого-климатических исследований

*lisan.sat@gmail.com

Citation: Satosina E., Gushchina D., Tarasova M., Gibadullin R., Zheleznova I., Emelianova E., Osipov A., Olchev A.V. 2024. Effects of temperature and precipitation anomalies on carbon dioxide and latent heat fluxes in wetland ecosystems. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 15(3): 189-199.

DOI: 10.18822/edgcc635041

В рамках данного исследования проведена оценка возможных отличий в отклике болотных экосистем умеренных и полярных широт, расположенных на различных континентах, на экстремальные явления погоды (аномально высокие/низкие температуры, засухи/интенсивные осадки и др.). Влияние экстремальных явлений погоды на изменчивость потоков CO_2 и скрытого тепла (LE) в различных болотных экосистемах оценивалось с помощью метеорологических данных реанализа ERA5, а также данных о потоках CO_2 и LE с 15 станций мониторинга потоков парниковых газов из глобальной сети FLUXNET. Анализ реакции потоков CO_2 и LE на экстремальные температуры и осадки показал, что отклик болотных экосистем в умеренных и полярных широтах может различаться в зависимости от географического положения, региональных климатических условий, структуры растительного покрова, а также от интенсивности аномалий температуры и осадков. Если в умеренных широтах в течение теплого периода во время экстремально высоких температур наблюдалась преобладающая положительная аномалия потока CO_2 (превышение эмиссии над поглощением CO_2), то в полярных широтах отмечался противоположный отклик – увеличение нетто поглощения CO_2 болотными экосистемами. Мгновенный отклик на интенсивные осадки во всех рассматриваемых болотных экосистемах был идентичным и проявлялся в виде усиления эмиссии (положительной аномалии) CO_2 в атмосферу. Экстремально высокие значения температуры сопровождались положительными аномалиями LE из-за интенсификации процессов испарения с повышением температуры. Подобный эффект наблюдался во всех исследуемых болотных экосистемах. Кумулятивный эффект от экстремально высоких осадков характеризуется преобладанием эмиссии CO_2 над поглощением как в болотных экосистемах умеренных широт, так и в отдельных экосистемах, расположенных в полярных широтах. Отсутствие осадков на протяжении нескольких недель сильно не сказывалось на потоках CO_2 и сопровождалось для большинства исследуемых болотных экосистем доминирующими отрицательными аномалиями потока CO_2 (усиление поглощения CO_2).

Ключевые слова: болотные экосистемы, аномалии температуры и осадков, потоки углекислого газа, реанализ, база данных FLUXNET.

This study conducted a comprehensive assessment of the response of wetland ecosystems in temperate and polar latitudes, located on different continents, to extreme weather events. These events included temperature anomalies (unusually high/low temperatures) and precipitation anomalies (droughts/intense precipitation). The analysis of the response net ecosystem exchange (NEE) of CO_2 and latent heat (LE) fluxes to extreme temperature and precipitation events used ERA5 reanalysis data [Smith, 2011] and observations of CO_2 and LE fluxes from the global FLUXNET database [https://fluxnet.org/data/]. Fifteen greenhouse gas flux monitoring stations were selected for the study, representing the longest and most continuous time series of observations. These stations are located on different continents, with eight stations in temperate latitudes and seven in polar regions. It should be noted that this study focused exclusively on the warm season. The beginning and end of the warm season were defined as the sustained crossing of the daily mean air temperature above 0°C for at least seven consecutive days.

For each station, daily anomalies of CO_2 and LE fluxes were calculated as the deviation from the long-term mean values for the corresponding day of the year. Extremely high/low values of flux anomalies were identified as exceeding one standard deviation from the overall time series for each calendar month individually.

To identify periods with extreme air temperature values, ERA5 reanalysis data on two-meter air temperature every 3 hours with a spatial resolution of 0.25°×0.25° from 1991 to 2021 were used. To estimate extreme precipitation amounts, data from half-hourly station observations were used. Daily means were calculated from these data in a first

step. Thresholds for defining extremely hot/cold periods were calculated as daily mean air temperature exceeding the 95th percentile (for anomalously hot periods) or not exceeding the 5th percentile (for anomalously cold periods) of a normal distribution with mean and standard deviation. The distribution was constructed for a specific month of the year and then averaged over the entire period considered. Two approaches were used to determine the extreme precipitation threshold. In the first approach, extreme precipitation days were defined as days with daily precipitation exceeding the 95th percentile of the probability density function (the Weibull distribution was used for precipitation). The second approach was based on the assessment of the Antecedent Precipitation Index (API), which determines the cumulative effect of precipitation on CO_2 fluxes.

For the quantitative assessment of the relationship between temperature and precipitation extremes and flux anomalies, the percentages of days on which both the NEE/LE anomaly exceeded the standard deviation and the temperature/precipitation exceeded the 95th percentile for the upper threshold or the temperature did not reach the 5th percentile for the lower threshold were calculated. The percentage was calculated based on the total number of days when one of the characteristics (air temperature, daily sum of precipitation) exceeded the threshold.

The analysis showed that temperate and polar wetland ecosystems can respond differently to temperature and precipitation anomalies. These differences can be attributed to the geographic location of the ecosystem, regional climatic conditions, plant species composition, and the intensity of temperature and precipitation extremes. During the warm half of the year, periods of extremely high temperatures in temperate latitudes were associated with a positive CO_2 flux anomaly, corresponding to an increased emission of CO_2 into the atmosphere. In contrast, polar latitudes showed an opposite response - an increase in CO_2 uptake by wetland ecosystems under anomalously high temperatures. This opposite response of CO_2 fluxes may be related to the different soil moisture regimes in polar wetland ecosystems and the different plant species composition. Extremely high temperatures were accompanied by positive LE anomalies due to the intensification of evaporation processes with rising temperatures, a trend observed in all wetland ecosystems analyzed.

The immediate response of wetland ecosystems to intense precipitation (above the 95th percentile) was manifested as an increase in CO_2 flux to the atmosphere at almost all stations analyzed. This observed response could be related to the "Birch effect" [Birch, 1964], which is characterized by an intensification of soil respiration due to a sudden increase in soil moisture and, consequently, an increase in the rate of decomposition and mineralization of organic matter during heavy precipitation and rising groundwater levels. LE flux decreases during intense precipitation, indicating suppression of evaporation due to high humidity and reduced incoming solar radiation. The cumulative effect (API index) of extremely high precipitation is characterized by a predominance of extremely positive CO_2 flux anomalies over negative ones in wetland ecosystems at both temperate and polar latitudes. It should also be noted that the percentage of days with increased CO_2 uptake during the two weeks following intense precipitation is significantly higher than for the immediate response (10-25% of days in temperate latitudes and 5-20% of days in polar latitudes). The increase in CO_2 uptake after heavy precipitation may be related to enhanced photosynthetic rates of the vegetation cover under sunny weather and optimal soil moisture conditions. A prolonged absence of precipitation, represented by extremely low API values, is accompanied by negative CO_2 flux anomalies (enhanced uptake) at most of the studied wetland ecosystem stations, indicating a high adaptive potential of the studied wetland ecosystems to short-term (less than 14 days) dry periods. On the other hand, enhanced CO_2 uptake could be facilitated by clear weather conditions, which prevail during dry periods and are accompanied by an increase in direct solar radiation and corresponding acceleration of photosynthetic processes.

It is noteworthy that flux anomalies often did not coincide with temperature or precipitation extremes, indicating that the functioning of wetland ecosystems is strongly influenced by multiple abiotic and biotic factors, which vary among different plant communities.

Key words: permanent wetlands, temperature and precipitation anomalies, Net Ecosystem Exchange (NEE) of CO_2, latent heat flux, FLUXNET database, reanalysis.

Используемые сокращения:

LE – скрытый поток тепла или затраты тепла на испарение (latent heat flux);
NEE – нетто экосистемный обмен CO_2 (net ecosystem exchange);
GPP – валовая первичная продукция;
API – Antecedent Precipitation Index;
Q – квантиль;
СКО или STD – стандартное отклонение.

ВВЕДЕНИЕ

Изменения в современном климате, характеризующиеся резким ростом глобальной температуры, изменением режима осадков, а также увеличением количества и интенсивности опасных явлений погоды, оказывают активное воздействие на рост, развитие и устойчивость растительных сообществ [Ciais et al., 2005; Ummenhofer et al., 2017; IPCC, 2021]. Экстремальные

явления погоды, такие как волны жары, катастрофические засухи, ураганы и интенсивные ливни, могут привести к нарушению состояния и функционирования природных экосистем и растительных сообществ, изменению скорости транспирации, фотосинтеза, дыхания растений и почвы, нетто экосистемного обмена CO_2 (NEE) между растительностью и атмосферой [Frank et al., 2015; Kramer et al., 2020; Ritter et al., 2020; Zhang et al., 2022].

Одними из наиболее уязвимых типов наземных экосистем на планете к воздействию экстремальных явлений погоды можно считать болотные экосистемы, покрывающие около 2.8% всей земной поверхности [Xu et al., 2018]. Они, как и остальные наземные экосистемы, активно регулируют процессы обмена энергией, водяным паром, диоксидом углерода (CO_2) между подстилающей поверхностью и атмосферой, выполняя важную водорегулирующую функцию, формируя радиационный и тепловой баланс земной поверхности, определяя микроклимат обширных территорий и поглощая и удерживая атмосферный углерод в связанном состоянии на протяжении значительных интервалов времени [Dinsmore et al., 2013; Scharlemann et al., 2014; FAO, 2020]. Существует много типов болот, расположенных в разных климатических условиях и отличающихся по характеру питающих вод, положению в рельефе и другим факторам. Болота расположены практически во всех природных зонах Северного полушария, однако наиболее широко болота распространены в бореальной и субарктической зоне. Основной функцией болотных экосистем является накопление органического материала – торфа, который образуется в результате неполного разложения мертвых остатков растений в условиях постоянного избытка влаги. Таким образом, болота являются одним из важнейших резервуаров углерода на планете, играя важнейшую роль в поддержании баланса парниковых газов в атмосфере [Oechel et al., 1993; Sirin et al., 2008; Post et al., 2009].

Вопрос влияния экстремальных явлений погоды на разные типы болотных экосистем в условиях меняющегося климата исследован пока достаточно слабо. Исследования влияния аномально жарких/холодных, а также сухих/избыточно влажных периодов на функционирование болотных экосистем и на изменчивость в этих экосистемах потоков парниковых газов и испарения проводился в последние годы в основном на примере отдельных болотных экосистем [Gill et al., 2017; Park et al., 2021; Mamkin et al., 2023], с применением преимущественно качественных подходов без использования жестких критериев для классификации аномалий метеорологических параметров и потоков, а также и без их дальнейшего обобщения. Очевидно, что в подобных исследованиях важно не только выявить и оценить общие тенденции изменения потоков CO_2, испарения на изменения факторов внешней среды, но также важно и провести количественную оценку и интерпретацию выявленных закономерностей. Это является залогом для лучшего понимания механизмов функционирования болотных экосистем, а также для возможности более точного прогнозирования их отклика на воздействие внешних факторов.

Целью данного исследования являлось проведение количественной оценки и выявление возможных отличий в отклике NEE и затрат тепла на испарение (LE) болотных экосистем умеренных и полярных широт, расположенных на различных континентах, на экстремальные погодные явления (значительные положительные и отрицательные аномалии температуры воздуха и осадков) с использованием глобальной базы данных FLUXNET и данных реанализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа временной и пространственной изменчивости NEE и LE были отобраны экспериментальные данные, полученные с помощью метода турбулентных пульсаций (eddy covariance) [Aubinet et al., 2012] с 15 станций мониторинга парниковых газов из глобальной базы данных FLUXNET (https://fluxnet.org/data/), которые представляли собой наиболее продолжительные и непрерывные ряды наблюдений. Станции располагались на разных континентах: 8 мониторинговых станций в умеренных широтах и 7 – в полярных (Рис. 1) (список станций см. в Табл. П1). Все выбранные для исследования станции, согласно классификации IGBP [Belward et al., 1999], относятся к водно-болотным угодьям. Метеорологические условия на станциях анализировались с использованием данных станционных наблюдений и данных реанализа Европейского центра прогнозов погоды ERA5 [Smith, 2011]. Следует отметить, что в данном исследовании рассматривался только тёплый период года. Начало и конец теплого сезона определялись как устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C на протяжении не менее семи последовательных дней.

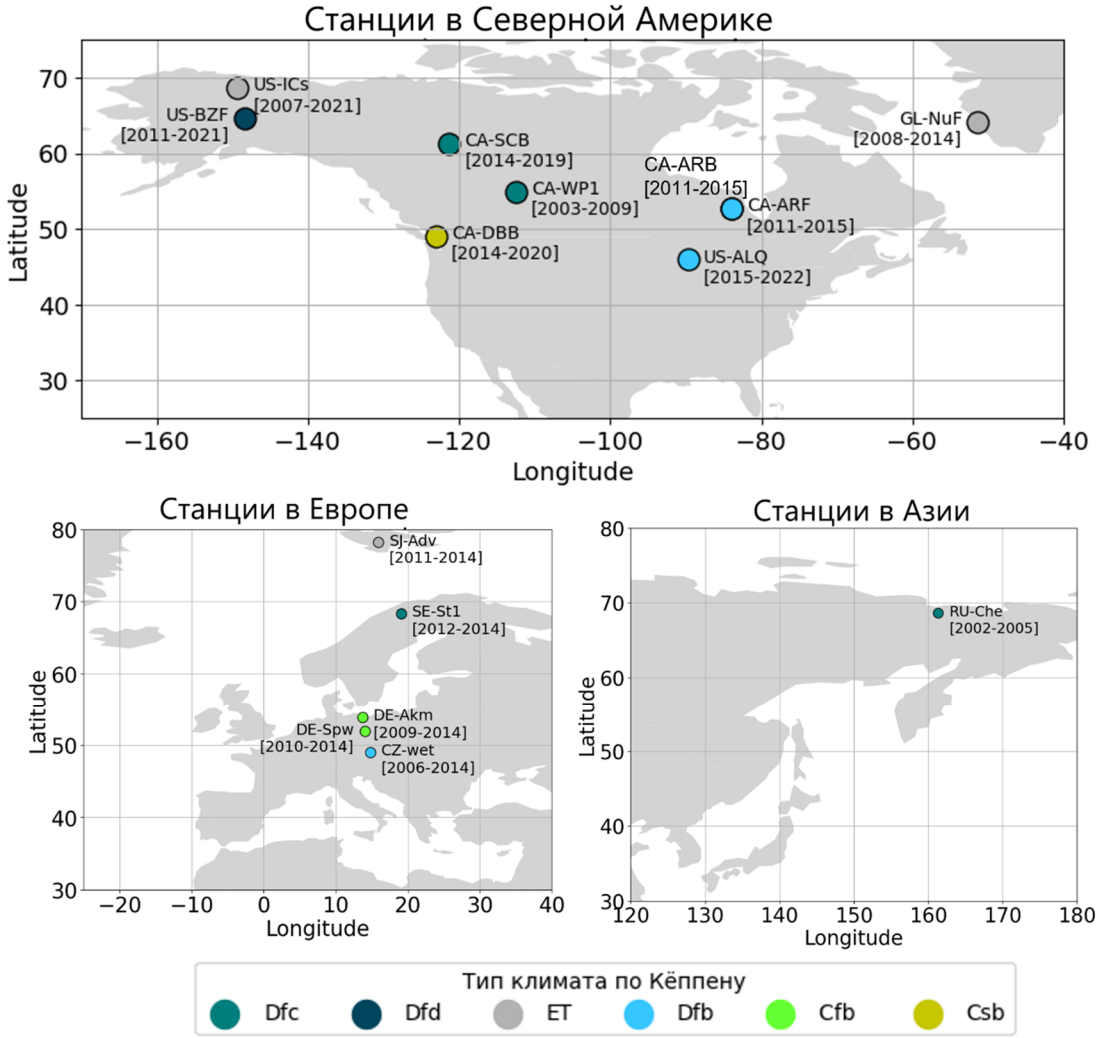

Рис. 1. Станции глобальной сети мониторинга FLUXNET, отобранные для анализа влияния экстремальных погодных условий на потоки CO_2.
Fig. 1 The FLUXNET stations selected for the analysis of the CO_2 flux response to extreme weather conditions.

Анализ и расчет потоков CO_2 и LE проводился в соответствии с общепринятыми рекомендациям международного сообщества с использованием стандартизированного программного обеспечения [Aubinet et al., 2012; Fratini, Mauder, 2014]. Пропуски, вызванные сбоями в работе оборудования и электропитания, слабой турбулентностью, сильными осадками и т.д., для всех выбранных станций были заполнены при помощи программного пакета ReddyProc [Wutzler et al., 2018] и алгоритмов описанных [Reichstein et al., 2005]. Среднесуточные значения потоков рассчитывались путем осреднения восстановленных 30-минутных рядов данных.

Для каждой станции рассчитывались среднесуточные аномалии потоков CO_2 и LE как разность измеренных среднесуточных значений потоков для соответствующего дня года и их среднемесячных значений за весь имеющийся период наблюдений. Экстремально высокие (низкие) аномалии потоков CO_2 были определены как превышающие ±1 СКО временного ряда для каждого отдельного месяца.

Для выделения периодов с экстремальными значениями температуры воздуха использовались данные реанализа ERA5 по температуре воздуха на уровне двух метров за каждые 3 часа с пространственным разрешением 0,25°×0,25° с 1991 по 2021 год. Для выделения периодов и дней с экстремально высокими осадками использовались данные станционных наблюдений с получасовым разрешением. По этим данным на первом этапе были рассчитаны среднесуточные значения. Пороговые значения для определения экстремально жарких/холодных периодов рассчитывались как превышение среднесуточного значения температуры воздуха 95% квантиля (для аномально жарких периодов) или непревышение 5% квантиля (для аномально холодных периодов) нормального

распределения [Zheleznova, Gushchina, 2023]. Распределение строилось для конкретного месяца года и затем усреднялось за весь период 1991-2021 гг. для каждого конкретного месяца. Для определения порога экстремальных осадков были использованы два подхода. В первом подходе дни с экстремально обильными осадками были определены как дни с суточным количеством осадков, превышающим 95% квантиль функции плотности вероятности (для осадков применялось распределение Вейбулла). Второй подход был основан на оценке индекса API (Antecedent Precipitation Index или Индекс предшествующих осадков), который определяет кумулятивный эффект выпавших осадков на потоки CO_2 и LE [Gushchina et al., 2023]. Индекс рассчитывался согласно формуле [Li et al., 2021]:

$$API = \sum_{t=1}^{M} P_t k^t ,$$

где P_t – количество осадков, выпавшее в течение дня t (где t – номер дня, изменяющийся от 1 до M); M – число дней, для которых рассчитывается накопленная сумма осадков, а k – параметр, характеризующий снижение вклада выпавших осадков в текущее влагосодержание корнеобитаемого слоя почвы с течением времени. В данном исследовании было принято M равным 14 дням, а k равно 0,8.

Значение API, превышающее одно стандартное отклонение для временного ряда, на каждой мониторинговой станции считалось экстремально высоким. Для минимизации воздействия сезонных колебаний стандартное отклонение вычислялось отдельно для каждого месяца. Критерием для определения экстремально низкого значения API служило значение, не превышающее 5% от общей амплитуды временного ряда. Амплитуда определялась как средняя разность между максимальным и минимальным средними значениями API за каждый месяц, рассчитанная на основе данных с 1991 по 2021 год. Использование порога в одно стандартное отклонение невозможно для оценки низких значений API, поскольку стандартное отклонение может превышать среднемесячное значение API, делая значения ниже минус одного стандартного отклонения теоретически невозможными для измерения количества осадков.

Для количественной оценки взаимосвязи между экстремумами температуры и осадков и аномалиями потоков были рассчитаны проценты дней, когда одновременно аномалия NEE/LE превышала стандартное отклонение и температура/осадки превышали 95% квантиль для верхнего порога или температура не достигала 5% квантиля для нижнего порога. Процент рассчитывался исходя из общего количества дней, в течение которых одна из характеристик (температура воздуха, суточная сумма осадков) превышала пороговое значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ отклика потоков на экстремальные погодные условия выявил высокое разнообразие реакций NEE и LE в болотных экосистемах как в умеренных, так и в полярных широтах. В течение теплого полугодия в периоды экстремально высоких температур (превышающих 95% квантиль) в умеренных широтах наблюдалась положительная аномалия NEE, соответствующая усилению эмиссии CO_2 в атмосферу. В течение 18-44% дней с аномально высокими температурами отмечались положительные аномалии NEE, превышающие 1 СКО (Рис. 2А, красные столбцы). Это может быть обусловлено как возможным уменьшением скорости фотосинтеза и снижением валовой первичной продукции (GPP) в болотных экосистемах при аномально высоких температурах, так и ростом экосистемного дыхания (RE) [Anjileli et al., 2021]. В полярных широтах наблюдался противоположный отклик – увеличение поглощения CO_2 болотными экосистемами при аномально высоких температурах (16-44% дней) (Рис. 3А, синие столбцы). В данном случае противоположный отклик NEE может быть связан с отличиями в режиме увлажнения почвы в болотных экосистемах полярных широт, а также различиями в адаптационных механизмах к высоким температурам воздуха у разных растительных сообществ. Также поглощение CO_2 в данном случае может быть связано с температурным режимом полярных широт: температуры выше 95% квантиля в этих регионах соответствуют температурам, благоприятным для интенсификации фотосинтеза (при достаточном увлажнении), при этом растительность в большинстве случаев не испытывает теплового стресса.

Отклик NEE на отрицательные аномалии температуры в теплое время года значительно варьирует между экосистемами в пределах одного биома в зависимости от географического

положения, характеристик ландшафта и видового состава растительности (Рис. 2Б и 3Б) [Charrier et al., 2021].

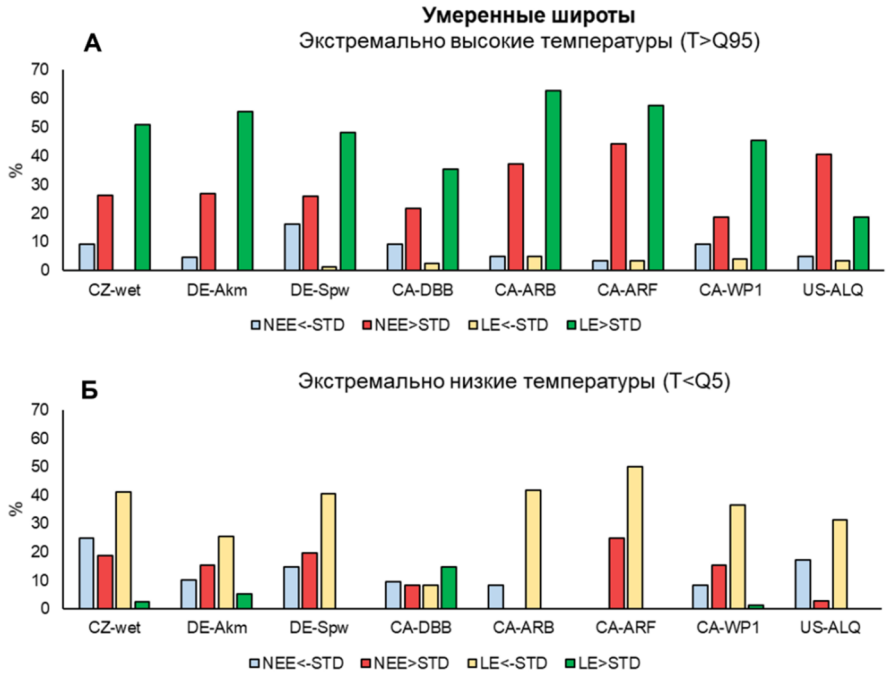

Рис. 2. Процент дней с аномалиями потоков CO_2 (NEE) и LE, превышающими 1 стандартное отклонение (STD), возникающими одновременно с экстремально высокими (А) и экстремально низкими (Б) температурами в болотных экосистемах умеренных широт.

Fig. 2. The percentage of days when CO_2 flux anomalies (NEE) and LE greater than 1 STD occurred simultaneously with extremely high (A) and extremely low (B) temperatures in temperate wetland ecosystems.

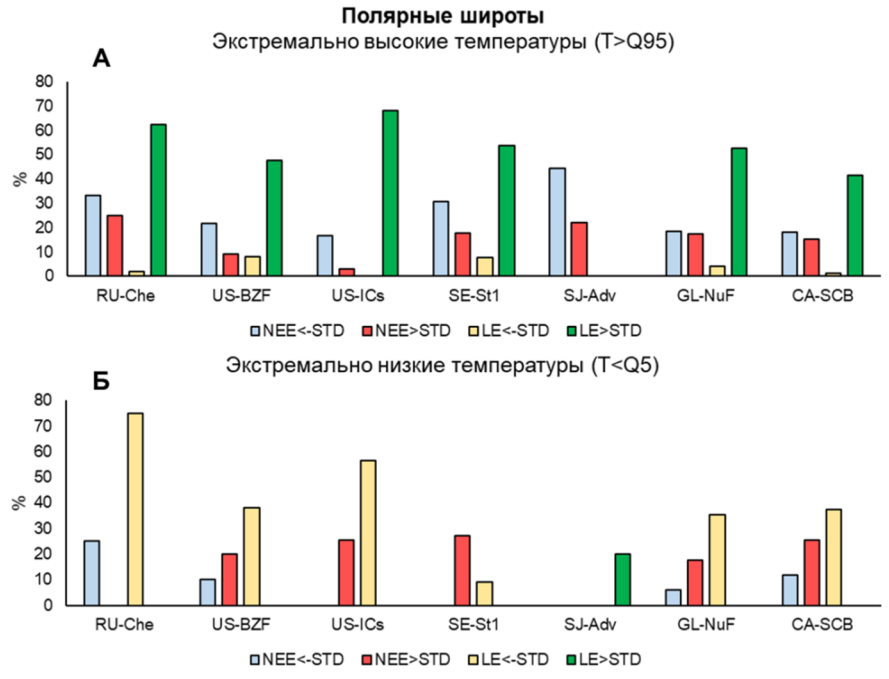

Рис. 3. Процент дней с аномалиями потоков CO_2 (NEE) и LE, превышающими 1 стандартное отклонение (STD), возникающими одновременно с экстремально высокими (А) и экстремально низкими (Б) температурами в болотных экосистемах полярных широт.

Fig. 3. The percentage of days when CO_2 flux anomalies (NEE) and LE greater than 1 STD occurred simultaneously with extremely high (A) and extremely low (B) temperatures in polar wetland ecosystems.

Экстремально высокие значения температуры также сопровождались положительными аномалиями потока LE на болотах из-за интенсификации процессов испарения с повышением температуры. Эта взаимосвязь наблюдается во всех рассмотренных болотных экосистемах: 18-68% дней с аномально высокими температурами, отмечались положительные аномалии потока LE (Рис. 2А и 3А, зеленые столбцы). Холодные периоды, приходящиеся на теплое время года, во всех исследуемых экосистемах в основном вызывают сильные отрицательные аномалии LE в 8-75% дней из-за подавления испарения при низких температурах (Рис. 2Б и 3Б, желтые столбцы).

Мгновенный отклик болотных экосистем на интенсивные осадки (превышающие 95% квантиль) практически на всех рассматриваемых станциях проявлялся в виде увеличения эмиссии CO_2 в атмосферу: 33-57% дней в болотных экосистемах умеренных широт (Рис. 4А, красные столбцы) и 7-60% дней в экосистемах полярных широт (Рис. 4Б, красные столбцы) с экстремальными осадками связаны с положительными аномалиями NEE, превышающими стандартное отклонение. Наблюдаемый отклик может быть связан с «эффектом Бирча» [Birch, 1964], который проявляется в интенсификации почвенного дыхания в результате резкого повышения влажности почвы и, как следствие, увеличения скорости разложения и минерализации органического вещества при сильных осадках и повышении уровня грунтовых вод [Manzoni et al., 2020]. Поток LE при интенсивных осадках уменьшается и сопровождается отрицательной аномалией потока (Рис. 4А и 4Б, желтые столбцы), что указывает на уменьшение скорости испарения из-за высокой влажности воздуха и снижения приходящей солнечной радиации.

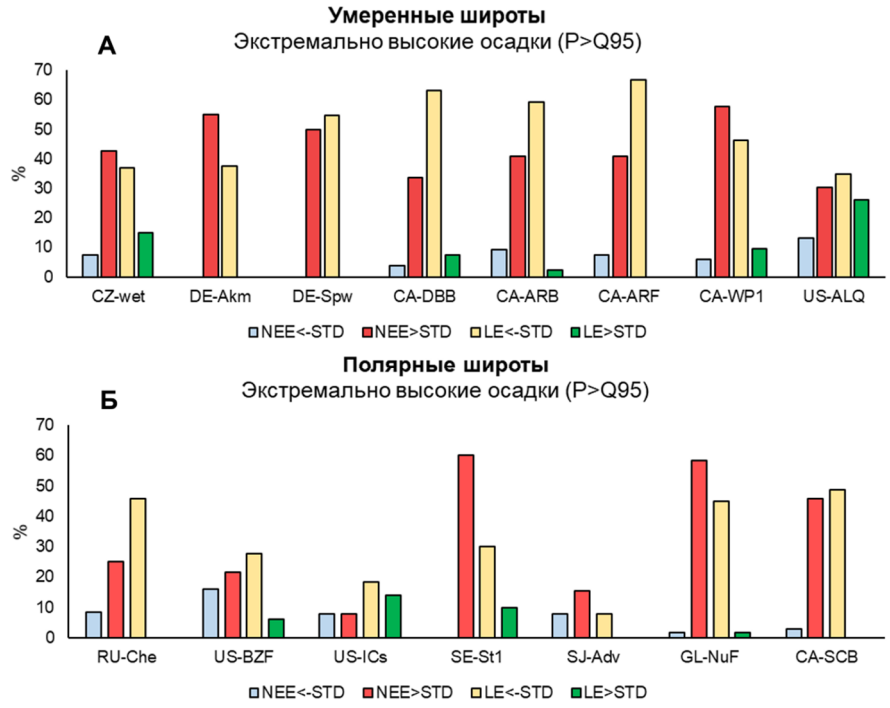

Рис. 4. Процент дней с аномалиями потоков CO_2 (NEE) и LE, превышающими 1 стандартное отклонение (STD), возникающими одновременно с экстремально высокими осадками в болотных экосистемах умеренных (А) и полярных (Б) широт.

Fig. 4. The percentage of days when CO_2 flux anomalies (NEE) and LE greater than 1 STD occurred simultaneously with extremely high precipitation in temperate (A) and polar (B) wetland ecosystems.

Анализ кумулятивного эффекта (индекс API) экстремально высоких осадков на NEE показывает преобладание положительных аномалий NEE над отрицательными в болотных экосистемах как в умеренных широтах (Рис. 5А), так и на некоторых станциях в полярных широтах (Рис. 6А). Следует также отметить, что процент дней с увеличением поглощения CO_2 при максимуме выпавших за предыдущие две недели осадков существенно выше, чем для мгновенного отклика NEE на кратковременные ливни: 10-25% дней в умеренных широтах (Рис. 5А, голубые столбцы) и 5-20% дней в полярных широтах (Рис. 5Б, голубые столбцы). Увеличение поглощения CO_2 в период времени после выпадения обильных осадков может быть связано с усилением скорости фотосинтеза

растительного покрова при солнечной погоде и оптимальных условиях почвенного увлажнения. Также после продолжительных осадков увеличивается поток LE во всех болотных экосистемах, что, в свою очередь, может быть связано с высокой обводненностью болот и высокими значениями приходящей солнечной радиации.

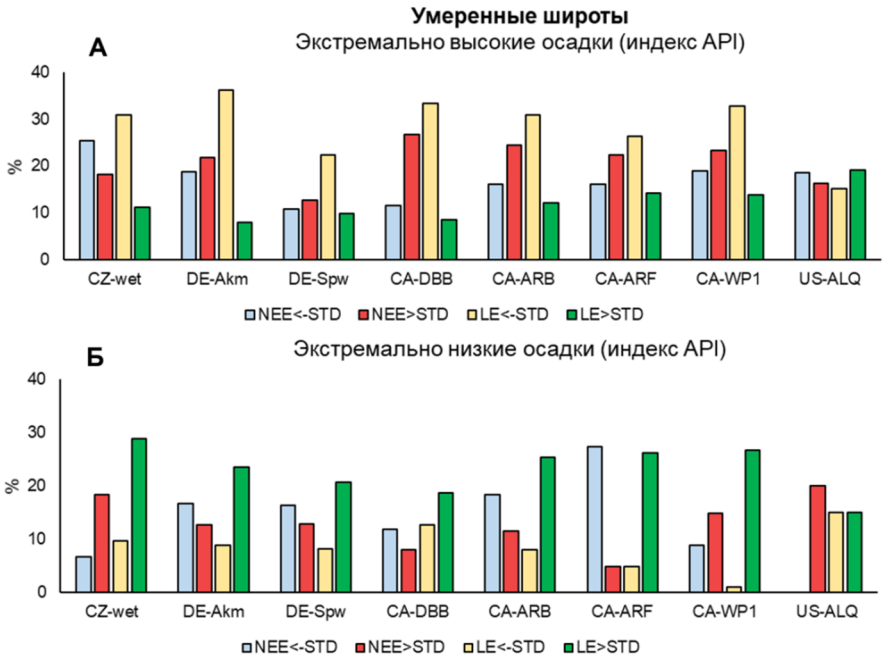

Рис. 5. Процент дней с аномалиями потоков CO_2 (NEE) и LE, превышающими 1 стандартное отклонение (STD), возникающими одновременно с экстремально высокими (А) и экстремально низкими (Б) значениями индекса API в болотных экосистемах умеренных широт.

Fig. 5. The percentage of days when CO_2 flux anomalies (NEE) and LE greater than 1 STD occurred simultaneously with extremely high (A) and extremely low (B) API values in temperate wetland ecosystems.

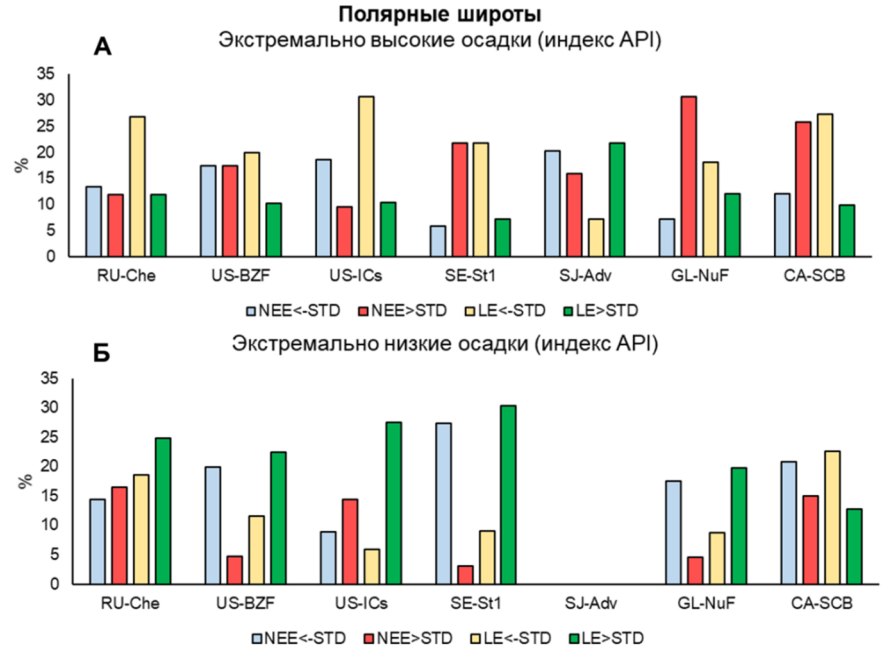

Рис. 6. Процент дней с аномалиями потоков CO_2 (NEE) и LE, превышающими 1 стандартное отклонение (STD), возникающими одновременно с экстремально высокими (А) и экстремально низкими (Б) значениями индекса API в болотных экосистемах полярных широт.

Fig. 6. The percentage of days when CO_2 flux anomalies (NEE) and LE greater than 1 STD occurred simultaneously with extremely high (A) and extremely low (B) API values in polar wetland ecosystems.

Продолжительное отсутствие осадков, которое представлено экстремально низкими значениями API, сопровождается в большинстве рассматриваемых болотных экосистем отрицательными аномалиями потока NEE (усиление поглощения CO_2) (Рис. 5Б и 6Б). Это характеризует высокий адаптивный потенциал исследуемых болотных экосистем к кратковременным (менее 14 дней) периодам без осадков. С другой стороны, усилению поглощения CO_2 могла способствовать малооблачная погода, преобладающая в периоды без осадков, которая сопровождается увеличением притока суммарной солнечной радиации и интенсификации процессов фотосинтеза у растительных сообществ. Положительные аномалии NEE встречались чаще отрицательных во время продолжительного отсутствия осадков на некоторых станциях, расположенных в зоне многолетней мерзлоты (RU-Che, US-ICs, CA-WP1). В данных регионах на увеличение экосистемного дыхания может оказывать влияние усиление гетеротрофного дыхания за счет вклада оттаявших, богатых органическим веществом многолетнемерзлых почв.

Важно отметить, что аномалии потоков зачастую не совпадали с экстремумами температуры или осадков, что указывает на сильное влияние различных абиотических и биотических факторов на функционирование болотных экосистем, которые проявляются по-разному в отдельных растительных сообществах. Некоторые связи, выявленные на различных станциях умеренных и полярных широт, могли формироваться вследствие комбинированного влияния сразу нескольких внешних факторов. Во многих случаях такое комбинированное воздействие температуры и осадков может приводить к положительным аномалиям NEE и LE (красные и зеленые столбцы). Воздействие солнечной радиации также оказывало влияние, приводя к отрицательным аномалиям NEE и положительным аномалиям LE в периоды снеготаяния (включая периоды без осадков).

ВЫВОДЫ

Анализ откликов среднесуточных значений NEE и LE на экстремальные явления погоды, связанные с аномально высокими/низкими температурами и осадками, выявил их большое разнообразие, связанное в первую очередь с географическим положением, региональными климатическими условиями, ландшафтными особенностями, устойчивостью различных растительных сообществ к атмосферному воздействию, а также иными биотическими и абиотическими факторами.

В умеренных и полярных широтах аномальные температуры и осадки оказывают сопоставимое воздействие на NEE и LE. Также положительные аномалии NEE встречались чаще отрицательных. Экстремальные погодные условия в основном были связаны с эмиссией CO_2, а не с поглощением из-за подавленных процессов ассимиляции, связанных с аномально жаркими и сухими периодами, с сильным снижением GPP при более низких температурах, а также с высокими скоростями разложения органического вещества почвы и автотрофного и гетеротрофного дыхания во влажные периоды.

Разнообразие в отклике экосистем внутри одного биома на аномальные температуры и осадки указывает на сложную систему взаимодействия между погодными экстремумами и NEE и испарением. Очевидно, что изучение таких взаимодействий должно быть расширено за счёт включения большего количества станций мониторинга потоков за более длительные периоды времени.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 22-17-00073.

ПРИЛОЖЕНИЕ
APPENDIX

Таблица П1. Станции сети FLUXNET, выбранные для анализа отклика NEE и LE на аномалии температуры и осадков в болотных экосистемах.
Table A1. The FLUXNET wetland stations selected for analysis of flux response to extreme weather conditions.

Тип биома (классификация IGBP)	Станция (код FLUXNET)	Тип климата (по Кёппену)	Широта и долгота	Высота над уровнем моря, м	Период измерений
WET Водно-болотные угодья: земли с постоянно стоящей водой, травянистой или древесной растительностью, покрывающие значительные площади	RU-Che	Dfc	68.61 с. ш., 161.34 в. д.	6	2002-2005
	US-BZF	Dfd	64.70 с. ш., -148.31 з. д.	95	2011-2021
	US-ICs	ET	68.60 с. ш., -149.31 з. д.	920	2007-2021
	SE-St1	Dfc	68.35 с. ш., 19.05 в. д.	351	2012-2014
	SJ-Adv	ET	78.18 с. ш., 15.92 в. д.	17	2011-2014
	GL-NuF	ET	64.13 с. ш., -51.38 з. д.	50	2008-2014
	CA-SCB	Dfc	61.30 с. ш., -121.29 з. д.	280	2014-2019
	CZ-wet	Dfb	49.02 с. ш., 14.77 в. д.	426	2006-2014
	DE-Akm	Cfb	53.86 с. ш., 13.68 в. д.	-1	2009-2014
	DE-Spw	Cfb	51.89 с. ш., 14.03 в. д.	61	2010-2014
	CA-DBB	Csb	49.12 с. ш., -122.98 з. д.	4	2014-2020
	CA-ARB	Dfb	52.69 с. ш., -83.94 з. д.	90	2011-2015
	CA-ARF	Dfb	52.70 с. ш., -83.95 з. д.	88	2011-2015
	CA-WP1	Dfc	54.95 с. ш., -112.46 з. д.	540	2003-2009
	US-ALQ	Dfb	46.03 с. ш., -89.60 з. д.	12	2015-2022

ЛИТЕРАТУРА

Anjileli H., Huning L.S., Moftakhari H., Ashraf S., Asanjan A.A., Norouzi H., AghaKouchak A. 2021. Extreme heat events heighten soil respiration. *Scientific Reports.,* 11(1): 6632. https://doi.org/10.1038/s41598-021-85764-8.

Aubinet M., Vesala T., Papale D. *Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2012; p. 438. ISBN 9789400723504.

Belward A.S., Estes J., Kline K. et al. 1999. The IGBP-DIS global 1-km land-cover data set DIS-Cover: A project overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(9): 1013-1020.

Birch H.F. 1964. Mineralisation of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions. *Plant Soil*, 20, 43-49.

Charrier G. Martin-StPaul N., Damesin C., Delpierre N., Hänninen H., Torres-Ruiz J.M., Davi H. 2021. Interaction of drought and frost in tree ecophysiology: rethinking the timing of risks. *Annals of Forest Science*. 78(2): 1-15. https://doi.org/10.1007/s13595-021-01052-5.

Ciais P., Reichstein M., Viovy N. et al. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*. 437(7058): 529-533. DOI: 10.1038/nature03972.

Dinsmore K.J., Billett M.F., Dyson K.E. 2013. Temperature and precipitation drive temporal variability in aquatic carbon and GHG concentrations and fluxes in a peatland catchment. *Global change biology*, 19(7): 2133-2148. DOI: 10.1111/gcb.12209.

FAO. Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report; FAO: Rome, Italy, 2020; P. 11-23. DOI: 10.4060/ca9825en.

Frank D., Reichstein M., Bahn M., Thonicke K., Frank D., Mahecha M.D., Smith P., van der Velde M., Vicca S., Babst F. et al. 2015. Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: Concepts, processes and potential future impacts. *Glob. Chang. Biol*., 21: 2861-2880. DOI: 10.1111/gcb.12916.

Fratini G., Mauder M. 2014. Towards a consistent eddy-covariance processing: an intercomparison of EddyPro and TK3. *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(7): 2273-2281. DOI: 10.5194/amt-7-2273-2014.

Gill A.L., Giasson M.A., Yu, R., & Finzi A.C. 2017. Deep peat warming increases surface methane and carbon dioxide emissions in a black spruce-dominated ombrotrophic bog. *Global change biology*, 23(12): 5398-5411. DOI: 10.1111/gcb.13806.

Gushchina D., Tarasova M., Satosina E. et al. 2023. The Response of Daily Carbon Dioxide and Water Vapor Fluxes to Temperature and Precipitation Extremes in Temperate and Boreal Forests, *Climate*, 11(10): 206. DOI: 10.3390/cli11100206.

Kramer R.D., Ishii H.R., Carter K.R., Miyazaki Y., Cavaleri M.A., Araki M.G., Azuma W.A., Inoue Y., Hara C. 2020. Predicting effects of climate change on productivity and persistence of forest trees. *Ecol. Res.*, 35: 562-574. DOI: 10.1111/1440-1703.12127.

Li X., Wei Y., Li F. 2021. Optimality of antecedent precipitation index and its application. *Journal of Hydrology*, 595: 126027. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126027.

Mamkin V., Avilov V., Ivanov D., Varlagin A., & Kurbatova J. 2023. Interannual variability in the ecosystem CO2 fluxes at a paludified spruce forest and ombrotrophic bog in the southern taiga. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(3), 2273-2291. DOI: 10.5194/acp-23-2273-2023.

Manzoni S., Chakrawal A., Fischer T., Schimel J.P., Porporato A., Vico G. 2020. Rainfall intensification increases the contribution of rewetting pulses to soil heterotrophic respiration. *Biogeosciences*. 17(15): 4007-4023. DOI: 10.5194/bg-17-4007-2020.

Oechel W., Hastings S., Vourlrtis G. et al. 1993. Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. *Nature* 361: 520-523. DOI: 10.1038/361520a0.

Park S.B., Knohl A., Migliavacca M., Thum T., Vesala T., Peltola O., Mammarella I., Prokushkin A., Kolle O., Lavrič J., Park S.S. and Heimann M. 2021. Temperature Control of Spring CO2 Fluxes at a Coniferous Forest and a Peat Bog in Central Siberia, *Atmosphere*, 12: 984, DOI: 10.3390/atmos12080984.

Post E., Forchhammer M.C., Bret-Harte M.S. et al. 2009. Ecological dynamics across the Arctic associated with recent climate change. *Science*, 325(5946): 1355-1358. DOI: 10.1126/science.1173113.

Reichstein M., Falge E., Baldocchi D., Papale D., Aubinet M., Berbigier P., Bernhofer C., Buchmann N., Gilmanov T., Granier A. et al. 2005 On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: Review and improved algorithm. *Glob. Chang. Biol.,* 11: 1424-1439. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.001002.x.

Ritter F., Berkelhammer M., Garcia-Eidell C. 2020. Distinct response of gross primary productivity in five terrestrial biomes to precipitation variability. *Commun. Earth Environ.* 1(1): 34 DOI: 10.1038/s43247-020-00034-1.

Scharlemann J.P., Tanner E.V., Hiederer R., Kapos V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Managemen*t, 5(1): 81-91. DOI: 10.4155/cmt.13.77.

Sirin A., Laine J. 2008. *Peatlands and greenhouse gases, in: Assessment on peatlands, biodiversity and climate change, main report* / Parish F., Sirin A., Charman D. et al. (eds.). Wageningen, Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, pp. 118-138.

Smith M.D. 2011. An ecological perspective on extreme climatic events: A synthetic definition and framework to guide future research. *J. Ecol.* 99: 656-663. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2011.01798.x

The Changing State of the Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Masson-Delmotte V., Zhai P. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2021; pp. 287-422; ISBN 9781009157896.

The Data Portal serving the FLUXNET community. [Электронный ресурс]: https://fluxnet.org/data/, свободный. – Загл. с экрана.

Ummenhofer C.C., Meeh I.G.A. 2017. Extreme weather and climate events with ecological relevance: A review. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci*., 372: 20160135. DOI: 10.1098/rstb.2016.0135.

Wutzler T., Lucas-Moffat A., Migliavacca M., Knauer J., Sickel K., Šigut L., Menzer O., Reichstein M. 2018. Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc. *Biogeosciences*, 15: 5015-5030. DOI: 10.5194/bg-15-5015-2018.

Xu J., Morris P.J., Liu J., & Holden J. 2018. PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena*, 160: 134-140. DOI: 10.1016/j.catena.2017.09.010.

Zhang Z. Ju, W., Zhou Y., & Li X. 2022 Revisiting the cumulative effects of drought on global gross primary productivity based on new long-term series data (1982-2018). *Global Change Biology*, 28(11): 3620-3635. DOI: 10.1111/gcb.16178.

Zheleznova I.V., Gushchina D.Y. 2023. Variability of extreme air temperatures and precipitation in different natural zones in late XX and early XXI centuries according to ERA5 reanalysis data. *Izv. Atmos. Ocean. Phys*., 2023, 59: 479-488. DOI: 10.31857/S0002351523050139 (in Russian) [Железнова И.В., Гущина Д.Ю. Изменчивость экстремальных температур воздуха и осадков в конце XX и начале XXI века в различных природных зонах по данным реанализа ERA5 // Известия РАН. Физика Атмосферы и Океана. 2023. Т. 59. С. 479-488. DOI: 10.31857/S0002351523050139].

Поступила в редакцию: 14.08.2024
Переработанный вариант: 01.11.2024

THE IMPACT OF WILDFIRES ON THE DYNAMICS OF VEGETATION COVER IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF WESTERN SIBERIA DURING THE HOLOCENE

***Pupysheva M.A.*[1*]*, Blyakharchuk T.A.*[1,2]

1) Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск
2) Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

[*]455207@mail.ru

Citation: Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. 2024. The impact of wildfires on the dynamics of vegetation cover in the middle taiga subzone of Western Siberia during the Holocene. *Environmental Dynamics and Global Climate Change,* 15(3): 200–210.

DOI: 10.18822/edgcc634013

В работе представлены новые результаты изучения влияния палеопожаров на динамику растительного покрова в средней тайге Западной Сибири (Ханты-Мансийский автономный округ), полученные при исследовании донных отложений озера «S14». На смену растительного покрова оказывает воздействие не только климат, но и пожарная активность, являющаяся определенным триггером эволюции растительного покрова ландшафтов. Об этом свидетельствуют полученные палеоэкологические данные, основанные на анализе выявленных частиц угольков и пыльцы в озерных отложениях. Согласно радиоуглеродному датированию, осадконакопление в озере «S14» началось 11920 кал. л. н. (календарных лет назад). На основе проведенного макроуголькового анализа и статистической обработки полученных данных в программе CharAnalysis в R реконструирована голоценовая история пожаров в исследуемом районе. Выявлено 16 локальных пожарных эпизодов, их время, периодичность и интенсивность. Полученная реконструкция истории пожаров сопоставлена с динамикой растительного покрова в районе озера «S14» (на основе данных пыльцевого анализа из отложений этого озера) и с климатическими периодами голоцена. Это позволило выделить три периода с максимальной пирогенной активностью – 11500-10400, 7500-6800 и 400-250 кал. л. н., а также рассмотреть условия, способствующие интенсификации пожаров голоцена. Для определения степени воздействия пожаров на смену растительного покрова и связей между ними проведен корреляционный анализ методом Пирсона в программе PAST. Анализ осуществлен на основе сравнения микро- и макрочастиц угля с содержанием пыльцы преобладающих растительных таксонов в донных отложениях озера «S14». Согласно результатам корреляционного анализа, пожары оказывали воздействие на динамику растительности в течение всего голоцена. Выявлена положительная корреляция частиц микро- и макроугольков друг с другом, что подтверждает наличие пожаров на локальном и региональном уровнях и их взаимосвязь. Определено, что микро- и макроугольки синхронно имеют отрицательную корреляционную связь с березой, кедром, сосной обыкновенной и пихтой сибирской и положительную – со злаками и елью сибирской. Положительная корреляция со злаками и отрицательная с древесной пыльцой отражает влияние пожаров на растительный покров, а именно на угнетение древесных видов и разрастание трав (злаков) в первые этапы постпирогенных сукцессий. Положительная корреляция с елью, скорее всего, связана с большей горимостью ландшафтов в начале голоцена, когда в ландшафте доминировали лиственнично-еловые леса, а климат был сухим. Это подтверждает прямое влияние пожаров на формирование растительных ландшафтов в исследуемом регионе.

Ключевые слова: динамика пожаров, угольковый анализ, корреляционный анализ, озерные отложения, Западная Сибирь, голоцен.

In the article we present new results on the influence of paleo-fires on the dynamics of vegetation cover and the connections between them using the example of bottom sediments of Lake “S14” in the middle taiga subzone of Western Siberia (Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug). The change in vegetation cover is influenced by both climate and fire activity, which acted as a trigger for the evolution of vegetation cover. This is evidenced by the obtained paleoecological data based on the analysis of identified particles of charcoal and pollen in lake sediments. According to the radiocarbon dating, sedimentation of lake "S14" began at 11920 cal. yr. BP. Based on the macro-charcoal analysis and statistical processing of the obtained data in the CharAnalysis program in R, the Holocene history of paleo-fires in the study area was reconstructed. 16 local fire episodes, their time, frequency and intensity were identified (11400, 11100, 10700, 10400, 9800, 9400, 7400, 6100, 5150, 4500, 3800, 2800, 1400, 1100, 400, 250 cal. yr BP).

Using spore-pollen analysis, the dominant landscapes were reconstructed for the entire period of the existence of lake “S14”: 12000-11500 cal. yr BP – larch-spruce forests with an admixture of birch; 11500-9850 cal. yr BP – larch-spruce-birch forests; 9850-4700 cal. yr BP – spruce-pine-birch forests; 4700-3500 cal. yr BP – birch-pine forests; 3500-2250 cal. yr BP – birch-cedar-pine forests; 2250-1000 cal. yr BP – cedar-pine forests with an admixture of birch; 1000 cal. yr BP to present – cedar-birch-pine forests. The resulting reconstruction of the dynamics of vegetation cover is

compared with the history of paleo-fires of the study lake and with the climatic periods of the Holocene. This made it possible to identify three periods with maximum pyrogenic activity (11500-10400, 7500-6800 and 400-250 cal. yr BP), as well as to consider the conditions contributing to the intensification of Holocene wildfires. To determine the degree of impact of fires on the change in vegetation cover and the connections between them, a correlation analysis was carried out using the Pearson method in the PAST program. The analysis was made based on a comparison of micro- and macro-particles of charcoals with the pollen content of the predominant plant taxa for lake "S14".

The most powerful paleo-fires were noted at the end of the Preboreal – beginning of the Boreal periods of the Holocene (11500-10400 cal. yr BP) with 4 local fire episodes and a high rate of accumulation of charcoal particles (1.1 per cm^2/year). At the same time, larch-spruce forests with an admixture of birch grew near the lake area. The next maximum of pyrogenic activity was recorded in the mid-Atlantic period of the Holocene (7500-6800 cal. yr BP) with one local fire. The rate of charcoal accumulation decreased slightly compared to the previous period – 0.9 particles per cm^2/year. At this time, the territory of the middle taiga subzone was covered with spruce-pine-birch forests. The third peak of local fires occurred at the end of the Subatlantic Holocene period (400-250 cal. yr BP) with a macro-charcoal accumulation rate of 0.6 particles per cm^2/year. The vegetation cover included Siberian cedar, birch and pine forests at this time. It was found that the most intense fires occurred during dry climatic periods. The longest fire-free periods (9400-7400, 2800-1400 cal. yr BP) were observed precisely during the period of increasing precipitation.

According to the results of correlation analysis, wildfires had an impact on vegetation dynamics throughout the Holocene. A positive correlation of micro- and macro-charcoal particles with each other was revealed, which confirms the presence of fires at the local and regional levels and connection of local fires with regional fire situation. It has been determined that micro- and macro-charcoals simultaneously have a negative correlation with birch (*Betula pendula*), Siberian cedar (*Pinus sibirica*), Scot's pine (*Pinus sylvestris*) and fir (*Abies sibirica*), and a positive correlation with grasses (*Poaceae*) and spruce (*Picea obovata*). A positive correlation with grasses and a negative correlation with tree pollen reflects the effect of fires on vegetation cover, probably, the suppression of tree species and the growth of grasses in the first stages of post-pyrogenic succession. The positive correlation with spruce is most likely due to the greater burning of landscapes at the beginning of the Holocene, when larch-spruce forests dominated the landscape and the climate was drier. This confirms the direct influence of fires on the formation of vegetation landscapes in the study region.

Key words: dynamics of wildfires, charcoal analysis, correlation analysis, lake sediments, Western Siberia, Holocene.

ВВЕДЕНИЕ

С конца XX века и по настоящее время во всем мире наблюдается тенденция к увеличению пожарной активности, включая северные регионы Западной Сибири [Ponomarev et al., 2016]. Несмотря на то, что часть природных пожаров происходит по вине человека, для бореальной зоны Западно-Сибирской равнины климатические изменения и возросшие экстремальные погодные явления – основные причины возникновения лесных пожаров [Kharyutkina et al., 2024]. Продолжающееся изменение климата может спровоцировать новые очаги пожаров и сопутствующую им перестройку природных экосистем. Несмотря на причинённый ущерб от воздействия огня, пожары являются естественным эволюционно-экологическим процессом, необходимым для формирования и развития природных экосистем [Furyaev, 1996]. Чтобы понять закономерности влияния пожаров на лесоболотные комплексы Западной Сибири и составить долгосрочные прогнозы пространственно-временной динамики пожаров, необходимы данные за более длительный период времени, охватывающий весь голоцен. В этом могут помочь озерно-болотные отложения, представляющие собой надежный «архив» палеоэкологической информации [Marlon, 2020]. Обнаруженные частицы макро- (размером >125 мкр) и микроугольков (размером <125 мкр) в слоях отложений являются прямыми индикаторами пожаров на локальном и региональном уровнях соответственно [Mooney, Tinner, 2011]. С помощью современных средств обработки и анализа полученного уголькового материала [Hammer et al., 2001; Higuera, 2009] восстанавливается периодичность, интенсивность и время возникновения палеопожаров за весь период существования озера или болота.

В ранее опубликованных работах [Blyakharchuk et al., 2021; Pupysheva, Blyakharchuk, 2024] авторами приводились данные по возрасту отложений озера «S14» и динамике пожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири. В данном исследовании показаны новые результаты реконструкции истории пожаров с помощью программного пакета «CharAnalysis» [Higuera, 2009] в сопоставлении с динамикой растительного покрова, а также рассматривается влияние пожаров на смену растительных ландшафтов и взаимосвязи между ними.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта изучения выбрано болотное озеро «S14» (Рис. 1), расположенное в пределах среднетаежной подзоны Обско-Иртышской провинции Западно-Сибирской равнины [Isachenko, 2014]. Озеро находится в 23 км к юго-западу от г. Ханты-Мансийска (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) [Blyakharchuk et al., 2021; Pupysheva, Blyakharchuk, 2024]. Это внутриболотное озеро обширного верхового болота с сосново-кустарничково-сфагновым растительным покровом, расположенное к югу от научной станции Мухрино. Болото окружают смешанные елово-пихтово-берёзовые и осиновые леса на минеральной почве. Восточнее расположена обширная пойма р. Оби с лугами, старичными озёрами и ивняковыми зарослями.

Для средней тайги Западной Сибири уже проводился ряд исследований по реконструкции палеопожаров на основе озерно-торфяных [Turunen et al., 2001; Pitkänen et al., 2002; Lamentowicz et al., 2015; Amon et al., 2020] и почвенных отложений [Loiko et al., 2022] (Рис. 1). Однако практически во всех опубликованных работах не проводилась реконструкция локальных палеопожаров, а также не рассматривались корреляционные связи между динамикой пожаров и растительным покровом.

Во время экспедиции в марте 2020 г. из озера «S14» был отобран керн донных отложений мощностью 231 см. Из керна было отобрано и подготовлено 113 образцов для проведения макроуголькового анализа. В радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша) получено 5 радиоуглеродных УМС дат [Blyakharchuk et al., 2021; Pupysheva, Blyakharchuk, 2024]. На основе радиоуглеродных дат, откалиброванных в программе Bacon [Blaauw, Christen, 2011], в R 4.0.4 [R Core Team, 2020] в системе счисления «от настоящего времени» (за нулевую точку отсчета принят 1950 г.) построена глубинно-возрастная модель донных отложений озера «S14» и рассчитан календарный возраст каждого образца [Blyakharchuk et al., 2021; Pupysheva, Blyakharchuk, 2024].

Для реконструкции локальной динамики пожаров использовался метод макроуголькового анализа по стандартной методике подготовки и физико-химической обработке образцов [Mooney, Tinner, 2011]. Макрочастицы угля достаточно крупные и тяжелые (размером >125 мкм) и разносятся на незначительные расстояния от источника возгорания (от нескольких метров до 1-2 км) и обычно осаждаются на поверхность в пределах местного водораздела. Выявленные крупные частицы макроугольков, сохранившиеся в отложениях после пожара, свидетельствуют о локальной пирогенной активности [Mooney, Tinner, 2011].

Статистические данные по абсолютному количеству частиц макроугольков в каждом из слоев отложений обработаны в программе CharAnalysis [Higuera, 2009] в R [R Core Team, 2020]. С помощью программы CharAnalysis рассчитана скорость аккумуляции макрочастиц угля, определены фоновые и пороговые значения для отделения локальных (в радиусе до 1-3 км от очага возгорания) пожаров от региональных (на расстоянии до 20 км) и выявлены конкретные локальные пожарные эпизоды. В качестве хронологической основы использовались данные глубинно-возрастной модели отложений озера «S14». При расчетах фоновых и пороговых значений скоростей аккумуляции макрочастиц угля применялась статистическая функция локально-линейной регрессии (LOWESS) с периодом сглаживания 1500 лет. Временное окно для определения локальных пожарных эпизодов путем выделения значений, превышающих фоновые показатели, составило 11 000 лет. Для статистической достоверности временного окна использован безразмерный индекс отношения сигнала к шуму (SNI) [Kelly et al., 2011]. В данном случае он составил от 2.5 до 4.5, что удовлетворяет статистическим требованиям анализа [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024].

Рис. 1. Расположение участков исследования палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири. 1 – озеро S14 [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024], 2 – болото Мухрино [Lamentowicz et al., 2015], 3 – озеро Светленькое [Amon et al., 2020], 4 – Салым-Юганское болото [Turunen et al., 2001; Pitkänen et al., 2002], 5 – подзол в бассейне р. Большой Юган [Loiko et al., 2022].
Fig. 1. Location of paleofire study sites in the middle taiga subzone of Western Siberia. 1 – lake "S14" [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024], 2 – Mukhrino swamp [Lamentowicz et al., 2015], 3 – Svetlenkoe lake [Amon et al., 2020], 4 – Salym-Yuganskoe swamp [Turunen et al., 2001; Pitkänen et al., 2002], 5 – podzol in the Bolshoy Yugan river basin [Loiko et al., 2022].

Для реконструкции региональной динамики пожаров использовался метод микроугольковогo анализа озерных отложений [Mooney, Tinner, 2011]. Микрочастицы угля (размером <125 мкм) достаточно легкие, поэтому они поднимаются и переносятся ветром на значительные расстояния (от 20 до 100 км и более) от очага пожара. Их наличие в исследуемых слоях озерных отложений отражает региональную историю палеопожаров. Вместе с частицами угольков в воздух поднимаются пыльца и споры растений, сопоставимые по размеру и весу с микроскопическими частицами угольков. Микроугольки подчиняются тем же пространственным закономерностям переноса, рассеивания и захоронения, что пыльца и споры. Поэтому микроугольковый и спорово-пыльцевой анализы проводились одновременно по одному и тому же микропрепарату при тех же методах обработки образцов и параметрах оптики.

Для подтверждения связей между пожарной активностью и растительным покровом проведен корреляционный анализ методом Пирсона в программе PAST [Hammer et al., 2001] на основе

сравнения микро- и макрочастиц угля с содержанием пыльцы преобладающих растительных таксонов для донных отложений озера «S14».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Реконструкция голоценовой динамики пожаров

Согласно данным радиоуглеродного датирования (Табл. 1, Рис. 2), осадконакопление в озере «S14» началось 11920 кал. л. н. [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024]. За это время произошло 16 локальных пожарных эпизодов (Рис. 3), выявленных программой CharAnalysis [Higuera, 2009] в пространстве R [R Core Team, 2020] – 11400, 11100, 10700, 10400, 9800, 9400, 7400, 6100, 5150, 4500, 3800, 2800, 1400, 1100, 400, 250 кал. л. н.).

Таблица 1. Радиоуглеродные даты донных отложений озера «S14» [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024].
Table 1. Radiocarbon dates of bottom sediments of lake "S14" [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024].

Лабораторный номер образца	Глубина отбора образца, см	Возраст, ^{14}C лет назад
Poz-134628	50-51	5320±40
Poz-134626	100-101	8190±50
Poz-135825	145-146	8910±50
Poz-135824	190-191	9580±50
Poz-135823	222-223	9690±50

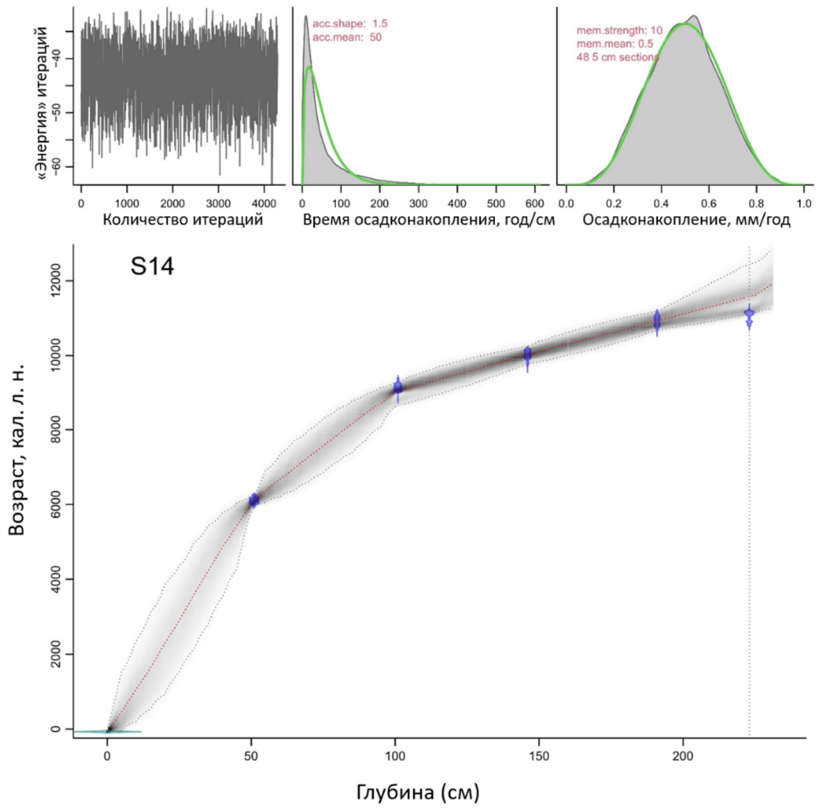

Рис. 2. Глубинно-возрастная модель донных отложений озера «S14» [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024].
Fig. 2. Depth-age model of bottom sediments of lake "S14" [Pupysheva, Blyakharchuk, 2024].

Для выявления доминирующих растительных ландшафтов и региональной истории пожаров полученные палеопожарные данные были сопоставлены с результатами спорово-пыльцевого и микроуголькового анализов донных отложений озера «S14». Результаты палеоэкологических реконструкций также сравнивались с климатическими периодами голоцена. В совокупности это позволило выделить 3 периода максимальной пирогенной активности в районе исследуемого озера: 11500-10400, 7500-6800 и 400-250 кал. л. н. (Рис. 3).

Самые интенсивные локальные пожары для данной территории произошли на границе пребореального и бореального периодов голоцена (11500-10400 кал. л. н.): в это время отмечена высокая скорость аккумуляции частиц угольков для данной территории (1.1 частицы на см^2/год) (Рис. 3). В течение первого периода максимальной пирогенной активности зафиксировано 4 локальных пожарных эпизода (11400, 11100, 10700, 10400 кал. л. н.). Данный период, вероятно, мог быть связан с общим потеплением климата [Arkhipov, Volkova, 1994], что привело к усилению грозовой активности, способствующей возникновению новых очагов пожаров. В это же время доминирующую роль в растительном покрове занимали разреженные лиственнично-еловые леса с примесью березы, а содержание пыльцы злаков (*Poaceae*) в отложениях достигало максимальных значений. Вероятно, злаковые сообщества являлись первой стадией постпирогенных сукцессий в среднетаежной подзоне. О высокой пирогенной активности исследуемого региона в раннем голоцене также свидетельствуют работа [Turunen et al., 2001] и полученные авторами результаты микроуголькового анализа озера «S14».

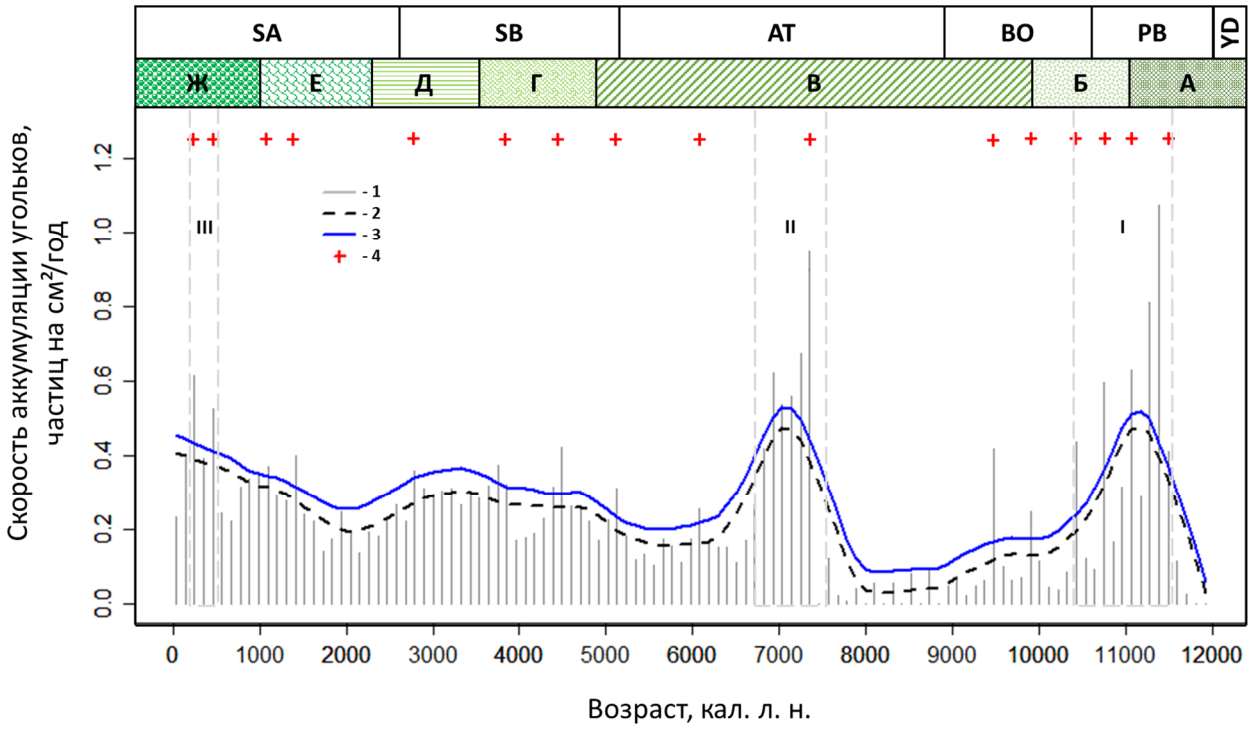

Рис. 3. Сопоставление данных реконструкции долговременной динамики пожаров озера «S14» с динамикой растительного покрова и периодами голоцена.
Примечание: 1– интерполированные значения; 2 – фоновые значения; 3 – пороговые значения; 4 – локальные пожарные эпизоды. Периоды максимальной пирогенной активности (вертикальные пунктирные линии): I – 11500-10400 кал. л. н., II – 7500-6800 кал. л. н., III – 400-250 кал. л. н. Периоды голоцена: YD – дриас; PB – пребореальный; BO – бореальный; AT – атлантический; SB – суббореальный; SA – субатлантический. Доминирующий тип растительности: А – лиственнично-еловые с примесью березы редколесья; Б – лиственнично-елово-березовые леса; В – елово-сосново-березовые леса; Г – березово-сосновые леса; Д – березово-кедрово-сосновые леса; Е – кедрово-сосновые леса с примесью березы; Ж – кедрово-березово-сосновые леса.
Fig. 3. Comparison of the reconstruction data of the long-term fire dynamics of lake “S14” with the dynamics of the vegetation cover and the periods of the Holocene.
Note: 1 – interpolated values; 2 – background values; 3 – threshold values; 4 – local fire episodes. Periods of maximum pyrogenic activity (vertical dotted lines): I – 11 500-10 400 calendar years ago, II – 7 500-6 800 calendar years ago, III – 400-250 calendar years ago. Holocene periods: YD – Dryas; PB – Preboreal; BO – Boreal; AT – Atlantic; SB – Subboreal; SA – Subatlantic. Dominant vegetation type: A – larch-spruce with an admixture of birch sparse forests; Б – larch-spruce-birch forests; B – spruce-pine-birch forests; Г – birch-pine forests; Д – birch-cedar-pine forests; E – cedar-pine forests with an admixture of birch; Ж – cedar-birch-pine forests.

Второй период максимальной пирогенной активности произошел в середине атлантического периода голоцена (7500-6800 кал. л. н.) при максимальной скорости аккумуляции угольков – 0.9 частицы на $см^2$/год (Рис. 3). При том, что лишь один пожарный эпизод (7400 кал. л. н.), произошедший в этот период, отмечен программой CharAnalysis [Higuera, 2009] как наиболее достоверный. Остальные пики, вероятно, могли быть следствием как вторичного отложения угольков, так и серией небольших низовых пожаров в районе озера «S14». Возможно, кратковременное иссушение климата в данный период [Arkhipov, Volkova, 1994] повлияло на усиление интенсивности пожаров. В это время территорию среднетаежной подзоны покрывали елово-сосново-березовые леса. О пирогенных событиях в данный период также указывают работы [Pitkanen et al., 2002; Turunen et al., 2001].

Третий период максимальных локальных пожаров пришелся на конец субатлантического периода голоцена (400-250 кал. л. н.). Уменьшилась их интенсивность по сравнению с предыдущими пожарами, о чем свидетельствует скорость аккумуляции угольков (0.6 частицы на $см^2$/год) (Рис. 3). Тем не менее зафиксировано 2 локальных палеопожарных эпизода (400 и 250 кал. л. н.). Серия пожаров произошла во время похолодания и иссушения климата Малого ледникового периода. В растительном покрове лидирующую роль заняла сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) при значительной доле сибирского кедра (*Pinus sibirica*) и березы (*Betula pendula*).

С конца бореала и до середины атлантического периода голоцена (9400-7400 кал. л. н.) наблюдался самый длительный беспожарный режим (~2000 кал. л.), о чем свидетельствует минимальная скорость аккумуляции частиц макроугольков (до 0.1 частицы на $см^2$/год). Вероятно, данный режим мог быть связан с общим увлажнением и потеплением климата, а также с интенсификацией процесса заболачивания на территории Западно-Сибирской равнины, что, по всей видимости, сдерживало распространение пожаров. При этом часть исследователей обнаружили прослойки углей в отложениях в период 9000-8000 кал. л. н. [Pitkanen et al., 2002; Turunen et al., 2001] и 8110 кал. л. н. [Turunen et al., 2001]. В это время в районе озера «S14» преобладали елово-сосново-березовые леса. С конца суббореального и до середины субатлантического периода голоцена (2800-1400 кал. л. н.) зафиксирован второй по длительности беспожарный период (~1400 кал. л.), о чем свидетельствует низкая скорость аккумуляции угольков (до 0.25 частицы на $см^2$/год). Именно в это время наблюдалось увеличение годового количества осадков [Arkhipov, Volkova, 1994], что, возможно, способствовало снижению пирогенной активности. Данный период совпал с переходом от березово-кедрово-сосновых лесов к кедрово-сосновым лесам с примесью березы. Также в одной из работ по изучению динамики палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири [Loiko et al., 2022] приводились сведения о небольших пожарных эпизодах в данный период времени – 2600-2400, 1500 кал. л. н. Такое расхождение может свидетельствовать о влиянии местных физико-географических и климатических особенностей исследуемых участков, так или иначе способствующих распространению локальных пожаров.

Корреляция пожарной активности с динамикой растительности

Для выявления статистических взаимосвязей между пожарной активностью и составом растительного покрова проведен корреляционный анализ методом Пирсона в программе PAST [Hammer et al., 2001] между количеством микро- и макрочастиц угля и содержанием пыльцы преобладающих растительных таксонов в донных отложениях озера «S14» (Рис. 4, Табл. 2).

Частицы микро- и макроугольков положительно коррелируют друг с другом (c = 0.73), а также с елью сибирской (*Picea obovata*) (c = 0.47 и 0.27 соответственно) и со злаками (*Poaceae*) (c= 0.76 и 0.75 соответственно). При этом синхронная отрицательная корреляция микро- и макроугольков зафиксирована с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (c= -0.67 и -0.54 соответственно), кедром (*Pinus sibirica*) (c= -0.34 и -0.21 соответственно), пихтой сибирской (*Abies sibirica*) (c= -0.43 и -0.26 соответственно) и березой повислой (*Betula pendula*) (c = -0.43 и -0.49 соответственно).

Результаты корреляционного анализа показали, что содержание пыльцы сосны, сибирского кедра, березы и пихты уменьшалось по мере увеличения интенсивности пожаров на региональном и локальном уровнях, поскольку обилие пыльцы этих видов связано значимой отрицательной корреляцией с обилием микро- и макроугольков. Положительная корреляция пиков угольков со злаками (*Poaceae*) в пребореальном периоде голоцена свидетельствует о наличии более сухих условий, способствовавших распространению пожаров, либо является отражением послепожарных сукцессий. Травянистые сообщества на пожарищах развиваются в первые же годы после пожаров, поэтому пыльца злаков коррелирует именно с пожарными событиями. Также частицы микро- и макроугольков достоверно положительно коррелируют с пыльцой ели сибирской (*Picea obovata*). Эта

связь, скорее всего, обусловлена разреженными (или долинными) еловыми лесами, распространёнными в позднеледниковое время с резко континентальным холодным и сухим климатом. Позднее, в начале атлантического периода голоцена, по мере постепенного потепления климата содержание пыльцы ели в образцах немного увеличилось. Однако серия пожаров в период голоценового оптимума резко снизила участие ели в древесном покрове (содержание пыльцы ели в образцах этого периода резко понижается), в котором доминировать стали сначала берёза, а после 5000 кал. л. н. – сибирский кедр и пирогенно-устойчивая сосна обыкновенная.

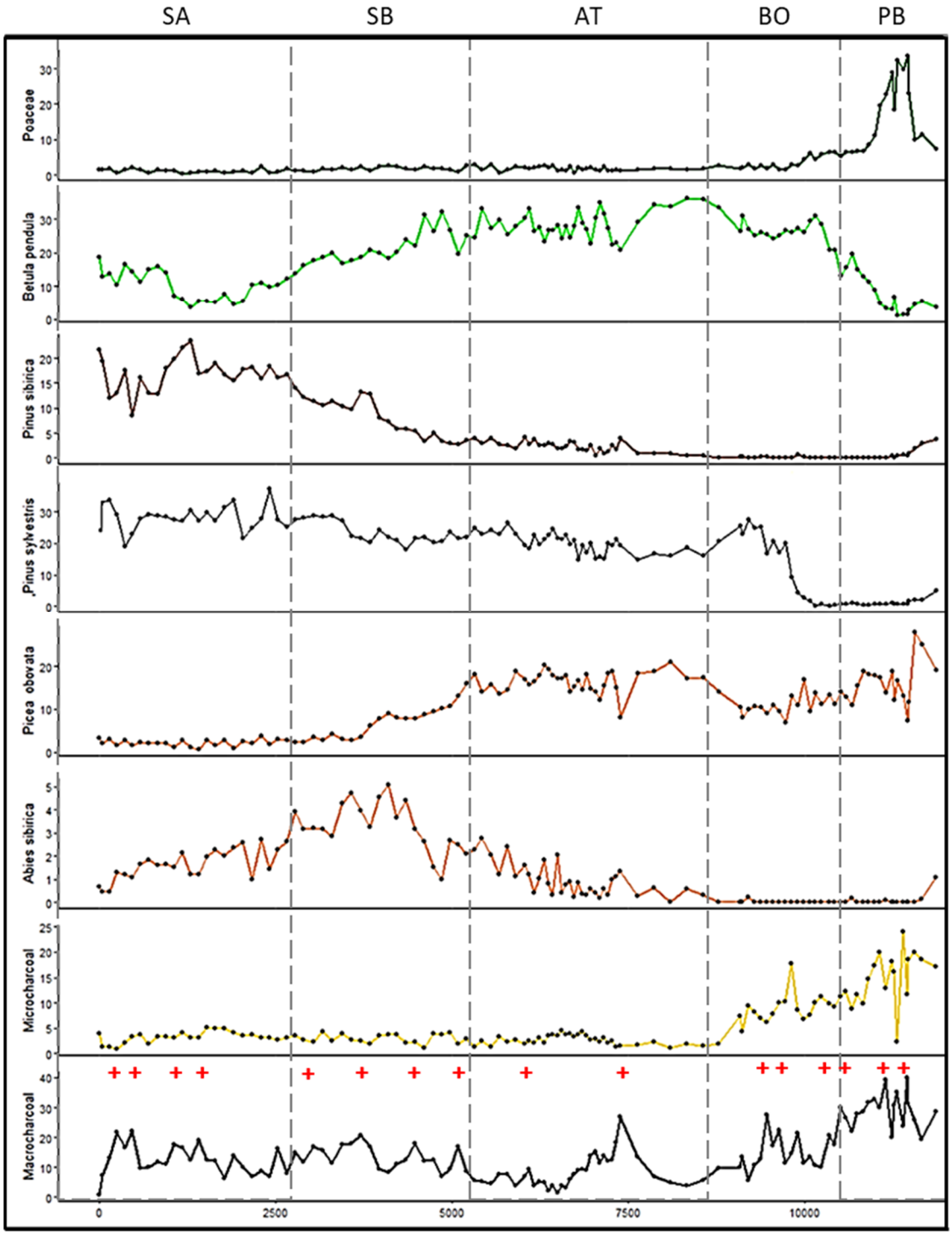

Рис. 4. Концентрация частиц микро- и макроугольков в сравнении с процентным содержанием пыльцы преобладающих таксонов для озера «S14». Красными крестиками отмечены локальные пожары.

Fig. 4. Concentration of micro- and macro-charcoal particles compared to percentage of pollen of dominant taxa for lake “S14”. Red crosses mark local fires.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции микро- и макроугольков с процентным содержанием пыльцы доминирующих видов растительности для озера «S14». Условные обозначения: A – Micro-charcoal (микроугольки); B – Macro-charcoal (макроугольки); C – *Pinus sylvestris*; D – *Pinus sibirica*; E – *Picea obovata*; F – *Abies sibirica*; G – *Betula pendula*; H – *Poaceae.* Красным цветом обозначены значимые отрицательные коэффициенты корреляции, синим цветом – значимые положительные коэффициенты корреляции, черным цветом – незначимые коэффициенты корреляции (при $P<0.05$ и $n = 114$).

Table 2. Correlation coefficients of micro- and macrocharcoal with the percentage of pollen of dominant vegetation species for lake "S14". Legend: A – Micro-charcoal (микроугольки); B – Macro-charcoal (макроугольки); C – *Pinus sylvestris*; D – *Pinus sibirica*; E – *Picea obovata*; F – *Abies sibirica*; G – *Betula pendula*; H – *Poaceae.* Significant negative correlation coefficients are shown in red, significant positive correlation coefficients are shown in blue, and insignificant correlation coefficients are shown in black (at $P<0.05$ and $n = 114$).

	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**
A	1	0.73	-0.67	-0.34	0.47	-0.43	-0.43	0.76
B	0.73	1	-0.54	-0.21	0.27	-0.26	-0.49	0.75
C	-0.67	-0.54	1	0.69	-0.57	0.55	0.15	-0.59
D	-0.34	-0.21	0.69	1	-0.73	0.52	-0.41	-0.30
E	0.47	0.27	-0.57	-0.73	1	-0.48	0.28	0.38
F	-0.43	-0.26	0.55	0.52	-0.48	1	-0.05	-0.33
G	-0.43	-0.49	0.15	-0.41	0.28	-0.05	1	-0.48
H	0.76	0.75	-0.59	-0.30	0.38	-0.33	-0.48	1

Удаленность от основных объектов инфраструктуры и природно-климатические особенности расположения озера «S14» делают его уникальным объектом для изучения естественной эволюции природных экосистем в средней тайге Западной Сибири. Можно предположить, что практически при полном отсутствии антропогенного воздействия на динамику пожаров решающее воздействие оказывал климат и изменение его метеорологических показателей. Пожары, в свою очередь, являлись возможным триггером перестройки растительных ландшафтов в течение всего голоцена. На это указывают проведенный корреляционный анализ и полученные реконструкции по динамике пожаров и растительного покрова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований реконструирована история динамики палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири за 11 920 кал. л. С помощью программного пакета CharAnalysis определено, что за всю историю развития озера «S14» произошло 16 локальных пожарных эпизодов с разной периодичностью и интенсивностью.

Выявлено, что самые интенсивные пожары произошли в раннем голоцене при переходе от лиственнично-еловых редколесий (или долинных лесов) к лиственнично-елово-березовым лесам. Теплые климатические условия и наличие открытых злаковых формаций в начале голоцена, вероятно, способствовали интенсификации пожаров. В середине среднего голоцена при значительном участии березовых лесов в составе растительного покрова также наблюдались сильные пожары. По мере увеличения доли наиболее пирогенно-устойчивой древесной породы – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в лесах средней тайги в целом снизилась пирогенная активность. С начала позднего голоцена началось постепенное увеличение интенсивности пожаров, достигнув максимальных значений в Малый ледниковый период. Серия пожаров в середине субатлантического

периода голоцена, вероятно, привела к смене кедрово-сосновых лесов с примесью березы к кедрово-березово-сосновым лесам. Данные пожары произошли в период Средневековой климатической аномалии. Современный рост интенсивности пожаров, вероятно, связан с потеплением климата и увеличением количества экстремальных погодных явлений на севере Западной Сибири. Также установлено, что самые длительные беспожарные периоды (9400-7400, 2800-1400 кал. л. н.) связаны с увеличением количества осадков в данное время.

Проведенный корреляционный анализ частиц микро- и макроугольков с пыльцой преобладающих таксонов показал связь между интенсивностью пожаров и их влиянием на сукцессионные процессы в растительном покрове. Следует заметить, что частицы микро- и макроугольков положительно коррелируют друг с другом, подтверждая голоценовую реконструкцию истории пожаров в районе озера. Кроме того, микро- и макроугольки синхронно коррелируют с одними и теми же таксонами: отрицательно с березой, кедром, сосной обыкновенной и пихтой сибирской и положительно со злаками и елью сибирской. Отмечено, что с началом распространения сомкнутых лесов в раннем голоцене на исследуемой территории минимальные значения содержания пыльцы древесных видов в отложениях соответствовали максимальным пикам пожаров, увеличиваясь по мере постпирогенного восстановления растительного покрова. Это подтверждает прямое влияние пожаров на формирование лесных ландшафтов в исследуемом регионе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00217.
Авторы благодарны Маартену ван Харденбруку, Павлу Анатольевичу Бляхарчуку и Елене Дмитриевне Лапшиной за помощь в организации и выполнении экспедиционных работ по отбору донных отложений озера S14.

ЛИТЕРАТУРА

Amon L., Blaus A., Alliksaar T., Heinsalu A., Lapshina E., Liiv M., Reitalu T., Vassiljev J., Veski S. 2020. Postglacial flooding and vegetation history on the Ob river terrace, central Western Siberia based on the paleoecological record from lake Svetlenkoye. *The Holocene*, 30(5): 618-631.

Arkhipov S.A., Volkova V.S. 1994. *Geological history, landscapes and climates of Pleistocene Western Siberia.* Novosibirsk: NRC OIGGM SB RAS, 105 pp. (in Russian). [Архипов С.А., Волкова В.С. 1994. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 105 с.].

Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6: 457-474.

Blyakharchuk T.A., Degtyareva M.A., Maarten V.H. 2021. Holocene dynamics of local fires according to macrocharcoal analysis of bottom sediments of a swamp lake in the vicinity of the scientific station Mukhrino, Khanty-Mansiysk district. In: *West Siberian peatlands and the carbon cycle: past and present: Proceedings of the Sixth International Field Symposium*. Tomsk. Publisher: Tomsk University Publishing House: 161-163. (in Russian). [Бляхарчук Т.А., Дегтярева М.А., Маартен В.Х. 2021. Голоценовая динамика лесных пожаров по данным макроугольковго анализа донных отложений болотного озера в окрестностях научной станции «Мухрино», Ханты-Мансийский автономный округ. Западносибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Шестого Международного полевого симпозиума. Томск: Издательство Томского университета: С. 161-163].

Furyaev V.V. 1996. *The role of fires in the process of forest formation*. Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company RAS, 253 pp. (in Russian). [Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 253 с.].

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. Past - palaeontological statistics. URL: http://www.uv.es/~pardomv/pe/2001 (Last accessed 03.04.2024).

Higuera P. 2009. *CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis*. Bozeman: MT, Montana State University, 27 pp.

Isachenko A.G. 2014. Western Siberia as an object of historical-geographical study and description. Article II. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 146(3): 1–29. (in Russian). [Исаченко А.Г. 2014. Западная Сибирь как объект историко-географического изучения и описания. Статья II // Известия Русского географического общества, 146(3): 1-29].

Kelly R.F., Higuera P.E., Barrett C.M., Sheng F.A. 2011. Signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment – charcoal records. *Quaternary Research*, 75(1): 11-17.

Kharyutkina E., Moraru E., Pustovalov K., Loginov S. 2024. Lightning-Ignited Wildfires and Associated Meteorological Conditions in Western Siberia for 2016–2021. *Atmosphere*, 15(1): 106.

Loiko V.S., Kuzmina D.M., Dudko A.A., Konstantinov A.O., Vasilyeva Yu. A., Kurasova A.O., Lim A.G., Kulizhsky S.P. 2022. Charcoals of albic podzols of the middle taiga of Western Siberia as indicator of ecosystem history. *Eurasian Soil Science*, 2: 176–192. (in Russian). [Лойко В.С., Кузьмина Д.М., Дудко А.А., Константинов А.О., Васильева Ю.А., Курасова А.О., Лим

А.Г., Кулижский С.П. 2022. Древесные угли в подзолах средней тайги Западной Сибири как индикатор истории геосистем. Почвоведение. № 2. С. 176-192].

Marlon J.R. 2020. What the past can say about the present and future of fire. *Quaternary Research*, (96): 66-87.

Mooney S.D., Tinner W. 2011. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat*, 7(9): 1-18.

Pitkänen A., Turunen J., Tahvanainen T., Tolonen K. 2002. Holocene vegetation history from the Salym-Yugan mire area, West Siberia. *The Holocene*, 12(3): 353-362.

Lamentowicz M., Słowiński M., Marcisz K., Zielińska M., Kaliszan K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Fiałkiewicz-Kozieł B., Jassey V.E.J. 2015. Hydrological dynamics and fire history of the last 1300 years in western Siberia reconstructed from a high-resolution, ombrotrophic peat archive. *Quaternary Research*, 84(3): 312-325.

Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Ranson K.J. 2016. Wildfires dynamics in Siberian larch forests. *Forests*, 7(6): 125.

Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. 2024. Reconstruction of the holocene paleo-fire history in the Middle Taiga subzone of Western Siberia according to the macro-charcoal analysis of lake sediments. *Geosfernyye issledovaniya*, 1: 135-151 (in Russian). [Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. 2024. Реконструкция голоценовой истории палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири по данным макроугольковогo анализа озерных отложений. Геосферные исследования. № 1. С. 135-151].

R Core Team R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. 2020. Vienna. URL: www.r-project.org/index.html (Last accessed: 20.03.2024).

Turunen J., Tahvanainen T., Tolonen K., Pitkänen A. 2001. Carbon accumulation in West Siberian mires, Russia Sphagnum peatland distribution in North America and Eurasia during the past 21,000 years. *Global biogeochemical cycles*, 15(2): 285-296.

Поступила в редакцию: 03.07.2024
Переработанный вариант: 25.10.2024

ON RARE VASCULAR PLANT SPECIES IN THE MIRES OF THE BASHKIR TRANS-URALS

Muldashev A.A., Ishbulatov M.K., Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Baisheva E.Z.*[*], Bikbaev I.G.

Институт биологии Уфимского научного центра РАН

[*]elvbai@mail.ru

Citation: Muldashev A.A., Ishbulatov M.K., Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Baisheva E.Z., Bikbaev I.G. 2024. On rare vascular plant species in the mires of the Bashkir Trans-Urals. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 15(2): 211-219.

DOI: 10.18822/edgcc641678

В Башкирском Зауралье (низкогорья и предгорья восточного склона Южного Урала и прилегающие к ним равнины в границах Республики Башкортостан) в настоящее время выявлено более 240 болот, около 60% площади которых являются нарушенными в результате осушения и добычи торфа. Растительность района исследования лесостепная и степная, поэтому болотные экосистемы находятся в условиях недостаточного увлажнения и очень уязвимы к антропогенному воздействию и изменению климата. За исключением некоторых представителей семейства орхидных, распространение и состояние популяций нуждающихся в охране видов болотных растений в данном регионе практически не изучено. Целью работы является выявление и анализ распространения редких видов сосудистых растений на болотах Башкирского Зауралья. В основу работы положены материалы гербарного фонда (более 200 гербарных листов) и полевых исследований (118 геоботанических описаний и флористические списки некоторых болот), а также литературные данные. На 58 болотах Башкирского Зауралья выявлено 32 редких и нуждающихся в охране на территории республики вида растений, в том числе 25 видов из основного перечня и 7 видов, включенных в Приложение II Красной книги Республики Башкортостан. Установлено, что около 80% редких видов являются стенотопными, поэтому разрушение или деградация местообитаний приведет к исчезновению их локальных популяций в регионе. Наиболее ценными для нуждающихся в охране видов сосудистых растений являются комплексные памятники природы «Болото Нурок», «Болото Карпис», «Болото Старобалбуковское». Большинство оставшихся болот с местообитаниями редких видов природоохранного статуса не имеют. Факторами, вызывающими сокращение численности или исчезновение ценопопуляций редких видов на болотах Башкирского Зауралья, являются осушение, колебание уровня воды в приозерных болотах, выпас и сенокошение по окрайкам болот, засуха и рекреация.

Ключевые слова: болота, редкие виды, сосудистые растения, Красная книга.

The Bashkir Trans-Urals (the eastern part of the Republic of Bashkortostan) includes the low mountains and foothills of the eastern slope of the Southern Urals, as well as the adjacent Sakmaro-Tanalyk and Kizilo-Urtazym plains. The vegetation is forest-steppe and steppe. Despite the small amount of precipitation (350-450 mm/year), there are quite a lot of mires, especially in the northern part of the study area. Mires are located mainly on the slopes of mountains and hills and at their foothills, in endorheic basins, in river floodplains, and often have a large area (up to several hundred hectares). All mires are eutrophic, their vegetation cover includes paludified birch and black alder forests and treeless reed, reed-sedge, moss-sedge plant communities. In 2023, more than 240 mires were identified in the Bashkir Trans-Urals, 60% of the total area of which (more than 8 thousand hectares) were disturbed as a result of drainage and peat extraction. There are very few publications about the distribution and the state of populations of rare plant species in the mires of the study area. The aim of this work is to summarize and to analyze the data on the representation of rare species of vascular plants in the mires of the Bashkir Trans-Urals.

Currently, in the mires of the Bashkir Trans-Urals, 32 rare plant species in need of protection have been identified, including 25 species (Table 1) listed in core list of the Red Data Book of the Republic of Bashkortostan [Martynenko, 2021], as well as 7 species are included in the Appendix II to this book, i.e. “List of flora and fungi that require special attention to their condition in the natural environment and monitoring in the Republic of Bashkortostan” (*Carex dioica*, *Ranunculus lingua*, *Salix myrtilloides*, *Salix pyrolifolia*, *Saussurea parviflora*, *Baeothryon pumilum*, *Utricularia intermedia*). Two species (*Liparis loeselii*. and *Orchis militaris*) are included in the Red Data Book of the Russian Federation [Order ..., 2023].

The largest number of rare mire species belong to the families Orchidaceae (11 species) and Cyperaceae (4 species). About 80% of these rare species are stenotopic and have a fidelity score for the mire ecotope III-V. Therefore, the destruction or degradation of their habitats will lead to the disappearance of their local populations in the Bashkir Trans Urals.

Little is known about the population size of rare species growing in the mires of the Bashkir Trans-Urals. Local populations of these species are often small and usually consist of several dozen, rarely hundreds of individuals (*Carex*

serotina, Dactylorhiza russowii, etc.). For few species, for instance, *Orchis militaris*, the subpopulation size within the mire can amount to several thousand individuals, but, depending on weather conditions, there are extreme fluctuations in the number of plants in different years. A decrease in the number or disappearance of subpopulations of rare plant species depends on different factors, i.e., fluctuations in the water level in lakeside mires, the habitat degradation along the edges of mires due to grazing and haymaking (*Artemisia laciniata*), drying out of mires due to a decrease in the groundwater level after droughts (*Liparis loeselii, Saxifraga hirculus*), drainage, peat extraction, peat fires and recreation.

Currently, populations of rare and protected species of vascular plants have been identified in 58 mires. The most valuable for the protection of rare species of vascular plants are the mire vegetation complexes of the natural monuments "Nurok Mire", "Karpis Mire", "Starobalbukovskoye Mire" [Muldashev et al., 2020]. Most of the mires of the Bashkir Trans-Urals, where habitats of rare species have been identified, do not have conservation status. Searching for new locations and monitoring local populations of rare plant species are a necessary for organizing effective protection of the biodiversity of this region, which is characterized by a high degree of agricultural development. Factors causing a reduction or disappearance of local populations of rare species in the mires of the Bashkir Trans-Urals are the consequences of drainage, fluctuations in the water level in lakeside mires, grazing and haymaking along the edges of mires, drought and recreation.

Key words: mires, rare species, vascular plants, Red Data Book.

ВВЕДЕНИЕ

Болота играют важную роль в поддержании гидрологического и гидрохимического режима ландшафтов, а также сохранении биологического разнообразия, включающего множество специализированных к болотным местообитаниям редких и нуждающихся в охране видов. Тем не менее во многих регионах мира степень изученности болотных экосистем остается довольно низкой [Minaeva, Sirin, 2012], и территория Республики Башкортостан (РБ) в этом смысле не является исключением. Особенно уязвимы к изменению природной среды и воздействиям человека находящиеся в условиях недостаточного увлажнения болота лесостепной зоны, которые характеризуются небольшой площадью и мощностью торфяной залежи [Minaeva, 2009; Ilyasov et al., 2017].

В прошлом столетии болота РБ значительно пострадали в результате хозяйственной деятельности человека – осушения и добычи торфа [Gulenok et al., 1989]. Антропогенная нагрузка на болота продолжает оставаться высокой и в настоящее время, особенно в лесостепных районах, где в засушливые летние периоды по окрайкам происходит интенсивный выпас скота. Результаты проведенной с участием авторов инвентаризации болот Башкирского Зауралья позволили в 2023 г. выявить более 240 болот, около 60% суммарной площади которых (более 8 тыс. га) являются нарушенными, что значительно выше, чем в южно-уральской горной части РБ (около 25%). Это связано с тем, что в лесостепных и степных районах востребованность торфяников как источника топлива в прошлом столетии была выше, чем в лесной зоне, кроме того, там проводилось интенсивное осушение болот с целью увеличения площадей земель, пригодных для ведения сельского хозяйства. Экологические последствия влияния осушительной мелиорации на ландшафты и биоразнообразие болотных экосистем РБ в настоящее время практически не изучены.

Исследования растительного покрова болот БЗ начали проводиться только в последние десятилетия, имели эпизодический характер и касались небольшого количества болот и типов растительных сообществ. Работ, посвященных выявлению и мониторингу состояния популяций нуждающихся в охране видов болотных растений Башкирского Зауралья, также немного [Suyundukov, 2011; Suyundukov et al., 2014; Ishmuratova et al., 2019; Martynenko, 2021 и нек. др.]. Недостаток фактических данных затрудняет изучение динамики болотных экосистем региона, в число индикаторов состояния которых входят локальные популяции редких видов растений. Очевидно, что редкость ряда произрастающих на болотах видов связана не только с ограниченным распространением подходящих местообитаний, но и в значительной степени с динамикой растительности болот, вызванной осушением болотных массивов в прошлом и современными климатическими изменениями. В то же время фактов, подтверждающих эти явления, очень мало, поскольку сведения о флоре болот Башкирского Зауралья, которые были собраны в первой половине XX века до проведения интенсивных мелиорационных работ, крайне немногочисленны и отрывочны. Целью данной работы является выявление и анализ распространения редких и нуждающихся в охране видов сосудистых растений на болотах Башкирского Зауралья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Башкирское Зауралье охватывает восточную часть Республики Башкортостан, включает низкогорья и предгорья восточного склона Южного Урала (хребты Куркак-Крыкты-Ирендык, подножье северо-восточной оконечности хребта Уралтау), а также Сакмаро-Таналыкскую и Кизило-Уртазымскую равнины. Рельеф сильно рассеченный, горы и увалы чередуются с долинами, окаймленными полосами мелкосопочника. В районе много бессточных озерных котловин [Yaparov, 2005].

В соответствии с системой геоботанического районирования территории РБ район исследования относится к Учалинскому округу березовых и сосновых лесов, обыкновенноковыльных и типчаковых степей лесостепной зоны и степной зоне Башкирского Зауралья. Сосновые и лиственничные коренные леса к настоящему времени в результате рубок и пожаров в значительной степени замещены вторичными березняками, большие площади степей в прошлом были распаханы [Zhudova, 1966].

В системе зонирования болот мира [Kats, 1971] Башкирское Зауралье входит в провинцию южных степей и пустынь Казахстана с тростниковыми и солеными болотами, а в системе торфяно-болотного районирования Башкирии [Bradis, 1951] относится к району зауральских эвтрофных торфяников. Несмотря на небольшое количество осадков (350-450 мм/год) [Yaparov, 2005], болот в Башкирском Зауралье довольно много, особенно в его северной части – в Учалинском районе РБ, заболоченность которого достигает 11%, что связано с сильной расчлененностью рельефа и наличием многочисленных речных долин, озерных впадин и логов. Заболоченность Баймакского и Абзелиловского районов РБ невысока (до 1%), а в Хайбуллинском районе РБ болота практически отсутствуют [Gareev, Maksyutov, 1986].

Болота расположены преимущественно по склонам гор и холмов и у их подножий, по бессточным котловинам, в поймах рек, некоторые из них имеют большую площадь, достигающую нескольких сотен гектаров. По типу питания болота являются эвтрофными, в их растительном покрове представлены как лесные (в основном тростниковые и осоковые березняки и черноольшаники), так и открытые камышово-тростниковые, тростниково-осоковые, гипново-осоковые и др. болотные сообщества. Торфяные залежи имеют среднюю мощность 1.6 м, сложены травяно-осоковыми, древесно-осоковыми, тростниково-осоковыми и гипново-осоковыми торфами [Bradis, 1951].

В основу работы положены материалы гербарного фонда (более 200 гербарных образцов, собранных в период с 1931 по 2023 г.) и полевых исследований лаборатории геоботаники и растительных ресурсов Уфимского Института биологии УФИЦ РАН (база данных из 118 геоботанических описаний и флористические списки отдельных болот за 1986-2024 гг.), а также литературные источники. Определение видов проводилось традиционными анатомо-морфологическими методами. Номенклатура видов дана по сводке С.К. Черепанова [Cherepanov, 1995].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На настоящий момент на болотах Башкирского Зауралья выявлено 32 редких и нуждающихся в охране на территории РБ вида растений, в том числе 25 видов (Табл. 1) из основного перечня Красной книги РБ [Martynenko, 2021], включая два вида (*Liparis loeselii* и *Orchis militaris*), которые входят в Красную книгу России [Order …, 2023], а также 7 видов, включенных в Приложение II Красной книги РБ «Список объектов растительного мира и грибов, которые нуждаются в особом внимании к их состоянию в природной среде и мониторинге»: *Carex dioica*, *Ranunculus lingua*, *Salix myrtilloides*, *Salix pyrolifolia*, *Saussurea parviflora*, *Baeothryon pumilum*, *Utricularia intermedia*. Три вида входят в приложение к Бернской конвенции [Convention…, 1979] (Табл. 1).

Карта-схема распространения обследованных болот с популяциями редких видов представлена на рисунке 1.

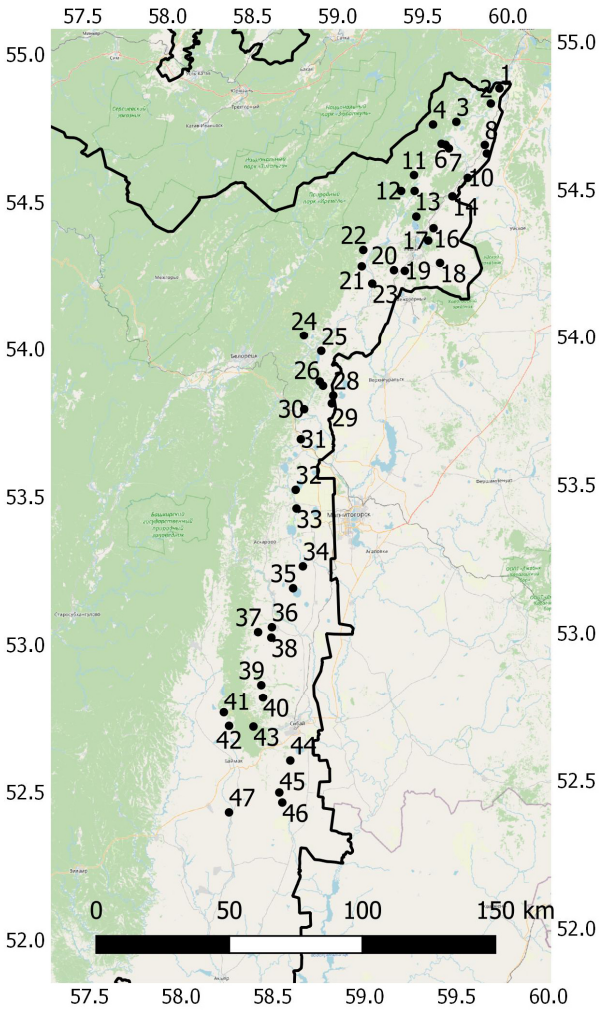

Рис. 1. Местонахождение болот Башкирского Зауралья, на которых выявлены редкие для Республики Башкортостан виды сосудистых растений.

Примечание: 1 – Большое 1 (54.8501 с.ш., 59.9347 в.д.); 2 – Каскарды (54.8002 с.ш., 59.8807 в.д.); 3 – Сумактыкульское (54.7427 с.ш., 59.6750 в.д.); 4 – Юмадинское (54.7367 с.ш., 59.5386 в.д.); 5 – Вознесенское (54.6705 с.ш., 59.5842 в.д.); 6 – Ворожеическое (54.6664 с.ш., 59.6074 в.д.); 7 – Старобалбуковское (54.6537 с.ш., 59.6261 в.д.); 8 – Асы-Буе (54.6609 с.ш., 59.8358 в.д.); 9 – Олохаз (54.6316 с.ш., 59.8453 в.д.); 10 – Шартымское 2 (54.5518 с.ш., 59.7290 в.д.); 11 – Яманхаз (54.5678 с.ш., 59.4176 в.д.); 12 – Сэрэкэй (54.5155 с.ш., 59.3398 в.д.); 13 – Островное (54.5139 с.ш., 59.4178 в.д.); 14 – Шартымское (54.4913 с.ш., 59.6360 в.д.); 15 – Ургунское (54.4272 с.ш., 59.4225 в.д.); 16 – Коек-Чишма-Башы (54.3857 с.ш., 59.5198 в.д.); 17 – Карагайлинское (54.3445 с.ш., 59.4867 в.д.); 18 – Аргас-Арган 1 (54.2674 с.ш., 59.5501 в.д.); 19 – Устье Канды-Булак (54.2447 с.ш., 59.3454 в.д.); 20 – Имангуловское (54.2481 с.ш., 59.2831 в.д.); 21 – Уразовское (54.2646 с.ш., 59.0984 в.д.); 22 – Большое (54.3199 с.ш., 59.1098 в.д.); 23 – Мельничное (54.2051 с.ш., 59.1556 в.д.); 24 – Табылгаштинское 2 (54.0338 с.ш., 58.7545 в.д.); 25 – Кульбаш (53.9795 с.ш., 58.8518 в.д.); 26 – Карпис (53.8759 с.ш., 58.8386 в.д.); 27 – Айнулла-Куюсы (53.8613 с.ш., 58.8568 в.д.); 28 – Рахметовское (53.8274 с.ш., 58.9133 в.д.); 29 – Тумарбаш (Куиль-Саз) (53.8009 с.ш., 58.9042 в.д.); 30 – Нурок (53.7837 с.ш., 58.7455 в.д.); 31 – Берлитвяк (53.6824 с.ш., 58.7225 в.д.); 32 – Суртандинское (53.5120 с.ш., 58.6863 в.д.); 33 – Этес (53.4489 с.ш., 58.6883 в.д.); 34 – Таксыровское (53.2532 с.ш., 58.7167 в.д.); 35 – Атавдинское (53.1800 с.ш., 58.6586 в.д.); 36 – Халиловское 2 (53.0499 с.ш., 58.5350 в.д.); 37 – Сериккуль (53.0342 с.ш., 58.4569 в.д.); 38 – Султанкулевское (53.0148 с.ш., 58.5304 в.д.); 39 – Туркменевское 2 (52.8545 с.ш., 58.4686 в.д.); 40 – Тукмакское (52.8109 с.ш., 58.4770 в.д.); 41 – Серик-Кульское (52.7629 с.ш., 58.2571 в.д.); 42 – Таналыкское (52.7165 с.ш., 58.2848 в.д.); 43 – Моховое (52.7125 с.ш., 58.4203 в.д.); 44 – Сагылыузяк 1 (52.5950 с.ш., 58.6210 в.д.); 45 – Карасаз (52.4878 с.ш., 58.5562 в.д.); 46 – Уртазымское (52.4536 с.ш., 58.5714 в.д.); 47 – Богачевское (52.4239 с.ш., 58.2760 в.д.). Черной линией обозначена граница Республики Башкортостан.

Fig. 1. Location of the mires of the Bashkir Trans-Urals, where rare species of vascular plants for the Republic of Bashkortostan have been identified.

Note: 1 – Bol'shoe 1 (54.8501 N, 59.9347 E); 2 – Kaskardy (54.8002 N, 59.8807 E); 3 – Sumaktykul'skoe (54.7427 N, 59.6750 E); 4 – Yumadinskoe (54.7367 N, 59.5386 E); 5 – Voznesenskoe (54.6705 N, 59.5842 E); 6 – Vorozheicheskoe (54.6664 N, 59.6074 E); 7 – Starobalbukovskoe (54.6537 N, 59.6261 E); 8 – Asy-Bue (54.6609 N, 59.8358 E); 9 – Olokhaz (54.6316 N, 59.8453 E); 10 – Shartymskoe 2 (54.5518 N, 59.7290 E); 11 – Yamankhaz (54.5678 N, 59.4176 E); 12 - Serekei (54.5155 N, 59.3398 E); 13 – Островное (54.5139 N, 59.4178 E); 14 – Shartymskoe (54.4913 N, 59.6360 E); 15 – Urgunskoe (54.4272 N, 59.4225 E); 16 – Koek-Chishma-Bashy (54.3857 N, 59.5198 E); 17 – Karagailinskoe (54.3445 N, 59.4867 E); 18 – Argas-Argan 1 (54.2674 N, 59.5501 E); 19 – Ust'e Kandy-Bulak (54.2447 N, 59.3454 E); 20 – Имангуловское (54.2481 N, 59.2831 E); 21 – Urazovskoe (54.2646 N, 59.0984 E); 22 – Bol'shoe (54.3199 N, 59.1098 E); 23 – Mel'nichnoe (54.2051 N, 59.1556 E); 24 – Tabylgashtinskoe 2 (54.0338 N, 58.7545 E); 25 – Kul'bash (53.9795 N, 58.8518 E); 26 – Karpis (53.8759 N, 58.8386 E); 27 – Ainulla-Kuyusy (53.8613 N, 58.8568 E); 28 – Rakhmetovskoe (53.8274 N, 58.9133 E); 29 – Tumarbash (Kuil'-Saz) (53.8009 N, 58.9042 E); 30 – Nurok (53.7837 N, 58.7455 E); 31 – Berlitvyak (53.6824 N, 58.7225 E); 32 – Surtandinskoe (53.5120 N, 58.6863 E); 33 – Etes (53.4489 N, 58.6883 E); 34 – Taksyrovskoe (53.2532 N, 58.7167 E); 35 – Atavdinskoe (53.1800 N, 58.6586 E); 36 – Khalilovskoe 2 (53.0499 N, 58.5350 E); 37 – Serikkul' (53.0342 N, 58.4569 E); 38 – Sultankulevskoe (53.0148 N, 58.5304 E); 39 – Turkmenevskoe 2 (52.8545 N, 58.4686 E); 40 – Тукмакское (52.8109 N, 58.4770 E); 41 – Serik-Kul'skoe (52.7629 N, 58.2571 E); 42 – Tanalykskoe (52.7165 N, 58.2848 E); 43 – Моховое (52.7125 N, 58.4203 E); 44 – Sagylyuzyak 1 (52.5950 N, 58.6210 E); 45 – Karasaz (52.4878 N, 58.5562 E); 46 – Urtazymskoe (52.4536 N, 58.5714 E); 47 – Bogachevskoe (52.4239 N, 58.2760 E). The black line is the border of the Republic of Bashkortostan.

Табл. 1. Распространение редких и нуждающихся в охране видов сосудистых растений на болотах Башкирского Зауралья.
Table 1. Distribution of rare and protected species of vascular plants in the mires of the Bashkir Trans-Urals.

Вид	Статус редкости	Названия болот	Балл верности
Сем. *Asteraceae*			
Artemisia laciniata	2	АР: Суртандинское (2004), Таксыровское (1990); УР: Асы-Буе (1998), Большое 1 (2014), Каскарды (2021), Олохаз (2014), Старобалбуковское (Соколино-Балбукское) (2015, 2022)	II
Сем. *Cyperaceae*			
Carex serotina	2	АР: Нурок (2015)	V
Eriophorum gracile	2	АР: Нурок (1997, 2001); УР: Кульбаш (1998), **Сумактыкульское** (2016), **Яманхаз** (2024)	V
Rhynchospora alba	2	БР: Моховое (2019)	V
Baeothryon alpinum	3	АР: Нурок (1997, 2023)	V
Сем. *Droseraceae*			
Drosera anglica	2	БР: Моховое (1998, 2009, 2019)	V
Сем. *Lentibulariaceae*			
Utricularia minor	2	АР: Султанкулевское (1989); БР: Моховое (1998, 2009); УР: Вознесенское (2021), Ворожеическое (2014), Каскарды (2014, 2015), Старобалбуковское (Соколино-Балбукское) (2021), Шартымское 2 (2015)	IV
Сем. *Gentianaceae*			
Gentianopsis barbata	3	АР: Атавдинское (1983), Нурок (2023), Сериккуль (2021), Суртандинское (2004); БР: Серик-Кульское (2001, 2006), Тукмакское (2005); УР: Большое 1 (2014), Вознесенское (2021), Имангуловское (2021), Мельничное (2015), Старобалбуковское (Соколино-Балбукское) (2014, 2015), Сумактыкульское (2016), Устье Канды-Булак (2015), Юмадинское (2016)	II
Сем. *Orchidaceae*			
Dactylorhiza fuchsii	3	БР: **Серик-Кульское** (1986)	III
Dactylorhiza ochroleuca	2	АР: Нурок (2015); БР: **Серик-Кульское** (1987); УР: Карпис (1986), Кульбаш (1998)	V
Dactylorhiza russowii	2	АР: Нурок (2008); УР: **Карпис** (2021), **Табылгаштинское 2** (2016)	V
Epipactis palustris	3	АР: Атавдинское (1993, 2008), Карпис (2007), Нурок (2015), Рахметовское (2021), Этес (1990); УР: **Сумактыкульское** (2024), **Шартымское** (2021), **Шартымское 2** (2015), **Яманхаз** (2024)	IV
Gymnadenia conopsea	3	АР: Берлитвяк (2021), Нурок (2021), Тумарбаш (Куиль-Саз) (1990), Этес (1990); УР: Карпис (2007), Уразовское (2021)	IV
Herminium monorchis	1	АР: Нурок (2005)	IV
Liparis loeselii	1	АР: Султанкулевское (1989); УР: Карпис (2004)	V
Listera ovata	3	БР: **Серик-Кульское** (1986)	III

Табл. 1. Продолжение.
Table 1. Continued.

Вид	Статус редкости	Названия болот	Балл верности
Malaxis monophyllos	1	АР: Нурок (2023); УР: Карагайлинское (2000), Коек-Чишма-Башы (2015), Островное (2016), Устье Канды-Булак (2015)	III
Orchis militaris	1	БР: Карасаз (1989), Туркменевское 2 (1989), Уртазымское (1989)	II
Spiranthes amoena	1	АР: Атавдинское (1983, 1993, 2008)	V
Сем. *Primulaceae*			
Primula longiscapa	3	АР: Атавдинское (1931, 1992, 2008), Таксыровское (1990); БР: Богачевское (1984), Сагылыузяк 1 (2008), Уртазымское (1989)	II
Сем. *Rosaceae*			
Pentaphylloides fruticosa	2	БР: Серик-Кульское (1953)	II
Сем. *Salicaceae*			
Salix starkeana	3	АР: Айнулла-Куюсы (2019)	IV
Сем. *Saxifragaceae*			
Saxifraga hirculus	1	УР: Шартымское (1931), Яманхаз (2016, 2024)	V
Сем. *Scrophulariaceae*			
Pedicularis sceptrum-carolinum	2	АР: Айнулла-Куюсы (2006), Нурок (1997, 2005, 2007), Халиловское 2 (2014); УР: Аргас-Арган 1 (2015), Большое 1 (2014), Каскарды (2021), Кульбаш (1998), Старобалбуковское (Соколино-Балбукское) (2013), Сэрэкэй (2016), Ургунское (2021), Шартымское (1931), Яманхаз (2021, 2024)	IV

Условные обозначения: Административные районы РБ: АР – Абзелиловский, БР – Баймакский, УР – Учалинский. Статус редкости в РБ: 1 – виды, находящиеся под угрозой исчезновения, 2 – виды, сокращающиеся в численности и/или распространении, 3 – редкие виды с естественной невысокой численностью, встречающиеся на ограниченной территории или спорадически распространенные на значительных территориях, для выживания которых необходимо принятие специальных мер охраны. Балл верности болотному экотопу: II – виды, индифферентные к болотному экотопу; III – виды, одинаково часто встречающиеся на болоте и в других местообитаниях, но имеющие оптимальное развитие в условиях болотного экотопа; IV – виды, предпочитающие болота, но иногда встречающиеся и в других местообитаниях; V – виды, произрастающие только на болотах. * – виды, входящие в приложение к Бернской конвенции [Convention…, 1979]. В скобках указан год, когда вид был отмечен на данном болоте при полевом обследовании. Жирным шрифтом выделены местонахождения, которые для данного вида публикуются впервые.
Legend: Administrative districts of the Republic of Bashkortostan: АР – Abzelilovsky, БР – Baimaksky, УР – Uchalinsky. Rarity status in the Republic of Bashkortostan: 1 – species under threat of extinction, 2 – species declining in numbers and/or distribution, 3 – rare species with naturally low numbers, found in a limited area or sporadically distributed over large areas, for the survival of which special conservation measures are required. Fidelity score to the mire ecotope: II – species indifferent to the mire ecotope; III – species equally common in the mires and in other habitats, but having optimal development in the conditions of the mire ecotope; IV – species preferring mires, but sometimes found in other habitats; V – species growing only in mires. * – species included in the appendix to the Berne Convention [Convention…, 1979]. The year when the species was recorded in the given mire during the field survey is given in brackets. The locations which are published for the given species for the first time are shown in bold.

Наибольшим количеством видов представлены семейства Orchidaceae (11 видов) и Cyperaceae (4 вида) (Табл. 1). Анализ видов по верности болотному экотопу, рассчитанному по методике отечественных болотоведов [Boch, Smagin, 1993], но с региональными поправками, учитывающими особенности экологии видов в Южно-Уральском регионе, показал, что среди видов, включенных в основной перечень Красной книги РБ [Martynenko, 2021], характерные и облигатные для болотных местообитаний виды с региональными баллами верности болотному экотопу III-V составляют около

80% (Табл. 1). Таким образом, большая часть редких и нуждающихся в охране видов, растущих на болотах Башкирского Зауралья, являются стенотопными, поэтому разрушение или деградация их местообитаний приведет к исчезновению их локальных популяций в регионе.

Информации о численности популяций редких и нуждающихся в охране видов болот Башкирского Зауралья очень мало, и касается она в основном представителей семейства орхидные [Suyundukov, 2011; Suyundukov et al., 2014 и нек. др.]. Ценопопуляции этих видов часто небольшие и обычно состоят из нескольких десятков, редко – сотен особей (*Carex serotina*, *Dactylorhiza russowii*). Для отдельных видов, например *Orchis militaris,* численность популяций на болотах района исследования может насчитывать несколько тысяч особей, но в зависимости от погодных условий этот показатель может изменяться в разные годы [Martynenko, 2021].

Сокращение численности или исчезновение ценопопуляций ряда видов на болотах Башкирского Зауралья происходит из-за колебания уровня воды в приозерных болотах (отмечено сокращение популяции *Spiranthes amoena* на болоте у озера Атавды), в результате деградации местообитаний по окрайкам болот из-за выпаса и сенокошения (*Artemisia laciniata*), усыхания болот из-за снижения уровня грунтовых вод после засух (*Liparis loeselii, Saxifraga hirculus*), осушения, торфоразработок, торфяных пожаров и рекреации (например, поиски популяций *Pentaphylloides fruticosa,* подтвержденных гербарными сборами 1953 г. в верховьях р. Таналык, в последние десятилетия оказались безуспешными).

На настоящий момент популяции редких и нуждающихся в охране видов сосудистых растений выявлены на 58 болотах. Наиболее ценными для охраны редких видов сосудистых растений являются болота Абзелиловского и Учалинского районов РБ, которые являются комплексными памятниками природы [Muldashev et al., 2020]: «Болото Нурок» – 11 видов, внесенных в основной перечень и перечисленных в таблице 1, и 3 вида, входящих в Приложение II Красной книги Республики Башкортостан [Martynenko, 2021] (*Carex dioica*, *Saussurea parviflora, Utricularia intermedia*); «Болото Карпис» – 5 видов, внесенных в основной перечень (Табл. 1) и 2 вида – в Приложение II (*Saussurea parviflora, Utricularia intermedia*); «Болото Старобалбуковское» – 4 вида, внесенных в основной перечень (Табл. 1), и 2 – в Приложение II КК РБ (*Salix pyrolifolia, Utricularia intermedia*). Большинство оставшихся болот Башкирского Зауралья, на которых выявлены местообитания редких видов, природоохранного статуса не имеют.

Анализ гербарных коллекций и полевые исследования 2024 г. позволили выявить местонахождения видов *Dactylorhiza fuchsii, D. ochroleuca, D. russowii, Eriophorum gracile, Epipactis palustris*, *Listera ovata*, сведения о которых публикуются впервые (Табл. 1).

Поиск новых местонахождений и мониторинг локальных популяций редких видов растений на болотах Башкирского Зауралья являются необходимым условием для организации эффективной охраны биоразнообразия этого региона, характеризующегося высокой степенью сельскохозяйственной освоенности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00003, https://rscf.ru/project/22-14-00003/.

ЛИТЕРАТУРА

Boch M.S., Smagin V.A. 1993. *Flora and vegetation of North-West Russia mires and bases of their protection.* Gidrometeoizdat, Saint Petersburg. 224 pp. (in Russian). [Боч М.С., Смагин В.А. 1993. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. 224 с.].

Bradis E.M. 1951. *Peat mires of Bashkiria*: dis. Doctor of biol. sciences. Kiyev. 687 pp. (in Russian). [Брадис Е.М. 1951. Торфяные болота Башкирии: дис. … докт. биол. наук. Киев. 687 с.].

Cherepanov S.K. 1995. *Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR).* Mir I sem'ya, Saint Petersburg. 992 pp. (in Russian). [Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья. 992 с.].

Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Appendix I, 1979. Available from: URL:http://www.conventions.coe.int/Treaty/FR/Treaties/Html/104-1.htm (Last accessed 20.04.2024).

Gareev A.M., Maksyutov F.A. 1986. *Mires of Bashkiria.* Bashkirskoye knizhnoye izdatel'stvo, Ufa: 144 p. (in Russian). [Гареев А.М., Максютов Ф.А. 1986. Болота Башкирии. Уфа: Башкирское книжное издательство. 144 с.].

Gulenok G.E., Ilyicheva Yu.A., Kislova V.P., Kuzmicheva V.G., Serova E.K. 1989. *Peat deposits of the Bashkir ASSR.* Torfgeologiya, Moscow. 321 pp. (in Russian). [Гуленок Г.Е., Ильичева Ю.А., Кислова В.П., Кузьмичева В.Г., Серова Е.К. 1989. Торфяные месторождения Башкирской АССР. Москва: Торфгеология. 321 с.].

Ilyasov D.V., Sirin A.A., Suvorov G.G., Meteleva M.M., Markina A.V. 2017. Restoration of forest-steppe degrading peatlands and their ecosystem functions. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 5 (5): 400-406 (in Russian). [Ильясов Д.В., Сирин А.А., Суворов Г.Г., Метелева М.М., Маркина А.В. 2017. Восстановление деградирующих осушенных торфяных болот лесостепи и их экосистемных функций. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Т. 5. № 5(31). С. 400-406].

Ishmuratova M.M., Barlybaeva M.Sh., Nabiullin M.I., Ishbirdin A.R., Suyundukov I.V., Nesgovorova O.V., Kildiyarova G.N., Shamigulova A.S. 2019. Orchidaceae Juss. in the Southern Urals: monitoring in protected and other areas, protection issues. *Bulletin of Perm University. Biology*, 3: 327-344 (in Russian). [Ишмуратова М.М., Барлыбаева М.Ш., Набиуллин М.И., Ишбирдин А.Р., Суюндуков И.В., Несговорова О.В., Кильдиярова Г.Н., Шамигулова А.С. 2019. Орхидные (Orchidaceae Juss.) на Южном Урале: мониторинг на охраняемых и иных территориях, вопросы охраны // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. Вып. 3. С. 327-344].

Kats N.Ya. 1971. *Swamps of the Earnh*. Nauka, Moscow. 295 pp. (in Russian). [Кац Н.Я.1971. Болота земного шара. Москва: Наука. 295 с.].

Martynenko V.B. (ed.). 2021. *The Red Book of the Republic of Bashkortostan. Volume 1: Plants and fungi.* Studiya onlayn, Moscow. 392 pp. (in Russian). [Мартыненко В.Б. (ред.). 2021. Красная книга Республики Башкортостан: Том 1: Растения и грибы. Москва: Студия онлайн. 392 с.].

Minayeva T., Sirin A., Bragg O. 2009. *A quick scan of peatlands in Central and Eastern Europe*. Wetlands International, Wageningen. 132 pp.

Minayeva T.Yu, Sirin A.A. 2012. Peatland biodiversity and climate change. *Biology Bulletin Reviews*, 2(2): 164-175. https://doi.org/10.1134/S207908641202003X

Muldashev A.A., Pozdnyakova E.P., Edrenkina L.A., Sagitov Sh.Z., Volkov A.M., Bogdan E.A., Belan L.N., Kosarev M.N., Gareev E.Z., Martynenko V.B., Smirnov A.I., Sokolov Yu.V., Kulnev V.V. 2020. *Register of specially protected natural areas of republican significance*. IP Konovalov I.S., Voronezh: 404 pp. (in Russian). [Мулдашев А.А., Позднякова Э.П., Едренкина Л.А., Сагитов Ш.З., Волков А.М., Богдан Е.А., Белан Л.Н., Косарев М.Н., Гареев Э.З., Мартыненко В.Б., Смирнов А.И., Соколов Ю.В., Кульнев В.В. 2020. Реестр особо охраняемых природных территорий республиканского значения. Воронеж: ИП Коновалов И.С. 404 с.].

Order of 23.05.2023 No. 320 "On approval of the List of flora species listed in the Red Book of the Russian Federation". Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. 2023. Available from: URL: https://docs.cntd.ru/document/1301909451 (Last accessed: 20.04.2024) (in Russian). [Приказ 23.05.2023 № 320 "Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации". Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: https://docs.cntd.ru/document/1301909451 (дата обращения: 20.04.2024)].

Suyundukov I.V. 2011. Stability of some species of family Orchidaceae to anthropogenous influences in the Southern Ural. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 13(5(3)): 108-112 (in Russian). [Суюндуков И.В. 2011. Устойчивость некоторых видов семейства Orchidaceae к антропогенным воздействиям на Южном Урале // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 13. №5(3). С. 108-112].

Suyundukov I.V., Shamigulova A.S., Sabitova F.S. 2014. Monitoring of the status of coenopopulations of Orchis militaris L.in the steppe zone of Bashkir Zauralie. *Vestnik of Lobachevsky university of Nizhni Novgorod*, 3(3): 119-123 (in Russian). [Суюндуков И.В., Шамигулова А.С., Сабитова Ф.С. 2014. Мониторинг состояния ценопопуляций Orchis militaris L. в степной зоне Башкирского Зауралья // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. № 3(3): 119- 123].

Zhudova P.P. 1966. *Geobotanical zoning of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic.* Bashkirskoye knizhnoye izdatel'stvo, Ufa: 124 pp. (in Russian). [Жудова П.П. 1966. Геоботаническое районирование Башкирской АССР. Уфа: Башкирское книжное издательство. 124 с.].

Yaparov I. M. (ed.). 2005. *Atlas of the Republic of Bashkortostan*. Kitap, Ufa. 420 pp. (in Russian). [Япаров И. М. (ред.). 2005. Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап. 420 с.].

Поступила в редакцию: 05.10.2024
Переработанный вариант: 02.11.2024

Научное издание

ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Том 15, выпуск 3/2024
Цена свободная
16+

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77-82594 от 18.01.2022 г.

Дата выхода в свет 02.11.2024

Адрес учредителей, редакции:
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
Адрес: 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».
Адрес: 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".
Адрес: 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».
Адрес: 629008, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, 73.
Тел./факс: +7(34922)441-32; WEB: www.arctic.yanao.ru

Главный редактор:
Глаголев Михаил Владимирович
тел. +7-495-939-48-46
E-mail: m_glagolev@mail.ru

Заместитель главного редактора:
Лапшина Елена Дмитриевна
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 313)
E-mail: e_lapshina@ugrasu.ru