

РЕГИОНАЛЬНЫЕ БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ «БЫСТРЫХ» ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ В XXI В.

А. А. Тишков, Е. А. Белоновская, М. А. Вайсфельд, П. М. Глазов, Е. Г. Лаппо, О. В. Морозова, И. В. Покровская, Г. М. Тертицкий, С. В. Титова, Н. Г. Царевская
ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 21 января 2020 г.

При общем тренде «потепления» в Арктической зоне Российской Федерации до 0,8–0,9°C/10 лет в отдельных регионах климатические изменения проявляются по-разному, а биота реагирует не только с разной скоростью, но и разнонаправленно. Само «позеленение» Арктики проявляется неравномерно и часто за счет разных процессов. Кроме того, «исходные позиции» в состоянии арктической биоты на момент старта «быстрых» изменений климата были неодинаковы в разных регионах. Все это позволяет заключить, что модели, демонстрирующие реакцию экосистем Арктики на потепление (их почти полное исчезновение при продолжающихся трендах температуры уже к концу XXI в.), некорректны, а прогнозы в части биотических изменений неверны. Кроме того, сама методология «прямых» оценок последствий повышения температуры для арктической биоты путем пространственных экстраполяций (смещение границ и замещение одних биомов другими, исчезновение криофильных видов и экспансия на их место термофильных видов растений и животных и пр.) не учитывает региональной специфики наблюдаемых явлений. Именно против такого «механистического» подхода и направлены материалы статьи. В ней рассмотрены региональные биогеографические эффекты изменений климата в Арктике – изменение состава флоры и фауны, ареалов арктических видов, их миграций и пр. Выделено шесть регионов, имеющих разнонаправленные и идущие с разными скоростями процессы трансформации биоты. Показано, что в них температурные тренды и тренды осадков в последние три десятилетия существенно различались и по вектору, и по интенсивности (в два раза и более), что привело к соответствующим различиям в реакции биоты. Полученные результаты важны для выработки стратегии использования биоресурсов, сохранения биоразнообразия российской Арктики и его территориальной охраны.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ), изменения климата, биота, «позеленение», региональные эффекты, распространение, динамика численности и разнообразие флоры и фауны.

Введение

Согласно литературным данным и результатам инструментальных наблюдений интенсивность потепления в Арктике значительно выше среднего уровня по северному полушарию и в целом по планете [1]. Оно оказывает значительное влияние на местные экосистемы и их биоту [2–7]. Биогеографические эффекты — самые наглядные и ожидаемые именно

в Арктике, где тепло — ведущий лимитирующий развитие жизни фактор. Здесь он оказывает влияние на северные пределы распространения флоры и фауны, их состав, динамику, репродукцию и пр. Но прогнозы относительно полного исчезновения экосистем Арктики при потеплении [8] некорректны.

К настоящему времени глобальное потепление уже привело к повышению температуры на планете на 1°C от доиндустриальных показателей [9]. В течение 1936–2018 гг. наблюдается статистически значимый (на 5%-ном уровне) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для

© Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А., Глазов П. М., Лаппо Е. Г., Морозова О. В., Покровская И. В., Тертицкий Г. М., Титова С. В., Царевская Н. Г., 2020

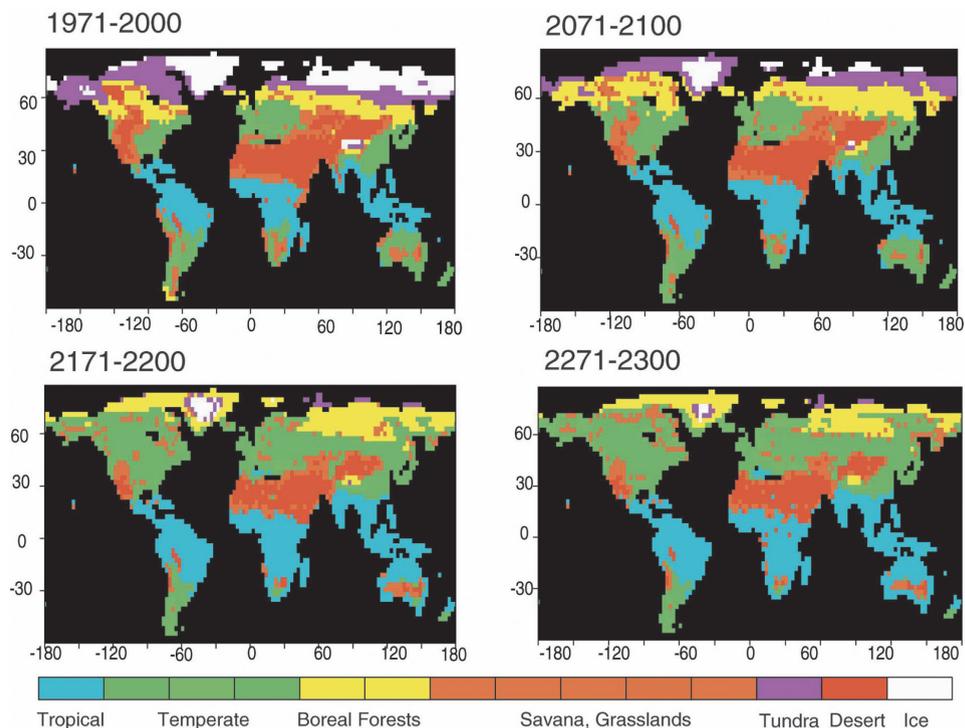


Рис. 1. Рост площадей тропических и умеренных лесов и сокращение площадей тундр и полярных пустынь к 2100–2300 гг. [8]
 Fig. 1. The growth of tropical and temperate forests and reduction of the tundra and polar deserts by 2100–2300 [8]

широтных зон 60—70° и 70—85° с. ш. и в целом для северного полушария. Известно, что повышение планетарной температуры более чем на 1,5—2,5°C является угрозой массовой трансформации лесных площадей в нелесные и наоборот. Для российской Арктики это фактор, определяющий перспективы ближайшего столетия в отношении сохранения тундр и полярных пустынь. Но продвижение леса на север — процесс, требующий столетий, в то время как в отдельных регионах в области типичных тундр наблюдается сочетание климатических параметров, близкое к таковым для северной и средней тайги более чем за 20 лет [1].

Для условий Аляски определено, что между моментом изменения лесорастительных условий и фактическим продвижением леса на север должно пройти приблизительно 200 лет [10]. Тем не менее за последнее столетие мы наблюдаем увеличение численности и смещение ареала некоторых видов животных и экспансию бореальных расте-

Таблица 1. Доля площадей биомов в XX в. и XXI—XXIII вв. (прогноз) [8]

Биом	XX в.	XXI в.	XXII в.	XXIII в.
Тропические леса	22,9	24,6	32,8	34,1
Леса умеренного пояса	21,1	24,3	29,7	30,5
Бореальные леса	7,9	10,6	7,4	7,0
Саванна, граcсланды	11,8	11,8	10,1	10,2
Пустыни	15,3	12,3	11,3	11,6
Тундра	7,7	6,5	2,7	1,8
Полярная пустыня	13,3	7,9	6,0	4,8

ний на Север. В основном эти изменения локальны и часто связаны с внутриландшафтными перестройками и формированием особых условий микроклимата. В то же время в тундрах Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) спутниковые наблюдения показывают общее «позеленение», с высокой степенью достоверности свидетельствующее о повышении продуктивности растений [4—6], которое выступает мощным драйвером изменений фауны и общей дестабилизации среды [7; 11].

Один из сценариев изменения границ биомов к 2100—2300 гг. при продолжающемся глобальном потеплении был просчитан в [8]. Авторы показывают, что обратная связь углеродного цикла с изменением климата со временем увеличивается и скажется на распределении биомов на планете (рис. 1, табл. 1), в том числе арктического.

Непосредственное воздействие потепления на северную границу лесных экосистем и их распространение в сочетании с опосредованным воздействием таких факторов, как участвовавшие пожары, вспышки болезней и вредителей леса, засухи, массовые выруб-ки, уже сейчас приводят к существенному изменению больших территорий бореальных лесов, превращая их в редины или травянистые сообщества. Анализ данных космической съемки показывает участвовавшие пожары также и в тундрах и лесотундре.

Повышение температуры приводит к таянию вечной мерзлоты на больших пространствах. Даже если глобальное потепление будет значительно ниже 2°C, около 25% приповерхностной (на глубине 3—4 м) вечной мерзлоты оттаит по [9] к 2100 г. А если выбросы парниковых газов будут продолжать быстро расти, существует вероятность, что около 70% приповерхностной вечной мерзлоты может быть утрачено. В свою очередь, таяние вечной мерзлоты приводит к изменению почвенных и лесорастительных условий. Вечная мерзлота арктической и бореальной зон содержит огромное количество органического углерода (около 1460—1600 Гт), и разложение этих органических остатков при потеплении является одним из самых значительных факторов, увеличивающих эмиссию углерода из наземных экосистем в атмосферу [9].

В случае арктических регионов Евразии все прогнозы климатических изменений, построенные на динамике чисто физических параметров среды, подразумевают последовательное замещение полярно-пустынных и тундровых биомов более термофильными — бореальными по вектору «Юг-Север». При современных наблюдаемых трендах температуры в АЗРФ уже сейчас можно говорить о существенных сдвигах зональных градиентов на границах зон и подзон. А это подразумевает, что и комплексы биоты (тысячи видов растений и животных) должны меняться. Однако этого не происходит, характерное время таких изменений (климатогенные сукцессии) иное — сотни и первые тысячи лет, т. е. они продолжительнее естественных климатических циклов в Арктике. Нелинейный тренд ответной реакции арктических экосистем на глобальное потепление гарантирует относительную стабильность и сохранение их биоты в будущем.

В соответствии с этим цель настоящей статьи — аргументированно выступить против «механистичного» подхода к прогнозированию будущего арктической биоты в условиях «потепления» и на конкретных примерах рассмотреть региональные биогеографические эффекты изменений климата в АЗРФ — изменения состава флоры и фауны, динамики численности популяций, ареалов видов, их миграций и пр.

Материалы и методы

В основе использованных материалов — данные полевых исследований сотрудников лаборатории биогеографии Института географии РАН, собранные

в 2000-х годах на Кольском полуострове (С. В. Титова), островах и побережье Белого моря (Г. М. Тертицкий), архипелагах Баренцева моря (П. М. Глазов, И. В. Покровская), в Ненецком (П. М. Глазов) и Чукотском (Е. Г. Лаппо) автономных округах (АО) и др. В анализ были включены материалы наших исследований арктической флоры и фауны прошлых лет, литературные материалы, глобальные и региональные данные биогеографических баз данных, в том числе баз данных, которые ведет лаборатория биогеографии Института географии РАН, — по ареалам млекопитающих, локальных флор и инвазийных видов растений. Для синтеза использовались многочисленные литературные источники, включая наши публикации по этой тематике [4—7].

Для анализа динамики северной границы леса использовались данные «Global Land Analysis & Discovery group» Университета Мэриленда (США) ¹ с 2000 г., полученные на основе анализа снимков со спутников Landsat. Данные представляют собой растр разрешением 30×30 м и со значением покрытой лесом площади в процентах для каждого пикселя. Для анализа изменений значения растра 2000 г. были попиксельно вычтены из значений в растре за 2010 г. Получившийся растр содержит значения изменения лесопокрытой площади в процентах за эти 10 лет.

Для сравнительно-географического анализа и пространственного синтеза в оценке биогеографических эффектов изменений климата по выявляемым климатическим трендам выделены регионы АЗРФ: Кольско-Беломорский, Большеземельский (Ненецкий), Ямало-Гыданский, Таймырский, Северо-Якутский, Северо-Чукотский и Южно-Чукотский (табл. 2).

Температурные аномалии в регионах АЗРФ. Термин «температурная аномалия» в настоящей работе означает отклонение от долгосрочного среднего значения температуры воздуха. Положительная аномалия указывает на то, что наблюдаемая температура была теплее референтного значения, в то время как отрицательная аномалия указывает на обратное. Данные о глобальных температурных аномалиях получены из подготовленного Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) глобального набора данных ежемесячных аномалий температуры, приведенных к регулярной сети 5×5° по поверхности суши и океана, — Global Surface Temperature Anomalies Gridded Dataset ², в котором есть данные с 1880 г. по настоящее время. Имеющиеся временные ряды температурных аномалий рассчитаны по отношению к базисному периоду 1981—2010 гг. Этот период используется для того, чтобы соответствовать ре-

¹ <https://glad.umd.edu/>.

² <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/anomalies.php#grid>.

Таблица 2. Климатические тренды XXI в. как критерий биоклиматической дифференциации АЗРФ

Тренд за 10 лет	Регион					
	Кольско-Беломорский	Ненецкий	Ямало-Гыданский	Таймырский	Северо-Якутский	Северо-Чукотский/Южно-Чукотский
Среднегодовой температуры, °С	0,4	0,5	0,6—0,7	0,8—0,9	0,7	0,5/0,2
Средних зимних температур, °С	0,8	0,0—0,2	0,4—0,5	0,7-0,8	0,0—0,2	0,0/-0,5
Средних летних температур, °С	0,2	0,5	0,8—0,9	1,0	0,8—1,0	0,8—1,0/0,8
Высоты снежного покрова, см	-1,0...-2,0	+4,0...+6,0	+4,0...+6,0	+8,0...+10,0	-2,0...-4,0	+10,0/-4,0
Суток без снега, ±сут	0,0...+2,0	0,0...-1,0	-4,0...-6,0	-4,0...-8,0	0,0	-4,0/0,0
Количества осадков (1936—2010), ±мм	+100	+50	-50...-100	-50	-50	-100/+100

комендованной политике Всемирной метеорологической организации, которая предполагает использование данных как среднего за 30 лет.

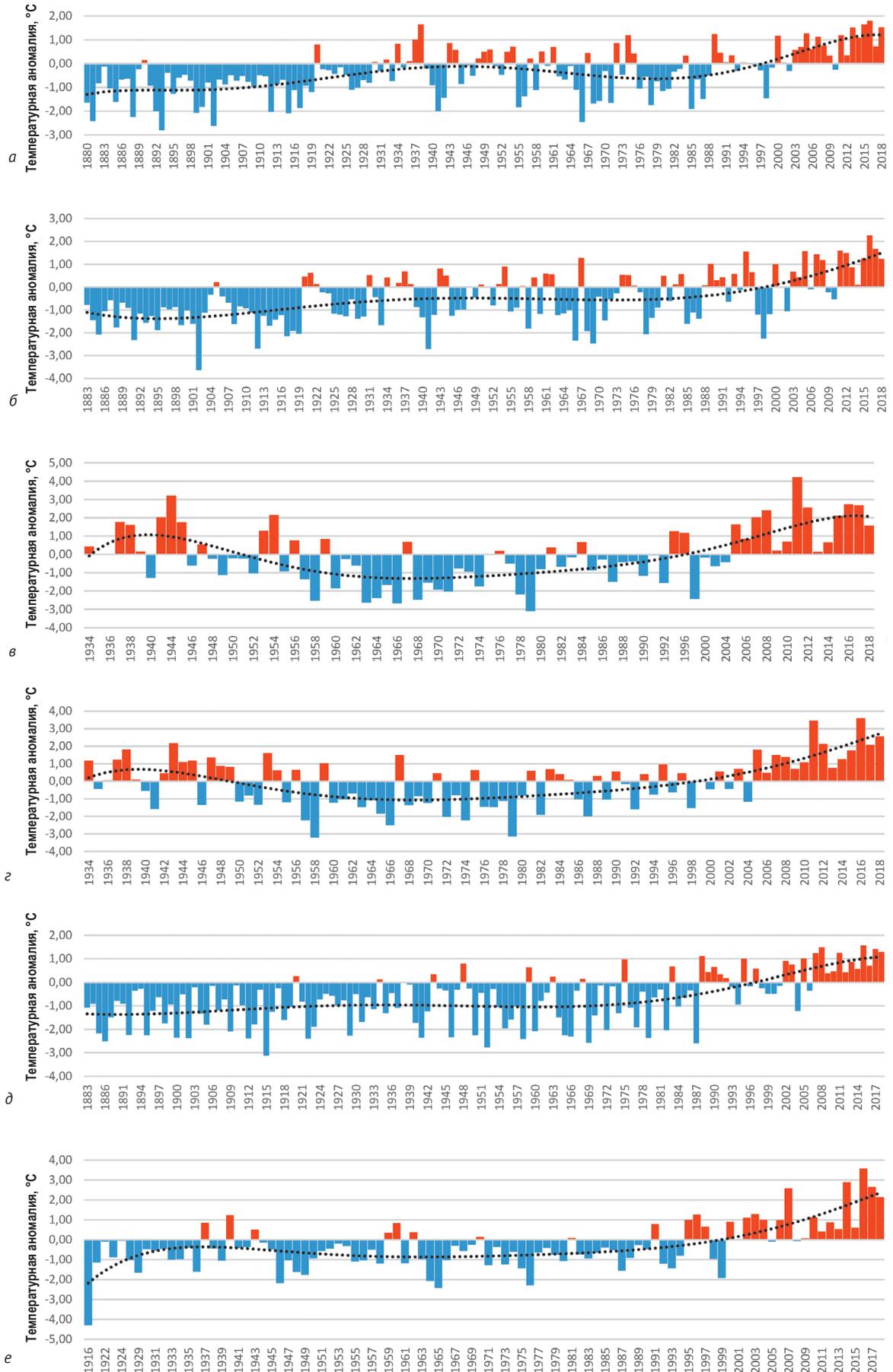
Из материалов рис. 2а—2е видно, что в Мурманской области и Мурманске устойчивое повышение температуры, аналогичное современному, наблюдалось в 1920—1930-х годах, а потом уже с 2000 г. (см. рис. 2а); в Ненецком автономном округе — с 2003 г. с понижением в 2008—2009 гг. (см. рис. 2б); на полуострове Ямал потепление проявлялось в 1930—1940-х годах, а потом — с 2005 г. (см. рис. 2в); на полуострове Таймыр — также в 1930—1940-х годах, а потом с 2005 г. (см. рис. 2г); в Якутии (Якутск) современный тренд устойчивого повышения среднегодовой температуры наблюдался с 1988 г. с перерывом 1996—2002 гг. (см. рис. 2д); а на Чукотке (поселок Певек) — с 1995 г. с отклонениями в сторону понижения в 1998, 1999, 2005 и 2008 гг. (см. рис. 2е).

Эти материалы совершенно меняют представления о характере старта и протекания потепления климата в АЗРФ. Во-первых, как мы и предполагали, меридиональные различия в начале температурного тренда и его параметрах настолько значимы для биоты, что именно ими объясняются выявленные ранее [4—6; 11] и рассмотренные ниже эффекты. Во-вторых, для центральной части российской Арктики (Ямал, Таймыр) в XX в. выявлены почти равнозначные два цикла потепления, которые, несомненно, имели последствия для биоты. В-третьих, появилось объяснение сходства процессов климатогенной

трансформации фауны на атлантических (Кольский полуостров, Большеземельская тундра) и тихоокеанских (Северная Якутия, Чукотка) рубежах АЗРФ, которая проявилась существенно раньше, чем в ее центральных регионах. Наконец, в-четвертых, раз и навсегда определено, что размах колебаний и абсолютные показатели температурных аномалий имеют зримые региональные особенности, которые и определяют современные эффекты динамики арктической биоты.

Рис 2. Отклонения годовых температур (положительные – красный цвет, отрицательные – синий) от долгосрочного среднего значения температуры воздуха в регионах АЗРФ в XX–XXI вв. Пунктиром дан общий тренд температурной аномалии. По оси ординат – отклонение среднегодовой температуры в градусах, по оси абсцисс – годы наблюдений. Обозначения: а – Мурманская область, Мурманск; б – Ненецкий автономный округ, Нарьян-Мар; в – Ямало-Ненецкий АО, полуостров Ямал, центральная часть; г – Красноярский край, Таймыр, поселок Хатанга; д – Республика Саха (Якутия), Якутск; е – Чукотский АО, поселок Певек

Fig. 2. Deviations of annual temperatures (positive – red color, negative – blue color) from the long-term average air temperature in the regions of the Russian Arctic in the XX–XXI centuries. The dotted line shows the General trend of the temperature anomaly. The ordinate indicates the deviation of the average annual temperature in degrees, and the abscissa indicates the years of observation. Legend: а – Murmansk region, the city of Murmansk; б – Nenets Autonomous Area, Naryan-Mar; в – Yamal-Nenets Autonomous Area, Yamal Peninsula, the central part; г – Krasnoyarsk Territory, Taimyr Peninsula, village of Khatanga; д – Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk; е – the Chukot Autonomous Area, village of Pevек



Результаты и обсуждение

Региональные эффекты современной динамики флоры арктических областей. Для оценки изменений разнообразия флор АЗРФ необходимы повторные обследования пунктов сбора флористических данных (локальных флор, ЛФ), однако такие исследования пока крайне малочисленны [12]. На территории АЗРФ из 240 известных ЛФ повторные изучения видового состава проводились лишь в 10 пунктах, расположенных в сибирском секторе региона. Выводы по изменению состава ЛФ сделать трудно, поскольку статистически они не всегда подтверждаются. Временной диапазон в 10 обследованных ЛФ варьирует от 20 до 70 лет и в основном составляет 30—40 лет. За этот период в 3 ЛФ не обнаружено изменений видового состава, в 7 ЛФ число видов увеличилось, и в большинстве случаев эти изменения произошли из-за увеличения числа (и доли на 3—7%) бореальных и гипоарктических видов. В одной ЛФ (Тикси) выявлено исчезновение нескольких видов растений снежников, что может быть связано с более быстрым сходом снега и «усилением присутствия» видов многолетних трав и кустарничков. Основные изменения произошли в ЛФ лесотундры и юга тундровой зоны за счет миграции бореальных видов, которые имеют подвижную, пульсирующую границу ареала. В итоге можно заключить, что все изменения действительно носят региональный характер.

В ЛФ полуострова Таймыр, в которых отмечен рост разнообразия, температурные аномалии (см. рис. 2г) способствуют проникновению бореальных видов на север [13]. В основном миграции видов происходят по долинам рек, пример — появление некоторых бореальных видов в бассейне реки Хатанги. По результатам реинвентаризации флоры окрестностей села Хатанга (полуостров Таймыр) выявлено более 80 новых для региона видов сосудистых растений, из которых 4 вида можно отнести к чужеродным [13], а остальные связаны с миграциями бореальных видов в результате изменения региональных климатических условий: более ранней весной, повышением летних температур, ранним сходом снега и удлинением периода вегетации. Аналогичные явления выявлены Н. В. Матвеевой [14] при повторном обследовании участка в устье реки Тарей. Среди новых для этой территории видов отмечены *Veratrum album*, *Silene taimyrensis*, *Poa pratensis*, *Rumex alpestris subsp. lapponicus*.

В целом изменения флоры АЗРФ в результате участия в них чужеродных видов невелики. По данным глобальной базы по натурализовавшимся чужеродным видам растений GloNAF [15], в Арктике отмечен всего 321 натурализовавшийся чужеродный вид, что существенно меньше, чем в других биомех Земли (например, в Европе их 4690). Преобладают циркумбореальные виды: *Alopecurus pratensis* (натурализовался на 55,6% территории), *Dactylis glomerata* (50%), *Phleum pratense* (50%), *Leucanthemum vulgare* (50%),

Deschampsia cespitosa (50%), *Matricaria matricarioides* (44,4%), *Poa annua* (38,9%), *Poa pratensis* (38,9%), *Trifolium pratense* (38,9%), *Fallopia convolvulus* (38,9%), *Lamium amplexicaule* (38,9%), *Lamium purpureum* (38,9%), *Anthriscus sylvestris* (38,9%).

Можно заключить, что климатические изменения последних десятилетий в Арктике: (1) усиливают подвижность границ ареалов растений (в том числе древесных на северном пределе), но не приводят к их значительным сдвигам; (2) «бореализация» некоторых арктических флор носит региональный характер и, по-видимому, обратима; (3) инвазии чужеродных видов растений редки и также имеют региональный характер.

Климатогенные изменения структуры и продуктивности растительности регионов АЗРФ. На структуру растительности АЗРФ наблюдаемые изменения флоры не влияют. Все встречи новых видов представляют собой единичные находки. Обсуждаемое в последнее время «озеленение Арктики» [4—7; 16—18] и отмечаемые изменения нормализованного вегетационного индекса NDVI могут быть связаны с увеличением обилия злаков, осок (олуговением) и кустарников в результате их экспансии из долин на водораздел.

При обследовании растительности островов Вайгач и Колгуев [16; 19] выявлен рост запасов фитомассы, который прослеживается в разных экосистемах: на Вайгаче — на 30%, на Колгуеве — на 15%. Отмечен сдвиг в XXI в. накопления фитомассы с конца июля в 1980-х годах на начало августа, что соответствует динамике температуры за этот период [16]. Установлена высокая корреляция между максимальными значениями NDVI, суммой температур и длительностью периода с температурой выше 0°. Повышение NDVI произошло за счет роста запасов зеленой фитомассы в разных типах экосистем и вследствие расширения площадей более продуктивных сообществ, а также из-за снижения пастбищной нагрузки [19].

Изменения структуры растительного покрова варьируют по регионам. По данным наземных исследований для Таймыра в целом отмечается [13], что состав и структура зональных растительных сообществ остаются, как правило, без изменений, а изменения связаны с динамикой криогенных и гидрологических процессов. Увеличение летних температур и продолжительности вегетационного сезона косвенно влияют на изменение ландшафта. Это может приводить к (1) увеличению площади тундро-болотных комплексов при увеличении термокарста, (2) усилению развития оползневых процессов и оттаивания ископаемых ледяных жил. В результате появляются новые «вакантные» пространства, которые довольно быстро заселяются ценофобными видами. Например, подобные изменения отмечены для Лукунского участка Таймырского заповедника. Флора участка увеличилась на 82 вида, хотя отчасти это можно объяснить не-

полнотой оригинального списка. На эродированных участках и берегах высыхающих озер здесь широко встречается *Chamaenerion angustifolium*, хотя этот вид не был известен здесь в 1980-х годов. Та же ситуация наблюдается с *Salix viminalis*, которая неизвестна с 1980-х годов. На Таймыре этот вид ивы встречается в лесной зоне и лесотундре по долинам крупных рек. По рекам Котуй и Хатанга он выдвигается на север: единичные кусты встречены в дельте Хатанги (72° 48' с. ш.). В настоящее время этот вид распространен в пойме реки Лукунской и по осушенным озерным бассейнам. Это подтверждает мнение, что наибольшие изменения в Арктике касаются влажных местообитаний, например снежников, болот и мелководных водоемов, что связано с иссушением в результате раннего таяния снега и роста летних температур [19].

Для всех древесных и кустарниковых видов, доминирующих в южной и типичной тундрах АЗРФ (*Betula nana*, *Salix hastata*, *S. pulchra*, *S. lanata*, *S. myrtiloides*, *Duschekia fruticosa* и др.), позитивным фактором для расширения местообитаний и экспансии на водораздельные участки является увеличение продолжительности периода вегетации и увеличения суммы активных температур [7; 11]. Развитие кустарников инициирует накопление снега, что, в свою очередь, стимулирует создание сплошного кустарникового покрова, накопление органики, изменение теплового режима почв и, как следствие, увеличение глубины их протаивания. Немаловажным фактором «закустаривания» может стать, как это отмечено для острова Колгуев, снижение пастбищной нагрузки из-за уменьшения поголовья северных оленей (*Rangifer tarandus*) [11].

Климатогенная динамика фауны арктических птиц: региональные эффекты. Птицы — один из наиболее мобильных и чувствительных к изменениям среды компонентов арктических экосистем, находящийся на вершине трофических цепей. Лимитирующими факторами помимо достаточности корма выступают тепло и продолжительность теплого сезона, достаточного для успешного гнездования. Понятно, что расширение возможностей отдельных регионов для репродуктивного цикла при потеплении должно привлекать птиц, как из других частей Арктики, так и из более южных районов. Очевидно также, что рост числа таких видов в АЗРФ будет больше на западных и восточных окраинах, где резервы обогащения фаун сохраняются в южных районах Северной Атлантики и Северной Америки и Пацифики. В целом более бедный в видовом разнообразии центральный сектор АЗРФ лишен такой возможности.

Новая Земля — один из крупнейших архипелагов АЗРФ и один из самых труднодоступных. Сравнительно полные данные об авифауне региона датируются концом прошлого века и началом нынешнего [20; 21 и др.]. В настоящее время полный список видов птиц архипелага насчитывает 111 видов, при-

надлежащих к 13 отрядам. Для 44 видов доказано гнездование, 26 видов регулярно встречаются на архипелаге, однако Новая Земля не является гнездовой частью их ареала или их гнездование не подтверждено. Еще 40 видов относятся к категории залетных видов птиц. Подавляющее большинство гнездящихся птиц относится к арктическим видам (84%), также представлены широкоареальные (7%) и европейские (3%) виды [22 и др.]. На архипелаге из-за его меридионального простирания четко просматривается экспансия ряда видов птиц на север в зону полярных пустынь. В XXI в. там отмечено гнездование галстучника (*Charadrius hiaticula*), камнешарки (*Arenaria interpres*), большого и короткохвостого поморника (*Stercorarius skua*, *St. parasiticus*), морской чайки (*Larus marinus*) и тупика (*Fratercula arctica*). Многочисленным гнездящимся видом стал кулик-воробей (*Calidris minuta*). Из негнездящихся видов появились большой крохаль (*Mergus merganser*), песчанка (*Calidris alba*), лебедь-шипун (*Cygnus olor*), малая мухоловка (*Ficedula parva*) и др. [23]. По сравнению с [20; 21 и др.] в список фауны птиц Новой Земли добавлены виды: лесной гуменник (*Anser fabalis fabalis*), лебедь-шипун (*Cygnus olor*), каменуха (*Histrionicus histrionicus*), серебристая чайка (*Larus argentatus*), восточносибирская трясогузка (*Motacilla tschutschensis*), малая мухоловка (*Ficedula parva*) [22].

В *атлантическом секторе* АЗРФ с 1980-х годов (после устойчивых положительных аномалий температуры в 1930—1950-х годах, см. рис. 2а) отмечен рост разнообразия птиц, что может быть рассмотрено на примере расселения в регионе двух видов морских птиц — северной олуши (*Morus bassanus*) и большого поморника (*Stercorarius skua*).

Олуша впервые отмечена здесь на гнездовании в 1986 г. на Мурмане (Кандалакшский заповедник) и за 12 лет образовала гнездовую колонию в 35 пар. Еще одна колония появилась в последние годы на полуострове Рыбачий. Вместе с расширением ареала олуши на восток продолжается и его расширение на север. В 2011—2012 гг. ее гнезда отмечены на острове Медвежий (самое северное гнездование).

Большой поморник — недавний пришелец в западную часть арктического бассейна. Его расселение из Северной Атлантики в баренцевоморский регион началось в 1970-х годах, а к концу XX в. он освоил весь регион, где его численность существенно возросла и область распространения расширилась: на севере Кольского полуострова, увеличившись с 1988 г. до 20 пар. В 2012 г. большой поморник загнезвился на Земле Франца-Иосифа на острове Огора, при этом наблюдалось общее увеличение численности этого вида на архипелаге [24]. В 1991 г. впервые был установлен факт гнездования двух пар на острове Вайгач, в 1992 г. — на Новой Земле на Южном острове (губа Грибовая и Безымянная). В 2014 г. гнездование большого поморника установлено на островах Карского моря [24].

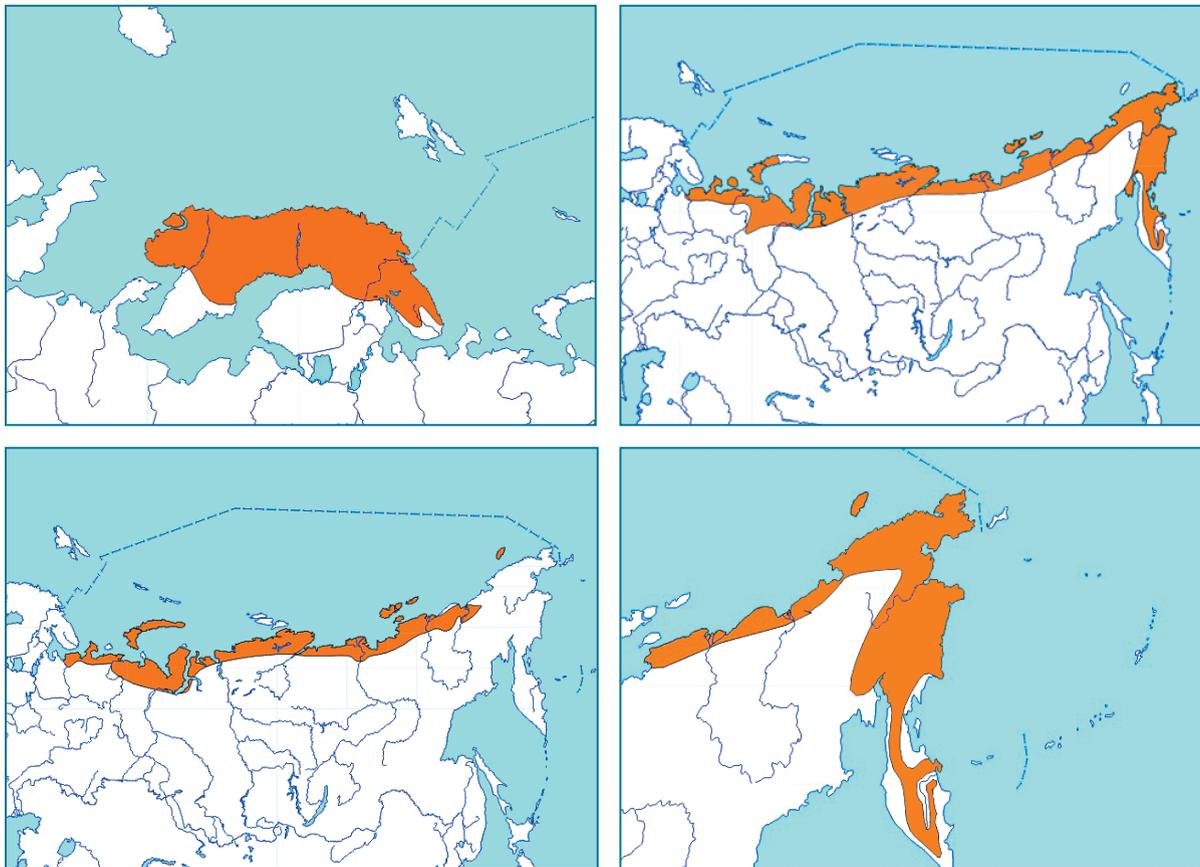


Рис. 3. Ареал норвежского (сверху слева), копытного (сверху справа), сибирского (снизу слева) и бурого (снизу справа) леммингов. Источник: <http://www.sevin.ru/vertebrates/index.html?Mammals/162.html>
 Fig. 3. The area of Norwegian (top, left), Arctic (top, right), Siberian (bottom, left) and brown (bottom, right) lemmings.
 Source: <http://www.sevin.ru/vertebrates/index.html?Mammals/162.html>

Процесс «атлантизации» арктической фауны птиц дополняют ставшие в последние годы регулярными встречи в западном секторе АЗРФ чернобрового альбатроса (*Thalassarche melanophris*) — представителя фауны птиц Южной Атлантики [25]. Этот зимующий вид впервые был отмечен в 2007 г. на Новой Земле, а в 2017 г. — в окрестностях одной из крупных колоний морских птиц Земли Франца-Иосифа в бухте Тихая (остров Гукера).

Орнитофауна Южной Чукотки демонстрирует вполне прогнозируемые процессы климатогенной изменчивости состава и распространения. Здесь за счет пограничного положения (между Палеоарктической и Неарктической областями Голарктики) ожидаемы миграции видов из Аляски (трансширотные миграции), где за счет потепления идет активное расселение южных видов (трансмеридиональные миграции). Сейчас в Южной Чукотке выявлено около 200 видов птиц, из которых 80 гнездятся. За последние 20 лет в регионе отмечено 56 новых видов, из которых достоверно гнездятся только 9, в основном расселяющиеся либо из бореальных азиатских районов — пятнистый сверчок (*Locustella lanceolata*), корольковая пеночка (*Phylloscopus proregulus*), си-

нехвостка (*Tarsiger cyanurus*), оливковый дрозд (*Turdus obscurus*), либо из Северной Америки — зеленокрылый чирок (*Anas carolinensis*) и перепончатопалый галстучник (*Charadrius semipalmatus*). Таким образом, в начале XXI в. в результате потепления усилились обмен видами с Америкой, расселение на север более южных видов, а также размах миграционных перемещений и кочевок берингийских видов. Освоение американскими видами тундр северо-востока Азии, возможно, связано с ослаблением конкуренции со стороны местных видов, обусловленной сокращением численности некоторых из них из-за неблагоприятных условий на путях миграции и зимовок в Юго-Восточной Азии и в Китае [26].

Изменения в динамике численности леммингов АЗРФ. Из 7 видов леммингов, обитающих в России, собственно в тундровой зоне массово представлены 4 — норвежский (*Lemmus lemmus*), сибирский (*Lemmus sibiricus*), копытный (*Dicrostonyx torquatus*), бурый (*Lemmus trimucronatus*) (рис. 3). Для их популяций до недавнего времени были характерны резкие подъемы численности раз в 3—6 лет с высокой амплитудой — в сотни раз. Обилие мифагов (песцов, зимняков, поморников, чаек, белой совы) и успех

Таблица 3. Субъективная оценка изменений обилия леммингов в АЗРФ (1993—2017 гг.) по количеству лет с высокой, средней и низкой численностью

Оценка численности	Регион					
	Кольско-Беломорский	Ненецкий	Ямально-Гыданский	Таймырский	Северо-Якутский	Северо-и Южно-Чукотский
Высокая	1	1	—	8	6	3
Средняя	5	3	2	7	5	6
Низкая	13	17	20	8	10	9
Неизвестно	6	4	3	2	4	7

их размножения напрямую зависят от плотности популяций леммингов и также имеют цикличность. В южных тундрах в спектре питания перечисленных выше видов *значительную роль играют другие грызуны из Arvicolinae*. Их доля меняется в зависимости от пиков численности у этой группы и у леммингов.

Анализ динамики численности леммингов проведен на основе данных, собранных в рамках программы «Птицы Арктики: международный банк данных по условиям размножения»³. Понятно, что оценка обилия имела преимущественно глазомерный характер и определялась по трехбалльной шкале (1 — низкая (или отсутствуют), 2 — средняя, 3 — высокая) на основе ежегодных данных респондентов из регионов. Современная цикличность, как было выявлено этим анализом, имеет неоднородный характер, что проявилось в пространственном синтезе (табл. 3).

На европейской территории Арктики, на севере Западной Сибири и на Чукотке динамика численности леммингов не имеет хорошо выраженной цикличности. За 25 лет (1993—2017 гг.) максимальные значения обилия этих грызунов либо не наблюдались вообще, либо они были отмечены не более трех раз. В то же время в центральных районах Арктики от запада Таймыра до Колымской низменности и на острове Врангеля сохраняется типичная динамика с чередованием пиков и депрессий периодичностью в 3—6 лет. По сообщению доктора биологических наук Л. А. Колпащикова (Большой Арктический заповедник) на Таймыре исходная четырехлетняя цикличность в XXI в. постепенно меняется на 7—8-летнюю. Интересно, что, по данным источника [4], подобные трансформации циклов численности не коснулись полевков Арктики.

Колебания численности наземных хищников АЗРФ — песца и лисицы в западной и центральной Арктике отражают динамику обилия леммингов. На Чукотке, несмотря на относительно низкую численность грызунов, обилие наземных хищников значительно выше, чем на европейской части и в Западной Сибири, возможно, из-за широкого распростра-

нения другого доступного кормового объекта — северной пищухи (*Ochotona hyperborea*).

Можно предположить, что климатические изменения, которые приводят к положительному эффекту — увеличению запасов и продукции фитомассы (к «позеленению» тундры), в то же время имеют отрицательное воздействие на выживаемость леммингов. Но главное негативное влияние, по-видимому, оказывают участвовавшие весенние оттепели с возвратом морозов, в результате которых образуется наст, снижающий доступность корма и интенсивность подснежного размножения. В соответствии с этим соотношение численности наземных и пернатых хищников и циклов леммингов во многом определяет успех гнездования тундровых птиц, в первую очередь куликов и водоплавающих. При обычной цикличности годы с высокой численностью леммингов обеспечивали успех размножения у всех остальных обитателей тундры, так как миофаги питались леммингами и не трогали наземногнездящихся птиц.

Цикличность в системе «хищник — жертва» не проявляется синхронно по АЗРФ, в годы депрессии численности жертв обилие миофагов резко снижается и увеличивается там, где фаза цикла выходит на пик. За последние 20 лет общий уровень хищничества в отношении наземногнездящихся птиц увеличился в три раза в тех районах Арктики, где проводился мониторинг [27], что согласуется с представлениями о «затухании» циклов леммингов [28].

Многолетняя динамика численности горностая (Mustela erminea) в регионах АЗРФ. Динамика численности этого мелкого хищника из семейства куньих (рис. 4) — пример синергизма действия двух важнейших факторов: изменения в динамике численности основного объекта питания — леммингов и изменения условий обитания при потеплении климата (в основном трансформация снежного режима). Именно интенсивность снижения численности хищника в АЗРФ имеет региональную специфику: с 2008 по 2013 гг. его численность упала в Мурманской области с 10,3 тыс. особей до 6 тыс. (на 40%), в Ямало-Ненецком АО — с 60 тыс. до 23,4 тыс. (бо-

³ www.arcticbirds.ru.

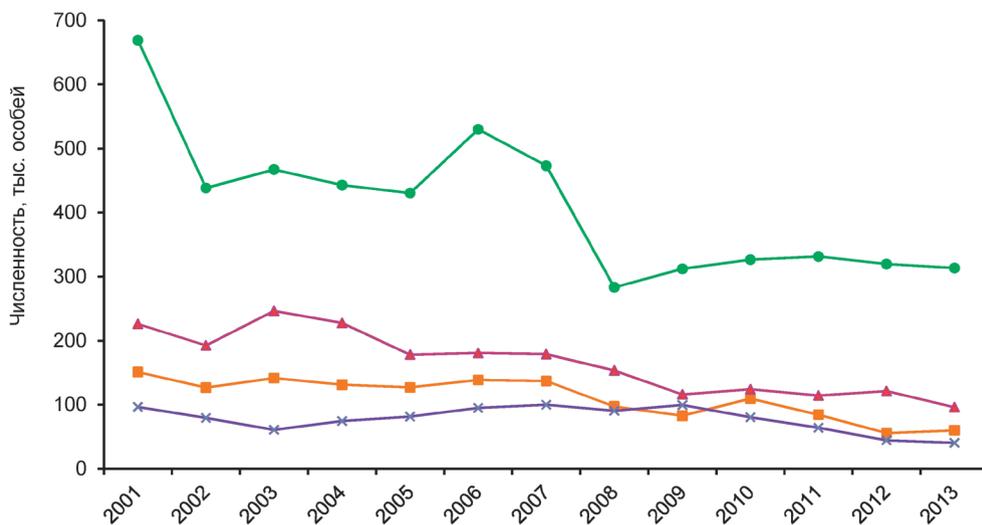


Рис. 4. Динамика численности горностая (*Mustela erminea*) в федеральных округах России (оранжевый – Северо-Западный, фиолетовый – Уральский, бордовый Сибирский, зеленый – Дальневосточный)
 Fig. 4. The ermine (*Mustela erminea*) number dynamics in the federal districts of Russia (orange curve – Northwest, violet – Ural, burgundy – Siberian, green – Far East)

лее чем в 2,5 раза), а в Магаданской области менее существенно — с 32,5 до 31,2 тыс. особей (всего около 3% — в пределах ошибки учета)⁴.

Закключение

Тренды «потепления» в АЗРФ (до 0,8—0,9°C/10 лет) в отдельных регионах стартовали в XX—XXI вв. в разные периоды, имеют различия в цикличности, абсолютных величинах и проявляются по-разному. В соответствии с этим биота реагирует на них не только с разной скоростью, но и разнонаправленно. «Позеленение» Арктики проявляется неравномерно и часто за счет разных процессов. Выявлено, что «исходные позиции» в состоянии арктической биоты на момент старта «быстрых» изменений климата были в регионах АЗРФ неодинаковы. Все это позволяет заключить, что модели, демонстрирующие реакцию экосистем Арктики на потепление (их почти полное исчезновение уже к концу XXI в.), некорректны, а прогнозы в части биотических изменений неверны. Сама методология «прямых» оценок последствий потепления для арктической биоты путем экстраполяции (смещение границ и замещение одних биомов другими, исчезновение криофильных видов и экспансия на их место термофильных видов и пр.) не учитывает региональной специфики явлений. В составе АЗРФ выделено шесть регионов, имеющих разные по направлению и интенсивности процессы трансформации биоты, — Кольско-Беломорский, Большеземельский (Ненецкий), Ямало-Гыданский, Таймырский, Северо-

Якутский, Северо- и Южно-Чукотский. В них климатические тренды в последние три десятилетия различались и по вектору, и по скорости (в два раза и более), что привело к соответствующим различиям в реакции биоты: в расселении видов флоры и фауны («бореализация»), инвазиях чужеродных видов, экспансии кустарников и леса, изменениях состава фауны птиц и млекопитающих («атлантизация» фауны в европейском секторе АЗРФ и «американизация» фауны Чукотки), в динамике их численности. У типичных арктических видов реакция на потепление в разных регионах одинаковая (снижение численности), но проявление тренда различно в соответствии с выявленной региональной спецификой динамики температурных аномалий.

Полученные результаты важны для стратегии использования биоресурсов и сохранения биоразнообразия АЗРФ, а также для развития работ по циркумполярному проекту «Arctic Species Trend Index», показывающему изменения в численности около 300 арктических позвоночных животных⁵. В нем крайне мало данных по фауне российской Арктики.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-05-60057 «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты» и по теме госзадания Института географии РАН № 0148-2019-0007 «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».

⁴ http://www.ohotcontrol.ru/resource/Resources_2008-2013/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B9.pdf.

⁵ <https://www.gbif.org/dataset/3e7837d0-4318-4dea-8800-f2b208b25148>.

Литература/References

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Техническое резюме. — М.: Росгидромет, 2014. — 93 с.
Vtoroy otsechnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii: Tekhnicheskoye rezyume. [Roshydromet Second Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation: Technical Summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014, 93 p. (In Russian).
2. Bhatt U. S., Walker D. A., Reynolds M. K. et al. Recent declines in warming and arctic vegetation greening trends over pan-Arctic tundra. *Remote Sens (Special NDVI3g Iss.)*, 2013, no. 5, pp. 4229—4254.
3. Walker D. A., Epstein H. E., Reynolds M. K. et al. Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects. *Environ. Res. Lett.*, 2012, 7, pp. 1—17.
4. Тишков А. А., Кренке-мл. А. Н. «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 28—38.
Tishkov A. A., Krenke Jr A. N. "Pozeleneniye" Arktiki v XXI v. kak effekt sinergizma deystviya global'nogo potepleniya i khozyaystvennogo osvoyeniya. ["Greening" of the Arctic in the 21st century as an effect of synergy between global warming and economic development]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 4 (20), pp. 28—38. (In Russian).
5. Белоновская Е. А., Тишков А. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» Арктики и современные тренды ее биоты // Изв. РАН. — Сер. геогр. — 2016. — № 3. — С. 67—82.
Belonovskaya E. A., Tishkov A. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke Jr A. N., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tsarevskaya N. G., Tertitskii G. M. "Pozeleneniye" Arktiki i sovremennyye trendy eyo bioty. ["Greening" of the Arctic and current trends of its biota]. *Izv. RAN, Ser. geogr.*, 2016, no. 3, pp. 28—39. (In Russian).
6. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» ландшафтов Арктики как следствие современных климатогенных и антропогенных трендов растительности // Изв. Рус. геогр. о-ва. — 2016. — Т. 148, № 3. — С. 14—24.
Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke-ml A. N., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tsarevskaya N. G., Tertitsky G. M. "Pozeleneniye" landscapev Arktiki kak sledstvie sovremennykh klimatogennykh i antropogennykh trendov rastitel'nosti. ["Greening" of Arctic landscapes as a consequence of modern climatogenic and anthropogenic vegetation trends]. *Izv. Rus. geogr. o-va*, 2016, vol. 148, no. 3, pp. 14—24. (In Russian).
7. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 2 (30). — 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., Tertitskiy G. M. "Pozeleneniye" tundry kak drayver sovremennoy dinamiki arkticheskoy bioty. ["Greening" of the tundra as a driver of modern dynamics of the Arctic biota]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2018, no. 2 (30), pp. 31—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44. (In Russian).
8. Bala G., Caldeira K., Mirin A. et al. Multicentury Changes to the Global Climate and Carbon Cycle: Results from a Coupled Climate and Carbon Cycle Model. *J. of Climate*, 2005, vol. 18, iss. 21, pp. 4531—4544.
9. Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. Bonn, 2019, 41 p.
10. Олссон Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата // Устойчивое лесопользование. — 2011. — № 3 (28). — С. 23—38.
Olsson R. Ispol'zovat' ili okhranyat'? Boreal'nye lesa i izmenenie klimata. [To use or protect? Boreal forests and climate change]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie*, 2011, no. 3 (28), pp. 23—38. (In Russian).
11. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Глазов П. М. и др. Антропогенная трансформация арктических экосистем России: подходы, методы, оценки // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 38—51. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-38-51.
Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Titova S. V., Tsarevskaya N. G., Shmatova A. G. Antropogennaya transformatsiya arkticheskikh ekosistem Rossii: podkhody, metody, otsenki. [Anthropogenic transformation of the Russian Arctic ecosystems: approaches, methods, assessments]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2019, no. 4 (36), pp. 38—51. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-38-51. (In Russian).
12. Khitun O. V., Koroleva T. M., Chinenko S. V. et al. Applications of local floras for floristic subdivision and monitoring vascular plant diversity in the Russian Arctic. *Arctic Science*, 2016, vol. 2, pp. 103—126.
13. Pospelova E. V., Pospelov I. N., Orlov M. V. Climate change in Eastern Taimyr over the last 80 years and warming impact on biodiversity and ecosystem processes in its territory. *Nature Conservation Research*, 2017, vol. 2, pp. 48—60.
14. Матвеева Н. В., Заноха Л. Л., Янченко З. А. Изменения во флоре сосудистых растений в районе Тарейского биогеоценологического стационара (среднее течение р. Пясины, Западный Таймыр) с 1970 по 2010 гг. // Ботан. журн. — 2014. — Т. 99, № 8. — С. 841—867.
Matveeva N. V., Zanozha L. L., Yanchenko Z. A. Izmeneniya flory sosudistyykh rasteniy d raione Tareyskogo biogeozenologicheskogo stacionara (srednee techenie r. Piasiny, Zapadnyy Taymyr) s 1970 po 2010 gg. [Changes in the flora of vascular plants in the area of the Tareya biogeocenological station (middle course

- of the Pyasina river, Western Taimyr) from 1970 to 2010]. *Botan. Journ.*, 2014, vol. 99, no. 8, pp. 841—867. (In Russian).
15. Pyšek, P., Pergl, J., Essl, F. et al. Naturalized alien flora of the world: species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia*, 2017, vol. 89, pp. 275—290.
16. Лавриненко И. А., Лавриненко О. В. Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцова моря // Труды Карел. науч. центра. — 2013. — № 6. — С. 4—16.
Lavrinenko I. A., Lavrinenko O. V. Vliyanie klimaticheskikh izmeneni na rastitelny pokrov ostrovov Barenzeva moray. [Influence of climate changes on vegetation cover of the Barents sea islands]. Trudy Karel. nauch. tsentra, 2013, no. 6, pp. 4—16. (In Russian).
17. Elmendorf S. C., Henry G. H. R., Hollister R. D. et al. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. *Ecol. Lett.*, 2012, vol. 15, pp. 164—175.
18. Myers-Smith I., Forbes B. C., Wilking M. et al. Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environ. Res. Lett.*, 2011, vol. 6 (4), 045509. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045509.
19. Daniëls F. J. A., Gillespie L. J., Poulin M. Plants. Arctic Biodiversity Assessment. Status and trends in Arctic biodiversity. Akureyri: Conservation of Arctic Flora and Fauna, 2013, pp. 312—347.
20. Калякин В. Н. Фауна птиц и млекопитающих Новоземельского региона и оценка ее состояния // Новая Земля. — Т. 2. — М., 1993. — С. 23—90.
Kalyakin V. N. Fauna ptits i mlekopitayuschikh Novoi Zemli I ozenka ikh sostoyaniya. [Fauna of birds and mammals of the Novaya Zemlya and assessment of its state]. Novaya Zemlya. Vol. 2. Moscow, 1993, pp. 23—90. (In Russian).
21. Тертицкий Г. М., Покровская И. В. О фауне и населении птиц Новой Земли // Рус. орнитол. журн. — 2011. — Т. 20 (688). — С. 1827—1836.
Tertitsky G. M., Pokrovskaya I. V. O faune i naselenii ptits Novoi Zemli. [On the fauna and population of birds of Novaya Zemlya]. Rus. ornithol. zhurn., 2011, vol. 20 (688), pp. 1827—1836. (In Russian).
22. Глазов П. М. Птицы // Новая Земля: Изд. 2-е, доп. — [Б. м.], 2020. — С. 471—487.
Glazov P. M. Ptitsy [Birds]. Novaya Zemlya. Izd. 2-e, dop. [S. I.], 2020, pp. 471—487. (In Russian).
23. Покровская И. В. Долговременные изменения в орнитофауне полярных пустынь (на примере севера Новой Земли) // Динамика численности птиц в наземных ландшафтах. — М.: ИПЭЭ РАН, 2017. — С. 92—98.
Pokrovskaya I. V. Dolgovremennye izmeneniya aviafauny polyarnykh pustyn' (na primere severa Novoi Zemli). Dinamika chislennosti ptits v nazemnykh landshaftakh. Moscow, IPEE RAN, 2017, pp. 92—98. (In Russian).
24. Гаврило М. В. Современный статус большого поморника *Catharacta skua* на северо-востоке Баренцева моря // Рус. орнитол. журн. — 2013. — Т. 22 (894). — С. 1779—1784.
Gavrilo M. V. Sovremenny status bolshogo pomornika Catharacta skua na severo-voctoke Baretseva moray. [Modern status of the great Pomeranian Catharacta skua in the North-East of the Barents sea]. Rus. ornithol. zhurn., 2013, vol. 22 (894), pp. 1779—1784. (In Russian).
25. Покровская И. В., Похелон А., Гоммерштадт О. М., Вайсс И. Повторные регистрации чернобрового альбатроса *Thalassarche melanophris* в российских арктических водах // Рус. орнитол. журн. — 2018. — Т. 27 (1663). — С. 4375—4378.
Pokrovskaya I. V., Pokhelon A., Gommerstadt O. M., Weiss I. Povtornye registratii chernobrovogo albatrossa Thalassarche melanophris v rossiiskikh articheskikh vodakh. [Repeated registrations of the black-browed Albatross Thalassarche melanophris in Russian Arctic waters]. Rus. ornithol. zhurn., 2018, vol. 27 (1663), pp. 4375—4378. (In Russian).
26. Лаппо Е. Г., Томкович П. С., Сыроечковский Е. Е. Атлас ареалов гнездящихся куликов Российской Арктики. — М: Изд-во «Вако», 2012. — 448 с.
Lappo E. G., Tomkovich P. S., Syroechkovsky E. E. Atlas arealov gnezdyaschikhsya kulikov Rossiskoi Arktiki. [Atlas of breeding waders of the Russian Arctic]. Moscow, Izd-vo "Vako", 2012, 448 p. (In Russian).
27. Kubelka V., Salek M., Tomkovich P. et al. Global pattern of nest predation is disrupted by climate change in shorebirds. *Science*, Nov. 2018, vol. 362, iss. 6415, pp. 680—683. DOI: 10.1126/science.aat8695.
28. Kyrré L. K., Mysterud A., Steen H. et al. Linking climate change to lemming cycles. *Nature*, 2008, vol. 456 (7118), pp. 93—97.

Информация об авторах

Тишков Аркадий Александрович, член-корреспондент РАН, доктор географических наук, заместитель директора, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: tishkov@biodat.ru.

Белоновская Елена Анатольевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: belena53@mail.ru.

Вайсфельд Михаил Арнольдович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: mvvisfeld@mail.ru.

Глазов Петр Михайлович, научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: glazpech@mail.ru.

Латто Елена Георгиевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: ellappo@igras.ru.

Морозова Ольга Васильевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: olga.morozova@igras.ru.

Покровская Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: savair@igras.ru.

Тертицкий Григорий Маркович, старший научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: tertitski@mail.ru.

Титова Светлана Владимировна, научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: saporuss@yandex.ru.

Царевская Надежда Григорьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН (119017, Москва, Старомонетный пер., 29), e-mail: tsarevskaya@igras.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. Региональные биогеографические эффекты «быстрых» изменений климата в российской Арктике в XXI в. // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 31—44. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-31-44.

REGIONAL BIOGEOGRAPHIC EFFECTS OF “FAST” CLIMATE CHANGES IN THE RUSSIAN ARCTIC IN THE 21ST CENTURY

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Waisfel'd M. A., Glazov P. M., Lappo E. G., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tertitsky G. M., Titova S. V., Tsarevskaya N. G.
Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on January 21, 2020

With the general “warming” trend in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF) up to 0.8—0.9°C/10 years, climate changes manifest in different ways, and biota reacts not only at different rates, but also in different directions. The Arctic “greening” (increasing the vegetation cover productivity), manifests itself unevenly and often due to different processes. In addition, the “initial positions” in the state of the Arctic biota at the beginning of the “fast” climate changes were different in the regions of the Russian Arctic. All this allows us to conclude that models demonstrating the response of Arctic ecosystems to warming, that is their almost complete disappearance with continuing temperature trends by the end of the 21st century, are not correct, and the forecasts for biotic changes are wrong. Besides the methodology of “direct” assessments of the temperature increase effects on Arctic biota by spatial extrapolations (shifting borders and replacing some biomes with others, the disappearance of cryophilic species and expansion of thermophilic plants and animal species in their place, etc.) ignores the regional specifics of the observed phenomena. The article materials are directed precisely against this “mechanistic” approach. The article considers the regional biogeographic effects of climate change in the Arctic — changes in the composition of flora and fauna, ranges of Arctic species, their migrations, etc. For analysis six regions are identified that have multidirectional and different rates of biota transformation processes — Kola-Belomorsky, Bolshezemelsky (Nenets), Yamalo-Gydansky, Taimyrsky, North-Yakutsky, North-Chukchi and South Chukchi, where the climate trends in the last three decades differed significantly in both vector and intensity (by 2 or more times). It is concluded that the results are important for developing a strategy for using biological resources, preserving the biodiversity of the Russian Arctic and protecting its territory.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), climate change, biota, “greening”, regional effects, distribution, abundance dynamics and diversity of flora and fauna.

The article was prepared under RFBR grant No. 18-05-60057 “The tundra “greening” as a driver of modern dynamics of Arctic biota” and on the state assignment theme of the Institute of geography of the RAS No. 0148-2019-0007 “Assessment of physical, geographical, hydrological and biotic environmental changes and their implications for creating the basis of sustainable nature management”.

Information about the authors

Tishkov Arkadiy Aleksandrovich, Doctor of Geography, Corresponding Member of RAS, Professor, Deputy Director, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tishkov@biodat.ru.

Belonovskaya Elena Anatol'evna, PhD of Geography, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: belena@igras.ru.

Waisfel'd Mikhail Arnoldovich, PhD of Geography, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: vaisfeld@igras.ru.

Glazov Petr Mikhailovich, Researcher, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: glazpech@mail.ru.

Lappo Elena Georgievna, PhD of Geography, Senior Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: ellappo@igras.ru.

Morozova Olga Vasil'evna, PhD of Geography, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: morozova@igras.ru.

Pokrovskaya Irina Vladimirovna, PhD of Biological Science, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: savair@igras.ru.

Tertitsky Grigoriy Markovich, Senior Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: tertitski@mail.ru.

Titova Svetlana Vladimirovna, Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: canopuss@yandex.ru.

Tsarevskaya Nadezda Grigorievna, PhD of Biological Science, Leading Researcher, Institute of Geography, RAS (29, Staromonetny per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: ngtsar@yandex.ru.

Bibliographic description

Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Waisfel'd M. A., Glazov P. M., Lappo E. G., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tertitsky G. M., Titova S. V., Tsarevskaya N. G. Regional biogeographic effects of “fast” climate changes in the Russian Arctic in the 21st century. *Arctic: Ecology and Economy*, 2020, no. 2 (38), pp. 31—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-31-44. (In Russian).

© Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Waisfel'd M. A., Glazov P. M., Lappo E. G., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tertitsky G. M., Titova S. V., Tsarevskaya N. G., 2020