

Биология гнездования канадского журавля *Antigone canadensis* на Западной Чукотке: анализ воздействия климатических факторов

Д. А. БАРЫКИНА, Д. В. СОЛОВЬЁВА

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН
68500, Магадан, ул. Портовая, 18
E-mail: daria.barykin@gmail.com

Статья поступила 03.04.2023

После доработки 04.05.2023

Принята к печати 15.05.2023

АННОТАЦИЯ

Изменение климата нагляднее всего заметно в арктических широтах. Быстрая экспансия на запад и рост численности канадского журавля на гнездовье в Евразии требуют анализа воздействия этого вида на экосистемы Арктики. Использовались натурные данные о 223 гнездах канадского журавля в Чаунской низменности, Западная Чукотка. Исследовались сроки начала гнездования, размер кладки, размер яиц, плотность и успех гнездования, выявлены погодно-климатические параметры, оказывающие воздействие на репродуктивный потенциал вида. Наиболее значимыми метеопараметрами, определяющими повышение плотности гнездования, размера кладки и яиц, раннее начало гнездования и более высокий успех гнездования, оказались дата устойчивого перехода среднесуточных температур через 0 °С, условная характеристика мая (холодный или теплый по данным о сумме положительных температур) и сумма среднесуточных температур второй половины мая. Максимально репродуктивный потенциал вида реализуется в условиях теплой и ранней весны.

Ключевые слова: малый канадский журавль, *Antigone canadensis canadensis*, плотность гнездования, ранняя и поздняя весна.

ВВЕДЕНИЕ

Канадский журавль *Antigone canadensis* (латинское название принимается согласно последним генетическим исследованиям [Krajewski et al., 2010]) – неоарктический вид, имеющий шесть подвидов: три оседлых и три мигрирующих. Из них только малый канадский журавль *A. canadensis canadensis* (возможно, с небольшой примесью *A. canadensis ravani*) проникает на гнездование в Палеарктику, пересекая Берингов пролив [Krapu et al., 2011]. Гнездование этого вида в тундровой зоне Чу-

котки и Восточной Якутии известно с момента публикации первых орнитологических данных из этих регионов [Thayer, Bangs, 1914; Портенко, 1939, 1972; Воробьев, 1963]. Активное продвижение канадского журавля на запад вдоль арктического побережья Евразии началось во второй половине XX в. [Кищинский и др., 1983; Кищинский, 1988; Лабутин, Дегтярев, 1988; Watanabe, 2006; Дегтярев, 2009; Krapu et al., 2011]. В XXI в. залеты все чаще фиксируют к западу от современной границы ареала: в дельте р. Лены и даже на п-ове

Таймыр [Баженова, 2015; Поздняков, 2015, 2021; Пирогов, 2016; Головнюк, 2018]. Установлено, что за 28 лет, с 1994 по 2021 г., ядро ареала (очаг максимальной плотности) сместилось к западу на 400 км из Чаунской низменности в низовья р. Колымы, при этом на Восточной Чукотке наблюдается заметное снижение численности (в 9 раз за 28 лет) [Розенфельд и др., 2023]. Следует предположить, что смещение ядра ареала стало возможным при изменении климата и удлинении вегетационного периода в арктической зоне [Титкова, Виноградова, 2019], это дало журавлям возможность удлинять (по времени и расстоянию) весеннюю и осеннюю миграции, продвигаясь на запад и занимая новые территории. Примечательным в динамике численности данного вида является сокращение численности в самых восточных участках гнездового ареала в Палеарктике: возможно возникновение настоящей дизъюнкции гнездового ареала и установление нового миграционного пути в Азию.

Продвигаясь на запад, канадский журавль вторгается, а на сегодняшний день уже перекрывает гнездовой ареал глобально угрожаемого стерха *Grus leucogeranus* (категория 2 в Красной книге РФ [Сорокин и др., 2021]), причем на территориях, где плотность популяции канадского журавля увеличилась плотность популяции стерха упала, хотя это явление наблюдается только в краевых частях ареала стерха [Розенфельд и др., 2023]. Вопрос о возможной конкуренции за гнездовые местообитания между этими двумя видами поднимался неоднократно и решался по-разному: от опасений за судьбу стерха [Керемясов, 2017, 2019] до признания высокой толерантности стерха к присутствию и гнездованию канадского журавля [Watanabe, 2006; Владимирцева и др., 2011, 2021; Гермогенов и др., 2015]. Гнездовая экология стерха изучена достаточно хорошо [Potarov, 1992; Гермогенов и др., 2009; 2013; Владимирцева, 2012; Дегтярев и др., 2013; Владимирцева и др., 2014; Ansari, 2023], при этом об особенностях гнездования канадского журавля в Евразии имеются только сведения о гнездовых биоценозах или данные, полученные в ходе авифаунистических исследований всех видов птиц определенной территории, без упора на изучение гнездовой биологии канадского журавля [Беме и др., 1987; Кондрать-

ев, 1988; Кречмар и др., 1991; Владимирцева, 2011, 2012, 2019; Аверин и др., 2015; Андреев и др., 2015; Гермогенов и др., 2015; Прокопенко, Барькина, 2022]. В то же время построение модели изменения границ гнездового ареала канадского журавля невозможно без анализа его гнездовой биологии и климатических факторов, оказывающих влияние на гнездование и продуктивность. Настоящая работа представляет первое многолетнее (2011–2022 гг.) исследование гнездовой экологии малого канадского журавля в ядре гнездового ареала в Палеарктике – в Чаунской низменности, Чукотка. Работа включает анализ влияния погодно-климатических факторов на плотность гнездования, размер кладки, объем яиц и успех гнездования канадского журавля.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Полевые работы проводились на Чаунском биологическом стационаре ИБПС ДВО РАН, расположенном на южном побережье Чаунской губы Восточно-Сибирского моря в единой дельте рек Чаун – Паляваам – Пучевеем на о. Айопечан (рис. 1, 68°46' с. ш., 170°32' в. д.). Стационар располагается в 150 км от г. Певека – административного центра Чаунского района Чукотского АО (ЧАО).

Чаунская низменность представляет собой озерно-аллювиальную равнину площадью около 60 тыс. км² с большим числом рек, термокарстовых озер, спущенных озерных котловин (аласов) и тундроболот. Низменность генетически идентична наиболее северным приморским частям Колымо-Индибирской низменности. С запада, юга и востока Чаунская низменность окружена нагорьями и хребтами: Анюйским, Чукотским и Анадырским. Остров Айопечан – крупнейший из островов дельты рек Паляваам, Чаун и Пучевеем (далее в тексте – Чаунская дельта). Площадь острова 91 км², максимальная абсолютная высота 5–6 м над уровнем моря. Подробная физико-географическая характеристика Чаунской дельты опубликована [Кондратьев, 1979, 1982; Кречмар и др., 1991; Соловьёва, 2012].

Климат морской, холодный и суровый: зимой господствуют Таймырский и Якутский антициклоны, вызывающие преобладание западных и северо-западных ветров, которые

периодически изменяются на теплые южные. Средняя многолетняя температура самого холодного месяца (январь) $-27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рассчитано нами за 2011–2022 гг. для близлежащего пос. Рыткучи) [https://rp5.ru]. Летом преобладает циклоническая деятельность: часты туманы и морось. Господствуют умеренные северные и северо-западные ветры, периодически сменяющиеся южными – сильными и теплыми. Средняя температура июля $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рассчитано нами для 2011–2022 гг.). В XXI в. на Чукотке стало заметно влияние изменения климата: к 2010 г. нормы температур вегетационного периода незначительно повысились, а температуры зимнего сезона выросли значительно на $0,7\text{--}1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Ушаков, 2017]. Даже незначительный рост летних температур привел к удлинению вегетационного периода на 6–8 суток и сокращению зимнего периода на 6–10 суток по сравнению с периодом 1951–1980 гг. Снежный покров в Чаунской дельте устанавливается в последних числах сентября и сходит в начале июня: за 30 лет с нача-

ла 1980-х по конец 2000-х дата наступления положительных среднесуточных температур сместилась с 1 июня на 20 мая, а дата полного схода снежного покрова – с 15 на 2 июня [Соловьёва, Зеленская, 2015].

В плакорных кочкарниковых тундрах доминирует пушица влагалищная *Eriophorum vaginatum* и несколько видов осок, присутствуют березка тощая *Betula exilis*, багульник стелющийся *Ledum decumbens* и 2–3 вида ив. Мелководья озер зарастают хвощами *Equisetum* sp., водяной сосенкой *Hippurus* sp., арктофилой рыжеватой *Arctophila fulva* и лютиком Палласа *Ranunculus pallasii*. По берегам рек и ручьев развиваются ленты и пятна ивняков с примесью кустарниковой ольхи *Dushekia fruticosa*. Из растительных кормов, предпочитаемых канадским журавлем, обычны ягодные кустарники: вороника черная *Empetrum nigrum*, брусника *Vaccinium vitis-idaea*, морошка *Rubus chamaemorus* [Кречмар и др., 1991].

С изменением климата, вероятно, связано и сглаживание циклов мышевидных грызунов

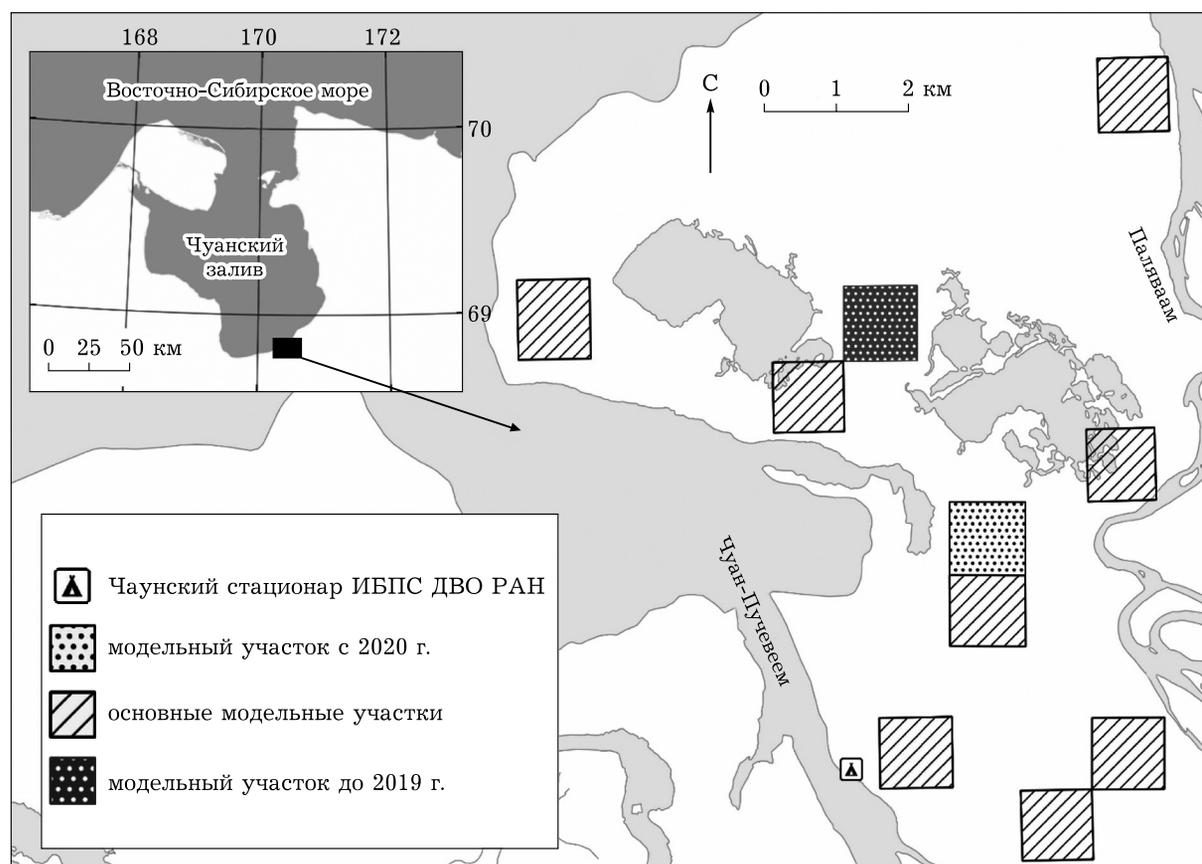


Рис. 1. Карта района исследования (на врезке) и карта расположения модельных участков (плотов) на о. Айопечан

в районе исследования [Ehrich et al., 2019]. Из хищных млекопитающих, опасных для кладок и птенцов журавля, район исследования населен песцом *Vulpes lagopus* в количестве 2–5 активных нор на о. Айопечан, лисицей *Vulpes vulpes* – 1–3 норы в Чаунской дельте, и росомахой *Gulo gulo* (размножение не отмечено). В последние два десятилетия численность хищных млекопитающих растет [Solovyeva et al., 2018]. Из пернатых хищников в Чаунской дельте обитают бургомистр *Larus hyperboreus*, восточносибирская чайка *L. vegae*, короткохвостый *Stercorarius parasiticus* и длиннохвостый *S. longicaudus* поморники, ворон *Corvus corax*.

Данные о первой регистрации канадских журавлей весной получены от опытных наблюдателей птиц из с. Рыткучи, расположенного в 2–14 км от о. Айопечан, или персонала биостанции, проводившего наблюдения непосредственно на острове. Данных о массовом прилете нет.

Поиск гнезд проводили в ходе 12 полевых сезонов (2011–2022 гг.), начинавшихся 16 мая – 6 июня. Окончание работы с гнездами канадского журавля определялось датами вылупления всех гнезд под наблюдением, в среднем 5–15 июля.

Для поиска гнезд канадского журавля на о. Айопечан было заложено девять модельных участков (плотов), каждый площадью 1 км² (1 × 1 км; см. рис. 1). Модельные участки были размещены во всех типичных местообитаниях птиц. На каждом участке поиск гнезд осуществляли два человека в течение целого рабочего дня, т. е. около 8 часов. Каждый модельный участок посещали не менее чем дважды в сезон: первый раз – для поиска гнезд, второй – для установления судеб ранее найденных гнезд и поиска новых. Временной интервал между посещениями составлял 10 дней. Последний раз гнездо посещали после наступления предполагаемой даты вылупления для установления финальной судьбы кладки. Расчет плотности гнездования производится только по гнездам, найденным в пределах модельных участков. Гнезда, найденные за пределами площадок, учитывались для расчета размера кладки, даты начала откладки яиц, объема яиц и успеха гнездования, наряду с гнездами на площадках. Дата начала откладки яиц рассчитывалась исходя из данных водного теста

[Westerskov, 1950], проведенного в день обнаружения гнезда с кладкой. Инкубационный период был принят за 32 дня [Панченко, 1995], интервал между откладкой первого и второго яйца – за 2 дня [Fischer, Stehn, 2013]. Объем яиц рассчитывали по формуле [Hoyt, 1979]:

$$V = 0,51LB^2,$$

где V – объем, см³; L – длина, см; B – диаметр яйца, см.

Гнездо считалось успешным, если в нем вылупился хотя бы один птенец; на успешное вылупление (если птенца/ов не застали в гнезде) указывало наличие подскорлуповой мембраны (мембран) в гнездовой выстилке.

Всего в анализе использовано 223 гнезда канадского журавля за период с 2011 по 2022 г. Из них 92 гнезда было использовано для анализа плотности гнездования (гнезда в пределах модельных площадок), 135 гнезд – для расчета даты откладки первого яйца, 151 гнездо – для оценки успеха гнездования. Измерено 150 яиц.

Данные о погоде в с. Рыткучи (2–14 км от модельных площадок) получены с вебсайта RP5. Дату устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °C рассчитывали по В. П. Садокову [Садоков и др., 2012]. За начало активного снеготаянья или дату 50%-го снежного покрова принимается первое сообщение “Слежавшийся или мокрый снег (со льдом или без него), покрывающий, по крайней мере, половину поверхности почвы, но почва не покрыта полностью”. Датой полного схода снега (сход 100 % снежного покрова) считался первый день после последнего упоминания о снеге на поверхности почвы.

Для наглядности сумма среднесуточных температур мая была представлена в виде условной характеристики: если сумма температур больше 100 °C, то май считался “теплым”, если меньше, то “холодным” (факторная переменная). В качестве независимых переменных, которые могут оказывать влияние на гнездование, взяты погодные характеристики, перечисленные в табл. 1. Для удобства расчетов и построения графиков все даты представлены числом дней от первого января (юлианская дата).

Данные обрабатывались в Microsoft Excel и в статистической среде R версии 4.0.5 (2021)

Список и расшифровка переменных, используемых для анализа

Независимые переменные		Зависимые переменные			
		Densit	Cl_size	Vol	Fate
Year	год	+	+	+	-
Cl_size	размер кладки	-		+	+
Densit	плотность гнездования канадского журавля		+	+	-
Arivl	дата первой регистрации канадского журавля весной	+	+	+	-
d_lay	дата откладки первого яйца	-	+	-	-
MaySu1	сумма среднесуточных температур воздуха первой декады мая	+(-)	+(-)	+	-
MaySu2	сумма среднесуточных температур воздуха второй декады мая	+	+	+(-)	-
MaySu3	сумма среднесуточных температур воздуха третьей декады мая	+	+	+	-
DtC0	дата устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °C	+	+	+	-
Sn50	дата схода 50 % снежного покрова	+	+	+	-
Sn100	дата схода 100 % снежного покрова	+(-)	+(-)	+(-)	-
MaySu (weth)	сумма среднесуточных температур мая или weth – условная характеристика мая “теплый/холодный”	+	+	+	-

П р и м е ч а н и е. “+” – признак, используемый при анализе; “-” – признак, не используемый при анализе. +(-) – исключенные по VIF независимые переменные. Vol – объем яиц канадского журавля. Fate – успех вылупления хотя бы одного яйца.

с использованием стандартных пакетов. Для построения моделей при помощи пакета MuMIn [Barton, Barton, 2022] использовались числовые переменные, кроме успеха гнездования (факторная переменная). Для выявления мультиколлинеарности между погодными характеристиками применялся коэффициент инфляции дисперсии (VIF) из пакета CAR [Fox et al., 2022].

В моделях, описывающих размер кладки, в качестве переменной была выбрана плотность гнездования (Densit), а в моделях объема яйца и успеха гнездования – еще и размер кладки (cl_size). Определение лучшей прогностической модели проводили по значению критерия Акайке [Akaike, 1998].

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным визуальных наблюдений малые канадские журавли прилетают для размножения в Чаунскую дельту в первой – второй декаде мая (рис. 2). Медиана даты прилета приходится на 8 мая. Первые кладки появляются во второй декаде мая. Пик начала откладки

яиц в среднем приходится на 28 ± 1 мая, самая поздняя кладка за 12 лет исследований была начата 20 июня (2013 г.), а самые ранние – 14 мая (2016 и 2017 гг.). Разница между медианой начала откладки яиц и датой первой регистрации прилета журавлей (предгнездовой период) в среднем составляет $19 \pm 1,6$ дня.

В 2011–2022 гг. на о. Айопечан журавли гнездились со средней плотностью $0,9 \pm \pm 0,1$ гнезда/км². За 12 лет исследования плотность гнездования увеличилась и имела достоверный положительный тренд ($R^2 = 0,39$; рис. 3). В среднем плотность ежегодно увеличивалась на 0,1 гнезда/км².

Наиболее эффективными параметрами для предсказания плотности гнездования оказались дата первой регистрации журавля ($p < 0,001$) и условная температурная характеристика мая (холодный или теплый; $p < 0,001$). Немного слабее на плотность гнездования влияет дата устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °C ($p = 0,001$) и сумма среднесуточных температур второй декады мая ($p = 0,001$). Из 128 моделей наилучшими признаны две (табл. 2).

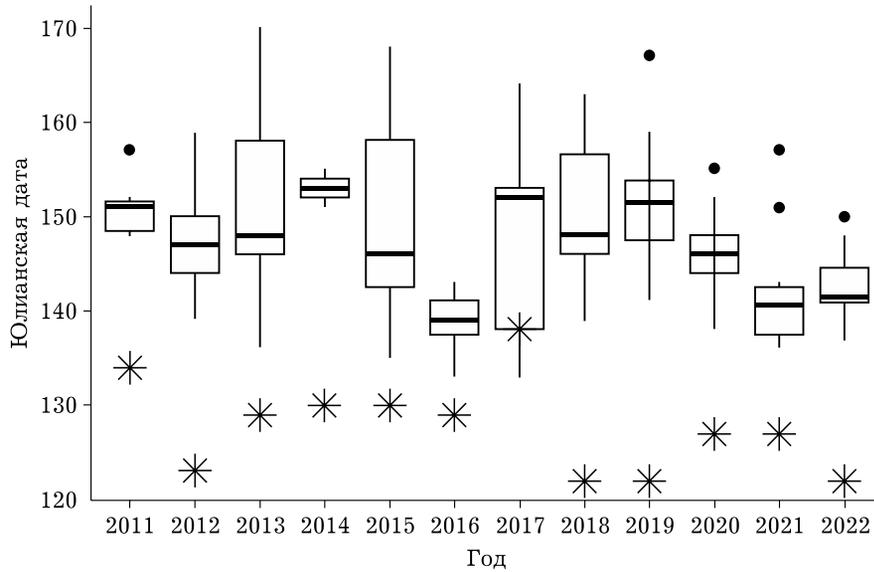


Рис. 2. Дата откладки первого яйца в гнездах канадского журавля (бокс-плот показывает медиану, пределы, ошибку среднего; выбросы обозначены точками), даты первой регистрации журавлей в годы исследования (обозначены звездочками)

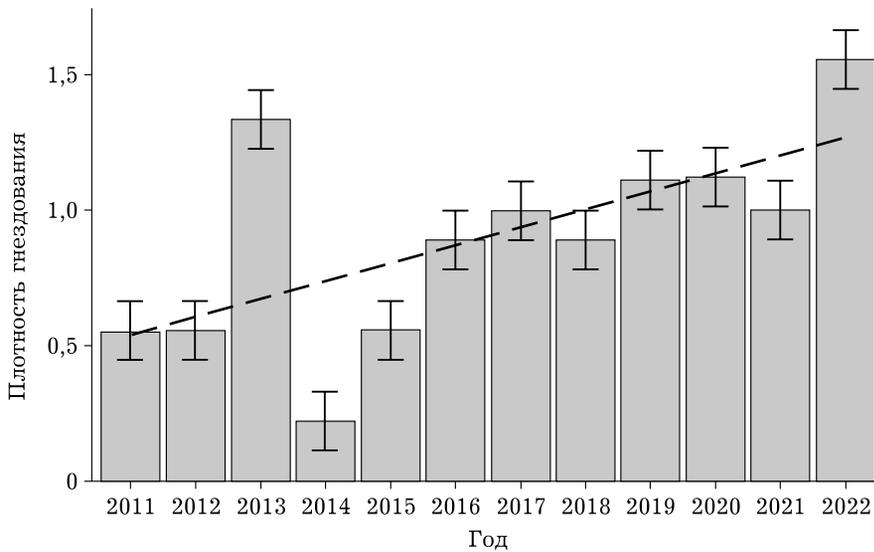


Рис. 3. Динамика плотности гнездования (гнезд/км²) канадского журавля на модельных площадках на о. Айопечан в 2011–2022 гг. Штриховой линией показана линия регрессии

Т а б л и ц а 2

Лучшие две модели, предсказывающие плотность гнездования канадского журавля на о. Айопечан в 2011–2022 гг.

(Intercept)	Ariv1	DtC0	MaySu2	MaySu3	weth	df	AICc	ΔAIC	Bec
-65,22	-0,03	0,02	-0,005	-	+	7	-240,09	0	0,38
-65,39	-0,04	0,02	-0,004	-0,001	+	8	-239,91	0,17	0,35

Лучшие две модели, предсказывающие размер кладки канадского журавля на о. Айопечан в 2011–2022 гг.

(Intercept)	Arivl	dat_cltch	Densit	MaySu2	Sn50	df	AICc	Δ AIC	Вес
4,73	–	–0,03	0,55	–0,004	–	5	155,82	0	0,06
5,07	–0,03	–0,02	0,54	–	0,02	6	156,65	0,83	0,04

Лучшие две модели, предсказывающие объём яиц канадского журавля на о. Айопечан в 2011–2022 гг.

(Intercept)	cl_size	DtC0	weth	df	AICc	delta	weight
116,80	10,55	–	+	4	1247,60	0	0,04
162,38	9,79	–0,31	+	5	1248,17	0,56	0,03

Средний размер кладки за 12 лет наблюдений составляет $1,59 \pm 0,07$ яйца, межгодовой динамики не отмечено ($R^2 = 0,02$).

Для предсказания размера кладки наиболее эффективными параметрами оказались дата откладки первого яйца ($p < 0,001$) и плотность гнездования ($p < 0,001$). Размер кладки зависит и от среднесуточных температур второй декады мая ($p = 0,005$). Из 512 построенных моделей наилучшими признаны первые две (табл. 3).

Объём яиц канадского журавля на о. Айопечан за годы исследования остается стабильным и в среднем равен $142 \pm 1,4$ см³ ($n = 150$). Средняя длина и максимальный диаметр яиц составили $88 \pm 0,4$ и $56 \pm 0,2$ мм ($n = 150$).

Наиболее эффективными параметрами, предсказывающими объём яиц, оказались: размер кладки ($p = 0,002$) и условная температурная характеристика мая (холодный или теплый; $p = 0,003$). Из 512 построенных моделей лучшими оказались первые две (табл. 4).

Успех гнездования (вылупление хотя бы одного птенца) в среднем составляет $67,79 \pm 5$ %, минимальный успех отмечался в 2018 г. – 35,7 %, максимальный в 2022 г. – 95 %. Успех вылупления оказался зависимым от даты откладки первого яйца ($p < 0,001$; рис. 4, а). Слабая связь также наблюдается между успехом гнездования и размером кладки (недостаточно; $p = 0,06$; рис. 4, б).

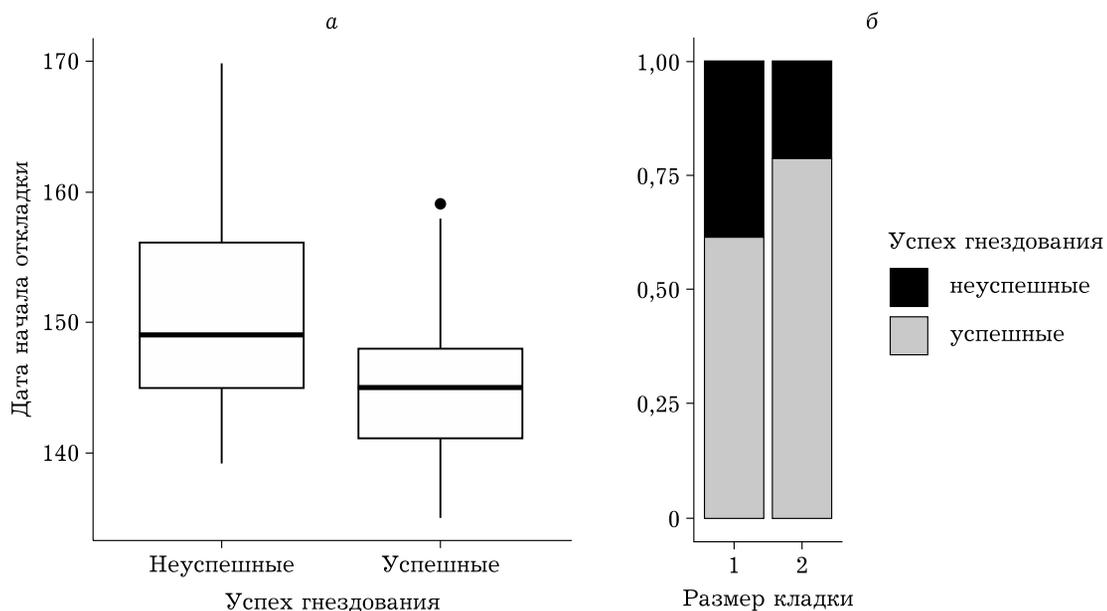


Рис. 4. Успех вылупления птенцов в гнездах малого канадского журавля в зависимости от даты откладки первого яйца (количество дней от 1 января) в данном гнезде (а) и от размера кладки (б)

ОБСУЖДЕНИЕ

Канадский журавль – один из самых ранних мигрантов в Арктике. Весенний пролет канадских журавлей над Беринговым проливом во второй половине XX в. проходил в первой и второй декадах мая [Breckenridge, Cline, 1967; Flock, 1972]. На Восточную Чукотку (окрестности Эгвекинота) журавли прилетают в третьей декаде апреля, интенсивный пролет длится до конца мая [Горохова, 2011]. Активная миграция на Камчатке в районе р. Белой происходит с 9 по 17 мая [Блохин, 2013], примерно в то же время журавли появляются в Чаунской низменности и в дельте Колымы [Воробьёв, 1958; наши данные].

Прилетая на места размножения, журавли занимают гнездовые территории и приступают к постройке гнезд в период, когда значительная часть территории еще покрыта снегом [Gerber et al., 2020]. Существовало предположение о том, что откладка яиц у этого вида начинается в момент перехода температур через 0 °С [Кондратьев, 1988; Кречмар и др., 1991]. Однако доказательство такой связи было получено лишь недавно, с использованием материалов, на которых основана и настоящая статья [Solovyeva et al., 2022].

Мы можем предположить, что на принятие парой решения о гнездовании влияет совокупность факторов. Чем раньше журавли прилетают к местам гнездования и чем теплее температура воздуха, тем выше плотность гнездования (рис. 5). Момент устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С определяет скорость таяния снега и, соответственно, доступ к кормовым ресурсам. Вероятно, именно доступность кормов в годы с теплой весной позволяет большему числу пар принять участие в размножении.

Плотность гнездования канадского журавля в районе исследования $0,9 \pm 0,1$ гнезда/км² близка к максимально известной для этого вида. В дельте рек Юкон – Кускоквим (Аляска) плотность гнездования составляла $1,2 \pm \pm 0,09$ гнезда/км² при среднегодовом темпе роста плотности гнездования 0,97 % с 2004 по 2013 г. [Fischer, Stehn, 2013]. В дельте р. Аапельгин (Чаунский район, 150 км от о. Айопечан) с 2018 по 2020 г. плотность гнездования была $0,8 \pm 0,2$ гнезда/км² [Прокопенко, Барыкина, 2022].

В Евразийской части гнездового ареала данные о плотности гнездования разрозненны и зачастую представлены в виде числа пар (а не гнезд!) на квадратный километр. В 2007 и 2011 гг. в дельте р. Колымы плотность пар канадских журавлей составила около 0,2 пары/км² [Владимирцева, 2012]. В устье р. Большая Чукочья (Колымская низменность) в 2010 г. плотность журавля составляла 0,56 пары/км² [Владимирцева, 2012], увеличившись в 2 раза по сравнению с 0,25 пары/км² в 1996 г. [Владимирцева, 2019]. В 2017 г. в устье р. Алазея плотность пар составила 0,3 пары/км².

Полученные нами данные о высокой плотности гнездования (и ее продолжающемся росте с годами) в Чаунской низменности (см. рис. 3) несколько противоречат картине, полученной в ходе авиаучета 2020–2021 гг.: очаг плотности сместился в дельту р. Колымы (плотность в 2020–2021 гг. – 0,19 особи/км²; выросла в 5 раз по сравнению с 1993–1994 гг.), а плотность в Чаунской низменности (0,175 особи/км²) снизилась в 2 раза [Розенфельд и др., 2023]. Мы предполагаем, что такое несоответствие могло возникнуть из-за большого числа неразмножающихся журавлей, которые попадают в поле зрения учетчика с большей вероятностью, чем гнездовые, поскольку агрегированы в стаи, легче обнаруживаемые с воздуха, чем затаившиеся на гнезде птицы. Данных о плотности гнездования канадского журавля в 1990-х годах ни для дельты Колымы, ни для Чаунской низменности нет, поэтому мы не можем провести сравнение плотностей гнездования, аналогично проведенному сравнению плотностей (в размерности особей/км²). Можно предположить, что при высокой плотности гнездования в Чаунской низменности доля неразмножающихся журавлей невысока, что объяснимо агрессивным территориальным поведением гнездовых пар, изгоняющих конспецифичных особей со своей территории. Возможно, что доля негнездовых журавлей в дельте р. Колымы, напротив, очень высока, что и обуславливает современную высокую летнюю плотность вида. С другой стороны, практически полное отсутствие канадского журавля в 2020–2021 гг. на востоке ЧАО, в частности на Чукотском п-ове, может быть объяснено действием климатических факторов: на востоке ЧАО

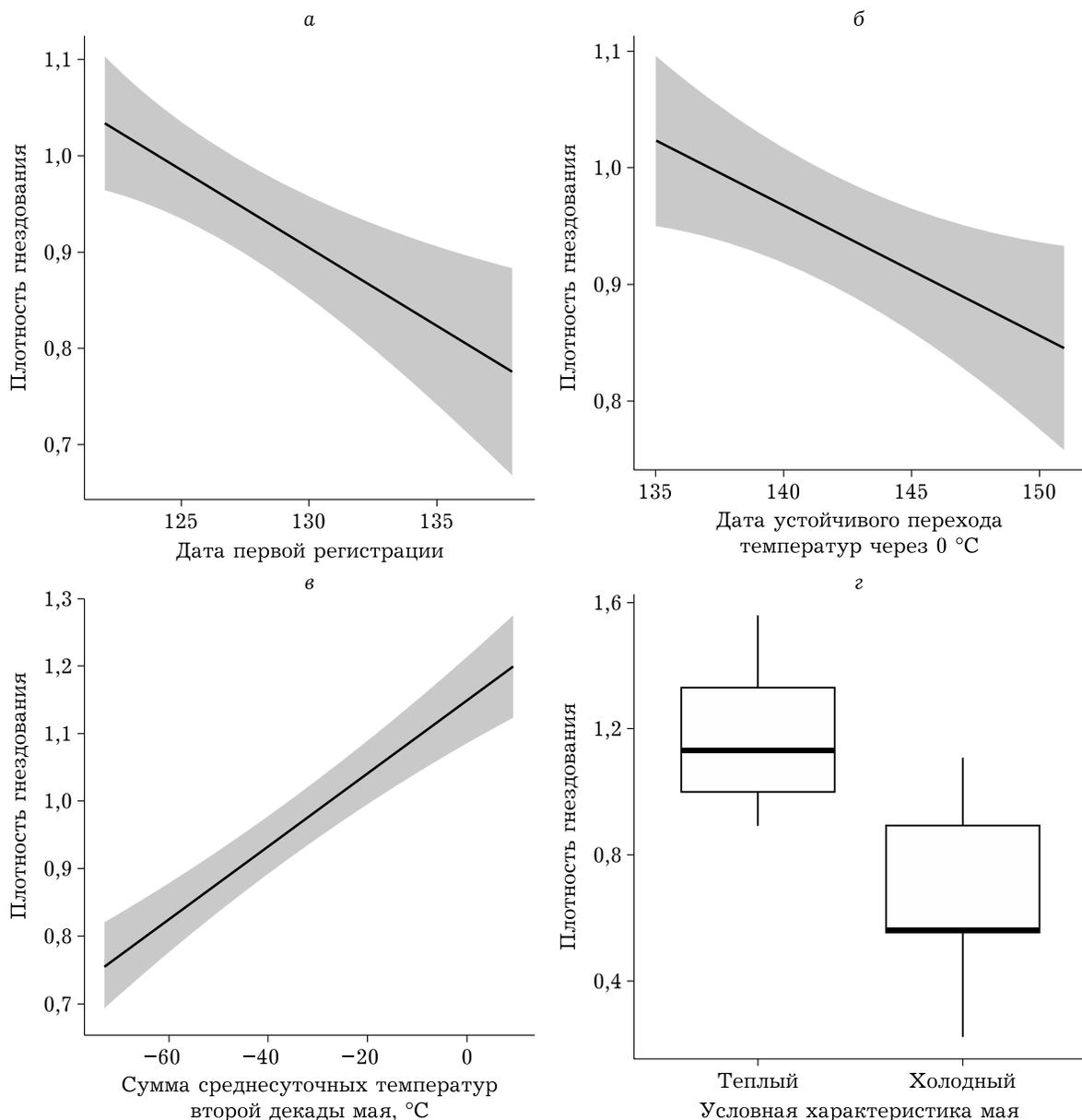


Рис. 5. Связь плотности гнездования (гнезд/км²) канадского журавля и даты первой регистрации журавлей (количество дней от 1 января) в дельте рек Чаун – Паляваам (а), даты устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0 °C (количество дней от 1 января) (б), суммы среднесуточных температур второй декады мая (°C) (в) и условной характеристики мая (г)

наблюдается увеличение индекса NDVI [Титкова, Виноградова, 2019]. Это увеличение ведет к зарастанию тундровых участков кустарниками, что отмечается и в Чаунской низменности [Ktitorov et al., 2021], и формированию биоценоза, менее пригодного для обитания канадского журавля – птицы открытых пространств.

Настоящим исследованием установлено, что характер весны имеет ключевое значение

для гнездования канадского журавля: в годы с теплой весной достоверно увеличивается как плотность гнездования (см. рис. 5), так и размер кладки (рис. 6) и объем яиц (рис. 7). Прилет журавлей на места гнездования (см. рис. 2) и начало откладки яиц также происходят раньше в годы с теплой весной [Solovyeva et al., 2022]. А размер кладки и дата начала откладки определяют успех гнездования: полные кладки, начатые раньше, имеют до-

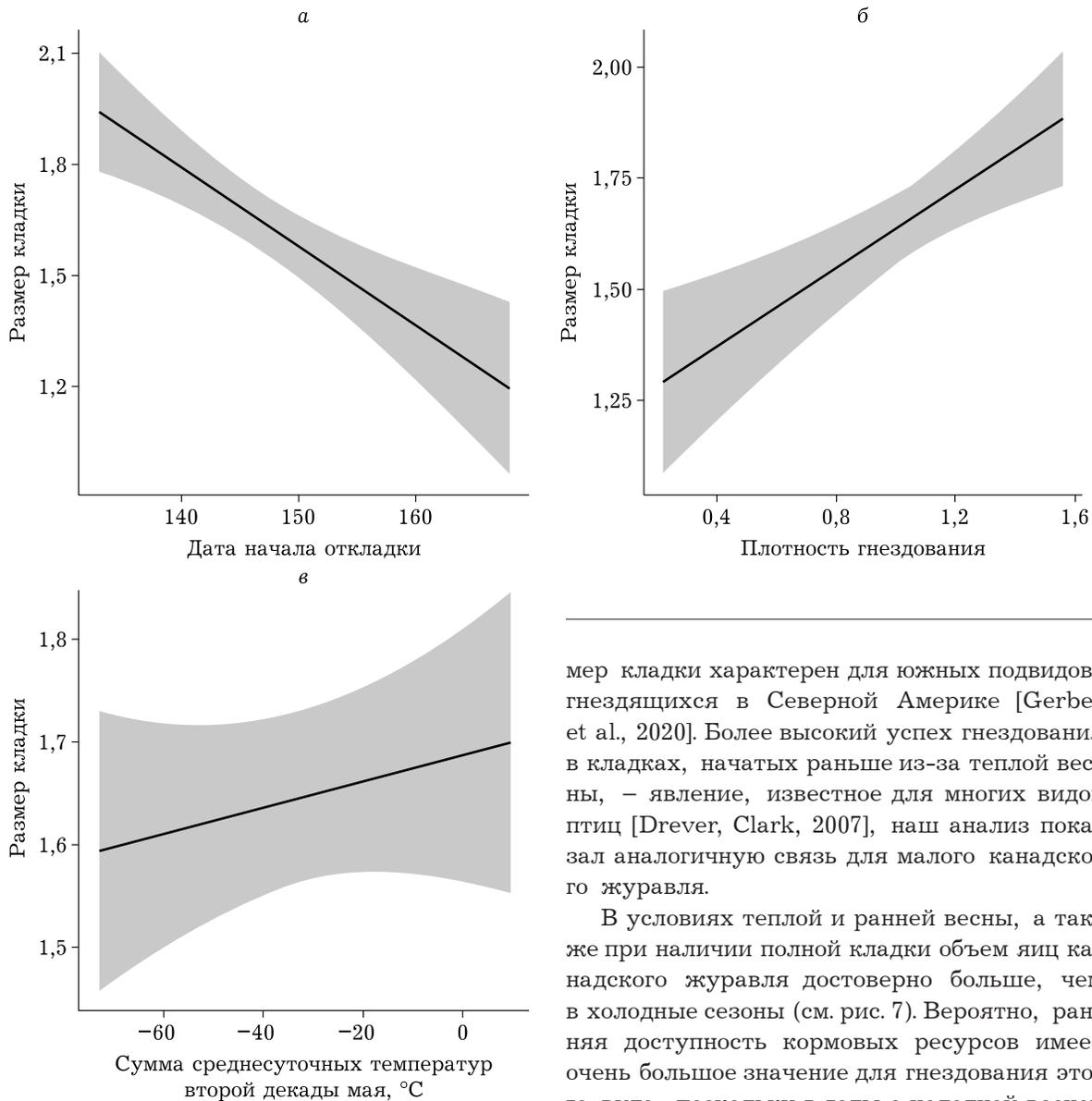


Рис. 6. Связь размера кладки с датой откладки первого яйца (количество дней от 1 января) (а), плотностью гнездования (гнезд/км²) (б) и суммой среднесуточных температур второй декады мая (°C) (в)

стверно более высокий шанс на вылупление птенца/ов (см. рис. 4). Влияние размера кладки на успех гнездования объяснимо: поскольку гибель яиц зачастую происходит от хищничества крупных чаек или поморников, которые успевают расклевать одно из яиц до того как пара журавлей прогонит их с гнезда, то кладка из двух яиц имеет большие шансы на сохранение хотя бы одного птенца. Максимальное количество яиц в кладке малого канадского журавля – 2. Большой раз-

мер кладки характерен для южных подвидов, гнездящихся в Северной Америке [Gerber et al., 2020]. Более высокий успех гнездования в кладках, начатых раньше из-за теплой весны, – явление, известное для многих видов птиц [Drever, Clark, 2007], наш анализ показал аналогичную связь для малого канадского журавля.

В условиях теплой и ранней весны, а также при наличии полной кладки объем яиц канадского журавля достоверно больше, чем в холодные сезоны (см. рис. 7). Вероятно, ранняя доступность кормовых ресурсов имеет очень большое значение для гнездования этого вида, поскольку в годы с холодной весной часть самок кладет мелкие яйца и не может сформировать двухъяйцевую кладку. Размер яиц определяет стартовые возможности выводковых птенцов: из крупных яиц вылупляются более крупные птенцы, имеющие больше шансов на выживание, особенно в арктических условиях, где птенцы с первых дней жизни вынуждены нести затраты энергии на терморегуляцию [Ankney, 1980].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Весенняя погода на местах гнездования является основным фактором, определяющим плотность гнездования, размер кладки и яиц, а также успех гнездования малого канадско-

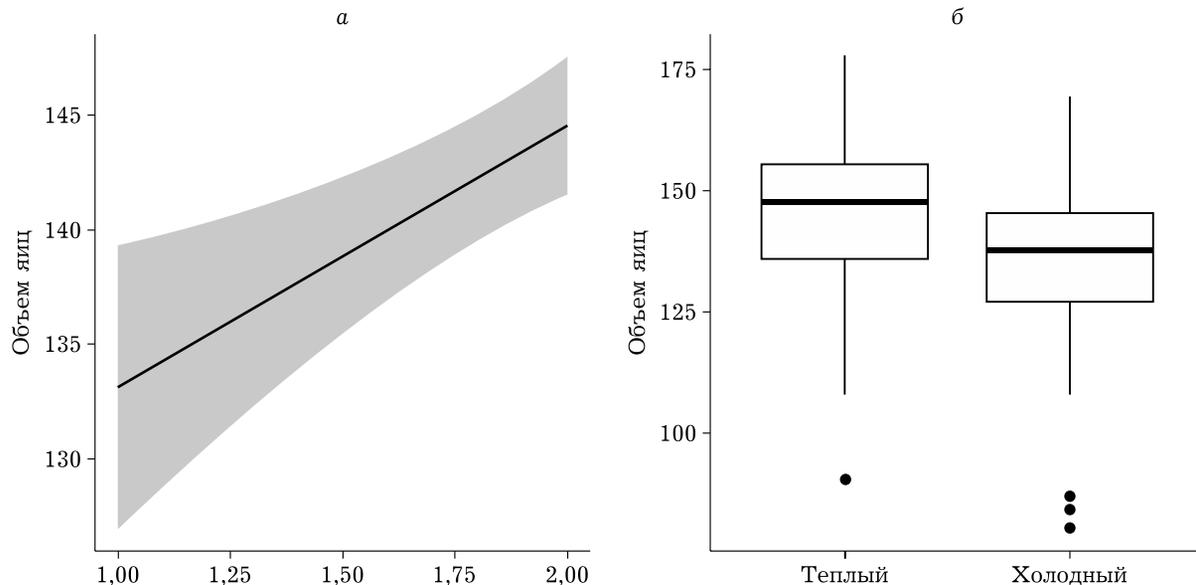


Рис. 7. Связь объема яиц от размера кладки (а) и условной температурной характеристики мая (б)

го журавля. Связь всех вышеперечисленных параметров гнездования с датой наступления положительных температур воздуха или с температурной характеристикой весны (теплая или холодная) высоко достоверна.

Полученные результаты позволяют моделировать репродуктивный потенциал этого вида при различных климатических сценариях. Остается неизвестным, как современное изменение климата может повлиять на финальный успех размножения, поскольку отсутствуют данные о выживаемости птенцов от момента вылупления до подъема на крыло и о факторах, влияющих на эту выживаемость. В совокупности со знаниями о миграционной стратегии полученные данные могут лечь в основу модели освоения видом новых территорий Евразии.

Авторы статьи выражают огромную благодарность Чукотской горно-геологической компании (дочернее предприятие Kinross Gold) за логистическую и транспортную поддержку проекта. Также благодарят лаборантов лаборатории орнитологии ИБПС ДВО РАН К. Г. Павлюкова и Т. А. Часовских (пос. Рыткучи) за данные о весеннем прилете журавлей. В сборе материала по гнездованию журавлей принимали участие 28 волонтеров проекта “Мониторинг сообществ птиц дельты рек Чаун – Паляваам в связи с климатическими изменениями и влиянием антропогенных факторов”, всем им мы выражаем глубокую благодарность. Авторы выражают признательность двум анонимным рецензентам.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверин А. А., Клиторов П. С., Ириняков Д. С. Учеты канадского журавля в Чаунском районе Чукотского автономного округа в 2015 г. // Журавли Евразии: биология, охрана, управление. 2015. Вып. 5. С. 109–115.
- Андреев А. В., Кондратьев А. В., Потапов Е. Р. Орнитофауна Нижнеколымских тундр: многолетняя динамика на фоне климатических перемен // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2015. № 2. С. 57–68.
- Баженова Д. А. Первый залет канадского журавля *Grus canadensis* в Юго-Западное Забайкалье // Рус. орнитол. журн. 2015. Т. 27, экспресс-вып. 1109. С. 613–614.
- Беме Р. Л., Грачев Н. П., Исаков Ю. А., Кошелев А. И. Птицы СССР. Курообразные, журавлеобразные. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 528 с.
- Блохин Ю. Ю. Весенние миграции околородных птиц в долине реки Белой (Парапольский Дол, Камчатка) // Орнитология. 2013. № 38. С. 16–23.
- Владимирцева М. В. Экология стерха *Grus leucogeranus* (Pallas, 1773) и канадского журавля *Grus Canadensis Canadensis* (Linnaeus, 1758) в репродуктивный период жизни на северо-востоке Сибири: дис. / Сев.-Вост. федерал. ун-т им. М. К. Аммосова. Якутск, 2011. 22 с.
- Владимирцева М. В. Особенности экологии стерха *Grus leucogeranus* и канадского журавля *Grus canadensis canadensis* на северо-востоке Якутии // Вестн. Дальневосточ. отд-ния РАН. 2012. Вып. 2, № 162. С. 79–85.
- Владимирцева М. В. Исследования восточной части алазейского очага гнездования стерха *Grus leucogeranus* в 2017 году // Рус. орнитол. журн. 2019. Т. 28, № 1866. С. 5991–5999.
- Владимирцева М. В., Бысыкатова И. П., Слепцов С. М. Социальные взаимоотношения стерха и канадского журавля // Журавли Евразии: биология, распространение, миграции, управление. 2011. Вып. 4. С. 77–85.
- Владимирцева М. В., Гермогенов Н. И., Бысыкатова И. П., Слепцов С. М. Наследование гнездовых участков у стерха *Grus leucogeranus* Pall. // Алт. зоол. журн. 2014. № 8. С. 23–29.

- Владимирцева М. В., Слепцов С. М., Керемясов Н. В. Территориальные взаимоотношения стерха и канадского журавля в Якутии, Россия // Журавли Евразии (распространение, биология). 2021. Вып. 6. С. 354–362.
- Воробьев К. А. Птицы Якутии. 1963. М.: Наука. 336 с.
- Воробьев К. А. К биологии размножения некоторых представителей арктической и американской орнитофауны в Северо-Восточной Якутии // Рус. орнитол. журн. 2012. Т. 21, № 819. С. 2940–2945.
- Гермогенов Н. И., Пшенников А. Е., Канаи Ю. О территориальном консерватизме стерха (*Grus leucogeranus*) // Зоол. журн. 2009. Вып. 88, № 7. С. 860–870.
- Гермогенов Н. И., Слепцов С. М., Бысыкатова И. П., Владимирцева М. В. Потенциальные угрозы восточно-сибирской популяции стерха в гнездовой части ареала в Якутии // Журавли Евразии: биология, охрана, управление. 2015. Вып. 5. С. 430–439.
- Гермогенов Н. И., Соломонов Н. Г., Пшенников А. Е., Дегтярев А. Г., Слепцов С. М., Егоров Н. Н., Бысыкатова И. П., Владимирцева М. В., Оконешников В. В. Экология местообитаний, гнездования и миграций восточной популяции стерха (*Grus leucogeranus* Pallas, 1773) // Сиб. экол. журн. 2013. Т. 20, № 1. С. 87–99. [Germogenov N. I., Solomono N. G., Pshennikov A. E., Degtyarev A. G., Sleptsov S. M., Egorov N. N., Bysykatova I. P., Vladimirtseva M. V., Okoneshnikov V. V. The ecology of the habitats, nesting, and migration of the eastern population of the Siberian crane (*Grus leucogeranus* Pallas, 1773) // Contemporary Problems of Ecology. 2013. Vol. 6, N 1. P. 65–76].
- Головнюк В. В. Первая встреча канадского журавля *Grus canadensis* на юго-восточном Таймыре // Рус. орнитол. журн. 2018. Т. 27, экпресс-вып. 1604. С. 2104–2105.
- Горохова Т. В. Фенология и характер пребывания птиц населенных пунктов Чукотского нагорья // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Биология, география. 2011. № 4а. С. 175–177.
- Дегтярев А. Г. Динамика ареала и численности канадского журавля в Якутии // Инф. бюл. РГЖЕ. М., 2009. Вып. 12. С. 1–138.
- Дегтярев В. Г., Слепцов С. М., Пшенников А. Е. Территориальность восточной популяции стерха *Grus leucogeranus* // Экология. 2013. № 3. С. 183–183.
- Керемясов Н. В. Стерх *Grus leucogeranus* в северо-таежном редколесье Алазейской низменности // Рус. орнитол. журн. 2017. Т. 26, № 1445. С. 1991–1997.
- Керемясов Н. В. Стерх *Grus leucogeranus* и канадский журавль *Grus canadensis* в таежной зоне среднего течения реки Алазеи // Рус. орнитол. журн. 2019. Т. 28, № 1856. С. 5607–5623.
- Кишинский А. А. Орнитофауна Северо-Востока Азии: история и современное состояние. М., 1988. 288 с.
- Кишинский А. А., Томкович П. С., Флинт В. Е. Птицы бассейна Канчалана (Чукотский национальный округ) // Распространение и систематика птиц. М.: Наука, 1983. С. 3–76.
- Кондратьев А. Я. Сезонные явления в жизни птиц Чаунской низменности // Птицы Северо-Востока Азии. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 95–105.
- Кондратьев А. Я. Биология куликов в тундрах северо-востока Азии. М., 1982. 192 с.
- Кондратьев А. Я. Гнездовой период в жизни канадского журавля – *Grus canadensis* (Linnaeus) // Журавли Палеарктики. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 27–33.
- Кречмар А. В., Андреев А. В., Кондратьев А. Я. Птицы северных равнин. Л.: Наука. Ленингр. отдние, 1991. 288 с.
- Лабутин Ю. В., Дегтярев А. Г. Канадский журавль у западной границы ареала: размещение и численность // Журавли Палеарктики (биология, морфология, распространение). Владивосток, 1988. С. 161–164. [Labutin Yu. V., Degtyarev A. G. *Grus canadensis* (Linnaeus) near the western boundary of their range: distribution and numbers // In The Palearctic Cranes (biology, morphology, distribution). Vladivostok, 1988. P. 161–164].
- Панченко В. Г., Кашенцева Т. А. Размножение журавлей в питомнике Окского заповедника // Научные основы охраны и рационального использования птиц. Рязань: Русское слово, 1995. С. 236–270.
- Пирогов Н. Г. Встреча канадского журавля (*Grus canadensis*) на Сахалине // Вестн. Сахалин. музея. 2016. Т. 23, № 1. С. 269–271.
- Позняков В. И. Залеты канадского журавля в дельту Лены и на Новосибирские острова // Журавли Евразии (биология, распространение, разведение). 2015. Вып. 5. С. 148–152.
- Поздняков В. И. Залеты канадского журавля *Antigone canadensis* и стерха *Leucogeranus leucogeranus* в дельту Лены и на Новосибирские острова // Рус. орнитол. журн. 2021. Т. 30, № 2085. С. 2995–2999.
- Портенко Л. А. Фауна Анадырского края. Л., 1939. Ч. 1. 209 с.
- Портенко Л. А. Птицы Чукотского полуострова и острова Врангеля. Л., 1972. Т. 1. 423 с.
- Прокопенко О. Д., Барыкина Д. А. Динамика численности и успех размножения некоторых видов птиц дельты р. Алапельгин, Западная Чукотка // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2022. № 1. С. 66–76.
- Розенфельд С. Б., Бысыкатова И. П., Барыкина Д. А., Киртаев Г. К., Соловьёва Д. В. Современные тренды популяций стерха *Grus leucogeranus* и канадского журавля *Antigone canadensis* в тундрах Якутии и Чукотки по данным авиаучетов // Зоол. журн. 2023. Т. 102, № 2. С. 181–194.
- Садоков В. П., Козельцева В. Ф., Кузнецова Н. Н. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, + 5 °С, их прогноз и оценка // Тр. Гидрометеорол. науч.-исслед. центра РФ. 2012. № 348. С. 162–172.
- Соловьёва Д. В. Многолетняя динамика фауны птиц дельты рек Чаун–Пучувеем (Западная Чукотка) и возможные причины изменения численности отдельных видов // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2012. № 4. С. 57–65.
- Соловьёва Д. В., Зеленская Л. А. Изменения состава и численности чаек в тундровых колониях на Западной Чукотке за последние 40 лет // Зоол. журн. 2015. Т. 94, № 1. С. 68–75. [Solovyeva D. V., Zelenskaya L. A. Changes in the species composition and number of gulls in tundra colonies in the western Chukotka over the last 40 years // Biol. Bull. 2016. Vol. 43, N 8. P. 844–850].
- Сорокин А. Г., Гермогенов Н. И., Шиллина А. П. Стерх *Grus leucogeranus* (Pallas, 1773). Восточная популяция // Красная книга Российской Федерации. Т. “Животные”. М.: ФГБУ “ВНИИ Экология”. 2021. С. 682–684.
- Титкова Т. Б., Виноградова В. В. Изменения климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 5. С. 310–323.

- Ушаков М. В. Современные изменения термического режима вегетационного и зимнего периодов на Чукотке // Геогр. вестн. 2017. Вып. 2, № 41. С. 81–91.
- Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle // Selected Papers of Hirotugu Akaike. N. Y.: Springer New York, 1998. P. 199–213.
- Ankney C. D. Egg Weight, Survival, and Growth of Lesser Snow Goose Goslings // J. Wildlife Management. 1980. Vol. 44, N 1. P. 174–182
- Ansari A. Prediction of Climate Change Effects on Siberian Crane (*Grus leucogeranus*) Habitat Suitability by Using Ensemble Modeling in Asia Wetlands // Wetlands. 2023. Vol. 43, N 1 (4) P. 1–12.
- Barton K., Barton M. K. Package 'mumin' // R Package Version. 2022. T. 1, N 6. P. 1–79.
- Breckenridge W. J., Cline D. Sandhill cranes and other birds from Bering Strait, Alaska // The Auk. 1967. Vol. 84, N 2. P. 277–278.
- Drever M. C., Clark R. G. Spring temperature, clutch initiation date and duck nest success: a test of the mismatch hypothesis // J. Animal Ecol. 2007. Vol. 76, N 1. P. 139–148.
- Ehrich D., Schmidt N. M., Gauthier G., Alisauskas R., Angerbjörn A., Clark K., Ecke F., Eide N. E., Framstad E., Frandsen J., Franke A., Gilg O., Giroux M. A., Henttonen H., Hörnfeldt B., Ims R. A., Kataev G. D., Kharitonov S. P., Killengreen S. T., Krebs C. J., Lancot R. B., Lecomte N., Menyushina I. E., Morris D. W., Morrisson G., Oksanen L., Oksanen T., Olofsson J., Pokrovsky I. G., Popov I. Y., Reid D., Roth J. D., Saalfeld S. T., Samelius G., Sittler B., Sleptsov S. M., Smith P., Sokolov A. A., Sokolova N. A., Soloviev M. Y., Solovyeva D. Documenting lemming population change in the Arctic: can we detect trends? // AMBIO. 2019. Vol. 49. P. 786–800.
- Fischer J. B., Stehn R. A. Nest population size and potential production of geese and spectacled eiders on the Yukon-Kuskokwim Delta, Alaska, 1985–2013 // Unpub. Report. US Fish and Wildl. Serv. Anchorage, AK, 2013. 54 p.
- Flock W. L. Radar observations of bird migration at Cape Prince of Wales // Arctic. 1972. Vol. 25, N 2. P. 83–98.
- Fox J., Weisberg S., Price B., Adler D., Bates D., Baud-Bovy G. ... R-Core. car: Companion to Applied Regression (3.0-10) [Computer software]. 2022. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=car>
- Gerber B. D., Dwyer J. F., Nesbitt S. A., Drewien R. C., Littlefield C. D., Tacha T. C., Vohs P. A. Sandhill Crane (*Antigone canadensis*), version 1.0. In Birds of the World (A. F. Poole, Editor) // Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, N. Y., USA. 2020. <https://doi.org/10.2173/bow.sanra.01>
- Hoyt D. F. Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs // The Auk. 1979. Vol. 69. N 1. P. 73–77.
- Krajewski C., Sipiorski J. T., Anderson F. E. Complete mitochondrial genome sequences and the phylogeny of cranes (Gruiformes: Gruidae) // The Auk. 2010. Vol. 127, N 2. P. 440–452.
- Krapu G. L., Brandt D. A., Jones K. L., Johnson D. H. Geographic distribution of the mid-continent population of Sandhill Cranes and related management applications // Wildlife Monographs. 2011. Vol. 175. P. 1–38.
- Ktitorov P., Ivanov S., Kornilova E., Kulikova O., Ris H., Sokolovskis K., Solovyeva D. Shrub dwelling species are joining the Arctic passerine bird community in the Chaun Delta (Western Chukotka, Russia) // Polar Biol. 2021. Vol. 44. P. 1847–1857.
- Potapov E. Some breeding observations on the Siberian White Crane *Grus leucogeranus* in the Kolyma lowlands // Bird Conservat. Int. 1992. Vol. 2, N 2. P. 149–156.
- Solovyeva D., Barykina D. A., Prokopenko O. D., Balsby T. J., Fox A. D. Annual variation in waterbird clutch initiation date in relation to spring thaw in Arctic Russia // Int. J. Biometeorol. 2022. Vol. 66, N 5. P. 1005–1012.
- Solovyeva D. V., Vartanyan S. L., Frederiksen M., Fox A. D. Changes in nesting success and breeding abundance of Spectacled eiders *Somateria fischeri* in the Chaun delta, Chukotka, Russia, 2003–2016 // Polar Biol. 2018. Vol. 41, N 4. P. 743–751.
- Thayer J. E., Bangs O. Notes on the birds and mammals of the Arctic. Coast of East Siberia // Birds Proc. New. Eng. Zool. Club. 1914. Vol. 5. P. 1–48.
- Watanabe T. Comparative Breeding Ecology of Lesser Sandhill Cranes (*Grus canadensis canadensis*) and Siberian Cranes (*G. leucogeranus*) in Eastern Siberia // Dissertation Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University. 2006. 120 p.
- Westerskov K. Methods for determining the age of game bird eggs // Journal of Wildlife Management. 1950. Vol. 54. P. 627–628.

Effect of climatic factors on the nesting of the Sandhill Crane *Antigone canadensis* in West Chukotka

D. A. BARYKINA, D. V. SOLOVYEVA

*Institute for Biological Problems of the North, FEB RAS
685000, Magadan, Portovaya str., 18
E-mail: daria.barykin@gmail.com*

The climate change is well pronounced in high latitudes. The quick westward expansion of the Sandhill Crane breeding range in Eurasia requires an analysis of the species impact on the Arctic ecosystems. We employ the data about 223 Sandhill Crane nests in the Chaun-Delta, West Chukotka. We investigated date of clutch onset, clutch sizes, egg sizes, nesting density and nesting success. We tested above parameters *vs* climatic characteristics of the site in order to learn their effect on the reproductive potential of the species. The most important climatic characteristics that determine the increase in nesting density, clutch and egg sizes, earlier clutch onset and higher nesting success included the First frost free day, the integrated characteristic of May (cold or warm according to the sum of positive temperatures) and the sum of average daily temperatures in the second half of May. The maximum reproductive potential Sandhill crane is realized in conditions of warm and early spring.

Key words: Lesser Sandhill crane, *Antigone canadensis canadensis*, nesting density, early spring.