

УДК 502.2.05

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УСЛОВИЙ ГНЕЗДОВАНИЯ В АРКТИКЕ НА ЭКСПАНСИЮ РОССИЙСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ БЕЛОЩЕКОЙ КАЗАРКИ (*BRANTA LEUCOPSIS*)

© 2021 г. С. Б. Розенфельд^а, *, С. В. Волков^а, Н. В. Рогова^б,
Г. В. Киртаев^а, М. Ю. Соловьев^с

^аИнститут проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН,
Москва, 119071 Россия

^бРабочая группа по гусеобразным Северной Евразии,
Москва, 109052 Россия

^сМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, 119234 Россия

*e-mail: rozenfeldbro@mail.ru

Поступила в редакцию 06.05.2020 г.

После доработки 02.06.2020 г.

Принята к публикации 03.06.2020 г.

Гнездовой ареал белошей казарки в 20 в. охватывал в России только острова Новой Земли и о-в Вайгач. Численность до середины века была не выше 20–30 тыс. особей. В 1970–1980-х гг. численность начала медленно увеличиваться, вслед за этим появились новые колонии в приморских районах Баренцева моря от п-ова Канин до Хайпудырской губы, на о-ве Колгуев. К 2017 г. численность увеличилась до 1.2 млн особей. Подъем численности белошей казарок пришелся на фазу роста температур и общего потепления климата в Арктике, в том числе роста среднегодовых температур в восточноевропейских тундрах. Одновременное снижение ледовитости Баренцева моря приводит к тому, что теплые воды Атлантики проникают гораздо восточнее, вызывая тепляющий эффект вплоть до Карского моря. Одним из следствий этих процессов является постепенное сглаживание погодных различий между западными и восточными районами региона. Климат в восточных районах, в частности на о-ве Вайгач и Югорском п-ове, становится мягче и меняется относительно более быстрыми темпами, чем в западном секторе региона. Мы предполагаем, что это явилось одной из причин широкой экспансии казарок на восток и на о-в Колгуев. В весенний период, в мае и июне, за последние 35 лет среднесуточные температуры не претерпели значительных изменений, но при отсутствии выраженного тренда срок перехода среднесуточных температур через 0°C заметно сдвинулся на более ранние даты. На всей территории восточноевропейских тундр возросла сумма температур летнего периода и увеличилась продолжительность периода с положительными температурами. В совокупности это послужило причиной роста объема фитомассы и удлинения вегетационного периода. Наиболее ярко эта тенденция проявляется в выводковый период — в июле и августе. Удлинение периода активной вегетации предоставляет молодым казаркам дополнительные преимущества в самый критичный период жизненного цикла — период роста. Для взрослых птиц в этих условиях появляется дополнительная возможность накопить внутренние резервы перед осенней миграцией. Вероятно, все это в совокупности позволило белошей казаркам освоить новые местообитания на маршах и в типичных тундрах, а также привело к заметному увеличению численности вида. Высказанная ранее гипотеза о рассинхронизации фенологических явлений в арктических сообществах и ее отрицательных последствиях для белошей казарки не подтверждается, если использовать более полные данные. Вид продолжает демонстрировать устойчивый рост численности. По нашей оценке, в российской части ареала (без учета архипелага Новая Земля) обитает 1069107 ± 37655 белошей казарок.

Ключевые слова: *Branta leucopsis*, белошешая казарка, изменение климата, авиаучет, Арктика

DOI: 10.31857/S0044513421050123

В середине 20 в. гнездовой ареал белошей казарки (*Branta leucopsis*) в России охватывал только острова Новой Земли и о-в Вайгач (Успенский, 1958). Птицы гнездились на скалистых мор-

ских островах, склонах и карнизах морских береговых обрывов и речных каньонов (Карпович, Коханов, 1967; Калякин, 1986, 2001; Морозов, 2001). Численность вида длительный период

оставалась на низком уровне, на начало 1950-х гг., видимо, не больше 20–30 тыс. особей (Boyd, 1961; Сыроечковский, 1995).

В 1970–1980-х гг. численность белошеких казарок начала медленно увеличиваться, вслед за этим появились новые колонии в приморских районах Баренцева моря от п-ова Канин до Хайпудырской губы, на о-ве Колгуев (Сыроечковский, 1995; Ganter et al., 1999; Морозов, Сыроечковский, 2007; Kondratyev et al., 2013). Эта тенденция сохраняется и сейчас. К 2017 г. на зимовках численность выросла почти в 30 раз, достигнув 1.2 млн особей (CAFF 2018, 2018a). Одновременно сходные тенденции быстрого роста проявились и в двух других популяциях белошеких казарок — шпицбергенской и гренландской (Owen, Norderhaug, 1977; Fox et al., 2010; Fox, Madsen, 2017; Layton-Matthews et al., 2019; Frost et al., 2019). Не в последнюю очередь этот рост численности был, видимо, связан с запретом охоты на европейских зимовках, начиная с 1950-х гг. (Fox, Madsen, 2017), а также с переходом значительной части зимующих гусей с естественных кормовых местообитаний на сельскохозяйственные угодья (Ebbinge, 1991; Fox, Abraham, 2017). Однако темпы роста численности в трех разных популяциях были неодинаковыми, для российской гнездовой группировки они оказались выше.

Одновременно в арктических районах происходило значительное потепление климата, более выраженное, чем в других регионах (Parmesan, Yohe, 2003; Cohen et al., 2014). Оно привело к более раннему фенологическому началу весны, более раннему сходу снега, сдвигу на более поздние даты наступления осенних холодов. В условиях сжатого гнездового сезона в Арктике, когда птицы вынуждены приступать к гнездованию практически сразу после начала интенсивного снеготаяния, потепление климата дает дополнительные возможности для видов, имеющих длительный гнездовой цикл. Практически повсеместно, где ведутся многолетние наблюдения, отмечается сдвиг на более ранние даты в фенологии весенней миграции (Meltøfte et al., 2007; Moe et al., 2009; Gunnarsson, Tómasson, 2011 и др.), однако это далеко не всегда ведет к сдвигу в датах начала гнездования. В целом ряде последних публикаций отмечается, что скорость изменений в гнездовой экологии некоторых видов не всегда успевает за тенденциями изменения климата (Both, 2010; Lameris et al., 2017; Kwon et al., 2019). Выводковый период, изначально подстроенный к периоду максимального обилия качественного корма, смещается на сроки, когда его качество проходит пиковые, предположительно наиболее оптимальные показатели. Период роста птенцов смещается на время, когда и обилие, и качественные характеристики кормов начинают снижаться. Последствия такого сдвига остаются малоизу-

ченными. Предполагается, что они могут негативно влиять на скорость роста, выживаемость, а в итоге на приспособленность нового поколения (van Gils et al., 2016; Lameris et al., 2017, 2018; Weiser et al., 2017; Kwon et al., 2019), т.е. должны, вероятно, вести к сокращению численности и ареала. Однако у ряда арктических видов гусеобразных наблюдаются прямо противоположные тенденции. В частности, у большинства гусей и малого лебедя (*Cygnus bewickii*) отмечены расширение ареала и заметный рост численности. Эта тенденция совпадает с выраженным потеплением климата в Арктике и, возможно, определяется именно им.

Целью нашей работы было: 1) оценить современную численность российской популяции белошекой казарки на большей части гнездового ареала и определить влияние изменения климата на ее динамику, 2) проанализировать произошедшие изменения в условиях гнездования казарок в арктических районах европейского севера России (сроки схода и установления снегового покрова, динамику продолжительности периода с положительными температурами, доступность гнездовых местообитаний, изменение кормовых условий, а также оценить влияние этих изменений на динамику численности). Мы предположили, что изменение климата стало причиной роста численности и расширения ареала, а также освоения новых местообитаний для гнездования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Климат. Для характеристики погоды и динамики климата в 1985–2019 гг. использованы данные полярных метеостанций, расположенных на западной и восточной границе региона: “Канин Нос” (ID-221650, 68°39′ с.ш., 43°18′ в.д.) и “Амдерма” (ID-230220, 69°47′ с.ш., 61°39′ в.д.). Первичная информация доступна на сайте National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>). Данные с сайта NOAA использовали для расчета длительности периода с положительными температурами, суммы положительных температур и установления дат перехода через 0°C.

Район исследований. Обследование восточно-европейских тундр, от западного побережья о-ва Канин до Байдарацкой губы, проведено в сентябре 2019 гг. Маршруты планировали таким образом, чтобы репрезентативно охватить основной гнездовой ареал белошеких казарок в восточноевропейских тундрах. На выбранных заранее по топографическим картам и снимкам Landsat участках с потенциально пригодными местообитаниями закладывали учетные маршруты. Длина маршрутов и интервал между ними варьировали в зависимости от местоположения и площади участка, который предполагалось обследовать.

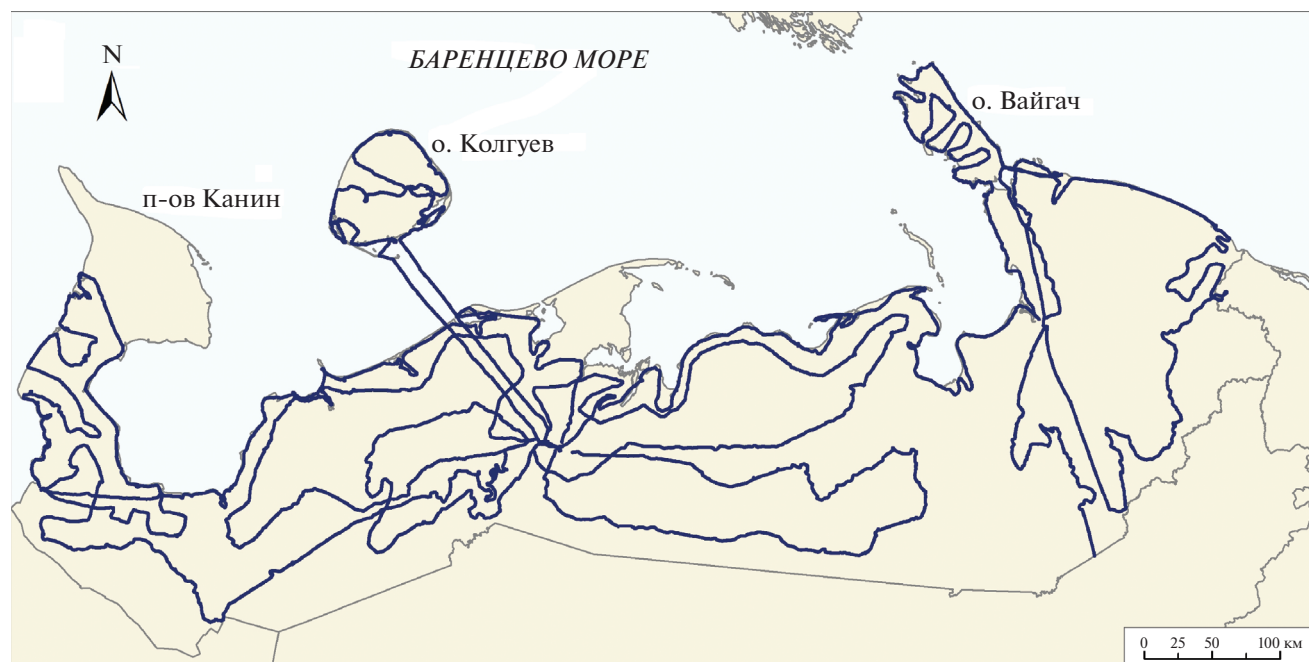


Рис. 1. Маршруты авиаучетов в восточноевропейских тундрах в 2019 гг.

Протяженность учетных маршрутов составила 9341 км (рис. 1). Общая обследованная площадь составила 6553.42 км², площадь экстраполяции — 169654 км².

Для первичной классификации местообитаний была использована ландшафтная карта СССР 1 : 2500000 и легенда к ней (Гудилин, 1980; Анучин и др., 1987). Для уточнения характеристик растительного покрова была использована Карта растительности России, 1 : 5000000 (Егоров и др., 2018) и отдельные публикации (Дедов, 2006). Дополнительно учитывали удаленность от берега моря, количество водоемов. Всего было выделено 25 типов местообитаний (рис. 2).

Методика авиаучетов. При авиаоблете использовали двухместный гидросамолет ЧЕ 22. Во время учетов самолет перемещался на высоте 15–150 м со средней скоростью 80–120 км/ч. Полоса учета составила по 400 м с каждого борта. Подробная процедура учета и обработки данных опубликована раньше (Розенфельд и др., 2017, 2019). Трек полета и места встреч записывали с помощью GPS Garmin. Все встречи птиц фиксировали на фотокамеру Canon D 700, с объективом EF 100–400 mm f/4.5–5.6L IS USM. Время на фотоаппарате и GPS навигаторе было предварительно синхронизировано. Для географической привязки снятых фотографий использовали GPS Receiver GP–12 Canon, синхронизацию с точками трека проводили в программе GEOSSETTER.

Число учтенных птиц на каждом маршруте мы рассматривали как одну выборку, вне зависимо-

сти от характера встреч (на земле, воде или в полете). Определение численности птиц в крупных скоплениях проводили в камеральных условиях, с помощью анализа фотографий. Для этого фотографировали все скопление. Подсчет числа птиц и доли видов в скоплениях осуществляли путем непосредственного подсчета птиц на фотоснимках. При подсчете птиц использовали растровую решетку, делящую фотографии на квадраты. Для того чтобы исключить завышение числа птиц, участки перекрывания на фотографиях определяли с помощью программы Photoshop CS4 (11.0.2).

Методы экстраполяции. Статистическое моделирование позволяет экстраполировать численность животных на необследованные территории, используя в качестве независимых переменных как качественные (например, тип местообитания), так и количественные данные (например, высота над уровнем моря). Моделирование позволяет отказаться от широко распространенного при авиаучетах подхода, основанного на предварительном выделении трансект (Соловьев и др., 2017).

Оценочной численностью мы называем результат экстраполяции данных учетов на всю площадь местообитания, включая необследованные участки. Для расчета оценочной численности птиц в разных местообитаниях использовали следующие слои ГИС: границы выделенных при дешифрировании местообитаний, точки регистрации птиц, обследованная в ходе авиаучетов территория, а также таблицы с данными учетов.

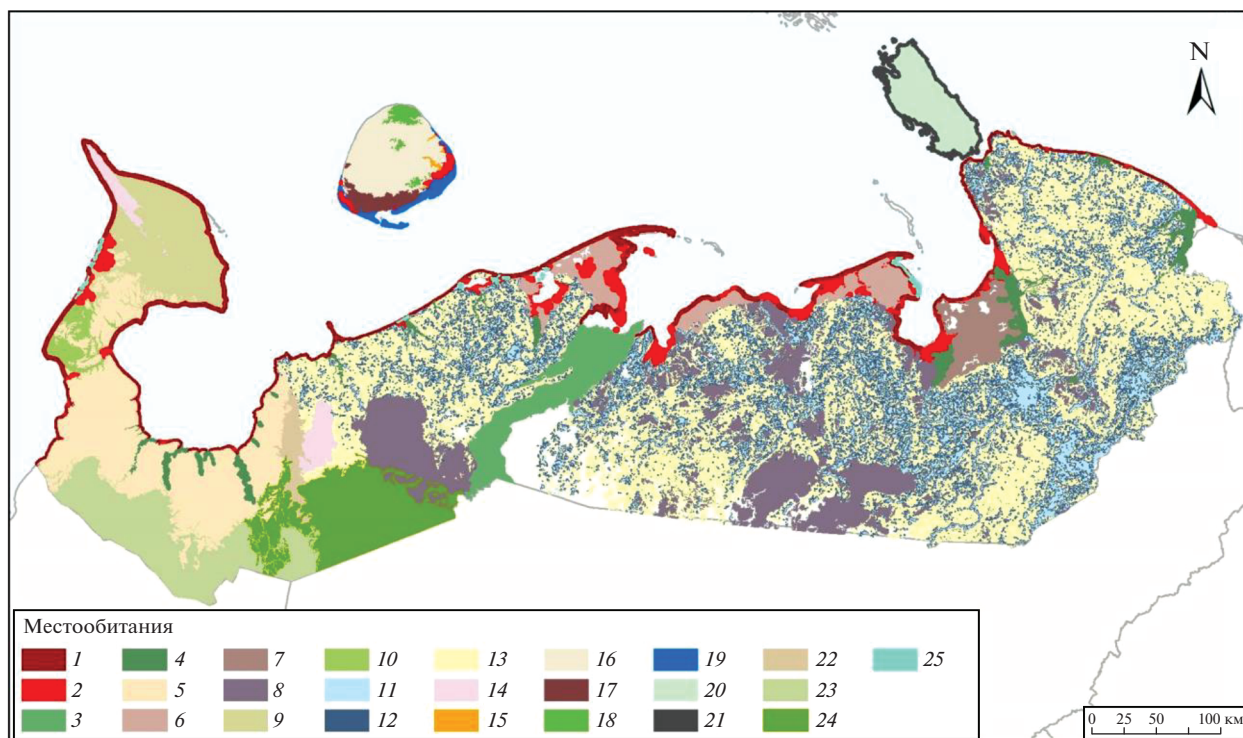


Рис. 2. Схема зонирования восточноевропейских тундр по местообитаниям. Местообитания: 1 — прибрежная зона шириной 1 км, выделенная в материковой части участка в пределах любых выходящих к морю местообитаний, за исключением маршей (2) и отмелей (25); 2 — заболоченные приморские равнины, заливаемые во время высоких приливов, со злаково-осоковыми маршевыми галофитными лугами, кустарничково-злаковыми тундрами, пушицевыми болотами; 3 — пойма р. Печоры; 4 — поймы рек; 5 — болота вокруг Чешской губы; 6 — болота вокруг Колокольной, Печерской и др. губ; 7 — болота к востоку от Хайпудырской губы; 8 — болота верховые, переходные и комплексные; 9 — тундры севера п-ова Канин; 10 — тундры центра п-ова Канин; 11 — озера, реки, ручьи с прилегающими участками тундры; 12 — участки тундр с небольшим количеством мелких озер; 13 — тундры ивняково-ерниковые, кустарничковые, травяно-моховые, каменисто-лишайниковые, без озер и постоянных водотоков; 14 — тундры мелкоерниковые, мохово-лишайниковые, лишайниковые, с участками березового редколесья, с большим количеством останцов и скалистых выступов; 15 — заболоченные поймы рек на о-ве Колгуев, с разнотравно-осоковыми лугами и травяно-моховыми болотами; 16 — тундры на о-ве Колгуев с полигональными формами; 17 — комплексные плоскобугристые болота на о-ве Колгуев; 18 — переходные болота на о-ве Колгуев; 19 — песчаные косы на о-ве Колгуев, приливно-отливная зона, начальная стадия зарастания песков галофитной растительностью; 20 — о-в Вайгач и прилегающие мелкие острова; 21 — полоса прибрежных вод шириной 150 м; 22 — лесотундра; 23 — участки березово-еловых лесов, лиственничных кустарничково-лишайниково-моховых лесов в сочетании с верховыми, переходными и комплексными (типа «аапа») болотами, с термокарстовыми озерами, травяно-кустарничково-лишайниково-моховыми на буграх и грядах, пушицево-осоково-гипново-сфагновыми в мочажинах; 24 — участки елово-березовых лесов; 25 — отмели, приливно-отливная зона, начальная стадия зарастания песков галофитной растительностью.

Расчеты, требующие использования географических операторов, проводили в ГИС Manifold System 8.0; прочую обработку данных осуществляли в системе управления базами данных (СУБД) Paradox 9.0.

Для расчета оценочной численности птиц использовали метод моделирования поверхности плотности (Miller et al., 2013). Это пространственная модель обилия биологической популяции, основанная на использовании обобщенных аддитивных моделей (generalized additive models, GAM). Птиц учитывали в полосе шириной 0.8 км, что определило вариант анализа с постоянной шириной учетной полосы. Метод требует разбиения полосы учета на последовательные сегменты, и

мы использовали сегменты длиной 0.8 км, площадь которых, соответственно, равнялась 0.64 км². Район для экстраполяции также разбивали на ячейки площадью 0.64 км². Для моделирования в качестве независимых переменных использовали координаты центроида, тип местообитания сегмента учетной полосы и ячейки области экстраполяции. В обобщенной аддитивной модели число птиц в каждом сегменте моделируется как сумма функций сглаживания независимых переменных (координат и местообитания). Для расчета стандартной ошибки и доверительных интервалов оценки численности использовали теорию GAM для расчета неопределенности. Вычисления были

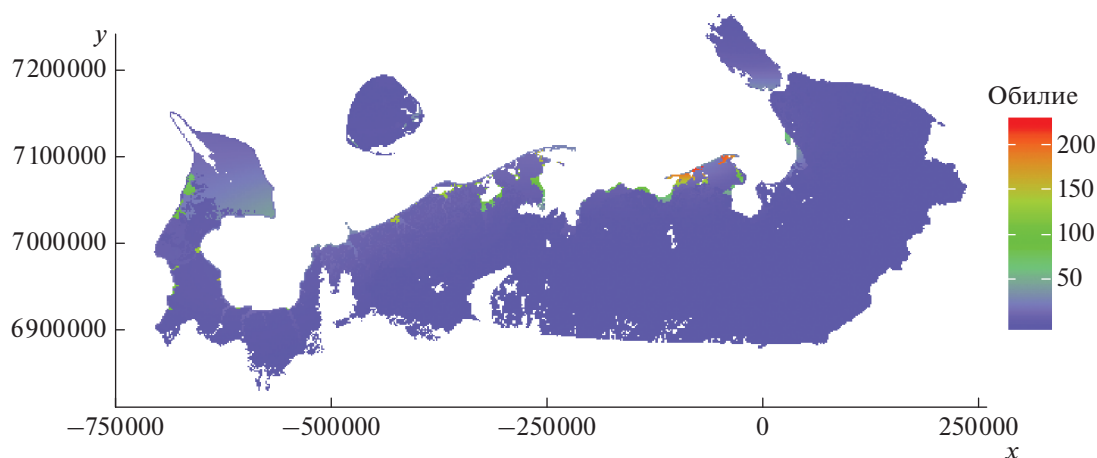


Рис. 3. Экстраполяция обилия (птиц/0.64 км²) белошейной казарки в восточноевропейских тундрах по данным авиаучетов 2019 г.

выполнены в пакете dsm 2.2.9 (Miller et al., 2015) статистического языка R (R Core Team, 2016).

Для выявления долговременных трендов в динамике погодных условий использованы методы линейной регрессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение и численность белошейной казарки в восточноевропейских тундрах на осеннем пролете. В период осеннего пролета белошейная казарка является самым многочисленным видом гусеобразных птиц в восточноевропейских тундрах. Всего нами учтено 103057 особей. Экстраполяция обилия белошейных казарок на весь регион показана на рис. 3. По результатам моделирования, в гнездовом ареале (без учета архипелага Новая Земля) обитает 1069107 ± 37655 особей (point estimate $\pm SE$).

Распределение белошейных казарок неравномерно: около половины всех встреч зарегистрированы в двух местообитаниях — на заболоченных приморских равнинах и в тундрах северной части Канина, занимающих чуть более 5% площади региона (табл. 1). По нашим данным, казарки показывают высокую положительную избирательность к местообитаниям 2, 9, 1, 25, нейтральную избирательность — к местообитаниям 4, 13, 5, 12, т.е. используют эти местообитания пропорционально их доле в структуре местообитаний региона. Во всех остальных местообитаниях казарки держатся в небольшом числе (рис. 4). Такое распределение птиц объясняется распределением предпочитаемых кормовых станций, приуроченных преимущественно к приморским районам.

Погодные и климатические изменения. В 1985–2019 гг. среднегодовая температура в регионе достоверно выросла (на западе региона: $F_{1,33} = 18.52$,

$p < 0.0001$; на востоке региона: $F_{1,33} = 13.97$, $p < 0.0007$) (рис. 5а). В начале и середине гнездового сезона в восточной части региона эта тенденция слабо проявляется (в мае: $F_{1,33} = 1.59$, $p < 0.21$, в июне: $F_{1,33} = 2.72$, $p < 0.11$, в июле: $F_{1,33} = 4.81$, $p < 0.03$) (рис. 5б). Напротив, в западных районах повышение средних температур в мае ($F_{1,33} = 5.09$, $p < 0.03$) выражено, но отсутствует в июне и июле ($F_{1,33} = 0.27$, $p < 0.61$ и $F_{1,32} = 3.85$, $p < 0.06$ соответственно). В послегнездовой период тенденция потепления хорошо выражена как в западных (в августе: $F_{1,33} = 4.62$, $p < 0.04$, в сентябре: $F_{1,33} = 9.85$, $p < 0.004$), так и в восточных (в августе: $F_{1,33} = 9.20$, $p < 0.005$, в сентябре: $F_{1,33} = 6.23$, $p < 0.02$) районах.

Несмотря на относительно слабый рост температуры в начале лета, тенденция более раннего наступления периода с устойчивыми положительными температурами хорошо прослеживается (для западных районов: $F_{1,33} = 21.85$, $p < 0.0005$; для восточных: $F_{1,33} = 10.45$, $p < 0.003$) (рис. 6а). В осенний период смещение на более поздние даты отмечается для перехода среднесуточных температур ниже 0°C (для западных районов: $F_{1,33} = 7.03$, $p < 0.012$; для восточных: $F_{1,33} = 1203$, $p < 0.0015$) (рис. 6б), и дат установления снегового покрова ($F_{1,12} = 5.74$, $p < 0.04$).

Для региона отмечается увеличение числа дней с положительными температурами, как в западных, так и в восточных районах ($F_{1,33} = 27.33$, $p < 0.0001$ и $F_{1,33} = 13.23$, $p < 0.001$ соответственно). Рост суммы среднесуточных температур летнего периода (июнь–август) слабо проявляется на западе региона ($F_{1,33} = 2.25$, $p < 0.14$) и хорошо выражен на востоке ($F_{1,33} = 8.91$, $p < 0.005$) (рис. 7).

В 2005–2019 гг. тенденции в изменении дат схода снежного покрова в восточноевропейских

Таблица 1. Характеристика местообитаний (1–25), распределение и численность белошеких казарок в восточноевропейских тундрах в 2019 г.

№	Местообитание				Численность			
	Площадь местообитания, км ²	Доля от общей площади, %	Обследованная площадь, км ²	Доля местообитания, охваченного учетами	Всего учтено, особей	Экстраполяция, особей	Плотность, особей/ км ²	Доля от общей численности, %
1	1754.10	1.03	383.77	21.9	15073	75326.91	42.94	7.05
2	2537.41	1.48	464.74	18.3	60538	334564.49	131.85	31.29
3	4527.06	2.65	587.28	13.0	139	1516.27	0.33	0.14
4	1987.15	1.16	314.14	15.8	3078	17608.50	8.86	1.65
5	14271.43	8.34	674.00	4.7	2867	64633.89	4.53	6.05
6	4261.34	2.49	166.74	3.9	3982	77185.22	18.11	7.22
7	2778.65	1.62	45.95	1.7	116	1471.90	0.53	0.14
8	18121.53	10.60	541.42	3.0	138	4874.66	0.27	0.46
9	6396.44	3.74	29.67	0.5	1269	239741.73	37.48	22.42
10	1275.07	0.75	67.66	5.3	1148	17238.22	13.52	1.61
11	15041.18	8.79	661.48	4.4	1474	26085.86	1.73	2.44
12	18230.7	10.66	496.82	2.7	1858	45239.39	2.48	4.23
13	52271.48	30.56	1054.00	2.0	4682	100158.49	1.92	9.37
14	1699.52	1.00	28.03	1.6	0	—	—	—
15	53.99	0.03	12.62	23.4	0	—	—	—
16	3502.74	2.05	171.76	4.9	271	5497.01	1.57	0.51
17	715.28	0.42	43.97	6.1	84	1273.98	1.78	0.12
18	402.73	0.24	22.81	5.7	55	1355.47	3.37	0.13
19	416.95	0.24	100.41	24.1	26	280.82	0.67	0.03
20	3230.20	1.89	298.74	9.2	5280	51007.83	15.79	4.77
21	105.73	0.06	32.99	31.2	111	72.70	0.69	0.01
22	1206.84	0.71	16.59	1.4	0	—	—	—
23	7641.21	4.47	154.71	2.0	0	—	—	—
24	7051.45	4.12	150.79	2.1	0	—	—	—
25	172.92	0.10	32.35	18.7	868	3974.32	22.98	0.37
Итого	169653.08	100	6553.42	3.9	103057	1069107.6	6.30	100

Примечание. Номера местообитаний соответствуют легенде к рис. 2.

тундрах не отмечено. Сравнение двух периодов 1985–1999 и 2013–2018 гг. показывает, что отсутствуют изменения и в объеме осадков, выпадающих за весь летний сезон, и в числе дождливых дней летом.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение климата. За период 1985–2019 гг. среднегодовая температура в регионе увеличилась. Эти наблюдения согласуются с ранее опубликованными данными за период 1970–2009 гг.

(Лавриненко, Лавриненко, 2013). Смещение дат схода снега в 2005–2019 гг. не прослеживается. К сожалению, ряд данных по этому параметру короче температурного ряда, но, учитывая высокую корреляцию между температурами воздуха в мае и датами схода снега ($r = -0.74$, $p < 0.002$) и отсутствие многолетнего тренда в изменениях майских температур, можно предполагать, что нет его и в датах схода снега за указанный период. Несмотря на отсутствие выраженного повышения температур в мае и июне, смещение дат устойчивого перехода выше 0°C хорошо прослеживается. Отсут-

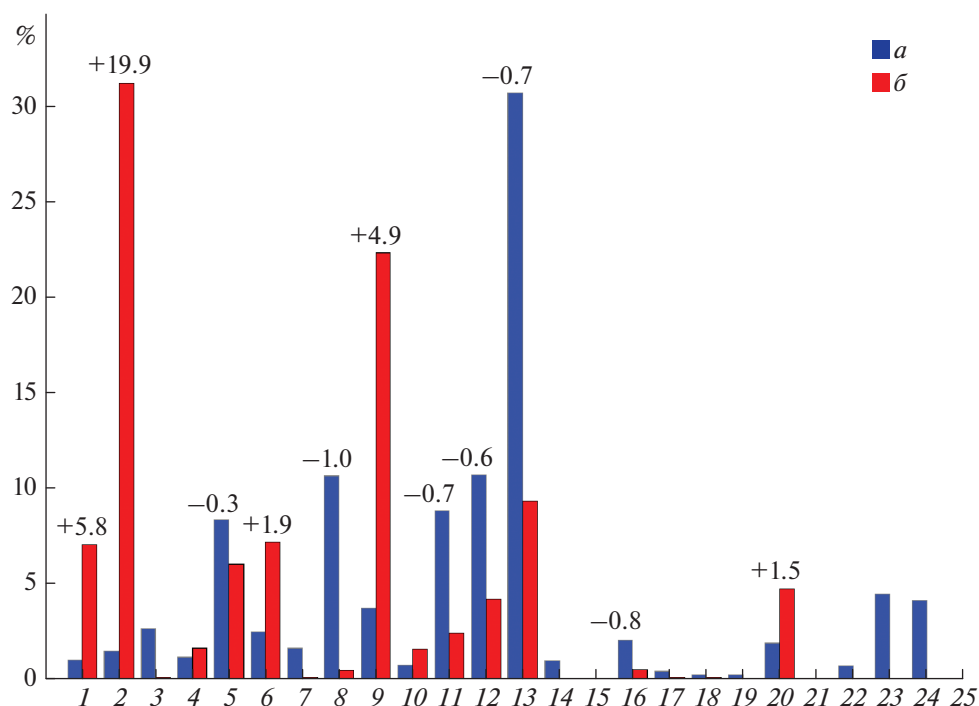


Рис. 4. Избирательность местообитаний (а — доля в структуре местообитаний) белошекими казарками (б — доля от учтенных птиц) в восточноевропейских тундрах. Нумерация местообитаний по оси X соответствует легенде к рис. 2.

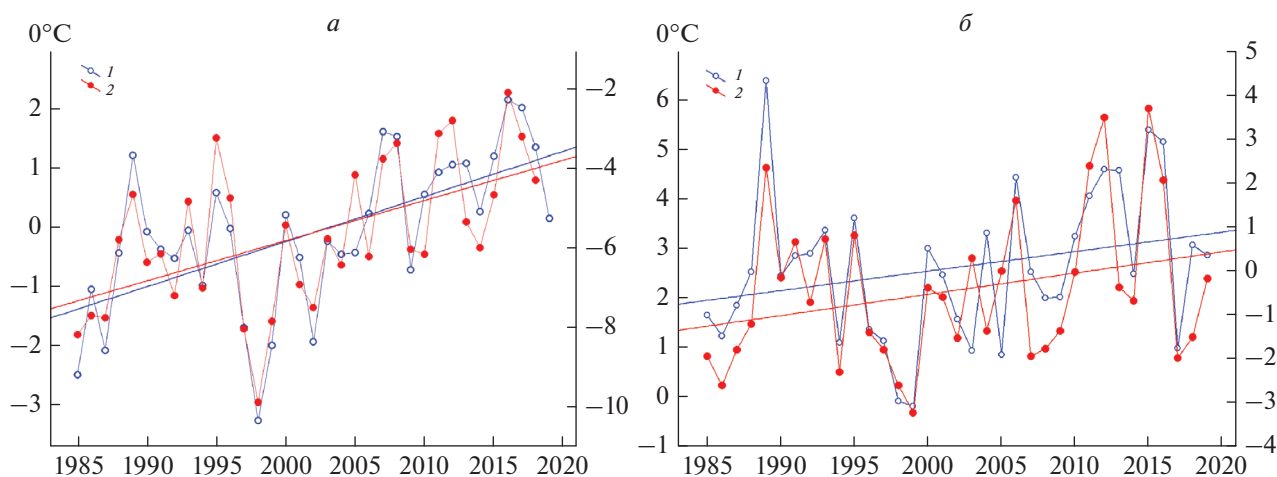


Рис. 5. Динамика среднегодовой (а) и майско-июньской (б) температуры на западе региона, мыс “Канин Нос” (1, левая ось) и на востоке региона мыс “Амдерма” (2, правая ось) в 1985–2019 гг., данные стандартизованы.

ствие тенденций в изменении температур начала летнего сезона косвенно говорит об отсутствии сдвигов в наступлении активной вегетации растений.

Наиболее заметные изменения в температуре произошли в послеинкубационный период. Мы предполагаем, что именно эти изменения могли благоприятно отразиться на положительной динамике численности белошеких казарок, по-

скольку рост температур воздуха, увеличение продолжительности периода с положительными температурами и увеличение фитомассы растительных сообществ позволяют птицам дольше оставаться на местах гнездования. В результате птенцы должны покидать места гнездования в лучшей кондиции, что позволит им легче преодолеть миграционный маршрут. На Шпицбергене летние температуры воздуха отрицательно корре-

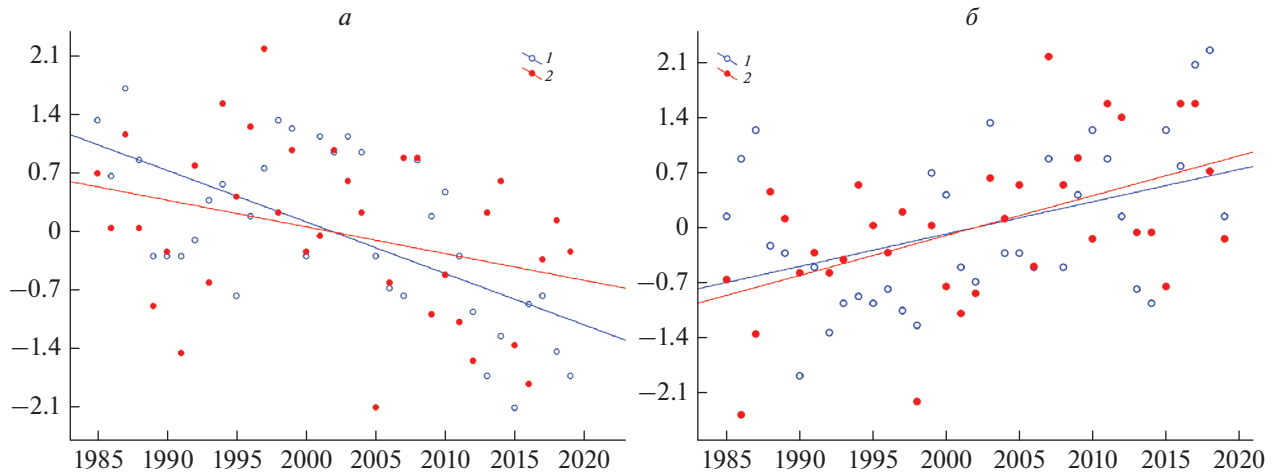


Рис. 6. Изменение дат устойчивого перехода среднесуточных температур через 0°C в восточноевропейских тундрах в 1985–2019 гг.: *a* – весной, подъем выше 0°C ; *б* – осенью, опускание ниже 0°C ; 1 – запад региона, м/с “Канин Нос”; 2 – восток региона м/с “Амдерма”; данные стандартизованы.

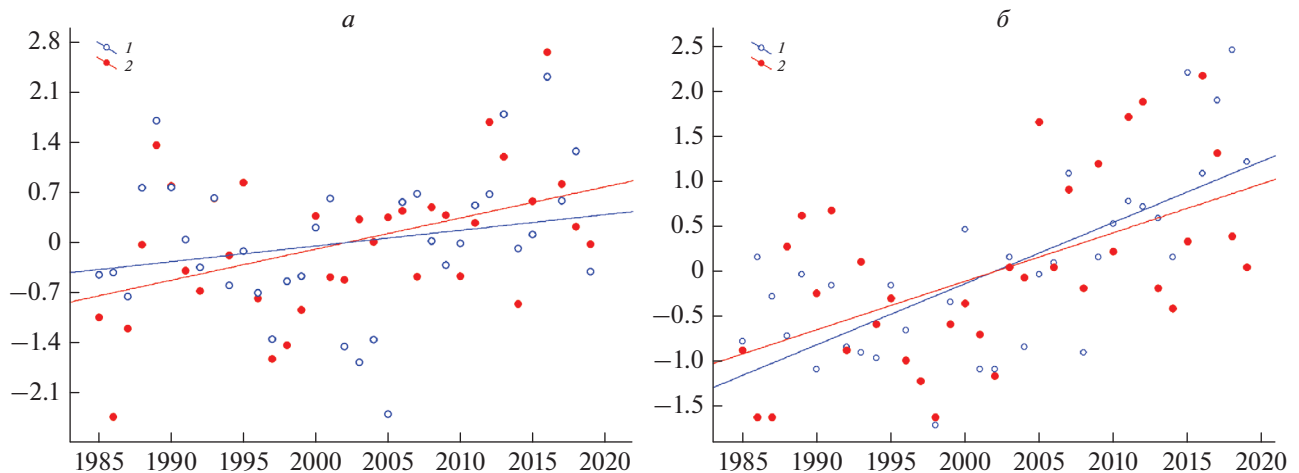


Рис. 7. Изменение сумм температур летнего периода (*a*) и продолжительности периода с положительными температурами (*б*) в восточноевропейских тундрах в 1985–2019 гг. Примечания: 1 – запад региона, м/с “Канин Нос”; 2 – на востоке региона, м/с “Амдерма”; данные стандартизованы.

лировали с датой начала вегетации растений и положительно — с успехом вылупления птенцов в местной популяции белошеких казарок (Layton-Matthews et al., 2019), для которой также отмечен рост численности в последние десятилетия.

Формирование фитомассы зависит от количества тепла, которое накоплено за период вегетации и которое, в свою очередь, определяется величинами среднесуточных температур и длительности вегетационного периода. Как показали исследования ботаников, более высокие температуры повышают продуктивность растений (Jia et al., 2009), а удлинение периода с положительными температурами увеличивает период вегетации, что в таких высоких широтах не обязательно

означает сильное снижение качества корма. Удлинение периода вегетации дает растительноядным видам преимущества, обеспечивая дополнительную возможность накопления внутренних резервов перед миграцией для взрослых птиц и возможность роста организма для птенцов. Во многих случаях доступность кормовых ресурсов может быть важнее, чем его качественный состав. По наблюдениям на о-ве Вайгач продолжительность активной вегетации в 2006–2009 гг. в сравнении с 1980-ми гг. увеличилась на 2 недели (Лавриненко, Лавриненко, 2013). Высокие показатели индекса NDVI сохраняются на острове как минимум до конца августа. При этом возрос и сам индекс: с 0.16 до 0.32 в 1984–1988 г., до 0.39–0.42 —

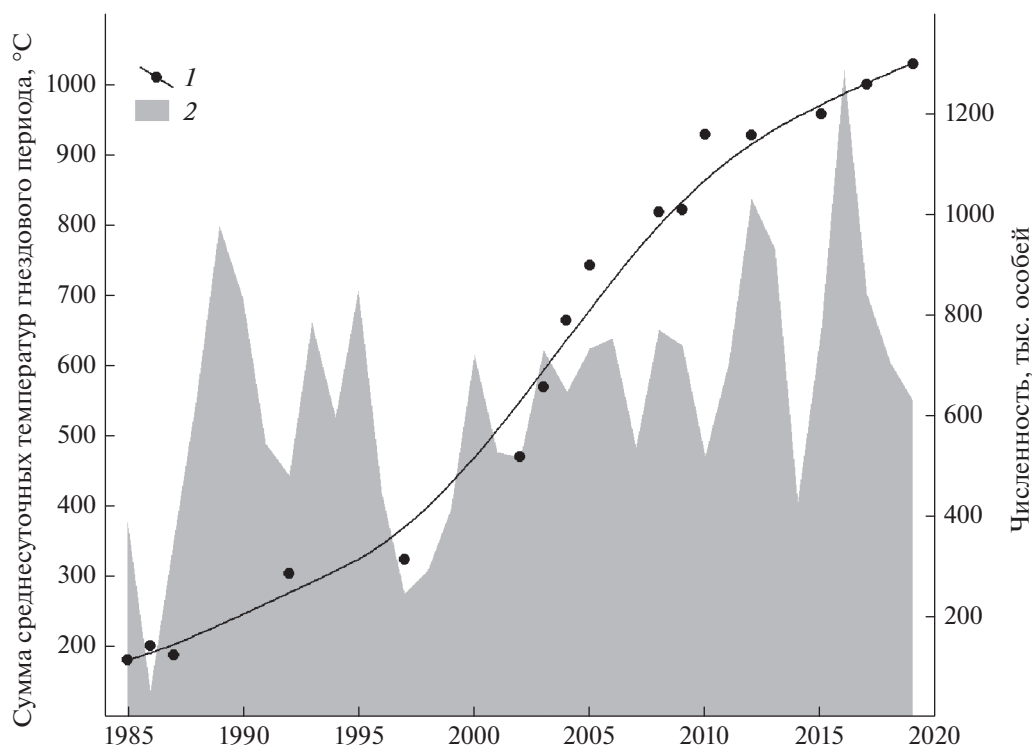


Рис. 8. Динамика роста численности белошейной казарки (1, правая ось, по: Fox, Madsen, 2017; CAFF, 2018a, наши данные) и увеличения суммы среднесуточных температур гнездового периода (июнь–август) (2, левая ось) в восточноевропейских тундрах в 1985–2019 гг., корреляция между процессами: $r_s = 0.76$, $p < 0.006$.

в 2006–2010 гг. Рост запасов зеленой фитомассы, несмотря на межгодовые колебания, произошел как за счет увеличения обилия и проективного покрытия, так и вследствие увеличения площади более “зеленых” контуров (Лавриненко, Лавриненко, 2013).

Во многих тундровых районах Сибири и Америки с середины 1980-х гг. в результате роста температуры почвы и воздуха, удлинения вегетационного периода зафиксировано увеличение продуктивности растительных сообществ, проективного покрытия и высоты растительного покрова, усложнение структуры сообществ, увеличение относительного обилия злаков и/или закустаренности (Sistla et al., 2013; Frost, Epstein, 2014; Jorgenson et al., 2015; Hobbie et al., 2017). Анализ спутниковых снимков территории Вайгача показал, что с середины 1980-х до 2010 гг. рост максимальных значений NDVI, а, следовательно, и фитомассы, составил около 30% (Лавриненко, Лавриненко, 2013). Сходные “тенденции” позеленения Арктики отмечены в большинстве северных регионов. Например, в арктических регионах канадской Арктики, северной Аляски и западной Гренландии значение индекса NDVI выросло почти на 15% (Bhatt et al., 2010), что авторы связывают с потеплением и разрушением ледового покрова в 50-километровой зоне вдоль берега. В то

же время на п-ове Ямал за 25 лет этот индекс возрос всего на 7% на фоне незначительного изменения погоды, но существенного сокращения площади морского льда (Walker et al., 2009).

Увеличение численности белошейных казарок, учтенных на зимовках (Fox, Madsen, 2017; CAFF, 2018a), пришлось на фазу, когда были выражены рост температур и общее потепление климата в Арктике, в частности увеличилась продолжительность периода с положительными температурами и заметно выросла сумма температур в летний период (рис. 8). Но, вероятно, причины роста более глубокие, они обусловлены, в том числе, и изменениями на местах зимовок, где с середины прошлого века резко снизилась смертность птиц в результате запрета охоты.

В период низкой численности распределение колоний белошейных казарок было приурочено к скальным обрывам Новой Земли, Вайгача. Видимо, обширные равнинные районы материкового побережья из-за ледовой обстановки были недоступны для вида. Считается, что распределение казарок на колониях зависит от сроков снеготаяния (Литвин, Гуртовая, 2005; Дорофеев и др., 2018). С учетом суровости погодных условий на большей части Вайгача можно предположить, что гнездование казарок на обрывах и скалах было обусловлено более ранней доступностью этих

участков в сравнение с равнинной тундрой. Потепление климата в регионе и существенное изменение в ледовой обстановке (Lind et al., 2018; Schlichtholz, 2019), вероятно, дало этим гусям шанс успешно освоить новые районы. Гнездовой ареал белошекой казарки (за исключением его гринландской части) практически полностью находится в бассейне Баренцева моря. Ледяной покров Ледовитого океана охлаждал атмосферу и отражал солнечные лучи, помогая сохранять низкую температуру даже летом (Lind et al., 2018). Районы, удалённые от Атлантики, имели более суровый климат, поскольку в меньшей степени испытывали влияния Гольфстрима. С потеплением площадь льда в Баренцевом море существенно сократилась, достигнув минимума в 2007–2008 гг., по режиму регион стал больше похож на северную Атлантику, чем на Ледовитый океан, увеличился приток теплых атлантических вод (Lind et al., 2018). В результате этих процессов разница между западными и восточными районами восточноевропейских тундр постепенно сглаживается, климат в восточных районах становится мягче. Мы предполагаем, что это явилось одной из причин широкой экспансии казарок в материковых районах и на о-в Колгуев.

Изменение экологии. Потепление климата в Арктике привело к более раннему прилету на места гнездования многих видов (Meltofte et al., 2007; Moe et al., 2009; Gunnarsson, Tómasson, 2011), в том числе и белошеких казарок (Eichhorn et al., 2006; Lameris et al., 2018). Сроки отлета казарок с зимовок сместились на более поздние даты, птицы задерживаются на зимовках все дольше, при этом значительно сократилось время пребывания на промежуточных остановках (Eichhorn et al., 2006). Реакция мигрирующих животных на потепление климата может выходить за рамки изменений сроков миграции, особенно когда потепление климата влияет на пространственное распределение доступных мест обитания и ресурсов. Северная граница распространения многих крупных гусеобразных лимитирована длительностью гнездового цикла (Сыроечковский, 2013) и в связи с этим нехваткой времени для успешного завершения гнездования. Потепление, возможно, приведет к смещению их ареалов к северу.

Между тем межсезонные колебания условий гнездования в Арктике не имеют тенденции к выравниванию, следовательно, у дальних мигрантов не стоит ожидать возникновения новых наследуемых адаптаций в поведении к устойчивому более раннему прилету. Пластичность миграционного поведения, как ответ на динамику внешних условий, характерна для всех арктических мигрантов. Миграционные маршруты с несколькими промежуточными остановками позволяют птицам максимально эффективно подстраиваться под условия с нестабильным и непредсказуемым климатом,

за счет сокращения или увеличения длительности остановок.

Исследования в дельте Юкон-Кускоквим на Аляске показали, что кормовые растения значительно увеличивают фитомассу в условиях отсутствия пастбищного пресса со стороны черных казарок в начале вегетации (Choi et al., 2019). Трехнедельная отсрочка старта потребления растений гусями в начале сезона вегетации влияла в 3–5 раз больше на прирост фитомассы, чем аналогичный временной сдвиг в весенней фенологии. Кроме того, этими же авторами (Choi et al., 2020) было показано, что потребление растений гусями непосредственно влияет на содержание азота в почве, приводя к росту содержания как органических (NH_4^+), так и неорганических ($-\text{N}$) азотсодержащих элементов, непосредственно влияющих на скорость роста тканей растений и содержание питательных веществ в них. Эффект потребления казарками растений оказывает большее влияние на содержание доступного азота в почве, чем эффект трехнедельного сдвига начала вегетации на более ранние сроки. Т.е. потребление растительности казарками способно влиять на динамику качественного состава используемых кормовых видов растений. Содержание органических и неорганических азотсодержащих элементов в тканях основного для гусей кормового вида растений — осоки обертковидной (*Carex subspathacea*) лишь незначительно изменяется в результате более раннего начала вегетации (Beard et al., 2019). Запоздывание сроков прилета на места гнездования на фоне более раннего начала вегетации из-за потепления климата не имеет отрицательных последствий для гнездовой экологии черных казарок, несмотря на то что в годы исследований наблюдались самые теплые за последнее время сезоны. Таким образом, не подтверждается ранее высказанное предположение об отрицательных последствиях рассинхронизации между началом вегетации и сроками прилета фитофагов и, как следствие, об ухудшении условий, в которых растут птенцы гусей. Качественный состав кормов меняется более сложным образом. Относительно более раннее начало вегетации не может сдвигать пик качественного состава кормов настолько, чтобы оказать сильное влияние на условия роста птенцов.

Современные данные говорят о том, что гуси и казарки могут влиять на динамику качественного содержания своих кормов. По нашим наблюдениям (Розенфельд, 2009), чем выше интенсивность потребления растительности на участке, тем выше доля молодых проростков и новых стеблей, отличающихся высоким содержанием доступных питательных веществ, определяющих качество корм. Динамика качественного состава растительных кормов различается на участках с

интенсивным потреблением и на участках, где доступ консументов ограничен. Это наводит на мысль о том, что данные о динамике качественного состава с участков, на которые ограничен доступ фитофагов, некорректно использовать для интерпретации процессов в естественных сообществах, динамика которых зависит от взаимодействия членов сообщества.

При относительно коротком летнем периоде асинхронность между приходом весны и прилетом казарок не может, на наш взгляд, оказать серьезного влияния на успех их гнездования. В большинстве случаев этот показатель определяется внутрисезонной динамикой погодных характеристик и прессом хищников, а не динамикой качественного состава кормов, амплитуда которой изменяется плавно. При этом при очевидной тенденции удлинения периода с положительными температурами, а, следовательно, и вегетации, асинхронность может быть компенсирована более длительной доступностью корма.

Рост фитомассы положительно влияет на успешность размножения белошеких казарок. С одной стороны, для гнездящихся гусей высокая доступность корма может сократить время, затрачиваемое родителями на кормежку, и таким образом сократить время их отсутствия у гнезда, уменьшив тем самым вероятность разорения кладки (Greve et al., 1998; Black et al., 2014). С другой стороны, молодые птицы получают возможность позже начинать осеннюю миграцию, дольше задерживаться на острове и покидать его в лучшей физической форме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потепление климата отмечается в большинстве регионов в Арктике, но в разных районах оно происходит по-разному. В восточноевропейских тундрах происходит значительный рост средних годовых температур. Одновременное снижение ледовитости Баренцева моря приводит к тому, что теплые воды Атлантики в современных условиях проникают гораздо восточнее, вызывая отопляющий эффект вплоть до Карского моря. Одним из следствий этих процессов является постепенное сглаживание погодных различий между западными и восточными районами региона. Климат в восточных районах, в частности на Вайгаче и Югорском п-ове, становится мягче и меняется относительно более быстрыми темпами. В весенний период, в мае и июне, среднесуточные температуры не претерпели значительных изменений за последние 35 лет, но при отсутствии выраженного роста температур, заметно сдвинулись на более ранние даты сроки перехода через 0°C. Более раннее освобождение тундры от снега изменило миграционную стратегию белошеких казарок,

которые стали меньше использовать промежуточные остановки.

На всей территории восточноевропейских тундр возросла сумма температур летнего периода, а также увеличилась продолжительность периода с положительными температурами. В совокупности это послужило причиной роста объема фитомассы и удлинения вегетационного периода. Наиболее ярко эта тенденция проявляется в выводковый период — в июле и августе. Удлинение периода активной вегетации предоставляет молодым казаркам дополнительные преимущества в самый критичный из периодов жизненного цикла — период роста. Для взрослых птиц в этих условиях появляется дополнительная возможность набрать внутренние резервы перед осенней миграцией. Вероятно, все это в совокупности позволило белошеким казаркам освоить новые местообитания на маршах и в равнинных тундрах и привело к заметному увеличению численности вида. Высказанная ранее гипотеза о рассинхронизации сложившихся ранее связей в арктических сообществах и ее отрицательных последствий для белошекой казарки (при использовании более полных данных) не подтверждается. Вид продолжает демонстрировать устойчивый рост численности. По нашей оценке, в российской части ареала (без учета архипелага Новая Земля) обитает $1069\,107 \pm 37\,655$ белошеких казарок.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке Департамента природных ресурсов, экологии и агропромышленного комплекса Ненецкого автономного округа (Государственный контракт № Ф.2019.140624 от 1 апреля 2019 г.), РФФИ (№ 18-05-70117), программы Президиума РАН № 41 “Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России”.

Мы благодарим пилота С.Н. Шевчика и В.А. Выучейского, оказавшего логистическую поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин М.С., Макунина А.А., Пармузин И.Ю., 1987. Ландшафтная карта СССР. Масштаб 1 : 2500000. М. 340 с.
- Гудилин И.С. (ред.), 1980. Ландшафтная карта СССР. Масштаб 1 : 2500000. М.: Гидроспецбиология.
- Дедов А.А., 2006. Растительность Малоземельской и Тиманской тундр. Сыктывкар. 159 с.
- Дорофеев Д.С., Глазов П.М., Литвин К.Е., 2018. Современное состояние белошекой казарки на острове Вайгач // Казарка. Т. 20. С. 13–27.
- Егоров В.А., Барталев С.А., Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., 2018. Карта растительного покрова России, полученная по данным спутни-

- ковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 15. № 2. С. 282–286.
- Калякин В.Н., 1986. О распространении и экологии белошейной казарки на о-ве Вайгач и Югорском полуострове // Актуальные проблемы орнитологии. М.: Наука. С. 93–104.
- Калякин В.Н., 2001. Новые данные по фауне птиц Новой Земли и Земли Франца-Иосифа // Орнитология. Т. 29. С. 8–28.
- Карпович В.Н., Коханов В.Д., 1967. Фауна птиц острова Вайгач и северо-востока Югорского полуострова // Труды Кандалакшского гос. заповедника. Вып. 5. М. С. 268–335.
- Лавриненко И.А., Лавриненко О.В., 2013. Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцева моря // Труды Карельского научного центра РАН. № 6. С. 4–16.
- Литвин К.Е., Гуртовая Е.Н., 2005. Типы колоний белошейной казарки (*Branta leucopsis*) и их структура // Гусеобразные птицы Северной Евразии: Тез. докл. 3-го междунар. симп. СПб. С. 187–189.
- Морозов В.В., 2001. Материалы к познанию фауны птиц острова Вайгач // Орнитология. Т. 29. С. 29–46.
- Морозов В.В., Сыроечковский Е.Е., 2007. Материалы к познанию орнитофауны острова Колгуева // Орнитология. Т. 31. С. 9–51.
- Розенфельд С.Б., 2009. Питание казарок и гусей в Российской Арктике. М.: Товарищество научных изданий КМК. 237 с.
- Розенфельд С.Б., Волков С.В., Рогова Н.В., Соловьев М.Ю., Киртаев Г.В. и др., 2019. Малый лебедь (*Cygnus bewickii*): существует ли экспансия азиатских популяций на запад? // Зоологический журнал. Т. 98. № 3. С. 302–313.
- Розенфельд С.Б., Соловьев М.Ю., Киртаев Г.В., Рогова Н.В., Иванов М.Н., 2017. Оценка пространственно-биотопического распределения водоплавающих птиц в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском округе (опыт использования сверхлегкой авиации) // Зоологический журнал. Т. 96. № 2. С. 201–221.
- Соловьев М.Ю., Розенфельд С.Б., Киртаев Г.В., Рогова Н.В., Иванов М.Н., 2017. Опыт использования моделирования поверхности плотности для экстраполяции численности птиц по данным авиаучетов // Первый Всероссийский орнитологический конгресс (г. Тверь, Россия, 29 января – 4 февраля 2018 г.). Тезисы докладов. Тверь. С. 312.
- Сыроечковский Е.Е., 2013. Пути адаптации гусеобразных трибы Anserini к обитанию в Арктике. М.: Товарищество научных изданий КМК. 297 с.
- Сыроечковский Е.Е., 1995. Новое в распространении белошейной казарки в России // Бюллетень Рабочей группы по гусям Восточной Европы и Северной Азии. Вып. 1. С. 39–46.
- Успенский С.М., 1958. Некоторые виды птиц на северо-востоке европейской части СССР // Ученые записки МГУ. № 197. Орнитология. С. 35–47.
- Beard K.H., Choi R.T., Leffler A.J., Carlson L.G., Kelsey K.C., Schmutz J.A., Welker J.M., 2019. Migratory goose arrival time plays a larger role in influencing forage quality than advancing springs in an Arctic coastal wetland // Plos One. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213037>
- Black J.M., Prop J., Larsson K., 2014. The Barnacle Goose. London: T & AD Poyser. 288 p.
- Both Ch., 2010. Food availability, mistiming, and climatic change // Effects of climate change on birds. New York: Oxford University Press. P. 129–147.
- Boyd H., 1961. The number of Barnacle Geese in Europe 1959–1960 // Wildfowl Trust Ann. Rep. V. 12. P. 116–124.
- Bhatt U.S., Walker D.A., Raynolds M K., Comiso J.C., Epstein H.E. et al., 2010. Circumpolar arctic tundra vegetation change is linked to sea ice decline // Earth Interactions. V. 14. P. 1–20.
- CAFF, 2018. A Global audit of the status and trends of Arctic and Northern Hemisphere goose population // Conservation of Arctic Flora and Fauna International Secretariat, Akureyri, Iceland. 31 p. <https://www.caff.is/assessment-series/458-a-global-audit-of-the-status-and-trends-of-arctic-and-northern-hemisphere-geese/download>
- CAFF, 2018a. A Global audit of the status and trends of Arctic and Northern Hemisphere goose (Component 2: Population accounts) // Conservation of Arctic Flora and Fauna International Secretariat, Akureyri, Iceland. 173 p. https://www.researchgate.net/publication/332142616_A_Global_Audit_of_the_Status_and_Trends_of_Arctic_and_Northern_Hemisphere_Goose_Populations_Component_2_Population_accounts/download
- Choi R.T., Beard K.H., Leffler A.J., Kelsey K.C., Schmutz J.A., Welker J.M., 2019. Phenological mismatch between season advancement and migration timing alters Arctic plant traits // Journal of Ecology. V. 107. P. 2503–2518.
- Choi R.T., Beard K.H., Kelsey K.C., Leffler A.J., Schmutz J.A., Welker J.M., 2020. Early goose arrival increases soil nitrogen availability more than an advancing spring in coastal Western Alaska // Ecosystems. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00472-9>
- Cohen J., Screen J. A., Furtado J.C., Barlow M., Whittleston D., Coumou D. et al., 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather // Nature Geoscience. V. 7. P. 627–637.
- Ebbinge B.S., 1991. The impact of hunting on mortality rates and spatial distribution of geese, wintering in the western Palaearctic // Ardea. V. 79. P. 197–209.
- Eichhorn G., Afanasyev V., Drent R.H., van der Jeugd H.P., 2006. Spring stopover routines in Russian Barnacle Geese *Branta leucopsis* tracked by resightings and geolocation // Ardea. V. 94. P. 667–678.
- Fox A.D., Abraham K.F., 2017. Why geese benefit from the transition from natural vegetation to agriculture // Ambio. V. 46. P. 188–197.
- Fox A.D., Ebbinge B.S., Mitchell C., Heinicke T., Aarvak T., Colhoun K. et al., 2010. Current estimates of goose population sizes in western Europe, a gap analysis and assessment of trends // Ornis Svecica. V. 20. P. 115–127.
- Fox A.D., Madsen J., 2017. Threatened species to superabundance: The unexpected international implications

- of successful goose conservation // *Ambio*. V. 46. P. 179–187.
- Frost G.V., Epstein H.E., 2014. Tall shrub and tree expansion in Siberian tundra ecotones since the 1960s. // *Global Change Biology*. V. 20. P. 1264–1277.
- Frost T., Austin G.E., Hearn R.D., McAvoy S., Robinson A., Stroud D.A., Woodward I., Wotton S.R., 2019. Population estimates of wintering waterbirds in Great Britain // *British Birds*. V. 112. P. 130–145.
- Ganter B., Larsson K., Syroechkovsky E.V., Litvin K.E., Leito A., Madsen J., 1999. Barnacle Goose *Branta leucopsis*: Russia Baltic // Goose populations of the Western Palearctic. A review of status and distribution (eds J. Madsen, G. Cracknell, T. Fox). Wetlands International Publ. № 48. P. 270–283.
- Greve I.A., Elvebakk A., Gabrielsen G.W., 1998. Vegetation exploitation by barnacle geese *Branta leucopsis* during incubation on Svalbard // *Polar Research*. V. 17. P. 1–14.
- Gunnarsson T.G., Tómasson G., 2011. Flexibility in spring arrival of migratory birds at northern latitudes under rapid temperature changes // *Bird Study*. V. 58. P. 1–12.
- Jia G.J., Epstein H.E., Walker D.A., 2009. Vegetation greening in the Canadian Arctic related to decadal warming // *Journal of Environmental Monitoring*. V. 11. P. 2231–2238.
- 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.
- Hobbie J.E., Shaver G.R., Rastetter E.B., Cherry J.E., Goetz S.J. et al., 2017. Ecosystem responses to climate change at a Low Arctic and a High Arctic long-term research site // *Ambio*. V. 46 (Suppl. 1). S160–S173. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0870-x>
- Kondratyev A., Zaynagutdinova E., Kruckenberg H., 2013. Barnacle goose *Branta leucopsis* abundance on Kolguev Island – Current status and history of population growth // *Wildfowl*. V. 63. P. 56–71.
- Kwon E., Weiser E.L., Lanctot R.B., Brown S.C., Gates H.R., Gilchrist G., Kendall S.J. et al., 2019. Geographic variation in the intensity of warming and phenological mismatch between Arctic shorebirds and invertebrates // *Ecological Monographs*. e01383. <https://doi.org/10.1002/ecm.1383>
- Lameris T.K., van der Jeugd H.P., Eichhorn G., Dokter A.M., Bouten W., Boom M.P., Litvin K.E., Ens B.J., Nolet B.A., 2018. Arctic geese tune migration to a warming climate but still suffer from a phenological mismatch // *Current Biology*. V. 28. P. 1–7.
- Lameris T.K., Scholten I., Bauer S., Cobben M.M.P., Ens B.J., Nolet B.A., 2017. Potential for an Arctic-breeding migratory bird to adjust spring migration phenology to Arctic amplification // *Global Change Biology*. P. 1–11. <https://doi.org/10.1111/gcb.13684>
- Layton-Matthews K., Hansen B.B., Grøtan V., Fuglei E., Loonen M.J.J.E., 2019. Contrasting consequences of climate change for migratory geese: Predation, density dependence and carryover effects offset benefits of high-arctic warming // *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.14773>
- Lind S., Ingvaldsen R.B., Furevik T., 2018. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import // *Nature Climate Change*. V. 8. P. 634–639.
- Meltofte H., Piersma T., Boyd H., MacCaffery B., Ganter B., Golovnyuk V.V. et al., 2007. A circumpolar review of the effects of climate variation on the breeding ecology of arctic shorebirds // *Meddelelser om Grønland Bioscience*. V. 59. P. 1–48.
- Miller D.L., Burt M.L., Rexstad E.A., Thomas L., 2013. Spatial models for distance sampling data: recent developments and future directions // *Methods in Ecology and Evolution*. V. 4. P. 1001–1010.
- Miller D.L., Rexstad E.A., Burt M.L., Bravington M.V., Hedley S.L., 2015. dsm: Density surface modeling of distance sampling data. [Электронный ресурс. URL: <http://github.com/dill/dsm>. Дата доступа 18.10.2017]
- Moe B., Stempniewicz L., Jakubas D., Angelier F., Chastel O., Dinesen F., et al., 2009. Climate change and phenological responses of two seabird species breeding in the high-Arctic // *Marine Ecology Progress Series*. V. 393. P. 235–246.
- Owen M., Norderhaug M., 1977. Population Dynamics of Barnacle Geese *Branta leucopsis* Breeding in Svalbard, 1948–1976 // *Ornis Scandinavica*. V. 8. P. 161–174.
- Parmesan C., Yohe G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems // *Nature*. V. 421. P. 37–42.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Электронный ресурс. URL: <https://www.R-project.org/>. Дата доступа 25.10.2017]
- Schlichtholz P., 2019. Subsurface ocean flywheel of coupled climate variability in the Barents Sea hotspot of global warming // *Scientific Reports*. V. 9: 13692. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49965-6>
- Sistla S.A., Moore J.C., Simpson R.T., Gough L., Shaver G.R., Schimel J.P., 2013. Long-term warming restructures Arctic tundra without changing net soil carbon storage // *Nature*. V. 497. P. 615–618.
- van Gils J.A., Lisovski S., Lok T., Meissner W., Ożarowska A., de Fouw J. et al., 2016. Body shrinkage due to Arctic warming reduces red knot fitness in tropical wintering range // *Science*. V. 352. P. 819–821. <https://doi.org/10.1126/science.aad6351>
- Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E., Forbes B.C., Bhatt U.S. et al., 2009. Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index // *Environmental Research Letters*. V. 4. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045004>
- Weiser E.L., Brown S.C., Lanctot R.B., Gates H.R., Abraham K., Bentzen R.L. et al., 2017. Life-history tradeoffs revealed by seasonal declines in reproductive traits of 21 species of Arctic-breeding shorebirds // *J. Avian Biology*. V. 49. <https://doi.org/10.1111/jav.01531>

THE IMPACT OF CHANGES IN BREEDING CONDITIONS IN THE ARCTIC ON THE EXPANSION OF THE RUSSIAN POPULATION OF THE BARNACLE GOOSE (*BRANTA LEUCOPSIS*)

S. B. Rozenfeld^{1, *}, S. V. Volkov¹, N. V. Rogova², G. V. Kirtaev¹, M. Yu. Soloviev³

¹*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Science, Moscow, 119071 Russia*

²*Goose, Swan and Duck Study Group of Northern Eurasia, Moscow, 109052 Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119234 Russia*

*e-mail: rozenfeldbro@mail.ru

In the 20th century, the breeding grounds of the Barnacle Goose over the territory of Russia included only the Novaya Zemlya Archipelago and the Vaygach Island. Until the middle of the century, the population did not exceed 20–30 thousand individuals. In the 1970's to 1980's, the numbers of the Barnacle Goose started increasing slowly. Shortly after that new colonies appeared in the coastal areas of the Barents Sea, ranging from the Kanin Peninsula to the Khaypudyr Bay, Kolguev Island. By 2017, the population numbers reached about 1.2 million individuals. The growth of the Barnacle goose population has coincided with the phase of a pronounced temperature increase and of climate warming in the Arctic. The mean annual temperatures have increased significantly in the Eastern European tundra. A simultaneous decrease in the ice cover in the Barents Sea has led to spreading the warm Atlantic waters much further to the east in modern conditions and thus rendering a heating effect extending as far as the Kara Sea. One of the consequences has become a steady decrease in weather differences between the western and eastern areas of the region. The climate in the eastern areas, the Vaygach Island and the Yugor Peninsula in particular, becomes milder and is changed relatively faster. This is believed to have been one of the reasons for the vast expansion of the Barnacle Goose to the east and the establishment on the Kolguev Island. In the spring period, in May and June, the average daily temperatures in the Eastern European tundra have undergone no significant change during the last 35 years, but taking into account the lack of a pronounced temperature increase, the transition of the mean daily temperature over 0°C has shifted to a much earlier period. Throughout the territory of the Eastern European tundra, the cumulative temperature of the summer period has increased along with the length of the period with positive temperatures. These factors combined have led to a prolonged vegetation period and a phytomass growth. This trend is most pronounced in the post-hatching period, i.e. July and August. The prolongation of the active vegetation period offers young Barnacle geese additional advantages in one of the most crucial periods of their life, i.e. the fledging period and the preparation for migration. Currently, the geese leave their nesting areas later. This allows not only the fledglings to become strong enough for a lengthy flight, but also the geese, due to good food and a significant accumulation of fat reserves on the breeding grounds, for using fewer migration stops on the flyway in autumn and thus avoiding areas with strong autumn hunting pressure. All these factors combined seem to have allowed for new habitats on marshes and in the typical plain tundra to be used by Barnacle geese, leading to a significant increase in the numbers of the species. More detailed information obtained now fails to support the hypothesis stipulating the adverse impact of a phenological mismatch on the Barnacle Goose. The species continues demonstrating a steady population growth, the numbers increasing not only in the newly-established habitats and regions, but also in traditional nesting areas. There are 1069107 ± 37655 Barnacle geese estimated to presently populate the Russian part of its range (excluding the Novaya Zemlya Archipelago).

Keywords: *Branta leucopsis*, Barnacle Goose, climate change, aerial survey, Arctic