

IMPACT OF CLIMATE WARMING ON FLORISTIC DIVERSITY OF THE EAST EUROPEAN TUNDRA

O.V. Lavrinenko^{1,2*}, G.A. Tyusov¹, V.V. Petrovsky¹

¹ Komarov Botanical Institute RAS, St.-Petersburg

² Nenetsky State Nature Reserve, Naryan-Mar

lavrino@mail.ru

Citation: Lavrinenko O.V., Tyusov G.A., Petrovsky V.V. 2022. Impact of climate warming on floristic diversity of the East European tundra // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 1. P. 35-48.

DOI: 10.18822/edgcc101643

Для восточноевропейского сектора Арктики за последние 30 лет установлено изменение климатических индексов, важных для растений, – значимо уменьшилось годовое число заморозков (на 14-21 день), увеличилась продолжительность периода вегетации (в среднем на 2 недели) и суммы накопленного за этот период тепла (в среднем на 85 °С). Потепление климата привело к активному естественному расселению на север видов растений южных широтных групп, особенно по долинам крупных рек, текущих в меридиональном направлении. Анализ таксономического состава 24 локальных флор на территории восточноевропейских тундр, включая острова Колгуев, Долгий и Вайгач, позволил установить 64 вида растений, которые обнаружены впервые вдали от прежних указаний на их местонахождения в основных сводках прошлого столетия. Основная часть (62%) этих видов принадлежит южным широтным группам. Повторное (через 6 лет) обследование хорошо выявленной ранее локальной флоры “Болванский Нос”, расположенной в устье р. Печора, показало, что из 34 вновь обнаруженных видов 71% принадлежит бореальной фракции. Особенно впечатляет, как далеко на север от своих прежних местонахождений отмечены некоторые водные и прибрежно-водные растения. Большинство из них не просто встречаются отдельными экземплярами, а формируют сообщества и отличаются высокой жизненностью. Новые местонахождения древесных растений (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Alnus fruticosa*) могут рассматриваться как свидетельство их продвижения на север по долинам рек из полосы лесотундры и расположенных южнее “лесных островов”.

Ключевые слова: потепление климата, сосудистые растения, локальные флоры, редкие виды, восточноевропейские тундры, Арктика.

Key words: climate warming, vascular plants, local floras, rare species, Eastern European tundras, Arctic.

SUMMARY

The climate in the Arctic, including the European sector, is changing rapidly (Report..., 2021). Currently, there is uncertainty as to whether the regularities of satellite-observed greening in tundra areas indicate a change in the vegetation cover in situ. The NDVI changes are multidirectional in different sectors of the Arctic and depend on the period taken for calculation (Bhatt et al., 2010, 2013; Epstein et al., 2017; Tishkov et al., 2018; Myers-Smith et al., 2020). Non-environmental factors (atmospheric changes, orbital drift, sensor degradation, snow duration or standing water) can give “greening” signals (Gamon et al., 2013; Reynolds et al., 2013; Guay et al., 2014). The winter and spring indicators (for example, coastal spring sea-ice area) represent potential predictors of tundra vegetation productivity a season or two in advance of the growing season (Bhatt et al., 2021).

The question of what happens to vegetation over a long period is more accurately answered by studies carried out by surface methods on monitoring sites having repeated geobotanical descriptions with an accurate geographical reference. An increase in the projective cover and height of the vegetation cover, an increase in the relative abundance of shrubs and grasses, and shrub vegetation spreading on hillsides and in river valleys have been established for the tundra of Alaska and the Canadian Arctic (Sturm et al., 2001; Tape et al., 2006; Gould et al., 2009; Myers-Smith et al., 2019; Harris et al., 2021). In other publications (Prach et al., 2010; Callaghan et al., 2011; Daniëls and de Molenaar, 2011; Matveeva and Zanolka, 2013b), on the contrary, it is shown that, despite climatic changes, the flora and vegetation remained mainly fairly stable in Alaska, Greenland, Spitsbergen and Taimyr. The changes are often recorded only in the locations where the landscapes are being physically changed or destructed (Jorgenson et al., 2015; Pospelova et al., 2017; Lavrinenko and Lavrinenko, 2020).

Flora, as a more conservative component of the vegetation cover, retains its composition and structure much longer than vegetation (Koroleva et al., 2019), however, the dispersal of species in our time is much faster than

expected. A repeated inventory (decades later) of local tundra floras (Pospelov and Pospelova, 2001; Sekretareva and Sytin, 2006; Matveeva et al., 2014; Koroleva et al., 2019) shows an increase in their richness mainly due to species of more southern latitudinal groups. Northward migration of boreal species occurs mainly along river valleys.

We calculated climate indices for Eastern European tundras, which are important for plants, using the software ClimPACT (Alexander et al., 2013) and applying daily data series (Bulygina et al., website). Over the past 30 years, compared with the previous 30 years, the annual number of frost days (by 14-21 days) has significantly decreased, the duration of the vegetation period has increased (by an average of 2 weeks) as well as the number of growing degree days (by an average of 85 °C) (Table 1).

It is important to focus attention on species discovered originally far from the previously known boundaries of their natural habitat, since they may indicate ongoing climatic changes. In this article, we supplemented the 5 local floras in the Malozemelskaya Tundra and Bolshezemelskaya Tundra, which we revisited in the period from 2019 to 2020, with 67 taxons (Table 2). The local flora "Bolvansky Nos" at the mouth of the Pechora River, which previously contained 222 species (Lavrinenko et al., 2016), has become one of the richest for its zonal positions (the northern zone of the southern tundra) and for the East European tundras in general due to new findings (34 species). The majority (69%) of the newly discovered taxons in the 5 local floras belong to the boreal fraction and there are even more such species (71%) in the "Bolvansky Nos" flora.

We also analyzed the species, which we found earlier during the inventory of 24 local floras on the islands and the mainland of the Eastern European tundra (Lavrinenko et al., 2016, 2019, marked with asterisks in the tables). The number of species discovered for the first time far from their location, which were previously indicated in the main reports of the last century, was 64. The main part (62%) of these species belongs to the southern latitudinal groups. Current locations indicate the northern limit of their spreading in the European North.

Most of these species penetrate to the north along the valleys of rivers flowing in the meridional direction from south to north (Pechora and its tributaries, More-Yu, Neruta). Some aquatic and coastal plants have been found far north of their former locations, which is particularly impressive: *Cicuta virosa*, *Eleocharis palustris*, *E. quinqueflora*, *Filaginella uliginosa*, *Juncus bufonius*, *J. nodulosus*, *Myriophyllum sibiricum*, *M. verticillatum*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Potamogeton friesii*, *P. pusillus*, *P. sibiricus*, *Sagittaria natans*, *Sparganium angustifolium*, *Stuckenia filiformis*. Many of them are not found just as species, but they form communities and are highly vital (Lavrinenko and Lavrinenko, 2018; Lavrinenko and Dyachkova, 2021). In the last century, most of these plants were known from the middle/southern parts of the Komi Republic (Arctic..., 1960-1987; Flora..., 1974-1979) and are reported for the territory of the Eastern European tundra for the first time. The valleys of rivers flowing in the meridional direction from south to north are also a passage for the migration of meadow plants – *Dactylis glomerata*, *Lathyrus palustris*, *Sedum purpureum*. New locations of arboreal species (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Alnus fruticosa*) can be considered as evidence of their northward movement along river valleys from the forest-tundra zone and the “forest islands” located to the south.

It is concluded that climate warming in the Eastern European sector of the Arctic contributes to the active natural dispersal of plant species of southern latitudinal groups to the north, especially along the valleys of large rivers flowing in the meridional direction.

ВВЕДЕНИЕ

Климат в Арктике, включая европейский сектор, меняется быстрыми темпами [Доклад..., 2021]. Первый шаг к пониманию того, как Арктика реагирует на потепление климата – это документированное подтверждение изменений растительного покрова с течением времени и в ответ на потепление [Post and Forchhammer, 2008]. Одна из задач – выявить индикаторы этих изменений во флоре и растительности. Спутниковый мониторинг, на который возлагают большие надежды, пока не дает однозначного ответа на вопрос о реакции растительного покрова на повышение температуры воздуха. Изменения усредненного значения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) могут быть разнонаправленными для одной и той же территории, в зависимости от периода, который берется для расчета. Кроме того, в разных секторах Арктики изменения индекса тоже разнонаправленные [Bhatt et al., 2010, 2013; Epstein et al., 2017; Тишков и др., 2018; Myers-Smith et al., 2020]. Для восточноевропейского сектора уменьшение значений NDVI, а не “увеличение зелени” на части территории, объясняется и вовсе разными периодами спутниковых записей [Frost et al., 2021]. Неэкологические факторы, в том числе атмосферные изменения, дрейф спутниковых датчиков, а также более раннее таяние снега, могут давать сигналы “увеличения зелени” [Guay et al., 2014]. Так, NDVI, определяемый дистанционно, чувствителен к параметрам ландшафтного уровня, таким как продолжительность снежного покрова или изменения гидрологического режима в результате таяния вечной мерзлоты [Gamon et al., 2013, Reynolds et al., 2013]. Зимние и весенние процессы (например, изменение прибрежной весенней площади морского льда) являются потенциальными индикаторами продуктивности тундровой растительности за сезон или два до вегетационного периода [Bhatt et al., 2021]. Таким образом, в настоящее время существует неопределенность в

отношении того, действительно ли наблюдаемые спутниками закономерности “увеличения зелени” на участках тундры указывают на изменение растительного покрова *in situ*.

На вопрос о том, что происходит с растительностью в течение длительного периода, более точно отвечают исследования, проводимые наземными методами – на мониторинговых площадках и при повторных геоботанических описаниях, имеющих точную географическую привязку (с помощью GPS-навигаторов или отмеченных на картах-планах). Анализ состава и структуры растительности на модельных площадках в тундрах Аляски и канадской Арктики свидетельствовал об увеличении проективного покрытия и высоты растительного покрова и о повышении относительного обилия кустарников и злаков [Gould et al., 2009; Myers-Smith et al., 2019; Harris et al., 2021]. С помощью анализа аэрофотоснимков в северной Аляске за 50 лет установлено, что происходит распространение кустарниковой растительности, особенно на склонах холмов и в долинах рек [Sturm et al., 2001; Tape et al., 2006]. В других публикациях [Prach et al., 2010; Callaghan et al., 2011; Daniëls and de Molenaar, 2011], напротив, показано, что, несмотря на климатические изменения, флора и растительность в целом остаются довольно стабильными в течение последних десятилетий на Аляске, в Гренландии и на Шпицбергене.

В центральносибирском секторе Арктики (Таймыр, “Тарей”) изменения в видовом составе и структуре сообществ зональной растительности не были выявлены через 40 лет, даже при сильной трансформации рельефа (полигонизация увалов в результате таяния жильных льдов) [Матвеева и Заноха, 2013b]. По-видимому, авторы застали начало этого процесса, а реакция растительности имеет определенный лаг-период. В американской Арктике в аналогичных местообитаниях при изменении микрорельефа и влажности почвы из-за таяния жильных льдов изменения в растительности оказались быстрыми и сильными за период с 1984 по 2009 гг., в то время как на других мониторинговых площадках без изменений микрорельефа растительность изменилась мало [Jorgenson et al., 2015].

В восточноевропейском секторе на площадках, заложенных на мысе Болванский Нос в 1999 г., состав и структура зональных и заболоченных сообществ в целом за последние 20 лет практически не изменились [Лавриненко и Лавриненко, 2017а, 2017б], несмотря на инструментально фиксируемое увеличение температуры воздуха и грунтов [Малкова, 2010].

Таким образом, наземные исследования в разных районах Арктики, в том числе в восточноевропейском секторе, в целом свидетельствуют о медленной ответной реакции растительности на потепление и о стабильности состава и структуры тундровых сообществ. Изменения фиксируются только там, где происходит физическое изменение или уничтожение ландшафтов [Jorgenson et al., 2015; Pospelova et al., 2017; Лавриненко и Лавриненко, 2020].

Изменения, обусловленные потеплением климата, фиксируют исследователи, изучающие флору. Пионерами работ по повторной инвентаризации состава и структуры тундровых локальных флор были И.Н. Поспелов и Е.Б. Поспелова [2001]. Ревизия ими одной из изученных арктических конкретных флор – низовой р. Яму-Неру, ныне Бикада (Таймыр), спустя более 70 лет после первого ее обследования А.И. Толмачевым показала, что богатство флоры увеличилось как минимум на 13% в основном за счет видов более южного склада. Авторы констатировали, что арктическая флора, несмотря на суровость условий существования и замедленный ход естественных сукцессий, достаточно быстро реагирует на изменение среды и что расселение видов в наше время происходит значительно быстрее, чем предполагалось. В подзоне южной тундры в районе Ары-Мас в 2002 г. обнаружено 40 видов, не включенных в предыдущий список флоры, в 2012 г. – еще пять. Все эти виды, кроме одного, относятся к бореальной группе и на Таймыре находятся на северной границе своего ареала [Pospelova et al., 2017]. Авторы наблюдали смещение на север ряда бореальных видов вдоль южного берега р. Хатанга за последние 20 лет работы в ее бассейне. Отмечается миграция на север наиболее активных лугово-кустарниковых и болотных бореальных видов по долинам рек.

Одна из первых сравнительных работ была также сделана по флоре окрестностей бухты Тикси [Секретарева и Сытин, 2006]. Сопоставив свои результаты с аннотированным списком сосудистых растений, опубликованным Б.А. Тихомировым с соавт. [1966], и данными Арктической флоры [1960-1987], авторы констатировали более широкое проникновение некоторых видов к арктическому побережью за прошедшие 50 лет.

Повторное (через 40 лет) обследование локальной флоры “Тарей”, расположенной на р. Пяпина (Таймыр), показали, что немногие новые для района виды найдены в пойме крупной реки [Матвеева и др., 2014]. В то же время в районе Диксона за 33 года флора сосудистых растений осталась неизменной, авторы не нашли там ни одного нового вида [Матвеева и Заноха, 2013а].

Полный анализ флоры окрестностей пос. Чокурдах (Северо-Восток Якутии), проведенный Т.М. Королевой с соавт. [2019] по первоначальным исследованиям М.С. Боч в 1969 г. и собственным в

2013-2014 гг. (через 45 лет) показал, что наиболее заметными изменениями в растительном покрове были увеличение числа видов южных широтных групп и появление в последние 15-20 лет подроста лиственницы. В списке “новых таксонов” виды бореальной фракции (25) преобладали над гипоарктической (19) и арктической (15). Такие изменения авторы связывают с потеплением климата, однако отмечают, что флора, как более консервативный компонент растительного покрова, значительно дольше сохраняет свой состав и структуру, чем растительность. Поэтому зафиксированные изменения в составе и структуре локальной флоры могут служить индикаторами существенных изменений в развитии растительного покрова территории.

Для восточноевропейских тундр еще в начале двухтысячных были предложены некоторые фитоиндикаторы климатических изменений [Лавриненко и Лавриненко, 2004]. Показано, что важно акцентировать внимание на видах, обнаруженных впервые вдали от ранее известных границ их ареалов. Их появление в районах с хорошо выявленными локальными флорами может свидетельствовать о миграциях из других, более южных территорий, и они могут индицировать происходящие климатические изменения.

В настоящей статье мы решаем следующие задачи: 1) по данным метеостанций на территории восточноевропейских тундр проанализировать изменение значимых для растений климатических показателей; 2) дополнить пять локальных флор в Малоземельской и Большеземельской тундрах, повторно посещенных нами в последние годы, и оценить, за счет каких видов они пополнились; 3) проанализировать новые находки, которые были сделаны ранее при инвентаризации локальных флор [Лавриненко и др., 2016, 2019], и акцентировать внимание на видах, обнаруженных впервые далеко на север от своих прежних границ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Климатические данные

Для анализа климатической динамики взяты данные инструментальных наблюдений по девяти метеостанциям на территории восточноевропейских тундр (в административных границах Ненецкого автономного округа (Им. Е.К. Федорова; Колгуев Северный; Канин Нос; Шойна; Индига; Амдерма; Мыс Константиновский; Нарьян-Мар; Хоседа-Хард). С использованием программы ClimPACT [Alexander et al., 2013] мы рассчитали специализированные климатические индексы, разработанные Всемирной метеорологической организацией: FDO – годовое число дней с минимальной температурой воздуха <0 °C (дни с заморозками); TM5a – годовое число дней со среднесуточной температурой воздуха ≥ 5 °C; GDDgrow (Growing degree days) – годовая сумма среднесуточных температур воздуха >5 °C. Поскольку среднемесячные показатели сглаживают большую часть важной информации, от которой зависит функционирование растений, индексы рассчитаны с привлечением ежедневных данных – суточных рядов максимальной и минимальной температуры воздуха и осадков [Булыгина и др., сайт].

Для оценки значимости межгодовой изменчивости климатических индексов использовали *p*-значение (*p-value*). Проверка гипотез с его помощью является альтернативой классической процедуре проверки через критическое значение распределения. Чем меньше *p*-значение, тем больше “сила” отклонения нулевой гипотезы (т.е. гипотезы об отсутствии взаимосвязи или корреляции между исследуемыми переменными) и тем больше ожидаемая значимость результата.

Флористические исследования

В ходе полевых исследований в 2019-2020 гг. был собран новый материал для пяти локальных флор, опубликованных ранее [Лавриненко и др., 2016, 2019], под названиями “Гусинец” (Рис. 1, 1), “Ловецкий” (2), “Кузнецкая” (3), “Болванский Нос” (4) и “Шапкина” (5). Дополнения сделаны при целенаправленных поисках растений маршрутным методом и при выполнении геоботанических описаний: для первых четырех флор – О.В. Лавриненко (большое внимание было уделено водной и прибрежно-водной флоре), для “Шапкина” – Г.А. Тюсовым и К.В. Ивановой. Мы не ставили цель провести повторную ревизию этих локальных флор, а отмечали и гербаризировали лишь вновь обнаруженные таксоны. Заносные виды в географический анализ флор не включены.

Локальная флора “Гусинец”¹ (68°06′–68°15′ с. ш., 53°40′–53°55′ в. д.) охватывает дельту р. Печоры между протоками Малый Гусинец, Козлюков, Бецабицер и Большой Осколков Шары, а

¹ В кавычках приведено название локальной флоры, далее по тексту, чтобы избежать повторов, словосочетание “локальная флора” опущено, оставлено только ее название.

также небольшой остров Кашин в Коровинской губе; “Ловецкий” (68°17′–68°22′ с. ш., 53°51′–53°59′ в. д.) – остров (41 км²), омываемый с севера Печорской, с юга Коровинской губой; “Кузнецкая” (68°48′–68°52′ с. ш., 53°40′–53°59′ в. д.) – участок вдоль Захарьина берега Печорской губы от мыса Тонкий Нос до п-ова Русский Заворот; “Болванский Нос” (68°16′–68°17′ с. ш., 54°25′–54°32′ в. д.) – полуостров между р. Большой Печорой и Болванской губой от мыса Болванский Нос на юг до сопки Мохнатая и оз. Нижнебородатого; “Шапкина” (67°30′–67°35′ с. ш., 54°54′–55°12′ в. д.) – участок между одноименной рекой и ее правым притоком р. Веснию, а также берега р. Шапкина в месте впадения в нее руч. Лабадьяввож.

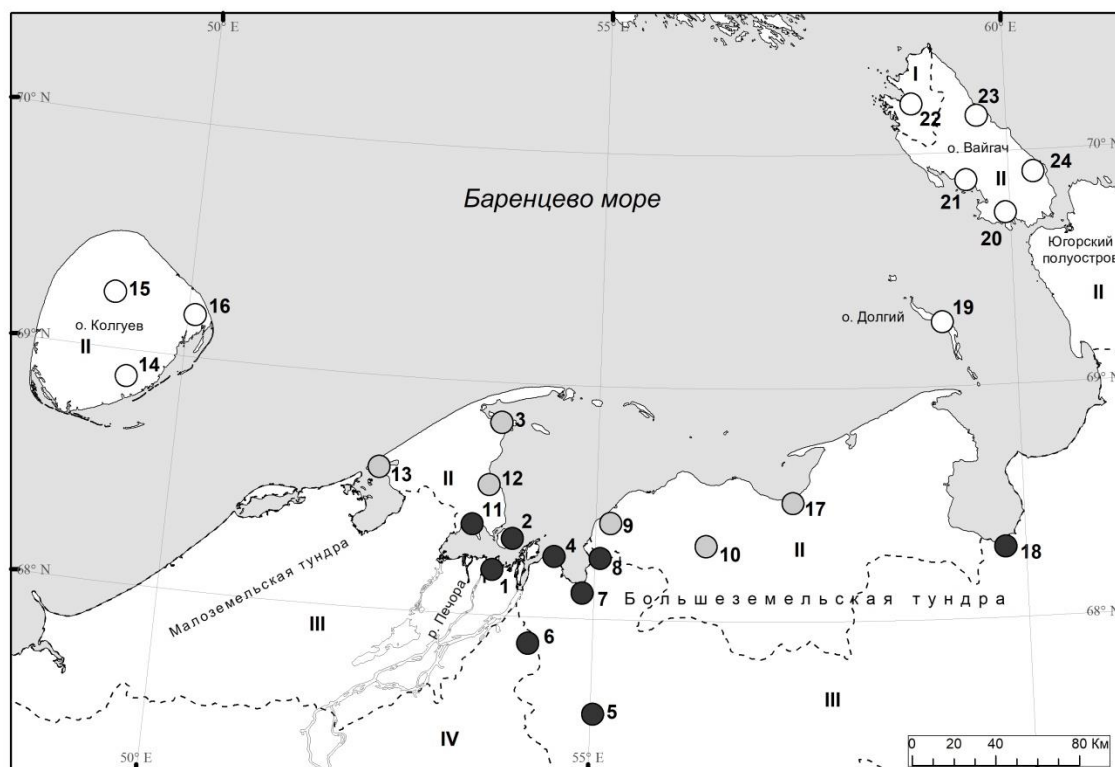


Рисунок 1. Картограмма районов исследований. 1-24 – номера локальных флор: 1 – Гусинец; 2 – Ловецкий; 3 – Кузнецкая; 4 – Болванский Нос; 5 – Шапкина; 6 – Ортина; 7 – Болванская губа; 8 – Хыльчю; 9 – Двойничная; 10 – Хэхэганьяха; 11 – Костяной Нос; 12 – Хабуйка; 13 – Тобседа; 14 – Бугрянка; 15 – Средняя Песчанка; 16 – Нижняя Песчанка; 17 – Паханчская губа; 18 – Хайпудырская губа; 19 – Долгий; 20 – Варнек; 21 – Лямчина; 22 – Долгая; 23 – Сармик; 24 – Дровяная. Черными кружками обозначены локальные флоры бореального типа, серыми – гипоарктического, белыми – арктического. Пунктирной линией обозначены границы подзон: I – арктические тундры, II – типичные тундры, III – южные тундры, IV – лесотундра

Согласно ботанико-географическому делению Арктической флористической области они относятся к Канино-Печорской подпровинции Европейско-Западносибирской провинции [Юрцев и др., 1978]. Характеристика рельефа и растительности этих территорий дана в предыдущих публикациях [Лавриненко и др., 2016, 2019].

Номенклатура таксонов (в основном) и их типы ареалов даны по Н.А. Секретаревой [2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические изменения

Результаты сравнительного анализа климатических индексов за два 30-летних периода – 1961-1990 и 1991-2020 гг. (Таблица 1) показали, что за последние 30 лет, по сравнению с предыдущим 30-летием:

1) На всей территории восточноевропейских тундр наблюдалось уменьшение числа дней в году с заморозками в среднем с 248 до 230. Для исследованных метеостанций снижение показателя $FD0$ варьировало от 14 до 21 дня (или 5-9%); наиболее интенсивно период с заморозками сократился на северо-западе округа.

2) На всей территории восточноевропейских тундр продолжительность периода вегетации (с температурой ≥ 5 °С) увеличилась в среднем на 2 недели. Для исследованных метеостанций показатель TM5a вырос на 11-19 дней (или 11-37%); наиболее сильно продолжительность периода вегетации возросла на востоке округа.

3) На всей территории восточноевропейских тундр годовая сумма активных температур увеличилась в среднем на 85 °С. Для исследованных метеостанций рост показателя GDDgrow варьировал от 38 до 131 °С (или 16-36%); наибольший рост суммы накопленного тепла за период вегетации (с температурой >5 °С) отмечен на востоке округа.

Таблица 1. Значения климатических индексов для территории восточноевропейских тундр за два 30-летних периода

Метеостанция		Климатические индексы					
		FDO		TM5a		GDDgrow	
Индекс	Название	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
20946	Им. Е.К. Федорова	266	252	45	56	113	151
22095	Колгуев Северный	250	230	71	89	257	333
22165	Канин Нос	230	209	95	107	358	415
22271	Шойна	228	210	106	118	505	593
22292	Индига	234	216	100	115	512	609
23022	Амдерма	274	257	52	71	212	289
23114	Мыс Константиновский	254	234	83	100	395	526
23205	Нарьян-Мар	239	225	104	116	647	750
23219	Хоседа-Хард	255	237	97	110	602	698

Примечание. Сокращения климатических индексов расшифрованы в разделе «Материалы и методы».

Все тренды по изменению климатических индексов являются статистически значимыми (p -value <0.03), что позволяет сделать вывод о последовательном улучшении климатических показателей, значимых для растений. Уменьшение годового числа заморозков, увеличение периода вегетации и суммы накопленного за этот период тепла благоприятствуют распространению растений на север.

Динамика флористического разнообразия

Ранее были опубликованы списки видов 18 локальных флор на островах (Колгуев, Вайгач, Долгий) и в приморских районах Большеземельской и Малоземельской тундр и шести – на западе Большеземельской тундры, выявленных в период с 1995 по 2017 гг. [Лавриненко и др., 2016, 2019]. Число видов в них варьирует от 120-167 – во флорах Малоземельского побережья Баренцева моря до 226 – в лесотундре (“Ортина”). К флорам арктического типа ($>40\%$ видов арктической фракции) относятся локальные флоры островов, к флорам бореального типа ($>40\%$ – бореальной фракции) – расположенные в подзоне южных тундр и лесотундре (“Хайпудырская губа”, “Шапкина”, “Ортина”), а также вблизи эстуария р. Печоры (“Гусинец”, “Костяной Нос”, “Ловецкий”, “Болванский Нос”, “Болванская губа”, “Хыльчюю”). Остальные флоры побережья (“Тобседа”, “Кузнецкая”, “Хабуйка”, “Двойничная”, “Хэхэганьяха” и “Паханческая губа”), где ни одна из фракций не включает 40% видов – гипоарктические (Рис. 1).

По результатам работ 2019-2020 гг. пять локальных флор дополнены 67 таксонами, кроме того найдено пять заносных видов (Таблица 2). Относительно бедные приморские флоры “Кузнецкая” и “Ловецкий”, для которых было известно 120 и 140 видов, соответственно [Лавриненко и др., 2016] увеличились незначительно – на два и девять видов; “Шапкина” и “Гусинец” с ранее установленными 190 и 209 видами [Лавриненко и др., 2019] дополнены 23 и 18 таксонами; “Болванский Нос” с наиболее насыщенной флорой – 222 вида [Лавриненко и др., 2016] за счет новых находок (33 вида и один подвид) стала одной из самых богатых для своих зональных позиций (северная полоса южных тундр) и в целом тундр Ненецкого автономного округа – 255 видов.

Таблица 2. Находки новых видов в пяти локальных флорах восточноевропейских тундр в 2019-2020 гг.

Таксон	Географическая группа		Локальные флоры и их номера на картосхеме				
	Долготная	Широтная	Гусинец	Ловецкий	Кузнецкая	Болванский Нос	Шапкина
			1	2	3	4	5
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8
<i>Botrychiaceae</i>							
<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw.	КСМ	ПЛ	.	.	.	.	+
<i>Equisetaceae</i>							
<i>Equisetum variegatum</i> Schleich. ex Web. et Mohr	Ц	ГА-М	.	.	.	+	.
<i>Lycopodiaceae</i>							
<i>Lycopodium annotinum</i> L. s. str.	Ц	ГА-М	+*	.	.	.	.
<i>Sparganiaceae</i>							
<i>Sparganium angustifolius</i> Michx.	Еаз	Б	+*	+*	.	.	.
<i>Potamogetonaceae</i>							
<i>Potamogeton alpinus</i> Balb.	Цг	ПЛ	+	.	.	+	.
<i>P. berchtoldii</i> Fieb.	пКСМ	ПЛ	+	+	.	+	.
<i>P. perfoliatus</i> L.	КСМ	ПЛ	.	.	.	+	.
<i>P. praelongus</i> Wulf.	Цг	ПЛ	.	.	.	+	.
<i>P. pusillus</i> L.	Цг	Пл	+*	.	.	.	.
<i>P. sibiricus</i> A. Benn.	С-А	ГА	+*	+*	.	+*	.
<i>Stuckenia filiformis</i> (Pers.) Börner	вА-Евр	ПЛ	.	.	.	+*	.
<i>Alismataceae</i>							
<i>Sagittaria natans</i> Pall.	Цг	ПЛ	+*	.	.	.	.
<i>Poaceae</i>							
<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub	Евр-С	Б	.	.	.	+	.
<i>Trisetum sibiricum</i> Rupr. s. str.	вЕаз-ЗА	Б	.	.	.	.	+
<i>Agrostis stolonifera</i> L. subsp. <i>straminea</i> (C. Hartm.) Tzvel.	пЕвр	ГА	.	.	.	+	.
<i>Phleum alpinum</i> L.	пЦ	ГА-М	+	.	.	.	+
<i>Arctophila fulva</i> (Trin.) Anderss.	Ц	пА	.	+	.	.	.
<i>Dupontia psilosantha</i> Rupr.	Ц	А	.	.	.	+	.
<i>Puccinellia distans</i> (Jacq.) Parl.	Евр	Б	.	.	.	+	.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Еаз	Б	.	.	.	+*	+*
<i>Cyperaceae</i>							
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schult.	пБ	Б	+*	.	.	.	.
<i>Carex aquatilis</i> Wahlenb. subsp. <i>stans</i> (Drej.) Hult.	Ц	МА	.	.	.	+	.
<i>C. lapponica</i> O. Lang	Еаз-ЗА	ГА-М	.	.	.	.	+
<i>C. maritima</i> Gunn.	Ц	пА	.	.	.	+*	.
<i>C. norvegica</i> Retz.	Ц	ГА-М	.	.	.	.	+*
<i>C. parallela</i> (Laest.) Sommerf. subsp. <i>redowskiana</i> (C. A. Mey.) Egor.	еС	АБ	.	.	.	+	.
<i>C. rostrata</i> Stokes	Цб	Б	.	.	.	+*	.
<i>Lemnaceae</i>							
<i>Lemna trisulca</i> L.	КСМ	ПЛ	.	+	.	+	.
<i>Juncaceae</i>							
<i>Juncus bufonius</i> L. s. l.	Цг	ПЛ	+*	.	.	.	+*
<i>J. nodulosus</i> Wahlenb.	Цб	Б	.	.	.	+*	.
<i>Luzula arcuata</i> (Wahlenb.) Sw.	Евр	ГА	.	.	.	.	+
<i>Orchidaceae</i>							
<i>Corallorrhiza trifida</i> Chatel.	Цб	Б	.	.	+	.	.

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Listera cordata</i> (L.) R. Br.	Цб	Б	.	.	.	+	.
<i>Coeloglossum viride</i> (L.) C. Hartm.	Цб	АБ	.	.	.	.	+
<i>Salicaceae</i>							
<i>Populus tremula</i> L.	Еаз	Б	.	.	.	.	+
<i>Salix polaris</i> Wahlenb.	Еаз-3А	МА	.	.	.	+	.
<i>Betulaceae</i>							
<i>Betula nana</i> L. × <i>B. czerepanovii</i> Orlova	Евр-3С	ГА-М	.	+	.	.	.
<i>Polygonaceae</i>							
<i>Rumex acetosella</i> L.	пЕвр	ПЛ	.	.	.	3	.
<i>Portulacaceae</i>							
<i>Montia fontana</i> L.	пЦб	АБ	.	.	.	+	.
<i>Caryophyllaceae</i>							
<i>Stellaria calycantha</i> (Ledeb.) Bong. s. l.	пЦ	ГА	+	.	.	.	.
<i>S. crassifolia</i> Ehrh.	Цб	АБ	.	.	+	.	+
<i>S. nemorum</i> L.	Евр	БН	+	.	.	.	.
<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	Еаз	Б	.	.	.	3	.
<i>Gastrolychnis angustiflora</i> Rupr. s. str.	Еаз	А	.	.	.	.	+
<i>Ranunculaceae</i>							
<i>Ranunculus samojedorum</i> Rupr.	Ц	А	.	.	.	+	.
<i>Brassicaceae</i>							
<i>Subularia aquatica</i> L.	пЦб	Б	+	.	.	.	.
<i>Saxifragaceae</i>							
<i>Saxifraga hirculus</i> L.	Цб	АБ	.	.	.	.	+
<i>Grossulariaceae</i>							
<i>Ribes hispidulum</i> (Jancz.) Pojark.	вЕвр-С	Б	.	.	.	.	+
<i>Fabaceae</i>							
<i>Trifolium pratense</i> L. s. l.	Евр-С	Б	.	.	.	.	+
<i>T. repens</i> L.	пЕвр	Б	.	.	.	.	3
<i>Lathyrus japonicus</i> Willd. subsp. <i>pubescens</i>							
Коробков	АО	ГА	.	.	.	+	.
<i>Callitrichaceae</i>							
<i>Callitriche hermaphroditica</i> L.	пЦб	Б	+	.	.	+	.
<i>C. palustris</i> L.	Цб	АБ	.	.	.	+	.
<i>Onagraceae</i>							
<i>Epilobium hornemannii</i> Reichenb.	АО	ГА	.	.	.	.	+
<i>Haloragaceae</i>							
<i>Myriophyllum sibiricum</i> Kom.	Цб	Б	.	+	.	+	.
<i>M. verticillatum</i> L.	Цг	ПЛ	+	+	.	+	.
<i>Hippuridaceae</i>							
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	Цг	ПЛ	.	.	.	+	+
<i>Apiaceae</i>							
<i>Cicuta virosa</i> L.	Еаз	Б	.	+	.	+	.
<i>Gentianaceae</i>							
<i>Comastoma tenellum</i> (Rottb.) Toyokuni	Ц	АЛ	.	.	.	+	.
<i>Menyanthaceae</i>							
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Ц	Б	.	.	.	.	+
<i>Polemoniaceae</i>							
<i>Polemonium boreale</i> Adams	пЦ	МА	.	.	.	.	+
<i>Scrophulariaceae</i>							
<i>Limosella aquatica</i> L.	КСМ	ПЛ	+	.	.	.	.
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	Евр-3С	Б	.	.	.	.	+
<i>Asteraceae</i>							
<i>Filaginella uliginosa</i> (L.) Opiz	сЕаз	Б	+	.	.	.	.
<i>Ptarmica salicifolia</i> (Bess.) Serg.	Евр-С	Б	.	.	.	+	.
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	Еаз (КСМ)	Б	3	.	.	.	.
<i>Petasites radiatus</i> (J. F. Gmel.) Toman	вЕвр-С	АБ	.	.	.	+	.
<i>Tephrosia palustris</i> (L.) Reichenb.	пЦб	АБ	.	.	.	+	.
<i>Ligularia sibirica</i> (L.) Cass. subsp. <i>arctica</i> (Pojark.)							
V. Sergienko	вЕвр	ГА	.	.	.	.	+
<i>Carduus crispus</i> L.	Еаз	Б	.	.	.	3	.
<i>Hieracium</i> agg. <i>laevigatum</i> Willd.	Евр-3С	Б	+	.	.	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>H. agg. umbellatum</i> L.	Еаз-ЗА	Б	.	.	.	.	+
Число видов (в том числе заносных)			18 (1)	9	2	37 (3)	24 (1)

Примечание. Аббревиатура долготных групп. Фракция с циркум ареалами: Ц – циркумполярные и пЦ – почти циркумполярные, Цб – циркумбореальные и пЦб – почти циркумбореальные, Цг – циркумголарктические, КСМ – космополитные и пКСМ – почти космополитные; Амфиокеаническая фракция: АО – собственно амфиокеанические, вА-Евр – восточноамериканско-европейские; Евразийская фракция: Еаз – собственно евразийские, сЕаз – то же, но как сорные занесены и в другие районы, Еаз-ЗА – евразийско-западноамериканские, вЕаз-ЗА – восточноевразийско-западноамериканские, Евр-С – евросибирские, вЕвр-С – восточноевропейско-сибирские; Европейская фракция: Евр – европейские, пЕвр – преимущественно европейские, Евр-зС – европейско-западносибирские, вЕвр – восточноевропейские; Азиатская фракция: еС – сибирские, но заходящие на северо-восток европейской части, С-А – сибирско-американские. Аббревиатура широтных групп. Арктическая фракция: А – арктические и пА – преимущественно арктические, МА – метаарктические, АЛ – арктоальпийские; Гипоарктическая фракция: ГА – гипоарктические, ГА-М – гипоарктомонтанные; Бореальная фракция: Б – бореальные, БН – бореально-неморальные, АБ – арктобореальные, ПЛ – плюризональные. Звездочкой отмечены таксоны, обнаруженные впервые вдали от прежних местонахождений; з – заносные виды.

Большинство из вновь обнаруженных в этих пяти локальных флорах таксонов – 46 из 67 (или 69%) принадлежат бореальной фракции. Это, по-видимому, не случайно, что можно продемонстрировать на примере наиболее полно выявленных ранее локальных флор, таких как “Болванский Нос”, где в 1999 и 2014 гг. были проведены тщательные гербарные сборы. Она была отнесена к бореальному типу (44% таксонов – бореальной фракции, при равном участии арктической и гипоарктической – по 28%). Среди 34 видов, вновь обнаруженных в 2020 г., 24 (или 71%) – виды южных широтных групп. После новых находок соотношение географических элементов в локальной флоре увеличилось в сторону бореальной фракции еще значительно: 48, 26 и 26%, соответственно. В этой флоре, кроме того, отмечено три новых бореальных заносных вида (*Carduus crispus*, *Oberna behen* и *Rumex acetosella*), обнаруженных на рекультивированной территории бывшей метеостанции.

В пяти локальных флорах есть 22 таксона (отмечены в таблице звездочкой), на которые следует обратить внимание. Они найдены вдали от прежних местонахождений, отмеченных ранее во флористических сводках [Арктическая..., 1960-1987; Флора..., 1974-1979]. Еще больше таких видов в опубликованных ранее локальных флорах [Лавриненко и др., 2016, 2019], где они также отмечены звездочками в таблицах. Ниже мы приводим эти виды, всего – 64, с краткой аннотацией и указанием на принадлежность к широтной фракции.

Так, на о-ве Колгуев в период 2005-2013 гг. обнаружены бореальные виды, индицирующие северный предел их распространения на Европейском Севере: *Aster sibiricus* – песчаный аллювий по берегам рек, “Бугрянка” и “Средняя Песчанка”; *Bromopsis inermis*, *Catabrosa aquatica* и *Dryopteris carthusiana* – окрестности пос. Бугрино, “Бугрянка”; *Carex capillaris* – пятна суглинка в пятнистых моховых тундрах, “Бугрянка” и “Нижняя Песчанка”; *Galium uliginosum* и *Salix viminalis* – пойменный ивняк, “Бугрянка”; *Ranunculus reptans* – суглинистое дно пересохшего озера, “Средняя Песчанка”; *Stuckenia filiformis* – мелководье реки, “Средняя Песчанка” и “Нижняя Песчанка”. Значительно меньше на острове отмечено новых таксонов арктической (*Carex bicolor*, *Gentianella aurea*, *Poa arctica* var. *vivipara*) и гипоарктической [*Potamogeton sibiricus*, *Stellaria calycantha*] фракции.

На о-ве Вайгач в “Лямчина” в 2004 и 2010 гг. впервые найдены: бореальные *Equisetum pretense* – южный склон террасы, и *Montia fontana* – соленые марши; арктические *Cassiope tetragona*, *Draba pohlei* и *Festuca brachyphylla* s. str. – дриадово-моховые тундры (в региональной флоре были не известны или известны по единственным образцам с хр. Пай-Хой); гипоарктический *Hippuris tetraphylla* – мелкие водоемы на соленых маршах.

В эстуарии р. Печоры, Болванской губе, водоемах и водотоках прилегающих тундр обнаружены макрофиты, впервые отмеченные на территории восточноевропейских тундр: бореальные *Myriophyllum verticillatum* – “Гусинец”, “Ловецкий”, “Болванский Нос”; *M. sibiricum* и *Stuckenia filiformis* – там же, а также “Хыльчую” и “Двойничная”; *S. pectinata* – “Гусинец” и “Двойничная”; *Sparganium angustifolius* – “Гусинец” и “Ловецкий”; *Potamogeton friesii* – “Болванская губа”; *P. pusillus* и *Sagittaria natans* – “Гусинец”; *Eleocharis palustris* – “Гусинец”, “Болванский Нос” и “Болванская губа”; *Naumburgia thyrsoflora* – “Гусинец”. Подтверждено местонахождение в нижнем

течении р. Печора редкого бореального вида *Subularia aquatica* – “Гусинец”. Лишь три впервые найденных вида относятся к другим фракциям: гипоарктические *Potamogeton sibiricus* – мелководные водоемы, “Гусинец”, “Ловецкий”, “Болванский Нос” и *Lathyrus japonicus* subsp. *pubescens* – приморские песчано-галечные валы, “Болванский Нос”; арктический *Carex maritima* – берег Печорской губы, “Болванский Нос”.

Далеко на север от ранее отмеченных мест произрастания найдены бореальные: *Calamagrostis epigeios* – песчаные дюны на Малоземельском побережье Баренцева моря, “Тобседа”; *Cicuta virosa* – песчаные отмели и околводные осоковые заросли, “Гусинец”, “Ловецкий”, “Болванский Нос”; *Dactylis glomerata* – пойменные луга, “Болванский Нос”, “Шапкина”; *Eleocharis quinqueflora* – молодой аллювий в пойме реки, “Шапкина”; *Filaginella uliginosa* – илистые берега проток, подтопляемые в приливы, “Гусинец”; *Juncus bufonius* s. l. – песчаные и илистые берега рек и проток, “Гусинец”, “Двойничная”, “Шапкина”; *J. nodulosus* – аналогичные местообитания, “Болванский Нос”; *Listera cordata* – ивняки, “Болванский Нос”, “Двойничная”; *Lycopodium annotinum* s. str., *Orthilia obtusata* и *Stellaria nemorum* – заросли ольховника, “Гусинец” (о-в Кашин); *Picea obovata* – отдельные молодые деревья в устье р. Море-Ю, “Хайпудырская губа”, стланик с отдельными стволами до 1 м, выс. на южном склоне сопки, “Болванский Нос”; *Populus tremula* – долина реки, “Шапкина”; *Sedum purpureum* – пойменный луг, “Гусинец”; *Lathyrus palustris* – пойменный луг, “Хыльчую”. Местонахождение *Alnus fruticosa*, образующего заросли на о-ве Кашин (“Гусинец”), – самое северное из ныне известных в регионе, и индицирует границу ареала вида. Местонахождение *Pinus sylvestris* в “Ортина” – самое северное в Большеземельской тундре.

Находки сибирско-западноамериканского бореального вида *Elymus macrourus* на пойменных лугах в “Хыльчую” и “Хайпудырская губа” и сибирско-американского гипоарктического *Salix pulchra* – на пятнах суглинка в зональных кустарничково-моховых тундрах в “Паханческая губа” и “Хэханьяха” являются самыми западными точками их ареалов. *Salix herbacea* – восточноамериканско-европейский арктический вид, широко распространенный в тундрах западнее р. Печоры, обнаружен и восточнее – в “Болванский Нос” и “Двойничная”, где растет на склонах сопки в сообществах черники и дерена.

Благодаря новым местонахождениям гипоарктических таксонов, растущих на маршах Большеземельского побережья Баренцева моря, значительно расширен их ареал на восток (ранее восточная граница проходила по Тиманской и Малоземельской тундре): *Plantago maritima* subsp. *subpolaris* – “Двойничная”, “Паханческая губа”, “Хайпудырская губа”; *Carex salina* – там же, а также “Хыльчую” и “Болванская губа”; *Juncus gerardii* subsp. *atrofuscus* – “Хыльчую”, “Хайпудырская губа”, *Primula finmarchica* – “Хыльчую” и “Двойничная”. Бореальный *Triglochin maritimum*, основной ареал которого также простирается вдоль побережий Белого и Баренцева морей на восток до р. Индиги, а в отрыве от него была отмечена популяция на Хайпудырской губе, недавно обнаружен и в других приморских локальных флорах Большеземельской тундры – “Хыльчую”, “Двойничная”, “Паханческая губа”.

Впервые в Большеземельской тундре найдены редкие на европейском Севере гипоарктические виды: *Carex norvegica* – моховые тундры и сырые пятна грунта, “Хэханьяха” и “Шапкина”, и *Minuartia stricta* – аналогичные местообитания, “Хэханьяха” и “Паханческая губа”. Редко отмечаемый в районе (возможно, из-за малозаметности растений) гипоарктический вид *Selaginella selaginoides* найден на замоховелых мелкотравных лугах и бечевниках, “Хэханьяха”, “Хайпудырская губа”. В западной части Большеземельской тундры много находок сделано для гипоарктических видов, которые ранее там не отмечались: *Equisetum variegatum* – ивово-моховые тундры и сырые участки по берегам рек, “Хыльчую”, “Двойничная”, “Хэханьяха”, “Шапкина”; *Eriophorum brachyantherum* – пятна суглинка в зональных осоково-моховых тундрах, “Болванский Нос”, “Хэханьяха”, “Паханческая губа”; *Stellaria calycantha* – заболоченные и разнотравные ивняки, ольховники, “Хыльчую”, “Двойничная”, “Шапкина”, “Ортина”; последний вид обнаружен также на о-ве Кашин (“Гусинец”). Впервые на о-ве Ловецкий в Печорской губе (“Ловецкий”) в ивово-моховых сообществах обнаружена популяция редкого арктического вида *Ranunculus spitzbergensis*, известного ранее только с о-ва Колгуев. Впервые в Большеземельской тундре (“Хэханьяха”) на нивальных глинистых склонах найден арктический вид *Phippsia algida*.

Таким образом, из 64 видов, найденных вдали от прежних границ ареалов, 40 (или 62%) – это виды бореальной фракции (Рис. 2). Большая часть таких видов проникает на север по долинам рек, текущих в меридиональном направлении с юга на север (Печора и ее притоки, Море-Ю, Нерута). Особенно впечатляет, как далеко на север от своих прежних местонахождений отмечены некоторые водные и прибрежно-водные растения – *Cicuta virosa*, *Eleocharis palustris*, *E. quinqueflora*, *Filaginella*

uliginosa, *Juncus bufonius*, *J. nodulosus*, *Myriophyllum sibiricum*, *M. verticillatum*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Potamogeton friesii*, *P. pusillus*, *P. sibiricus*, *Sagittaria natans*, *Sparganium angustifolium*, *Stuckenia filiformis*. Многие из них не просто встречаются отдельными экземплярами, а формируют сообщества и отличаются высокой жизненностью [Лавриненко и Лавриненко, 2018; Лавриненко и Дьячкова, 2021]. В прошлом веке большинство этих видов были известны из средней/южной частей Республики Коми [Арктическая..., 1960-1987; Флора..., 1974-1979] и для территории восточноевропейских тундр приводятся впервые. Долины рек, текущих в меридиональном направлении с юга на север, также являются коридором для миграции луговых растений – *Dactylis glomerata*, *Lathyrus palustris*, *Sedum purpureum*. Новые местонахождения древесных видов (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Alnus fruticosa*) могут рассматриваться как свидетельство их продвижения на север по долинам рек из полосы лесотундры и расположенных южнее “лесных островов”.

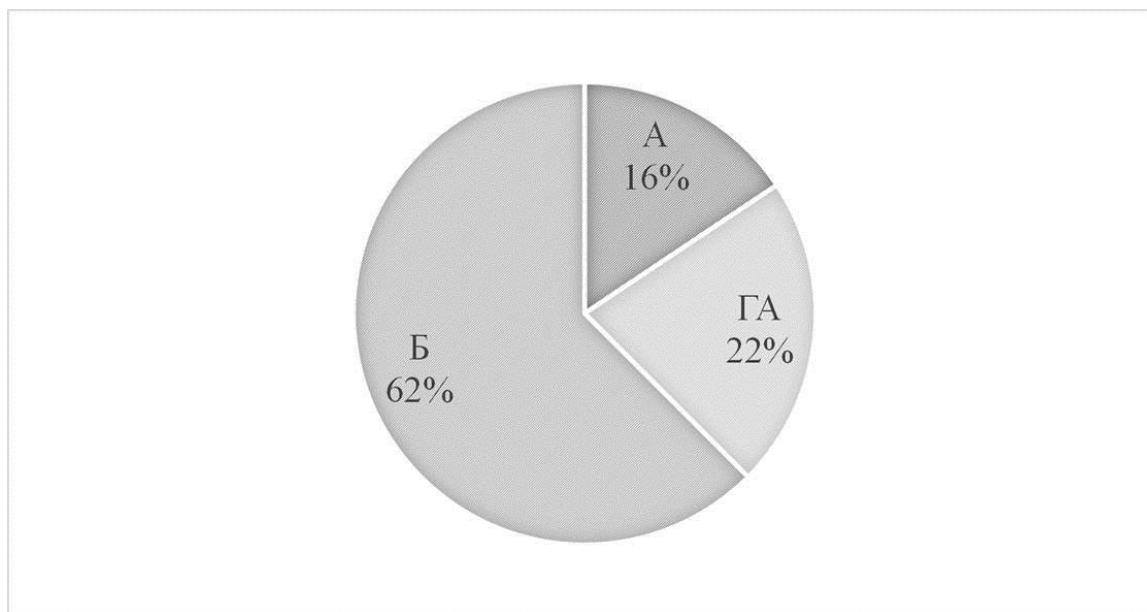


Рисунок 2. Доля видов (в %) арктической (А), гипоарктической (ГА) и бореальной (Б) фракций среди 64 видов растений, обнаруженных в 24 локальных флорах впервые вдали от прежних границ ареалов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание сети локальных флор в целях мониторинга биоразнообразия должно основываться на как можно более полном выявлении растений. За один полевой сезон сделать это не представляется возможным, поэтому важно публиковать дополнения к флорам, установленные в последующие годы работ в тех же местах. Настоящая работа проведена как продолжение ботанических исследований, предпринятых авторами ранее.

Своеобразие любой флоре придают, как правило, редкие, представленные изолированными и малочисленными популяциями виды. Далеко не все из них нуждаются в особых мерах охраны и включены в региональную Красную книгу. Тем не менее, на таких видах, обнаруженных впервые вдали от ранее известных границ их ареалов, важно акцентировать внимание. Их появление в районах с хорошо выявленными ранее флорами может свидетельствовать о миграциях из других, более южных территорий, и они могут индцировать происходящие климатические изменения.

Климат в восточноевропейских тундрах за последние 30 лет потеплел, как и во всей Арктике. Выявлены статистически значимые тренды по важным для растений индексам – уменьшилось годовое число заморозков, увеличилось число дней вегетации, увеличились суммы накопленного за этот период тепла. Последовательное улучшение климатических показателей, значимых для растений, благоприятствуют распространению на север видов из южных районов.

Анализ таксономического состава 24 локальных флор на островах и материке в восточноевропейском секторе Арктики позволил установить 64 вида растений, которые обнаружены впервые вдали от прежних указаний на местонахождения в основных сводках прошлого столетия. Основная часть (62%) этих видов принадлежит южным широтным группам. Еще больше доля видов

бореальной фракции (71%) – среди новых находок, сделанных во флоре “Болванский Нос”, расположенной в устье р. Печора, которая была повторно изучена в 2020 г. спустя шесть лет после последнего посещения. Наиболее вероятные причины таких изменений в локальных флорах – активное естественное расселение видов по долинам рек на фоне потепления климата, что ранее установлено и для сибирского сектора Арктики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим А.А. Боброва (ИБВВ РАН) за определение некоторых водных растений, директора С.А. Золотого и инспекторов заповедника «Ненецкий» за помощь при проведении экспедиций. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН по теме № 122041100242-5. Исследование выполнено за счёт гранта РФФИ (проект № 20-17-00160).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арктическая флора СССР. I-X. 1960-1987. М.; Л. [Arkticheskaya flora SSSR. I-X. 1960-1987. M.; L. (in Russian)]
- Булгыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. URL. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 31.01.2022). [Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR). Certificate of state registration of the database No. 2014620942. URL. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (date of access: 01/31/2022).]
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. 2021. Москва. 104 с. URL. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (дата обращения: 01.02.2022). [Report on climate features in the Russian Federation for 2020. 2021. Moscow. 104 P. URL. http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (date of access: 02/01/2022). (in Russian)]
- Королева Т.М., Гоголева П.А., Петровский В.В., Зверев А.А., Троева Е.И. 2019. Мониторинг локальной флоры в окрестностях поселка Чокурдах (Северо-Восток Якутии) // Ботанический журнал. Т. 104. № 9. С. 1386-1420. DOI:10.1134/S0006813619090084 [Koroleva T.M., Gogoleva P.A., Petrovskii V.V., Zverev A.A., Troeva E.I. 2019. Monitoring lokal'noi flory v okrestnostyakh poselka Chokurdakh (Severo-Vostok Yakutii) // Botanicheskii Zhurnal. V. 104. N. 9. P. 1386-1420. DOI:10.1134/S0006813619090084 (in Russian)]
- Лавриненко И.А., Лавриненко О.В. 2017а. Заболоченные сообщества мониторинговых площадок стационара «Болванский» // Материалы международного полевого симпозиума «Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации в зоне многолетней мерзлоты» (Инта-Сыктывкар-Нарьян-Мар, 22 июля – 4 августа 2017 г.). Сыктывкар. С. 91-93. [Lavrinenko I.A., Lavrinenko O.V. 2017a. Zabolochennyye soobshchestva monitoringovykh ploshchadok statsionara «Bolvanskii» // Materialy mezhdunarodnogo polevogo simpoziuma «Bolotnye ekosistemy Severo-Vostoka Evropy i problemy ekologicheskoi restavratsii v zone mnogoletnei merzloty» (Inta-Syktivkar-Nar'yan-Mar, 22 iyulya – 4 avgusta 2017 g.). Syktivkar. P. 91-93. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Дьячкова Т.В. 2021. Водная и прибрежно-водная растительность эстуария реки Печоры и водоемов прилегающих тундр // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. Вып. 9. Т. 12. №6. С. 35-44. DOI:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.004 [Lavrinenko O.V., D'yachkova T.V. 2021. Vodnaya i pribrezhno-vodnaya rastitel'nost' estuariya reki Pechory i vodoemov prilgayushchikh tundr // Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Prikladnaya ekologiya Severa. Вып. 9. Т. 12. N. 6. P. 35-44. DOI:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.004 (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2004. Фитоиндикация изменений климата на северо-востоке европейской части России // География и природные ресурсы. № 2. С. 54-61. [Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2004. Fitoindikatsiya izmenenii klimata na severo-vostoke evropeiskoi chasti Rossii // Geography and Natural Resources. N. 2. P. 54-61. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2017б. Стабильность тундровых сообществ в изменяющемся климате // Растения в холодном регионе. Сборник материалов Всерос. научно-практической конференции (Якутск, 20-21 октября 2016 г.). Якутск. С. 140-149. [Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2017b. Stabil'nost' tundrovyykh soobshchestv v izmenyayushchemsya klimate // Rasteniya v kholodnom regione. Sbornik materialov Vseros. nauchno-prakticheskoi konferentsii (Yakutsk, 20-21 oktyabrya 2016 g.). Yakutsk. P. 140-149. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Лавриненко И.А. 2018. Классификация растительности соленых и солоноватых маршей Большеземельской тундры (побережье Баренцева моря) // Фиторазнообразие Восточной Европы. Т. 12. №3. С. 82-143. DOI:10.24411/2072-8816-2018-10028 [Lavrinenko O.V., Lavrinenko I.A. 2018. Klassifikatsiya rastitel'nosti solenykh i solonovatykh marshei Bol'shezemel'skoi tundry (poberezh'e Barentseva morya) // Fitoraznoobrazie Vostochnoi Evropy. V. 12. N. 3. P. 82-143. DOI:10.24411/2072-8816-2018-10028 (in Russian)]
- Лавриненко О.В. и Лавриненко И.А. 2020. Стабильность состава и структуры тундровых сообществ в изменяющемся климате // Тез. докл. международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики» (Санкт-Петербург, 2-4 марта 2020 г.). СПб: ГИЦ РФ ААНИИ. С. 387-391. [Lavrinenko O.V. i Lavrinenko I.A. 2020. Stabil'nost' sostava i struktury tundrovyykh soobshchestv v izmenyayushchemsya klimate // Tez. dokl. mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Kompleksnyye issledovaniya prirodnoi sredy Arktiki i Antarktiki» (Sankt-Peterburg, 2-4 marta 2020 g.). SPb: GNTs RF AANII. P. 387-391. (in Russian)]

- Лавриненко О.В., Петровский В.В., Лавриненко И.А. 2016. Локальные флоры островов и побережья юго-восточной части Баренцева моря // Ботанический журнал. Т. 101. №10. С. 1144-1190. [Lavrinenko O.V., Petrovskii V.V., Lavrinenko I.A. 2016. Lokal'nye flory ostrovov i poberezh'ya yugo-vostochnoi chasti Barentseva morya // Botanicheskii Zhurnal. V. 101. N. 10. P. 1144-1190. (in Russian)]
- Лавриненко О.В., Петровский В.В., Лавриненко И.А. 2019. Новые локальные флоры и материалы к флористическому районированию восточноевропейских тундр // Ботанический журнал. Т. 104. №1. С. 58-92. DOI:10.1134/S0006813619010083 [Lavrinenko O.V., Petrovskii V.V., Lavrinenko I.A. 2019. Novye lokal'nye flory i materialy k floristicheskomu raionirovaniyu vostochnoevropeiskikh tundr // Botanicheskii Zhurnal. V. 104. N. 1. P. 58-92. DOI:10.1134/S0006813619010083 (in Russian)]
- Малкова Г.В. 2010. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли. Т. 14. № 3. С. 3-14. [Malkova G.V. 2010. Monitoring srednegodovoi temperatury porod na stacionare Bolvanskii // Earth's Cryosphere. V. 14. N. 3. P. 3-14. (in Russian)]
- Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 2013а. Изменения во флоре сосудистых растений в окрестностях пос. Диксон (Западный Таймыр) за 32 года // Тр. Всерос. научной конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.). Сыктывкар. С. 201-208. [Matveeva N.V., Zanozha L.L. 2013a. Izmeneniya vo flore sosudistykh rastenii v okrestnostyakh pos. Dikson (Zapadnyi Taimyr) za 32 goda // Tr. Vseros. nauchnoi konferentsii «Bioraznoobrazie ekosistem Krainego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana» (Syktyvkar, 3-7 iyunya 2013 g.). Syktyvkar. P. 201-208. (in Russian)]
- Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. 2013б. Стабильность растительного покрова при существенной трансформации ландшафта в тундрах Западного Таймыра // Тр. Всерос. научной конференции «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 3-7 июня 2013 г.). Сыктывкар. С. 96-106. [Matveeva N.V., Zanozha L.L. 2013b. Stabil'nost' rastitel'nogo pokrova pri sushchestvennoi transformatsii landshafta v tundrakh Zapadnogo Taimyra // Tr. Vseros. nauchnoi konferentsii «Bioraznoobrazie ekosistem Krainego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana» (Syktyvkar, 3-7 iyunya 2013 g.). Syktyvkar. P. 96-106. (in Russian)]
- Матвеева Н.В., Заноха Л.Л., Янченко З.А. 2014. Изменения во флоре сосудистых растений в районе Таймырского биогеоценологического стационара (среднее течение реки Пясины, Западный Таймыр) с 1970 по 2010 г. // Ботанический журнал. Т. 99. №8. С. 841-869. [Matveeva N.V., Zanozha L.L., Yanchenko Z.A. 2014. Izmeneniya vo flore sosudistykh rastenii v raione Taimyrskogo biogeotsenologicheskogo stacionara (srednee techenie reki Pyasiny, Zapadnyi Taimyr) s 1970 po 2010 g. // Botanicheskii Zhurnal. V. 99. N. 8. P. 841-869. (in Russian)]
- Поспелов И.Н., Поспелова Е.Б. 2001. Повторная инвентаризация флоры низовой реки Бикады (Яму-Неру, Таймыр) через 70 лет // Ботанический журнал. Т. 86. №5. С. 13-29. [Pospelov I.N., Pospelova E.B. 2001. Povtornaya inventarizatsiya flory nizovii reki Bikady (Yamu-Neru, Taimyr) cherez 70 let // Botanicheskii Zhurnal. V. 86. N. 5. P. 13-29. (in Russian)]
- Секретарева Н.А. 2004. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. Москва. 131 с. [Sekretareva N.A. 2004. Sosudistye rasteniya Rossiiskoi Arktiki i sopredel'nykh territorii. Moskva. 131 P. (in Russian)]
- Секретарева Н.А., Сытин А.К. 2006. Мониторинг флоры окрестностей бухты Тикси (Арктическая Якутия) // Ботанический журнал. Т. 91. № 1. С. 3-22. [Sekretareva N.A., Sytin A.K. 2006. Monitoring flory okrestnostei bukhty Tiksi (Arkticheskaya Yakutiya) // Botanicheskii Zhurnal. V. 91. N. 1. P. 3-22. (in Russian)]
- Тихомиров Б.А., Петровский В.В., Юрцев Б.А. 1966. Флора окрестностей бухты Тикси (арктическая Якутия) // Растения севера Сибири и Дальнего Востока. М.; Л. С. 7-40. [Tikhomirov B.A., Petrovskii V.V., Yurtsev B.A. 1966. Flora okrestnostei bukhty Tiksi (arkticheskaya Yakutiya) // Rasteniya severa Sibiri i Dal'nego Vostoka. M.; L. S. 7-40. (in Russian)]
- Тишков А.А., Белонюшкая Е.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Тертицкий Г.М. 2018. «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты // Арктика: экология и экономика. №2. С. 31-44. DOI:10.25283/2223-4594-2018-2-31-44 [Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Vaisfel'd M.A., Glazov P.M., Krenke A.N., Tertitskii G.M. 2018. «Pozelenenie» tundry kak draiver sovremennoi dinamiki arkticheskoi bioty // ARCTIC: ECOLOGY AND ECONOMY. N. 2. P. 31-44. DOI:10.25283/2223-4594-2018-2-31-44 (in Russian)]
- Флора северо-востока европейской части СССР. 1974-1977. Т. 1-4. Л. [Flora severo-vostoka evropeiskoi chasti SSSR. 1974-1977. V. 1-4. L. (in Russian)]
- Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. 1978. Флористическое ограничение и разделение Арктики. Арктическая флористическая область. Л. С. 9-104. [Yurtsev B.A., Tolmachev A.I., Rebristaya O.V. 1978. Floristicheskoe ogranichenie i razdelenie Arktiki. Arkticheskaya floristicheskaya oblast'. L. P. 9-104. (in Russian)]
- Alexander L., Yang H., Perkins S. 2013. ClimPact. Indices and software. World Climate Programme. New South Wales University of Technology. 52 p.
- Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Comiso J.C., Epstein H.E., Jia G., Gens R., Pinzon J.E., Tucker C.J., Tweedie C.E., Webber P.J. 2010. Circumpolar Arctic Tundra Vegetation Change Is Linked to Sea Ice Decline // Earth Interact. V. 14. №8. P. 1-20. DOI:10.1175/2010EI315.1
- Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Bieniek P.A., Epstein H.E., Comiso J.C., Pinzon J.E., Tucker C.J., Polyakov I.V. 2013. Recent declines in warming and vegetation greening trends over Pan-Arctic tundra // Remote Sens. V. 5. N 9. P. 4229-4254. DOI:10.3390/rs5094229
- Bhatt U.S., Walker D.A., Reynolds M.K., Walsh J.E., Bieniek P.A., Cai L., Comiso J.C., Epstein H.E., Frost G.V., Gersten R. 2021. Climate drivers of Arctic tundra variability and change using an indicators framework // Environ. Res. Lett. V. 16. №5. 055019. DOI:10.1088/1748-9326/abe676
- Callaghan T.V., Christensen T.R., Jantze E.J. 2011. Plant and Vegetation Dynamics on Disko Island, West Greenland: Snapshots Separated by Over 40 Years // Ambio. V. 40. №6. P. 624-637. DOI:10.1007/s13280-011-0169-x
- Daniëls F.J.A., de Molenaar J.G. 2011. Flora and vegetation of Tasiilaq, Formerly Angmagssalik, Southeast Greenland – a comparison of data from between around 1900 and 2007. Ambio. V. 40. №6. P. 650-659. DOI:10.1007/s13280-011-0171-3
- Epstein H.E., Bhatt U.S., Reynolds M.K., Walker D.A., Bieniek P.A., Tucker C.J., Pinzon J., Myers-Smith I.H., Forbes B.C., Macias-Fauria M., Boelman N.T., Sweet S.K. 2017. Tundra Greenness. Arctic Report Card: Update for 2017. URL: <https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2017/ArtMID/7798/ArticleID/695/Tundra-Greenness> (the date of access: 01.02.2022).

- Frost G.V., Macander M.J., Bhatt U.S., Berner L.T., Bjerke J.W., Epstein H.E., Forbes B.C., Goetz S.J., Lara M.J., Park T., Phoenix G.K., Serbin S.P., Tømmervik H., Walker D.A., Yang D. 2021. Tundra Greenness. Arctic Report Card 2021. NOAA Technical Report OAR ARC; 21-08. DOI:10.25923/8n78-wp73
- Gamon J.A., Huemmrich K.F., Stone R.S., Tweedie C.E. 2013. Spatial and temporal variation in primary productivity (NDVI) of coastal Alaskan tundra: decreased vegetation growth following earlier snowmelt // *Remote Sens. Environ.* V. 129. P. 144-153. DOI:10.1016/j.rse.2012.10.030
- Gould W.A., Mercado-Diaz 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.
- Guay K.C., Beck P.S.A., Berner L.T., Goetz S.J., Baccini A., Buermann W. 2014. Vegetation productivity patterns at high northern latitudes: a multi-sensor satellite data assessment // *Global Change Biology.* V. 20. №10. P. 3147-3158. DOI:10.1111/gcb.12647
- 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.* e-First. DOI:10.1139/as-2020-0050
- Jorgenson J.C., Reynolds M.K., Reynolds J.H., Benson A.-M. 2015. Twenty-Five Year Record of Changes in Plant Cover on Tundra of Northeastern Alaska // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* V. 47. №4. P. 785-806. DOI:10.1657/AAAR0014-097
- 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 // *Ecol. Monogr.* V. 89. №2. e01351. URL: <https://www.jstor.org/stable/26641244> (the date of access: 01.02.2022).
- Myers-Smith I.H., Kerby J.T., Phoenix G.K., Bjerke J.W., Epstein H.E., Assmann J.J., John C., Andreu-Hayles L., Angers-Blondin S., Beck P.S.A., Berner L.T., Bhatt U.S., Bjorkman A.D., Blok D., Parker T.C. 2020. Complexity revealed in the greening of the Arctic // *Nat. Clim. Change.* V. 10. №2. P. 106-117. DOI:10.1038/s41558-019-0688-1
- Pospelova E.B., Pospelov I.N., Orlov M.V. 2017. Climate change in Eastern Taimyr over the last 80 years and the warming impact on biodiversity and ecosystem processes in its territory // *Nature Conservation Research. Заповедная наука.* V. 2. №3. P. 48-60. DOI:10.24189/ncr.2017.040
- Post E., Forchhammer M.C. 2008. Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch // *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences.* V. 363. №1501. P. 2369-2375. DOI:10.1098/rstb.2007.2207
- Prach K., Kosnar J., Klimesova J., Hais M. 2010. High Arctic vegetation after 70 years: A repeated analysis from Svalbard // *Polar Biol.* N 33. P. 635-639. DOI:10.1007/s00300-009-0739-6
- Raynolds M.K., Walker D.A., Verbyla D., Munger C.A. 2013. Patterns of change within a tundra landscape: 22-year Landsat NDVI trends in an area of the Northern Foothills of the Brooks Range, Alaska // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* V. 45. №2. P. 249-260. DOI:10.1657/1938-4246-45.2.249
- Sturm M., Racine C., Tape K. 2001. Increasing shrub abundance in the Arctic // *Nature.* №411. P. 546-547.
- Tape K.D., Sturm M., Racine C.H. 2006. The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic // *Global Change Biol.* V. 12. №4. P. 686-702. DOI:10.1111/j.1365-2486.2006.01128.x

*Поступила в редакцию: 19.02.2022
Переработанный вариант: 10.07.2022*