

Иван Юрьевич Буюнов^{1✉}, Ирина Николаевна Воронцова², Анна Евгеньевна Коновалова³

^{1,2}Парк флоры и фауны «Роев ручей», Красноярск, Россия

³Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

¹tiger-ra@yandex.ru

²office@roev.ru

³annkonovalov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА НАЧАЛО ГНЕЗДОВОГО ПЕРИОДА У ХИЩНЫХ ПТИЦ В ПАРКЕ «РОЕВ РУЧЕЙ»

Цель исследования – выявление в контролируемых условиях искусственного содержания особенностей влияния календарных сроков и температуры приземного слоя воздуха на начало гнездования. Результаты исследования расширяют и уточняют представления о влиянии абиотических факторов на различные аспекты гнездования тринадцати видов хищных птиц, а также могут повлечь за собой некоторые изменения в порядке содержания птиц с целью коррекции репродуктивных функций. В ходе многолетних наблюдений за репродуктивными парами хищных птиц собраны данные о сроках начала гнездования и сопутствующих метеоусловиях за 13-летний период. Впервые проведен анализ данных времени гнездования хищных птиц теоретико-информационным методом. Предлагаемый подход позволяет провести количественную оценку связи (влияния) выбранных факторов в номинальных шкалах с рассмотрением структуры сопряженности. В результате анализа определен наиболее вероятный период начала гнездования всего перечня видов, приходящийся на апрель. Выявлен температурный оптимум начала гнездования (8 °С). Пары белоплечего орлана (*Haliaeetus pelagicus*), пустельги (*Falco tinnunculus*) и белой совы (*Bubo scandiacus*) отличаются постоянством посадки на гнездо в определенный период. Посадка же на гнездо черного грифа (*Aegypius monachus*), филина (*Bubo bubo*), бородастой неясыти (*Strix nebulosa*) и одной из двух пар тетеревиатников (*Accipiter gentilis*) менее привязана к определенному времени. Полученные результаты раскрывают неоднородность реакции репродуктивного поведения на температуру воздуха, в связи с чем влиянию данного фактора должно уделяться большее внимание в контексте получения потомства хищных птиц.

Ключевые слова: температура воздуха, начало гнездования, хищные птицы

Для цитирования: Буюнов И.Ю., Воронцова И.Н., Коновалова А.Е. Влияние температуры воздуха на начало гнездового периода у хищных птиц в парке «Роев Ручей» // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 213–220. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-213-220.

Благодарности: в работе использованы наблюдения Парка флоры и фауны «Роев ручей». Обработка результатов выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН по теме «Состояние и функционирование компонентов антропогенно-трансформированных экосистем в условиях крупных мегаполисов Сибири» № FWES-2022-0004.

Ivan Yurievich Buyanov^{1✉}, Irina Nikolaevna Vorontsova², Anna Evgenievna Konovalova³

^{1,2}Flora and Fauna Park "Roev Ruchey", Krasnoyarsk, Russia

³Institute of Forestry named after V.N. Sukachev SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

¹tiger-ra@yandex.ru

²office@roev.ru

³annkonovalov@mail.ru

AIR TEMPERATURE INFLUENCE ON THE NESTING PERIOD BEGINNING IN BIRDS OF PREY IN THE “ROEV RUCHEY” PARK

*The purpose of the study is to identify, under controlled artificial conditions, the influence of calendar dates and surface air temperature on the beginning of nesting. The results of the study expand and clarify ideas about the influence of abiotic factors on various aspects of nesting of thirteen species of birds of prey, and may also entail some changes in the management of birds in order to correct reproductive functions. During long-term observations of reproductive pairs of birds of prey, data were collected on the timing of the start of nesting and accompanying weather conditions over a 13-year period. For the first time, data on the nesting time of birds of prey has been analyzed using the information theoretical method. The proposed approach allows for a quantitative assessment of the relationship (influence) of selected factors on nominal scales with consideration of the contingency structure. As a result of the analysis, the most probable period for the beginning of nesting of the entire list of species was determined to be in April. The temperature optimum for the beginning of nesting was revealed (8 °C). Pairs white-shouldered eagle (*Haliaeetus pelagicus*), kestrel (*Falco tinnunculus*) and white owl (*Bubo scandiacus*) are distinguished by their consistency in landing on the nest at a certain period. Landing on the nest of a black vulture (*Aegypius monachus*), an owl (*Bubo bubo*), a bearded owl (*Strix nebulosa*) and one of two pairs of grouse (*Accipiter gentilis*) is less time-bound. The results obtained reveal the heterogeneity of the response of reproductive behavior to air temperature, and therefore the influence of this factor should be given more attention in the context of obtaining offspring of birds of prey.*

Keywords: air temperature, beginning of nesting, birds of prey

For citation: Buyanov I.Yu., Vorontsova I.N., Konovalova A. E. Air temperature influence on the nesting period beginning in birds of prey in the “Roev ruchey” park // Bulliten KrasSAU. 2023;(11): 213–220. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-213-220.

Acknowledgments: the study has used observations from the Roev Ruchey Flora and Fauna Park. Results processing has been carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center KSC SB RAS on the topic “State and functioning of the components of anthropogenically transformed ecosystems in the conditions of large megacities of Siberia” № FWES-2022-0004.

Введение. Влияние абиотических факторов на животных являлось предметом многочисленных исследований [1–3]. В естественных сообществах выявлена связь численности вида с обилием корма, плотностью хищных животных и климатическими факторами [4–8].

В искусственной среде животные получают питание постоянно в соответствии с разработанными рационами, поэтому динамика численности кормовых животных на хищников не влияет. В связи с исключением колебаний обилия корма, возможно изучение непосредственного влияния календарного периода и температуры приземного слоя воздуха на начало гнездового периода у птиц.

Цель исследования – оценка связи гнездования хищных птиц с календарным временем и температурой воздуха при прочих равных условиях.

Материалы и методы. Многолетние наблюдения проведены в парке «Роев ручей» за группой хищных птиц, которые содержатся в парке с

2000 г. В процессе работы орнитологов с коллекцией формировались пары птиц для размножения и накапливались данные наблюдений за сроками их гнездования. Ежегодно отмечалась дата посадки птиц на гнездо. Собраны данные о метеоусловиях по наблюдениям метеостанции Емельяново (г. Красноярск). Использовались средние температуры воздуха за месяц, полумесячные средние температуры и суммы температур с февраля до конца мая за 13 лет.

Территория парка «Роев ручей» находится в зоне умеренного климата с хорошо выраженной континентальностью. Характеризуется большой годовой (38 °C, по среднемесячным значениям) и суточной (12–14 °C) амплитудой колебаний температуры воздуха. Средняя годовая температура воздуха в Красноярске составляет 0,5–0,6 °C. В годовом ходе самая низкая средняя многолетняя температура приходится на январь (–30,6...– 41,3 °C). Переход температуры через 5 °C наблюдается в апреле. В мае продолжает

ся интенсивный рост температуры воздуха, но внезапные вторжения арктического воздуха могут вызвать заморозки. Июль является самым жарким месяцем. В июле в среднем в течение 26 дней средняя суточная температура выше 15 °С, из них в течение 10 дней – выше 20 °С. В этом же месяце осуществляется устойчивый переход суточной температуры через 20 °С [9]. С августа начинается понижение температуры воздуха, и в начале последней декады октября она переходит через 0 °С к отрицательным значениям.

Анализ упорядоченности во времени посадки на гнездо различных пар хищных птиц, а также связи сроков начала гнездования с календарным периодом, средней температурой и суммой температур воздуха проводился с использованием теоретико-информационного анализа двухкомпонентных систем. При этом теория информации применялась нами, как ветвь математической теории вероятностей и статистики, позволяющая количественно оценить связь на основе взаимного ограничения разнообразия двух подсистем [10–12]. Информационный анализ имеет ряд преимуществ в использовании перед другими методами статистического анализа данных: полное отсутствие предварительных предположений о характере распределения выборки, применимость к номинальным шкалам, нечувствительность к перестановкам переменных и нулевым значениям, количественное выражение силы связи, возможность анализа структуры связи. Данный подход хорошо зарекомендовал себя в естественных науках [13–16].

Хищные птицы и сроки начала гнездования (подсистема X) или средние температуры и суммы температур воздуха (подсистемы Y) рассматривались как два компонента единой системы, сгруппированные попарно в матрицы со-

пряженности. Для каждой из них вычислялись энтропии подсистем, общие взаимные энтропии систем, полная взаимная информация по каждой системе [17].

Проверка достоверности связи подсистем проводилась путем сравнения общей взаимной информации с минимальной статистически значимой общей взаимной информацией, рассчитываемой для каждой матрицы с заданным уровнем ($P = 0,95$) статистической значимости [18, 19]. Сравнение величин связи между системами выполнялось с использованием коэффициента нормированной информации $R_{X|Y}$, имеющего такой же смысл, как и коэффициент детерминации в регрессионном анализе [20]. Коэффициенты нормированной информации вычисляются в логарифмической шкале, и их значение, равное 0,1, «эквивалентно» умеренной корреляции в обычном смысле. Значения $R_{X|Y} = 0$ и $R_{X|Y} = 1$ относятся к независимым и эквивалентным подсистемам соответственно. Индивидуальная взаимосвязь оценивалась по величине частной информации $I(X|y_j)$ и $I(Y|x_i)$ о состоянии одной подсистемы (X или Y), получаемым при известных состояниях (x_i или y_j) другой [17].

Результаты и их обсуждение. Сезонность гнездового периода обычна у птиц и зависит от экологических факторов. Сроки начала гнездования в разных регионах России у хищных птиц начинаются раньше либо позже, чем в парке «Роев ручей». Наиболее заметны изменения сроков гнездования по трансекте с юга на север. Рассчитанные на основе данных многолетних наблюдений за сроками начала гнездования хищных птиц парка «Роев ручей» информационные характеристики показали наличие статистически достоверной связи между парами различных видов и временем посадки на гнездо (табл.).

Связь пар различных видов хищных птиц и времени посадки на гнездо

Основная информационная характеристика	Месяц	Половина месяца
Энтропия видов хищных птиц $H(X)$	3,705829	3,705829
Энтропия второй подсистемы $H(Y)$	1,593671	2,519156
Общая энтропия системы $H(X,Y)$	4,491784	4,894933
Общая взаимная информация $I(X,Y)$	0,807716	1,330052
Коэффициент нормированной информации времени посадки на гнездо о хищных птицах $R_{X Y}$	0,217958	0,358908
Минимальная статистически значимая общая взаимная информация I_0	0,142752	0,388908

Коэффициент нормированной информации R_{xy} существенно превышает 0,1, что позволяет рассматривать время посадки на гнездо со всеми сопутствующими ему факторами, чрезвычайно важным условием гнездования. Однако связь неоднородна. Наибольшей привязкой к определенному времени гнездования отличаются пары белоплечего орлана (*Haliaeetus*

pelagicus), пустельги (*Falco tinnunculus*) и белой совы (*Bubo scandiacus*) (рис. 1). Посадка же на гнездо пар бородастой неясыти (*Strix nebulosa*), черного грифа (*Aegypius monachus*), филина (*Bubo bubo*) и тетеревятника (*Accipiter gentilis*) № 1 гораздо меньше связана с временным промежутком, что предполагает большую зависимость от других факторов.

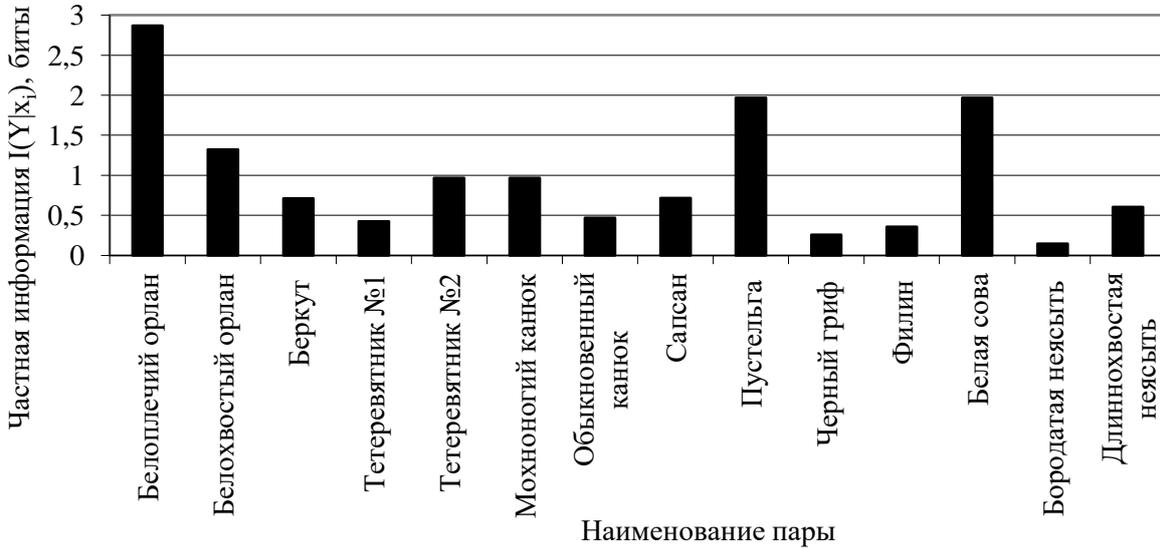


Рис. 1. Влияние видовой принадлежности хищных птиц в парке «Роев ручей» на время (месяц) гнездования

В целом же, очевидно, наиболее благоприятным временем посадки на гнездо является апрель, когда происходит наиболее массовое гнездование (рис. 2). Посадка на гнездо в фев-

рале происходит изредка у некоторых видов (белоплечий и белохвостый орланы) и представляет собой уникальное событие.

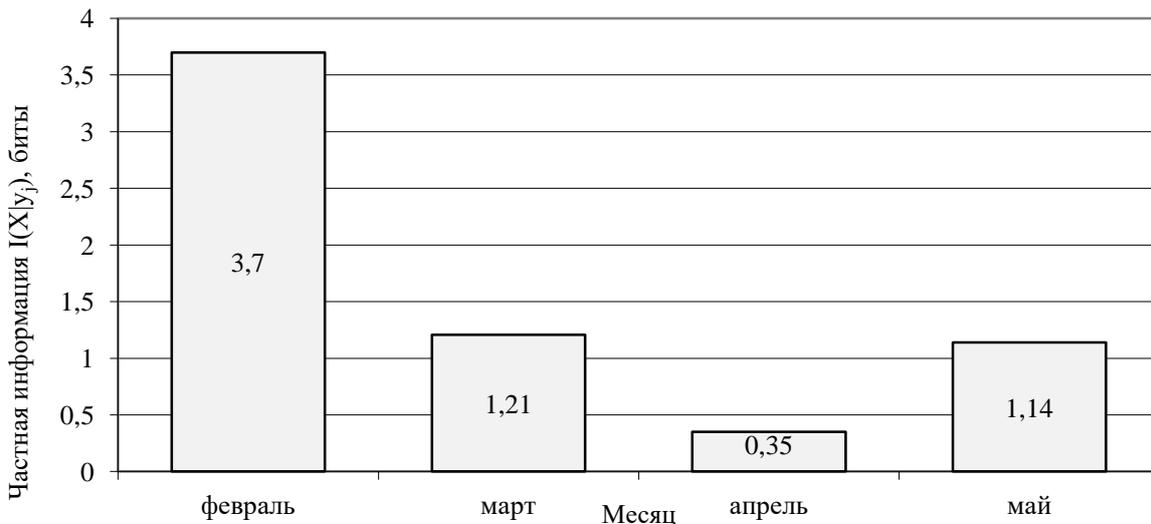


Рис. 2. Влияние временного промежутка (месяц) на гнездование хищных птиц в парке «Роев ручей»

На втором этапе анализа при более детальном рассмотрении времени посадки на гнездо (за полумесячный период) связь сохраняет статистическую достоверность (см. табл.). Однако

из графика видно, что наиболее массово птицы садятся на гнездо не только в апреле, но и в конце марта (рис. 3).

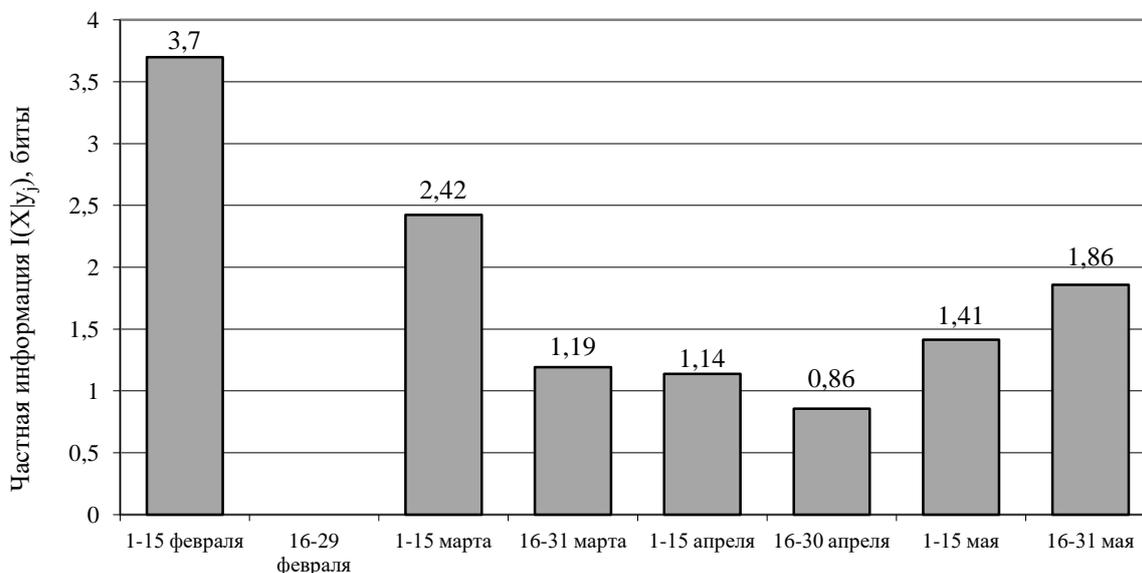


Рис. 3. Влияние полумесячного временного промежутка на гнездование хищных птиц в парке «Роев ручей»

На третьем этапе анализа подсистема X представляла собой все виды хищных птиц, подсистема Y – среднемесячные температуры. Рассчитанные по таблице сопряженности значения энтропий не равны друг другу ($H(X) = 4,491\ 784$ бит, $H(Y) = 1,968\ 891$ бит), их сумма больше общей энтропии системы ($H(X,Y) = 4,491\ 784$ бит) и общая взаимная информация ($I(X,Y) = 1,968\ 891$ бит) больше значений минимальной статистически значимой общей взаимной информации ($I_0 = 1,319\ 971$ бит). Из чего следует, что подсистемы являются связанными и достоверно не независимыми. При этом коэффициент нормированной информации $R_{x|y} = 0,448\ 332$, что позволяет рассматривать влияние среднемесячной температуры на время посадки (месяц) на гнездо как очень сильное.

Рассматривая частную информацию влияния среднемесячных температур на сроки начала гнездования птиц (рис. 4), мы наблюдаем ярко выраженный температурный оптимум ($8\ ^\circ\text{C}$). У рассмотренных видов хищных птиц наиболее

благоприятная температура для посадки на гнездо может различаться, но в целом вероятность гнездования плавно повышается при увеличении среднемесячных температур от $-16\ ^\circ\text{C}$ до $8\ ^\circ\text{C}$ и резко падает при дальнейшем превышении температур приземного слоя воздуха. Таким образом, общая благоприятная температура для начала гнездования – $8\ ^\circ\text{C}$. Отклонение от оптимума среднемесячных температур приводит к несимметричному снижению вероятности гнездования, и посадка на гнездо в такие периоды может быть обусловлена иными причинами (особенностями содержания). Из опыта Одесского зоопарка по разведению хищных птиц имеет место отрицательное влияние на размножение птиц воздействие факторов беспокойства, связанных с постоянным пребыванием в зоопарке посетителей, технологическими работами и т. д. Такой фон нарушает репродуктивное поведение, в первую очередь самцов, вследствие чего птицы не спариваются.

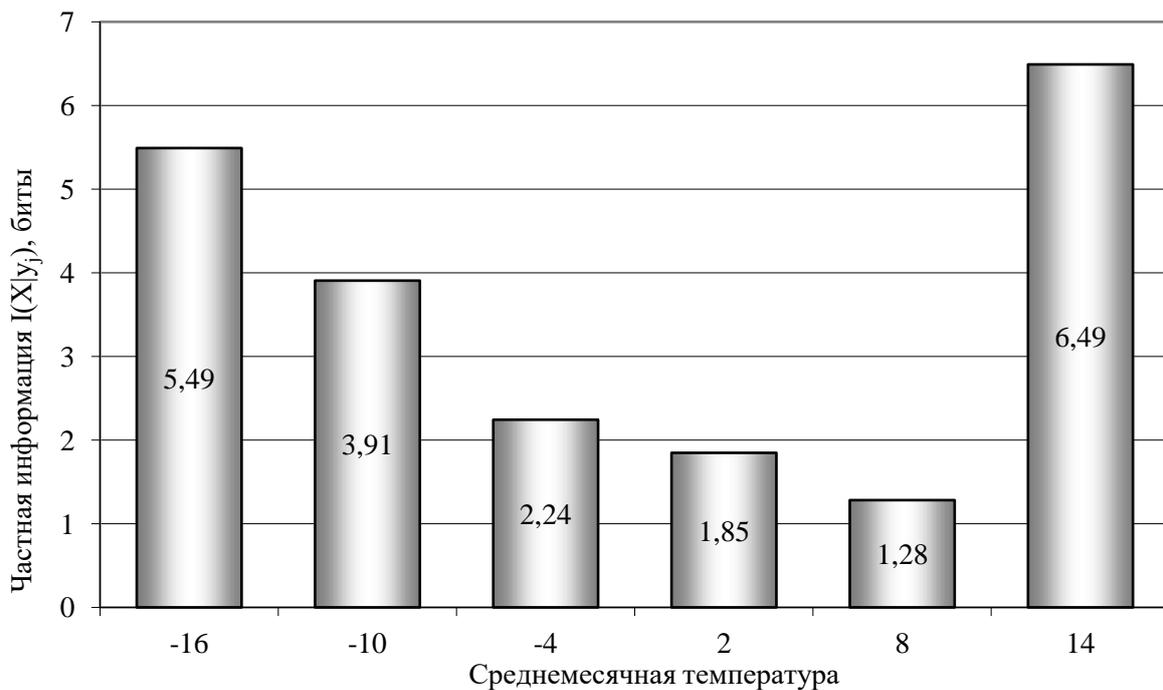


Рис. 4. Частная информация среднемесячных температур о времени гнездования (месяц)

Заключение. Анализ данных о сроках начала гнездования репродуктивных пар хищных птиц за 13-летний период показал статистически достоверную связь как с календарным периодом, так и с суммой температур за период. У некоторых видов обнаружена сильная связь начала гнездования с определенным временным промежутком, что является фактором, усложняющим контроль за репродуктивным поведением.

В случае среднемесячной суммы температур связь более сильная, что указывает на непосредственное влияние температурного режима на начало гнездования. Для хищных птиц, содержащихся в парке «Роев ручей», в целом наиболее благоприятен период с суммой температур приземного воздуха около $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, часто приходящийся на апрель месяц. Гнездование при других температурах является отклонением от нормы, случаем исключительным.

В целом наблюдаемые пары хищных птиц показывают большое разнообразие репродуктивного поведения, сильно зависящего от температур приземного воздуха. Это требует дополнительных уточнений требований каждого вида и особого внимания при создании благоприятных условий для получения потомства.

Список источников

1. Литвин К.Е., Овсяников Н.Г. Зависимость размножения и численности белых сов и песцов от численности леммингов на острове Врангеля // Зоологический журнал. 1990. Т. 69, № 4. С. 52–64.
2. Одум Ю.П. Основы экологии: пер. с англ. / под ред. Н.П. Наумова. М.: Мир, 1975. 740 с.
3. Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Структура растительности лесной зоны СССР. Системный анализ. М.: Наука, 1981. 275 с.
4. Буянов И.Ю. Лисица (*Vulpes vulpes* L.), соболь (*Martes zibellina* L.) в «Центральносибирском» заповеднике и прилегающих территорий // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 28. С. 81–85.
5. Буянов И.Ю., Буянов Н.Ю. Питание соболя (*Martes zibellina* L., 1758) в средней тайге // Итоги и перспективы развития териологических исследований азиатской России и сопредельных территорий: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Заслуженного эколога России Нарцисса Исаевича Литвинова (11–13 октября 2017 г.). Вестник ИрГСХА. Иркутск, 2017. С. 39–46.
6. Буянов И.Ю. Исследования пространственной динамики размещения особей популя-

- ций с применением геоинформационной системы // Вестник КрасГАУ. 2018. № 6. С. 259–265.
7. Коновалова М.Е., Кофман Г.Б., Коновалова А.Е. Сопряженность признаков рельефа и типов леса в горных условиях // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 177–182.
 8. Риклефс Р. Основы общей экологии / пер. с англ. Н.О. Фоминой; под ред. Н.Н. Карташева. М.: Мир, 1979.
 9. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Изд-во МГУ, 1956. 127 с.
 10. Krippendorff K. Information theory: structural models for qualitative data. Newbury Park, Calif.: Sage Publications, 1986. 96 p.
 11. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier, 1998. № 20. 853 p.
 12. Pan G.C. Related Information Measures for the Associations of Earth-Science Variables // Mathematical Geology. Vol. 27. № 5, 1995. P. 609–632.
 13. Пианка Э.Э. Эволюционная экология / пер. с англ. А.М. Гилярова, В.Ф. Матвеева. М.: Мир, 1981. 399 с.
 14. Экотипическая обусловленность соотношения желто- и краснопыльничковой форм в южносибирских популяциях сосны обыкновенной / А.В. Пименов [и др.] // Лесоведение. 2020. № 6. С. 493–502.
 15. Влияние трофического и погодноклиматического факторов на динамику численности птиц миофагов в местах их размножения / А.В. Шариков [и др.] // Зоологический журнал. 2019. Т. 98, № 2. С. 203–213.
 16. Stone J.V. Information Theory: A Tutorial Introduction: Sebtel Press, 2015. 243 p.
 17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
 18. Hampe J., Schreiber S., Krawczak M. Entropy-based SNP selection for genetic association studies // Hum Genet. 2003. № 114. P. 36–43.
 19. Orloci L., Anand M., Pillar V.D. Biodiversity analysis: issues, concepts, techniques // Community Ecology. 2002. Vol. 3. № 2. P. 217–236.
 20. Елисеева И.И. Статистические методы измерения связей. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. 136 с.

References

1. Litvin K.E., Ovsyanikov N.G. Zavisimost' razmnozheniya i chislennosti belyh sov i pescov ot chislennosti lemmingov na ostrove Vrangelya // Zoologicheskij zhurnal. 1990. T. 69, № 4. S. 52–64.
2. Odum Yu.P. Osnovy `ekologii: per. s angl. / pod red. N.P. Naumova. M.: Mir, 1975. 740 s.
3. Puzachenko Yu.G., Skulkin V.S. Struktura rastitel'nosti lesnoj zony SSSR. Sistemnyj analiz. M.: Nauka, 1981. 275 s.
4. Buyanov I.Yu. Lisica (*Vulpes vulpes* L.), sobol' (*Martes zibellina* L.) v «Central'nosibirskom» zapovednike i prilegayuschih territorij // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2011. № 28. S. 81–85.
5. Buyanov I.Yu., Buyanov N.Yu. Pitanie sobolya (*Martes zibellina* L., 1758) v srednej tajge // Itogi i perspektivy razvitiya teriologicheskikh issledovanij aziatskoj rossii i sopredel'nyh territorij: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyasch. 90-letiyu Zasluzhennogo `ekologa Rossii Narcissa Isaevicha Litvinova (11–13 oktyabrya 2017 g.). Vestnik IrGSHA. Irkutsk, 2017. S. 39–46.
6. Buyanov I.Yu. Issledovaniya prostranstvennoj dinamiki razmescheniya osobej populyacij s primeneniem geoinformacionnoj sistemy // Vestnik KrasGAU. 2018. № 6. S. 259–265.
7. Konovalova M.E., Kofman G.B., Konovalova A.E. Sopryazhennost' priznakov rel'efa i tipov lesa v gornyh usloviyah // Geografiya i prirodnye resursy. 2015. № 2. S. 177–182.
8. Riklefs R. Osnovy obschej `ekologii / per. s angl. N.O. Fominoj; pod red. N.N. Kartasheva. M.: Mir, 1979.
9. Alisov B.P. Klimat SSSR. M.: Izd-vo MGU, 1956. 127 s.
10. Krippendorff K. Information theory: structural models for qualitative data. Newbury Park, Calif.: Sage Publications, 1986. 96 p.
11. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier, 1998. № 20. 853 p.
12. Pan G.S. Related Information Measures for the Associations of Earth-Science Variables // Mathematical Geology. Vol. 27. № 5, 1995. P. 609–632.

13. *Pianka* E.E. *Evolyucionnaya ekologiya* / per. s angl. A.M. Gilyarova, V.F. Matveeva. M.: Mir, 1981. 399 s.
14. 'Ekotipicheskaya obuslovlennost' sootnosheniya zhelto- i krasnopyl'nikovoj form v yuzhno-sibirskih populyacijah sosny obyknovenoj / A.V. Pimenov [i dr.] // *Lesovedenie*. 2020. № 6. S. 493–502.
15. Vliyanie troficheskogo i pogodno-klimaticheskogo faktorov na dinamiku chislennosti ptic miofagov v mestah ih razmnozheniya / A.V. Sharikov [i dr.] // *Zoologicheskij zhurnal*. 2019. T. 98, № 2. S. 203–213.
16. *Stone J.V.* *Information Theory: A Tutorial Introduction*: Sebtel Press, 2015. 243 p.
17. *Ventcel' E.S.* *Teoriya veroyatnostej*. M.: Nauka, 1969. 576 s.
18. *Hampe J., Schreiber S., Krawczak M.* Entropy-based SNP selection for genetic association studies // *Hum Genet*. 2003. № 114. P. 36–43.
19. *Orlaci L., Anand M., Pillar V.D.* Biodiversity analysis: issues, concepts, techniques // *Community Ecology*. 2002. Vol. 3. № 2. P. 217–236.
20. *Eliseeva I.I.* *Statisticheskie metody izmereniya svyazej*. L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1982. 136 s.

Статья принята к публикации 26.09.2023 / The article accepted for publication 26.09.2023.

Информация об авторах:

Иван Юрьевич Буянов¹, старший научный сотрудник отдела науки, кандидат сельскохозяйственных наук

Ирина Николаевна Воронцова², заведующая отделом орнитологии

Анна Евгеньевна Коновалова³, старший лаборант лаборатории экоурбанистики

Information about the authors:

Ivan Yurievich Buyanov¹, Senior Researcher of the Science Department, Candidate of Agricultural Sciences

Irina Nikolaevna Vorontsova², Head of the Ornithology Department

Anna Evgenievna Konovalova³, Senior Laboratory Assistant at the Laboratory of Eco-urbanism

