

## ПОГРЕШНОСТЬ ОЦЕНКИ ЧИСЛА СЛЕДОВ ЖИВОТНЫХ В ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ

Г.Ш. Цициашвили<sup>1</sup>, В.Н. Бочарников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной математики ДВО РАН,  
ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041,  
e-mail: guram@iam.dvo.ru;

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,  
ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041,  
e-mail: vbocharnikov@mail.ru

Оценка численности тигров на определенной территории является государственной задачей. Значимость данной задачи определяется также международной значимостью сохранения тигров. Учет численности в зимнее время позволяет установить распределение тигров по территории. Однако, такие факты как миграции животных очень существенно влияют на точность расчетов численности. Необходима специальная работа по математической обработке данных, что было выполнено.

**Ключевые слова:** учет численности следов тигра, относительная погрешность, пуассоновский поток точек.

## ERROR IN ESTIMATING THE NUMBER OF ANIMAL TRACKS IN A GIVEN AREA

G.Sh. Tsitsiashvili, V.N. Bocharnikov

Estimating the number of tigers in a certain territory is a State task. The significance of this task is also determined by the international significance of tiger conservation. Taking into account the number in winter allows you to determine the distribution of tigers across the territory. However, facts such as animal migrations have a very significant impact on the accuracy of population calculations. Special work on mathematical data processing is needed, which has been done.

**Keywords:** accounting for the number of tiger tracks, relative error, Poisson flow of points.

У специалистов в области защиты редких животных возникает задача оценки погрешности числа следов животных по наблюдениям в различных районах заданной области [1–5]. Пусть исследуемая территория разбита на  $m$  районов, причем число редких животных в районе  $k$  равно  $n_k$ ,  $k = 1 \dots, m$ . Естественно предположить, что случайные величины  $n_1, \dots, n_m$  независимы и имеют пуассоновские распределения с параметрами  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ . Используя свойства пуассоновского распределения, несложно установить, что случайная

сумма  $N = \sum_{k=1}^m n_k$  имеет пуассоновское распределение с параметром  $\Lambda = \sum_{k=1}^m \lambda_k$

и значит имеет математическое ожидание  $M(N) = \Lambda$  и дисперсию  $D(N) = \Lambda$ . Следовательно с увеличением исследуемой области погрешность оценки  $\sqrt{D(N)} = \sqrt{\Lambda}$  растет.

Используя известные свойства математического ожидания и дисперсии пуассоновского распределения, перейдем теперь от абсолютной погрешности  $\sqrt{D(N)}$  к относительной погрешности. Для этого рассмотрим случайную величину  $N/MN = N/\Lambda$ . Дисперсия этой случайной величины имеет вид  $D(N/\Lambda) = 1/\Lambda$  и значит относительная погрешность такой оценки удовлетворяет соотношению  $\sqrt{D(N/\Lambda)} = 1/\sqrt{\Lambda}$ . Следовательно, относительная погрешность с ростом  $\Lambda$  убывает. Этот результат никак не зависит от неравномерности плотности распределения пуассоновского потока точек, где обнаружены животные и значит не зависит от параметров  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ . Его можно рассматривать как синергетический эффект,

Таблица 1

Численность следов тигров и их относительная погрешность в районах Приморского края (по результатам единовременного учета 2005 г.)

Table 1

The number of tiger tracks and their relative error in the regions of Primorsky Krai (based on the results of a one-time accounting in 2005)

№ п/п	Районы учета	Численность следов	Относительная погрешность
1	Анучинский	3815	0,016
2	Арсеньев, окр.	64	0,125
3	Владивосток, окр.	162	0,079
4	Дальнегорск, окр.	477	0,046
5	Дальнереченский	402	0,05
6	ЗАТО Фокино	62	0,127
7	Кавалеровский	422	0,049
8	Кировский	455	0,047
9	Красноармейский	3155	0,018
10	Лазовский	3196	0,018
11	Лесозаводск, окр.	544	0,043
12	Михайловский	710	0,038
13	Надеждинский	716	0,037
14	Ольгинский	2574	0,02
15	Партизанск, окр.	245	0,064
16	Партизанский	1677	0,024
17	Пожарский	9526	0,01
18	Спасский	321	0,056
19	Тернейский	5874	0,013
20	Уссурийск, окр.	2374	0,02
21	Хасанский	1404	0,027
22	Чугуевский	3699	0,016
23	Шкотовский	3206	0,018
24	Яковлевский	448	0,047

проявляющийся за счет смены показателя эффективности сложной системы от абсолютной погрешности к относительной погрешности в определении числа редких животных на заданной области. Данный результат опирается на известные в теории случайных множеств модели пуассоновских потоков точек, применяемые в науках о Земле [4, 6].

Таблица 2

Численность следов тигров и их относительная погрешность в объединениях районов Приморского края (по результатам единовременного учета 2005 г.)

Table 2

The number of tiger tracks and their relative error in associations of Primorsky Krai districts (based on the results of a one-time accounting in 2005)

Номер района	Районы учета	Численность следов	Численность следов в объединениях	Относительная погрешность в объединениях
1	Анучинский	3815	3879	0,016056519
2	Арсеньевский окр.	64		
3	Владивосток, окр.	162	1566	0,02527167
13	Надеждинский	716		
21	Хасанский	1404		
5	Дальнереческий	402	2170	0,021468441
8	Кировский	455		
24	Яковлевский	448		
11	Лесозаводск, окр.	544		
18	Спасский	321		
4	Дальнегорск, окр.	477	3473	0,016969286
7	Кавалеровский	422		
14	Ольгинский	2574		
6	ЗАТО Фокино	62	3268	0,017491691
23	Шкотовский	3206		
12	Михайловский	710	3084	0,018008284
20	Уссурийск, окр.	2374		
15	Партизанск, окр.	245	1922	0,022810219
16	Партизанский	1677		
17	Пожарский	9526	9526	0,010245902
9	Красноармейский	3155	3155	0,017803098
19	Тернейский	5874	5874	0,013048017
10	Лазовский	3196	3196	0,017689722
22	Чугуевский	3699	3699	0,01644196

ЛИТЕРАТУРА:

1. Зимние следовые учеты Амурского тигра на Дальнем Востоке России (методика и история проведения учетов) / Д.Г. Пикунов, Д.Г. Микелл, И.В. Середкин, И.Г. Николаев, Ю.М. Дунищенко. Владивосток: Дальнаука, 2014. 132 с.

2. Матюшкин Е.Н., Пикунов Д.Г., Дунищенко Ю.М., Микуэлл Д.Г., Николаев И.Г., Смирнов Е.Н., Салькина Г.П., Абрамов В.К., Базыльников В.И., Юдин В.Г., Коркишко В.Г. Численность, структура ареала и состояние среды обитания амурского тигра на Дальнем Востоке России // Заключительный отчет для Проекта по природоохранной политике и технологии на Дальнем Востоке России Американского Агентства Международного развития. 1996.
3. Пикунов Д.Г. Ареал и численность Амурского тигра на Дальнем Востоке России // Успехи наук о жизни. 2014. № 9. С. 141–149.
4. Суханов В.В. Модель пространственного распределения подвижных животных в разреженной популяции // Математическое моделирование природных систем. Владивосток: Дальнаука, 1981. С. 10–22.
5. Юдин В.Г., Юдина Е.В. Тигр Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 483 с.
6. Stoyan D., Kendall W., Mecke J. *Stochastic Geometry and Its Applications*. New York. Berlin: Akademie Verlag. 1987. 345 p.

REFERENCES:

1. *Zimnie sledovye uchety Amurskogo tigra na Dal'nem Vostoke Rossii (metodika i istoriya provedeniya uchetov)* (Winter track surveys of Amur tigers in the Russian Far East (methods and history of tiger surveys)), D.G. Pikunov, D.G. Miquelle, I.V. Seryodkin, I.G. Nikolaev, Y.M. Dunishenko. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2014. 132 p. (In Russ.).
2. Matyushkin E.N., Pikunov D.G., Dunishenko Yu.M., Mikuell D.G., Nikolaev I.G., Smirnov E.N., Sal'kina G.P., Abramov V.K., Bazyl'nikov V.I., YUdin V.G., Korkishko V.G. The number, the structure of the range and the state of the habitat of the Amur tiger in the Far East of Russia, in *Zaklyuchitel'nyi otchet dlya Proekta po prirodookhrannoi politike i tekhnologii na Dal'nem Vostoke Rossii Amerikanskogo Agentstva Mezhdunarodnogo razvitiya* (Final report for the Project on Environmental Policy and Technology in the Russian Far East of the American Agency for International Development), 1996. (In Russ.).
3. Pikunov D.G., Pikunov D.G. Range and abundance of the Amur tiger in the Russian Far East. *Uspekhi nauk o zhizni*, 2014, no. 9, pp. 141–149. (In Russ.).
4. Suhanov V.V. Model of spatial distribution of mobile animals in a sparse population, in *Matematischeskoe modelirovanie prirodnyh sistem* (Mathematical modeling of natural systems). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1981, pp. 10–22. (In Russ.).
5. Yudin V.G., Yudina E.V. *Tigr Dal'nego Vostoka Rossii* (Tiger of the Russian Far East). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2009. 483 p. (In Russ.).
6. Stoyan D., Kendall W., Mecke J. *Stochastic Geometry and Its Applications*. New York. Berlin: Akademie Verlag. 1987. 345 p.