

Научная статья

УДК 519.246.5

doi: 10.17223/19988605/69/10

**Интервальное распознавание больших выбросов в экосистеме
по наблюдениям с фотоловушек****Гурами Шалвович Цициашвили¹, Владимир Николаевич Бочарников²**¹ *Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Владивосток, Россия, gurat@iam.dvo.ru*² *Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Владивосток, Россия, vbocharnikov@mail.ru*

Аннотация. Исследуется связь временного ряда появления у фотоловушек неразличимых животных с временным рядом характеристик внешней среды. Задача решается интервальным распознаванием образов и оценкой коэффициента корреляции между рядами при наличии мешающего параметра, характеризующего число подходов животного к фотоловушке. Устранение мешающего параметра при анализе этой связи производится с помощью усиленного закона больших чисел.

Ключевые слова: корреляция; интервальное распознавание; закон больших чисел; мешающий параметр.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ИПМ ДВО РАН (№ 075-00459-24-00).

Для цитирования: Цициашвили Г.Ш., Бочарников В.Н. Интервальное распознавание больших выбросов в экосистеме по наблюдениям с фотоловушек // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. № 69. С. 95–102. doi: 10.17223/19988605/69/10

Original article

doi: 10.17223/19988605/69/10

**Interval detection of large emissions in the ecosystem
based on observations from camera traps****Gurami Sh. Tsitsiashvili¹, Vladimir N. Bocharnikov²**¹ *Institute for Applied Mathematics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russian Federation, gurat@iam.dvo.ru*² *Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russian Federation, vbocharnikov@mail.ru*

Abstract. The relationship between the time series of the appearance of indistinguishable animals in camera traps is investigated with a time series of environmental characteristics. The problem is solved by interval pattern recognition and estimation of the correlation coefficient between the rows in the presence of an interfering parameter characterizing the number of approaches of the animal to the camera trap. The elimination of the interfering parameter in the analysis of this relationship is carried out using the strong law of large numbers.

Keywords: correlation; interval recognition; law of large numbers; interfering parameter.

Acknowledgments: The study was performed within the framework of the state assignment of the Institute for Applied Mathematics FEB RAS (No. 075-00459-24-00).

For citation: Tsitsiashvili, G.Sh., Bocharnikov, V.N. (2024) Interval detection of large emissions in the ecosystem based on observations from camera traps. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naja tehnik i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 69. pp. 95–102. doi: 10.17223/19988605/69/10

Введение

В работе рассматривается задача интервального распознавания больших выбросов некоторых характеристик X в экосистеме по наблюдениям Y с фотоловушек. Здесь ряд $X = \{x_1, \dots, x_s\}$ характеризует, например, частоту подходов копытных животных к солонцам, необходимым для коррекции биохимического состава организмов оленей, лосей, косуль и других видов. Можно брать данное обозначение в более широком смысле, например как визуальную регистрацию крупных хищников (медведей, тигров, леопардов, волков) при их посещении населенных пунктов, при встречах вблизи дорог или фиксацию следов жизнедеятельности и останков жертв при нападениях на домашних животных. Есть и другие причины возникновения конфликтов между человеком и дикими животными. Такие подходы могут сигнализировать о нехватке пищи для крупных хищников и, как следствие, нарушении некоторых балансов в экосистеме, приводящих к ее неустойчивости [1–3]. Задача данной работы была предопределена также имеющимися работами по математическому моделированию состояния лесных экосистем [4], динамике численности популяций кабана [5] и исследованию биологии кабарги [6].

Что касается наблюдений с фотоловушек $Y = \{y_1, \dots, y_s\}$, то они свидетельствуют о среднем-есячном подходе к фотоловушке животных (изюбрей, оленей, косуль, кабанов), служащих кормом для крупных хищников. Однако подсчет общего числа подошедших животных не может быть сделан без серьезных ошибок, если выполнять его по частоте регистраций фотоловушкой. Причина в том, что невозможно доказать различие копытных животных, следовательно, один и тот же зверь может регистрироваться несколько раз и учитываться как разные животные.

Поэтому между определенными с помощью фотоловушек частотой (средним числом наблюдаемых подходов указанных животных) и средним числом $Z = \{z_1, \dots, z_s\}$ самих подошедших животных существует некоторая связь, включающая в себя неизвестный (назовем его мешающим) параметр. Не помогают в этих расчетах и фиксированные сведения по дате и времени пребывания, что также фиксируется фотоловушкой. Необходимо убирать мешающий параметр и строить данные по встречам животных как относительное число, фактически совпадающее с общим числом регистраций всех животных по месяцам. Эти параметры выражают средние значения суточных и сезонных посещений животными солонцов [7–9]. Отсутствие такого параметра ставит задачу интервального распознавания больших выбросов в ряду наблюдений X по реальным наблюдениям с фотоловушек Z . Кроме того, если имеются дополнительные наблюдения за экосистемой $W = \{w_1, \dots, w_s\}$, то возникает задача интервального распознавания в наблюдениях Z по наблюдениям W . В частности, такая задача появляется, если в качестве наблюдений W берутся широко распространенные в метеорологии ряды наблюдений за давлением H_{500} на высоте 5 км.

1. Интервальное распознавание больших выбросов в наблюдениях X по наблюдениям Y

1.1. Алгоритм интервального распознавания по одному признаку

Пусть задано положительное число p , $0 < p < 1$, по которому определяется $r = [ps]$ (здесь $[a]$ – целая часть вещественного числа a). Обозначим $\bar{x} = x'_r$. Рассмотрим теперь алгоритм интервального распознавания образов больших выбросов ($x_j \geq \bar{x}$) в ряду X по наблюдениям Y [10]. Для этого сначала упорядочим по величине, начиная с наименьшего, ряд X , преобразовав его в соответствующий вариационный ряд, где $x'_1 \leq \dots \leq x'_s$,

$$x'_1 = \min_{1 \leq j \leq s} x_j, \quad x'_s = \max_{1 \leq j \leq s} x_j, \quad x'_j = \max_{1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_{n-j+1} \leq s} \min(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_{n-j+1}}), \quad j = 2, \dots, s-1. \quad (1)$$

Зададим множество индексов $K = \{k: x_k \geq \bar{x}\}$. Определим $|K|$ – число элементов множества K , и вычислим $\underline{y}$, $\bar{y}$ по формулам

$$\underline{y} = \min_{k \in K} y_k, \quad \bar{y} = \max_{k \in K} y_k. \quad (2)$$

Будем распознавать принадлежность $j \in K$ по следующему правилу:

$$\underline{y} \leq y_j \leq \bar{y}, \quad j = 1, \dots, s. \quad (3)$$

Очевидно, что все $k \in K$ будут распознаваться правильно. Однако, если $j \notin K$, то могут быть ошибки, когда $j \notin K$ распознается как $j \in K$. Обозначим $|\bar{K}|$ число значений $j \notin K$, которые правильно распознаются, т.е. распознаются как $j \in K$. Тогда отношение

$$\rho = \frac{|K| + |\bar{K}|}{s} \quad (4)$$

характеризует качество интервального распознавания.

1.2. Алгоритм интервального распознавания по нескольким признакам

Предположим, что имеются наблюдения с нескольких фотоловушек $Y_i = \{y_{1i}, \dots, y_{si}\}$, $i = 1, \dots, I$. Для каждого из этих наблюдений вычислены

$$\underline{y}_i = \min_{k \in K} y_{ki}, \quad \bar{y}_i = \max_{k \in K} y_{ki}. \quad (5)$$

Будем распознавать принадлежность $j \in K$ по правилу

$$\underline{y}_i \leq y_{ji} \leq \bar{y}_i, \quad i = 1, \dots, I. \quad (6)$$

Если по-прежнему $|\bar{K}|$ является числом правильно распознаваемых индексов $j \notin K$, то формула (4) будет характеризовать качество интервального распознавания по I признакам. Очевидно, что с расширением множества признаков качество распознавания будет увеличиваться / не уменьшаться.

Такой способ интервального распознавания больших выбросов требует числа арифметических операций, пропорциональных sI , т.е. линейно зависит от длины ряда s и от числа признаков I . Метод интервального распознавания образов многократно проверялся на реальных наблюдениях зависимости больших выбросов основного признака X от сопутствующих признаков I . Причем проверка производилась на коротких рядах наблюдений, когда длина ряда наблюдений n невелика, а число сопутствующих признаков I велико [11].

2. Статистическая оценка интенсивности входного потока при наличии мешающего параметра

Рассмотрим теперь связь между наблюдениями за признаком Y , характеризующим среднее число подходов животных к фотоловушке, и признаком Z , характеризующим среднее число животных, подошедших к фотоловушке. Для этого сначала предположим, что на полуинтервале $[0, n)$ задан пуассоновский поток точек интенсивностью λ . Эти точки определяют моменты прихода заявок в систему. Разобьем полуинтервал $[0, n)$ на полуинтервалы $[0, 1), [1, 2), \dots, [n-1, n)$. Обозначим $\xi_1, \dots, \xi_n$ независимые и одинаково распределенные случайные величины, определяющие число точек потока в выделенных полуинтервалах. Пусть теперь каждая точка входного пуассоновского потока, попавшая в полуинтервал $[i-1, i)$, порождает в полуинтервалах $[i, i+1), \dots, [i+m-1, i+m)$ по одной новой точке (моменты фиксации прибором заявки). Тогда в полуинтервале $[0, n)$ случайное число точек пуассоновского потока и случайное число точек, порождаемых точками пуассоновского потока, определяются равенствами

$$C_n(\lambda) = \sum_{t=1}^n \xi_t, \quad D_n(\lambda) = \sum_{t=1}^m t \xi_{n-t+1} + \sum_{t=m+1}^n m \xi_{n-t+1}. \quad (7)$$

Значком $\Rightarrow$ обозначаем сходимость с вероятностью единица, а значком $\xrightarrow{P}$ обозначаем сходимость по вероятности при $n \rightarrow \infty$.

Утверждение 1. Пусть при некотором положительном M выполняется неравенство $m \leq M$, тогда

$$R_n(\lambda) = \frac{C_n(\lambda)}{n} \Rightarrow \lambda, \quad S_n(\lambda) = \frac{D_n(\lambda)}{n} \Rightarrow m\lambda, \quad n \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Доказательство. Используя усиленный закон больших чисел (см., напр.: [12. Гл. 8, 4]), получаем сходимость с вероятностью единица при $n \rightarrow \infty$:

$$\frac{C_n(\lambda)}{n} \Rightarrow \lambda, \quad \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m k \xi_{n-k+1} \Rightarrow 0, \quad \frac{1}{n-m} \sum_{k=m+1}^n m \xi_{n-k+1} \Rightarrow m\lambda,$$

откуда автоматически следуют формулы (8).

Замечание 1. Наличие линейной зависимости между средним (за n отрезков времени, например дней) числом животных, подошедших к фотоловушке, и средним числом подходов животных к фотоловушкам даже при отсутствии информации о коэффициенте пропорциональности m может быть использовано при анализе всплеск численности животных. Для этого удобно воспользоваться методом интервального распознавания образов.

3. Соединение интервального распознавания с устранением мешающего параметра

Для интервального распознавания можно воспользоваться формулами (3) (при наличии нескольких признаков – формулами (5), (6)). Предположим, что имеется s пуассоновских потоков неизвестной нам интенсивности y_j , $j = 1, \dots, s$, и пусть $z_j = S_n(y_j)$. Тогда из утверждения 1 и формул (1), (8) следуют предельные соотношения

$$\min_{k \in K} z_k \Rightarrow m \min_{k \in K} y_k, \quad \max_{k \in K} z_k \Rightarrow m \max_{k \in K} y_k, \quad n \rightarrow \infty. \quad (9)$$

В этом смысле замена $y_j \in Y$ на $z_j \in Z$ приводит с вероятностью единица к тому же результату интервального распознавания при $n \rightarrow \infty$. Действительно, вследствие формулы (9) принадлежность $j \in K$ означает, что с вероятностью единица

$$\min_{k \in K} \lim_{n \rightarrow \infty} z_k = m \min_{k \in K} y_k \leq \lim_{n \rightarrow \infty} z_j = m y_j \leq \max_{k \in K} \lim_{n \rightarrow \infty} z_k = \max_{k \in K} m y_k.$$

Аналогичное соотношение можно привести для интервального распознавания при наличии нескольких признаков. В свою очередь, для определения погрешностей этой замены можно воспользоваться вместо утверждения 1 следующим утверждением.

Утверждение 2. Пусть при некоторых положительных M, Λ выполняются неравенства $m \leq M, \lambda \leq \Lambda$, тогда для любого $\varepsilon > 0$ выполняется неравенство

$$P(|S_n(\lambda) - m\lambda| > \varepsilon) \leq \frac{M^2 \Lambda}{n \varepsilon^2} \left(1 + \frac{2 + \Lambda^2 M^2}{4n} \right). \quad (10)$$

Доказательство. Обозначим

$$A(m, n) = \frac{\alpha(m)}{n}, \quad \alpha(m) = \frac{1-m}{2}; \quad B(m, n) = \frac{\beta(m)}{n}, \quad \beta(m) = \frac{1}{2} + \frac{1}{6m} - \frac{2m}{3}.$$

Тогда при $m \geq 1$ выполняются неравенства

$$\alpha^2(m) \leq \frac{m^2}{4}, \quad \beta(m) \leq \frac{1}{2}.$$

Вычислим у случайной величины $D_n(\lambda)$ математическое ожидание и дисперсию:

$$M(D_n(\lambda)) = mn\lambda(1 + A(m, n)), \quad D(D_n(\lambda)) = m^2 n \lambda (1 + B(m, n)).$$

Отсюда следуют равенства

$$M(S_n(\lambda)) = m\lambda(1 + A(m, n)), \quad D(S_n(\lambda)) = \frac{m^2\lambda}{n}(1 + B(m, n)).$$

Используя эти равенства, получаем неравенство

$$M(S_n(\lambda) - m\lambda)^2 = D(S_n(\lambda)) + (M(S_n(\lambda)) - m\lambda)^2 = \frac{m^2\lambda}{n}(1 + B(m, n) + \lambda^2 n A^2(m, n)) \leq \frac{m^2\lambda}{n} \left(1 + \frac{2 + \Lambda^2 m^2}{4n}\right),$$

с помощью которого получается формула (10).

Замечание 2. Конечно, такая оценка является достаточно грубой, так как величины m, λ заменяются на верхние оценки M, Λ . Но такова цена за устранение мешающего параметра m .

4. Интервальное распознавание больших выбросов в наблюдениях Z по наблюдениям W

Предполагается, что может быть несколько, как правило, неизвестное число причин, которые определяют количественные показатели, полученные в таких наблюдениях. Например, при посещениях копытными зверями существенное влияние могут оказывать различные погодные условия, а также качественные характеристики тех биотопов, где расположены фотоловушки, воздерживаются ли животные от посещения таких мест, если обнаружат присутствие человека или опасных для них хищников [13, 14].

Изложенный в работе метод интервального распознавания предполагает, что наблюдение X характеризует всю экосистему и потому может быть названо основным признаком. В свою очередь, наблюдение Z естественно назвать сопутствующим признаком. Однако изложенный в предыдущем разделе метод соединения интервального распознавания с устранением мешающего параметра может быть рассмотрен и по-другому. Например, можно в качестве основного параметра взять наблюдение Z за частотой прихода животных к фотоловушкам, а в качестве сопутствующего признака рассмотреть, например, метеорологические наблюдения. В этом случае необходимо задаться частотой превышения некоторого критического уровня [15] и по ней определить множество K тех наблюдений, в которых этот критический уровень превышает. А далее следует воспользоваться оценками интервального распознавания из предыдущего раздела.

Для того чтобы построить такую процедуру интервального распознавания, нужно сначала рассмотреть интервальное распознавание больших выбросов в наблюдениях X по наблюдениям W . Для этого по заданному p можно определить аналог L множества K , но уже для ряда Z . Преобразуем ряд $Z = \{z_1, \dots, z_s\}$ в соответствующий ему вариационный ряд $z'_1 \leq \dots \leq z'_s$. Пусть $\bar{z} = z'_r$, и зададим множество индексов $L = \{l : z_l \geq \bar{z}\}$. Тогда справедливо предельное соотношение

$$\min_{l \in L} z_l \Rightarrow m \min_{k \in K} y_k, \quad \max_{l \in L} z_l \Rightarrow m \max_{k \in K} y_k, \quad n \rightarrow \infty,$$

причем $z_l \Rightarrow m y_l$, $l \in L$, и значит в пределе при $n \rightarrow \infty$ можно полагать $L = K$. Далее выделим в ряду Z множество элементов $\{z_l : l \in L\}$ и уже по ним построим процедуру интервального распознавания по наблюдениям W , полагая

$$\underline{w} = \min_{j \in L} w_j, \quad \bar{w} = \max_{j \in L} w_j$$

и определяя принадлежность $j \in L$ условием $\underline{w} \leq w_j \leq \bar{w}$. В этом смысле замена $y_j \in Y$ на $z_j \in Z$ приводит с вероятностью единица к тому же результату интервального распознавания по наблюдениям Z при $n \rightarrow \infty$. Аналогичная процедура может быть построена для распознавания по нескольким признакам $(w_{1i}, \dots, w_{si})$, $i = 1, \dots, I$.

5. Оценка коэффициента корреляции по неточным данным

Наряду с методом интервального распознавания можно также использовать оценки коэффициента корреляции, который часто применяется при обработке метеорологических данных [16]. Предположим, что рассматривается коэффициент корреляции между случайными величинами X, Z . Однако вместо случайной величины X берется случайная величина $Y = XK(1 + \varepsilon + \gamma)$. Здесь ε – случайная величина с нулевым средним и конечной дисперсией: $M(\varepsilon) = 0$, $D(\varepsilon) = \sigma^2$, не зависящая от случайного вектора (X, Y) , а детерминированная величина $|\gamma| < 1$. Далее будем предполагать, что $|\gamma(T)| \rightarrow 0$, $\sigma^2(T) \rightarrow 0$, $T \rightarrow \infty$. Это предположение оправдывается соотношениями, полученными в [10], если отрезок времени, по которому определяются случайные величины X, Y, Z достаточно велик. Причем коэффициент K неизвестен и может считаться мешающим параметром. Вычислим теперь коэффициент корреляции между случайными величинами Y, Z :

$$\rho(Y, Z) = \frac{\text{cov}(Y, Z)}{\sqrt{D(Y) \cdot D(Z)}}, \quad \text{cov}(Y, Z) = M(YZ) - M(Y)M(Z).$$

Пересчитаем дисперсию $D(Y)$ и ковариацию $\text{cov}(Y, Z)$ через дисперсию $D(X)$ и ковариацию $\text{cov}(X, Z)$:

$$\text{cov}(Y, Z) = \text{cov}(XK(1 + \varepsilon + \gamma), Z) = M(XK(1 + \varepsilon + \gamma)Z) - M(XK(1 + \varepsilon + \gamma))M(Z) = K(1 + \gamma)\text{cov}(X, Z),$$

$$\begin{aligned} D(Y) &= K^2 D(X(1 + \varepsilon + \gamma)) = K^2 \left[M(X^2(1 + \varepsilon + \gamma)^2) - (M(X(1 + \varepsilon + \gamma)))^2 \right] = \\ &= K^2(1 + \gamma)^2 D(X) \left[1 + \frac{\sigma^2 M(X^2)}{(1 + \gamma)^2 D(X)} \right]. \end{aligned}$$

Отсюда следует формула

$$\rho(Y, Z) = \rho(X, Z)(1 + \delta)^{-1/2}, \quad \delta = \frac{\sigma^2 M(X^2)}{(1 + \gamma)^2 D(X)} > 0.$$

Для дальнейших оценок можно воспользоваться рядом Тейлора, справедливым при $|\delta| < 1$:

$$(1 + \delta)^{-1/2} = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \delta^k \frac{(2k-1)!!}{2^k k!}, \quad (2k-1)!! = 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2k-1), \quad k = 1, \dots$$

Отсюда при $0 < \delta < 1$ следует неравенство

$$1 > \frac{\rho(Y, Z)}{\rho(X, Z)} > 1 - \delta/2.$$

Пользуясь разложением в ряд Тейлора функции $(1 + \delta)^{-1/2}$, можно получать при $\delta \ll 1$ и более точные оценки. Точность оценки $\rho(Y, Z)$ тем выше, чем больше отрезок длины T , и определяется условиями $|\gamma(T)|, \sigma^2(T) \rightarrow 0$, $T \rightarrow \infty$. Все эти оценки базируются на предположении независимости случайной величины ε от случайного вектора (X, Z) и позволяют избавиться от неизвестного параметра K , который можно полагать мешающим. Предположение о независимости случайной величины ε и случайного вектора (X, Y) можно некоторым образом ослабить.

Заключение

Основная идея данной работы состоит в соединении интервального распознавания с устранением мешающего параметра при определении интенсивности потока животных, приходящих к фотоловушке / фотоловушкам. Это позволяет предложить использование математической процедуры для устранения мешающего параметра при обработке больших данных, полученных дистанционно с фотоловушек или иных средств автоматического обнаружения, а также при обработке данных по конфликтам человека и опасных животных, во многих исследовательских процедурах зоологов, использующих количественные данные.

Список источников

1. Разжевайкин В.Н. Принцип эволюционной оптимальности как инструмент моделирования структурированных биологических систем // Журнал общей биологии. 2010. Т. 71, № 1. С. 75–84.
2. Разжевайкин В.Н. Об экологической стабильности и принципе Гаузе // Исследование операций (модели, системы, решения). М. : ВЦ РАН, 2011. С. 22–29.
3. Разжевайкин В.Н. Анализ моделей динамики популяций : учеб. пособие. М. : МФТИ (ГУ), 2010. 174 с.
4. Апалькова Т.Г., Белотелов Н.В., Ольчев А.В. Использование моделей временных рядов для анализа взаимосвязи эксергии и продукционных процессов в лесных экосистемах // Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов. 2018. Т. 33, № 1. С. 191–202.
5. Белотелов Н.В., Назарова В.М., Зайцев В.А. Модель популяции кабана // Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов. 2020. Т. 35, № 1. С. 152–165.
6. Зайцев В.А., Максимова Д.А., Смирнов Ю.В., Белотелов Н.В. Использование участка обитания самцом кабарги (*Moschus moschiferus* L.) в Центральном Сихотэ-Алине // Зоологический журнал. 2021. Т. 100, № 4. С. 462–480.
7. Лукаревский В.С., Лукаревский С.В. Оценка численности дальневосточного леопарда (*PANTHERA PARDUS*) в России // Зоологический журнал. 2019. Т. 98, № 5. С. 567–577.
8. Огурцов С.С. Обзор программного обеспечения для обработки данных с фотоловушек: последние новинки, работа с видео и ГИС // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Т. 4, № 2. С. 95–124.
9. Калинин Ю.Н. Суточная активность копытных на солонцах Алтайского заповедника. Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике // Зоология. 2023. Т. 5. С. 6–14.
10. Цициашвили Г.Ш., Бочарников В.Н. Две естественнонаучные задачи статистической оценки при наличии мешающего параметра // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. Т. 65, № 4. С. 89–94. doi: 10.17223/19988605/65/9
11. Tsitsiashvili G.Sh. Processing Large Outliers in Arrays of Observations // Mathematics. 2022. V. 10 (18). Art. 3399.
12. Боровков А.А. Курс теории вероятностей. М. : Наука, 1972. 288 с.
13. Данилкин А.А. Динамика населения диких опытных России: гипотезы, факторы, закономерности. М. : Т-во научных изданий КМК, 2009. 310 с.
14. Калинин Ю.Н. Опыт использования данных с автоматических фотокамер на солонцах для оценки состояния группировки благородного оленя *Cervus elaphus sibiricus* в Алтайском заповеднике // Вестник охотоведения. 2019. Т. 16, № 2. С. 111–118.
15. Shatilina T.A., Moroz V.V., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V. Formation of Large Anomalies in the Thermal Conditions of Waters on the Western and Eastern Shelf of Sakhalin Island // Physical Oceanography. 2024. V. 31 (1). P. 33–45.
16. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации : учебник. СПб. : Изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.

References

1. Razzhevaykin, V.N. (2010) Printsip evolyutsionnoy optimal'nosti kak instrument modelirovaniya strukturirovannykh biologicheskikh sistem [The principle of evolutionary optimality as a tool for modeling structured biological systems]. *Zhurnal obshchestvennoy biologii – Journal of General Biology*. 71(1). pp. 75–84.
2. Razzhevaykin, V.N. (2011) Ob ekologicheskoy stabil'nosti i printsipe Gauze [On environmental stability and the Gause principle]. In: Abramov, A.P. (ed.) *Issledovanie operatsiy (modeli, sistemy, resheniya)* [Operations research (models, systems, solutions)]. Moscow: RAS. pp. 22–29.
3. Razzhevaykin, V.N. (2010) *Analiz modeley dinamiki populyatsiy* [Analysis of models of population dynamics]. Moscow: MFTI (GU).
4. Apalkova, T.G., Belotelov, N.V. & Olchev, A.V. (2018) Ispol'zovanie modeley vremennykh ryadov dlya analiza vzaimosvyazi ek-sergii i produktsionnykh protsessov v lesnykh ekosistemakh [Using time series models to analyze the relationship between exergy and production processes in forest ecosystems]. *Modelirovanie, dekompozitsiya i optimizatsiya slozhnykh dinamicheskikh protsessov – Modeling, Decomposition and Optimization of Complex Dynamic Processes*. 33(1). pp. 191–202.
5. Belotelov, N.V., Nazarova, V.M. & Zaitsev, V.A. (2020) Model' populyatsii kabana [Boar population model]. *Modelirovanie, dekompozitsiya i optimizatsiya slozhnykh dinamicheskikh protsessov – Modeling, Decomposition and Optimization of Complex Dynamic Processes*. 35(1). pp. 152–165.
6. Zaytsev, V.A., Maksimova, D.A., Smirnov, Yu.V. & Belotelov, N.V. (2021) Ispol'zovanie uchastka obitaniya samtsom kabargi (*Moschus Moschiferus* L.) v Tsentral'nom Sikhote-Aline [The use of a habitat by a male musk deer (*Moschus Moschiferus* L.) in the Central Sikhote-Alin]. *Zoologicheskii zhurnal – Zoological Journal*. 100(4). pp. 462–480.
7. Lukarevsky, V.S. & Lukarevsky S.V. (2019) Otsenka chislenosti dal'nevostochnogo leoparda (*PANTHERA PARDUS*) v Rossii [Estimation of the number of the Far Eastern leopard (*PANTHERA PARDUS*) in Russia]. *Zoologicheskii zhurnal – Zoological Journal*. 98(5). pp. 567–577.
8. Ogurtsov, S.S. (2019) Obzor programmnoy obespecheniya dlya obrabotki dannykh s fotolovushek: poslednie novinki, rabota s video i GIS [Review of software for processing data from camera traps: The latest innovations, working with video and GIS]. *Nature Conservation Research*. 4(2). pp. 95–124.

9. Kalinkin, Yu.N. (2023) Sutochnaya aktivnost' kopytnykh na solontsakh Altayskogo zapovednika. Polevye issledovaniya v Al-tayskom biosfernom zapovednike [Daily activity of ungulates in the salt lakes of the Altai Reserve. Field studies in the Altai Biosphere Reserve]. *Zoologiya – Zoology*. 5. pp. 6–14.
10. Tsitsiashvili, G.Sh. & Bocharnikov, V.N. (2023) Two natural science tasks of statistical assessment in the presence of an interfering parameter. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 62(4). pp. 89–94. DOI: 10.17223/19988605/65/9
11. Tsitsiashvili, G.Sh. (2022) Processing Large Outliers in Arrays of Observations. *Mathematics*. 10(18). Art. 3399.
12. Borovkov, A.A. (1972) *Kurs teorii veroyatnostey* [Probability Theory]. Moscow: Nauka.
13. Danilkin, A.A. (2009) *Dinamika naseleniya dikikh opytnykh Rossii: gipotezy, faktory, zakonomernosti* [Dynamics of the population of wild animals in Russia: Hypotheses, factors, patterns]. Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK.
14. Kalinkin, Yu.N. (2019) Opyt ispol'zovaniya dannykh s avtomaticheskikh fotokamer na solontsakh dlya otsenki sostoyaniya gruppirovki blagorodnogo olenya *Cervus elaphus sibiricus* v Altayskom zapovednike [The experience of using data from automatic cameras on salt lakes to assess the condition of the red deer group *Cervus elaphus sibiricus* in the Altai Reserve]. *Vestnik okhotovedeniya*. 16(2). pp. 111–118.
15. Shatilina, T.A., Moroz, V.V., Tsitsiashvili, G.Sh. & Radchenkova, T.V. (2024) Formation of Large Anomalies in the Thermal Conditions of Waters on the Western and Eastern Shelf of Sakhalin Island. *Physical Oceanography*. 31(1). pp. 33–45.
16. Malinin, V.N. (2008) *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii* [Statistical Methods of Analysis of Hydrometeorological Information]. St. Petersburg: RGG-MU.

Информация об авторах:

Цициашвили Гурами Шалвович – профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук (Владивосток, Россия). E-mail: guram@iam.dvo.ru

Бочарников Владимир Николаевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук (Владивосток, Россия). E-mail: vboc_harnikov@mail.ru

Вклад авторов: Цициашвили Г.Ш. построил вероятностные модели и оценки их параметров. Бочарников В.Н. дал детальное описание работы фотоловушек при наблюдениях за животными, неразличимыми по снимкам, и сформулировал содержательную задачу обработки этих данных. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Tsitsiashvili Gurami Sh. (Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Main Researcher of Institute for Applied Mathematics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation). E-mail: guram@iam.dvo.ru

Bocharnikov Vladimir N. (Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of Institute of Pacific Ocean Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation). E-mail: vbocharnikov@mail.ru

Contribution of the authors: Tsitsiashvili G.Sh. built probabilistic models and estimates of their parameters. Bocharnikov V.N. gave a detailed description of the work of camera traps when observing animals indistinguishable from images and formulated a meaningful task of processing these data. The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию 23.08.2024; принята к публикации 02.12.2024

Received 23.08.2024; accepted for publication 02.12.2024