

УДК 598.112:591, 526

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАРШРУТНОГО УЧЕТА ПРЕСМЫКАЮЩИХСЯ

Н. Г. Челинцев

Маршрутный учет численности различных видов позвоночных животных (млекопитающих, птиц, пресмыкающихся) широко применяется в нашей стране и за рубежом. При этом используются различные варианты абсолютных учетов, в результате которых получают оценки плотности населения, выражаемые средним числом особей на единице площади. Основное достоинство маршрутных учетов — это их более высокая эффективность по сравнению с другими методами, поскольку за единицу учетного времени удается обследовать значительную территорию, обнаружить максимальное число особей и тем самым получить более представительную выборку.

Часто применяется вариант маршрутного учета на ограниченной, «узкой полосе», ширина которой выбирается таким образом, чтобы можно было пренебречь недоучетом, возникающим из-за снижения обнаруживаемости животных в дальних частях учетной полосы. В данном случае расчет плотности населения ведется по формуле

$$D = n/2LW, \quad (1)$$

где n — число особей учитываемого вида, обнаруженных на учетной ленте; L — длина учетного маршрута; W — расстояние от оси маршрута до границы учетной полосы.

Статистическая ошибка оценки плотности населения, полученной по формуле (1), может быть определена, исходя из предположения о вероятностном распределении числа обнаруживаемых особей n по закону Пуассона (Смирнов, 1964). Для такой модели относительная (в долях единицы) статистическая ошибка рассчитывается по формуле

$$e(D) = 1/\sqrt{n}. \quad (2)$$

В тех случаях, когда животные встречаются при учетах не только поодиночке, но и группами, расчет ошибки ведется по формуле, основанной на распределении по закону Пуассона числа обнаруживаемых групп, с включением вариации числа особей в них (Челинцев, 1985а):

$$e(D) = \sqrt{1 + c^2(a)}/\sqrt{k}, \quad (3)$$

где k — число обнаруженных групп, включая встречи одиночных особей; $c(a)$ — коэффициент вариации числа особей (a) в группах.

Для учетов большинства видов пресмыкающихся характерны встречи на маршрутах одиночных особей, и лишь у части видов возможны встречи небольших групп особей, находящихся рядом. Для видов пресмыкающихся, образующих группы, можно вести расчет ошибки по упрощенной формуле:

$$e(D) = 1/\sqrt{k}, \quad (4)$$

поскольку коэффициент вариации $c(a)$ не превышает обычно $0,2 \div 0,3$ и не влияет существенно на величину ошибки.

Несмотря на сравнительную простоту маршрутного учета животных на ограниченной «узкой полосе», он имеет серьезный недостаток, заключающийся в том, что число обнаруживаемых особей сокращается в несколько раз по сравнению с числом особей, обнаруживаемых при учете без ограничения учетной полосы. Особенно большое сокращение числа встреч может происходить при комплексных (многовидовых) учетах, если ширина учетной полосы выбирается одинаковой для всех видов, в то время как отдельные виды существенно различаются по средней дальности обнаружения. При этом ширину учетной полосы приходится выбирать, исходя из вида животных с наименьшей дальностью обнаружения. В результате число встреч особей вида с наибольшей средней дальностью обнаружения будет дополнительно снижено в несколько раз. При учетах пресмыкающихся к видам с малой дальностью обнаружения относятся, например, ящурки, круглоголовки, агамы, а к видам со сравнительно большой дальностью обнаружения — черепахи, крупные змеи, варан. Средние дальности обнаружения этих видов могут различаться в 3—5 и более раз.

Плотность населения большинства видов пресмыкающихся такова, что при однодневном учете на маршруте длиной 5—10 км число встреч измеряется единицами, редко десятками особей, и искусственное ограничение ширины учетной полосы приводит к еще большему снижению числа регистрируемых животных и, следовательно, к снижению достоверности оценок плотности населения.

Учет без ограничения ширины учетной полосы

Для увеличения числа регистрируемых особей маршрутные учеты проводятся без ограничения ширины учетной полосы с включением в расчет всех обнаруженных особей независимо от их расстояния до оси маршрута. Методика учета без ограничения ширины учетной полосы основана на том, что при обнаружении животных измеряется расстояние до них от учетчика (радиальное расстояние) или от оси маршрута (перпендикулярное расстояние) с последующим использованием этих данных при расчете плотности населения.

Для учета тетеревиных птиц была предложена формула расчета плотности населения, использующая радиальные расстояния обнаружения (Науне, 1949):

$$D = \frac{1}{2L} \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}, \quad (5)$$

где r_i — радиальное расстояние от учетчика до i -й обнаруженной птицы в момент ее первого обнаружения; L — длина учетного маршрута; n — число обнаруженных птиц.

Если встречи животных сгруппированы по нескольким интервалам радиальных расстояний обнаружения, то формула (5) преобразуется к виду

$$D = \frac{1}{2L} \sum_j \frac{n_j}{r_j}, \quad (6)$$

где n_j — число животных, обнаруженных в j -м интервале радиальных расстояний; r_j — середина j -го интервала радиальных расстояний. Величины ближних интервалов необходимо выбирать не более 0,1 от

среднего значения радиальных расстояний обнаружения животных, поскольку при малых значениях радиальных расстояний их замена на среднеинтервальное значение может существенно завышать оценку плотности населения. Расчет плотности населения с использованием радиальных расстояний по формуле (6) проводился при учете пресмыкающихся в Туркмении (Макеев, Божанский, 1988).

Относительная статистическая ошибка оценки плотности населения по формуле (5) или (6) имеет дополнительную составляющую за счет вариации значений $1/r$:

$$e(D) = \sqrt{1 + c^2(1/r)/\sqrt{k}}. \quad (7)$$

Обычно коэффициент вариации $c(1/r)$ находится в пределах $0,6 \div 0,9$, и формула (7) может быть заменена приближенной оценкой:

$$e(D) = 1,25/\sqrt{k}. \quad (8)$$

Если животные в учете встречаются только поодиночке, то число групп k заменяется на число обнаруженных особей n .

О. А. Бережной (1980) применял при учете пустынных пресмыкающихся формулу расчета плотности населения с использованием среднего арифметического из радиальных расстояний обнаружения \bar{r} :

$$D = \frac{\pi n}{8L\bar{r}} = \frac{0,39n}{L\bar{r}}, \quad \bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i. \quad (9)$$

По-видимому, при выводе формулы (9) допущена ошибка или же ее вывод исходит из неверных предпосылок. На основе полунормальной функции обнаружения (см. ниже) формула оценки плотности населения, использующая среднее арифметическое из радиальных расстояний обнаружения, имеет вид

$$D = \frac{2n}{\pi L\bar{r}} = \frac{0,64n}{L\bar{r}}. \quad (10)$$

Расчет плотности населения по формуле (10) дает значение в 1,6 раза большее, чем по формуле (9).

При расчете плотности населения по формулам (5), (6) или (10) несмещенные оценки можно получить при условии, что величина радиального расстояния обнаружения данного животного не зависит от его перпендикулярного расстояния (Burnham et al., 1980; Челинцев, 1985а). Такой независимости соответствует равномерное распределение синуса угла встреч, который равен отношению перпендикулярного расстояния обнаружения к радиальному. Проверка ведется по критерию хи-квадрат согласия теоретического и эмпирического распределений, который для пяти интервалов сводится к виду (Челинцев, 1985б)

$$\chi^2 = \frac{5}{k} \sum_{m=1}^5 k_m^2 - k, \quad (11)$$

где k_m — число встреч животных, для которых отношение перпендикулярного расстояния обнаружения (y) к радиальному (r) находит-

ся в интервале $0,2(m-1) \div 0,2m$. Значение m изменяется от 1 до 5. Если конкретное значение отношения y/r приходится на границу между интервалами, то соответствующая данной встрече единица делится пополам и разносится по смежным интервалам. В таблице приведены данные по распределению обнаружений по величине отношения y/r для трех видов пресмыкающихся и результаты расчетов величины χ^2 . Пороговое значение χ^2 для отказа от гипотезы независимости равно 9,5 (при уровне значимости 0,05).

Распределение обнаружений пресмыкающихся по величине отношения перпендикулярного расстояния к радиальному y/r
(данные учетов Д. А. Бондаренко в Каршинской степи в 1990 г.)

Вид	Число встреч (k_m) в интервале отношений y/r					Объем выборки, k	χ^2
	0—0,2 (k_1)	0,2—0,4 (k_2)	0,4—0,6 (k_3)	0,6—0,8 (k_4)	0,8—1,0 (k_5)		
Степная агама (<i>Trapelus sanguinolentus</i>)	7	6,5	7,5	7	30	58	36,5
Быстрая ящурка (<i>Erimiax velox</i>)	7	9	7	7	24	54	39,0
Среднеазиатская черепаха (<i>Agriemus horsfieldi</i>)	13	24	19	21	45	122	24,4

Расчитанные значения χ^2 намного превышают значение 9,5, и, следовательно, гипотеза о независимости радиального и перпендикулярного расстояний обнаружения животного не может быть принята. Проведенный анализ показывает, что расчеты плотности населения пресмыкающихся по формулам (5), (6) или (10) с использованием радиальных расстояний могут давать смещенные оценки и необходимо применять другие подходы, в частности с применением перпендикулярных расстояний обнаружения. Основным преимуществом последнего способа по сравнению с предыдущим является то, что при этом не требуется выполнения условия независимости радиального расстояния обнаружения животного от его перпендикулярного расстояния.

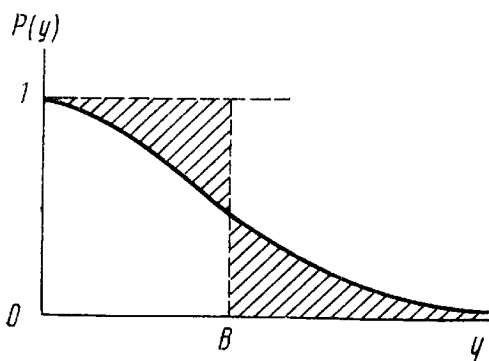
При теоретическом и математическом обосновании формул расчета с использованием перпендикулярных расстояний вводятся понятия функции обнаружения и эффективной ширины учетной полосы. Функция обнаружения — это зависимость вероятности обнаружения животных учитываемого вида от их расстояния до оси маршрута (перпендикулярного расстояния).

При выводе расчетных формул в качестве модельной функции обнаружения может быть взята зависимость

$$P(y) = \exp(-y^2/\lambda^2), \quad (12)$$

которая соответствует полунормальному распределению перпендикулярных расстояний обнаружения. Функция обнаружения вида (12) показана на рисунке. Смысл введения понятия эффективной ширины учетной полосы (B) состоит в том, чтобы формула расчета плотности населения в виде

$$D = n/2LB \quad (13)$$



Функция обнаружения $P(y)$ и эффективная ширина учетной полосы B (пояснения в тексте)

давала несмещенную оценку при подстановке вместо n числа особей, обнаруженных на маршруте при учете на неограниченной (или вообще любой) полосе. Значение B отсекает равные площади над графиком слева и под графиком справа (на рисунке заштрихованы) и соответствует такой ширине ограниченной учетной полосы, при которой количество необнаруженных животных в полосе шириной B (слева и справа от маршрута) равно в среднем количеству животных, обнаруженных за ее пределами.

Для функции обнаружения вида (12) получена формула расчета, дающая несмещенную оценку плотности населения (Челинцев, 1988а):

$$D = \frac{n}{2LB}, \quad B = \frac{\pi}{2} \bar{y} = 1,57\bar{y}, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (14)$$

где \bar{y} — среднее арифметическое значение из перпендикулярных расстояний обнаружения, B — эффективная ширина учетной полосы (по каждую сторону от оси маршрута).

Относительная статистическая ошибка оценки плотности населения по формуле (14) определяется выражением

$$e(D) = \sqrt{1 + c^2(y)} / \sqrt{k}, \quad (15)$$

где $c(y)$ — коэффициент вариации перпендикулярного расстояния обнаружения. Для функции обнаружения (12) $c(y) = 0,75$, и формула (15) сводится к виду

$$e(D) = 1,25 / \sqrt{k}. \quad (16)$$

Выделение величины B в отдельный показатель, характеризующий среднюю дальность обнаружения вида, создает возможность объединения данных по расстояниям обнаружения нескольких учетов (проведенных в сходных условиях), когда в одном учете число встреч животных учитываемого вида не превышает 3—5 и расчетное значение B по случайным причинам может быть в 1,5—2 раза меньше или больше действительного значения.

Если при учетах того или иного вида пресмыкающихся функция обнаружения не соответствует зависимости (12) и это подтверждается достоверным расхождением теоретического и эмпирического распределений, то может быть использована более универсальная формула расчета плотности населения (Челинцев, 1985а)

$$D = \frac{n}{2LB}, \quad B = \frac{8\bar{y}^3}{3\bar{y}^2}, \quad \bar{y}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2, \quad (17)$$

которая основана на двухпараметрической логнормальной функции распределения. Второй параметр такой функции может задавать различную форму функции обнаружения: либо более равномерное снижение вероятности обнаружения по сравнению с полунормальной мо-

делью, либо, наоборот, после достаточно протяженного горизонтального участка сравнительно резкое снижение обнаруживаемости.

Относительная статистическая ошибка оценки плотности населения по формуле (17) определяется выражением

$$e(D) = \sqrt{\frac{1}{k} + e^2(B)}, \quad (18)$$

где $e(B)$ — относительная статистическая ошибка в оценке значения B . Для принятой модельной двухпараметрической функции обнаружения значение $e(B)$ колеблется в пределах от $0,9\sqrt{k}$ до $1,3\sqrt{k}$ (Челинцев, 1985а), и, следовательно, формула (18) может быть заменена усредненным приближенным выражением

$$e(D) = 1,5\sqrt{k}. \quad (19)$$

Расчет плотности населения при ограниченной ширине учетной полосы

При учетах пресмыкающихся могут встретиться такие ситуации, когда по тем или иным причинам полоса учета ограничена, но не настолько, чтобы можно было пренебречь недоучетом животных из-за снижения их обнаруживаемости в дальних частях полосы по сравнению с обнаруживаемостью у оси маршрута. Естественное ограничение полосы может быть обусловлено шириной обследуемого биотопа. Искусственное ограничение ширины учетной полосы вызывается часто необходимостью не тратить времени и внимания на осмотр удаленных от оси маршрута участков, где вследствие малой обнаруживаемости встречи животных относительно редки. Оно применяется также при ночных учетах пресмыкающихся с фонарем.

Для учетов на ограниченной полосе W (по каждую сторону от оси маршрута) выведена формула расчета с коррекцией недоучета, основанная на усеченной полунормальной функции обнаружения (Челинцев, 1990):

$$D = \frac{n}{2LB}, \quad B = W(0,79F + 0,21F^4), \quad F = \frac{2\bar{y}}{W}, \quad (20)$$

где F — вспомогательный параметр. Если расчетное значение $2\bar{y}/W$ больше 1, то берется $F=1$.

Для видов животных, средняя дальность обнаружения которых много меньше ширины учетной полосы ($F \ll 1$), вторым слагаемым в скобках можно пренебречь, и формула (20) переходит в формулу (14). Для видов животных, средняя дальность обнаружения которых существенно больше ширины учетной полосы (F близко к 1), значение B равно W , и расчет плотности населения для этих видов сводится к расчету по формуле (1). Таким образом, формула (20) является универсальной, пригодной для учетов на полосе любой ширины.

Относительная статистическая ошибка оценки плотности населения при расчете значения B по формуле (20) может быть получена по формуле

$$e(D) = (1,25 + 0,1F)\sqrt{k}. \quad (21)$$

Формула (20) может быть применена для оценки величины недоучета животных при учете того или иного вида на ограниченной полосе

с расчетом плотности населения по формуле (1). Для этого проводится контрольный учет с измерением перпендикулярных расстояний до всех особей интересующего нас вида, обнаруженных в пределах ограниченной полосы W по каждую сторону от оси маршрута. Величина недоучета (в долях единицы) оценивается величиной $1 - B/W$, где B рассчитывается по формуле (20).

Все приведенные выше формулы расчета плотности населения будут давать заниженные оценки для тех видов пресмыкающихся, у которых значительная часть особей во время учета находится в укрытиях и пропускается учетчиком независимо от расстояния животных до оси маршрута (в том числе и при нахождении их в непосредственной близости от оси маршрута). Для таких видов необходимо вводить поправочные коэффициенты с целью исключения существенного занижения оценок плотности населения. Для получения таких поправочных коэффициентов требуется проведение специальных обследований на контрольных площадках, где выявляется полное число находящихся на них животных, и получаемые таким образом точные значения плотности населения сравниваются с оценками, получаемыми при маршрутных учетах на тех же площадках.

Экстраполяция выборочных данных

В зависимости от целей учета в качестве территории, на которой проводится экстраполяция данных выборочных маршрутных учетов для определения на ней численности пресмыкающихся того или иного вида, могут задаваться административно-территориальные единицы (области, районы) или природные районы того или иного ранга.

Вся территория учета, на которой планируется провести оценку численности того или иного вида пресмыкающихся, делится на отдельные выделы (на ландшафтной или другой основе) с целью оптимального размещения маршрутов и наиболее обоснованной экстраполяции полученных данных. При этом желательно для увеличения точности экстраполяции выделить те части территории, которые существенно различаются по условиям обитания учитываемых животных и значительно отличаются друг от друга по плотности населения. В некоторых случаях выдел может образовываться без достаточно четких границ, определяемых по каким-либо картографическим материалам. Основанием для такого выделения может служить предполагаемая концентрация животных на той или иной части территории (например, зимне-весенние станции змей). Такой выдел оконтуривается, исходя из имеющегося опыта и особенностей экологии вида, но обязательно до проведения учета.

В каждом из выделов намечается несколько контрольных точек, в окрестностях которых планируется провести маршрутное обследование территории. Они размещаются на территории выдела по возможности равномерно в местах, типичных для него в целом, или же методом случайного выбора (например, наложением на карту выдела сети квадратов и случайного выбора из них нескольких квадратов для размещения контрольных точек).

Существуют следующие два правила оптимального выбора числа проб (точек) на территории выделов (Кузьмин и др., 1984):

1. Число контрольных точек в каждом из них, деленное на его площадь, должно быть примерно пропорционально корню квадратному из предполагаемой средней плотности населения вида в данном выделе:

$$t_k/S_k \sim \sqrt{\bar{D}_k}, \quad (22)$$

где t_k — число контрольных точек в k -м выделе; S_k — площадь k -го выдела; \bar{D}_k — средняя плотность населения в k -м выделе.

2. Общее число контрольных точек на всей учетной территории может быть выбрано, исходя из достижения необходимой точности учета:

$$t > \bar{\lambda}/e^2, \quad (23)$$

где t — общее число контрольных точек на всей территории; e — заданная относительная ошибка (в долях единицы) в оценке средней плотности населения или численности на всей территории; $\bar{\lambda}$ — средневзвешенный показатель неравномерности размещения животных учитываемого вида в выделах.

Определение средневзвешенного показателя неравномерности размещения вида $\bar{\lambda}$ на территории может производиться путем примерной оценки доли площади, занимаемой видом в каждом из выделов, или той площади, где плотность вида во много раз выше, чем на остальной площади выдела (Челинцев, 1988б):

$$\bar{\lambda} = \sum_k \lambda_k S_k \bar{D}_k / S \bar{D}, \quad \lambda_k = (S_k - S_k^0) / S_k^0, \quad (24)$$

где λ_k — показатель неравномерности размещения вида в k -м выделе; S_k^0 — площадь тех частей k -го выдела, которые заселены с существенно более высокой средней плотностью, чем остальная территория выдела; S — общая площадь всей учетной территории ($S = \sum_k S_k$); $\bar{D} = \sum_k \bar{D}_k S_k / S$ — средняя плотность вида на всей территории.

Неравномерность размещения вида в каждом из выделов может быть также оценена по вариации плотности населения на небольшом числе (3—5) контрольных точек m_k по формуле¹

$$\lambda_k = \frac{\overline{D_k^2}}{\bar{D}_k^2} - 1, \quad \left(\bar{D}_k = \frac{1}{m_k} \sum_{v=1}^{m_k} D_{kv}, \quad \overline{D_k^2} = \frac{1}{m_k} \sum_{v=1}^{m_k} D_{kv}^2 \right), \quad (25)$$

где D_{kv} — плотность на v -й контрольной точке k -го выдела.

Формула (23) применима в том случае, когда общее число встреч животных учитываемого вида на всех учетных маршрутах больше величины $1/e^2$. Если число встреч меньше, чем $1/e^2$, то необходимо увеличивать длину учетных маршрутов или/и число контрольных точек в выделах, иначе ошибка экстраполяции будет заведомо выше заданной.

После завершения учетных работ на всех намеченных контрольных точках рассчитывают плотность населения вида на каждой контрольной точке:

$$D_{ku} = n_{ku} / 2L_{ku}B_{ku}, \quad (26)$$

где n_{ku} — общее число обнаруженных животных учитываемого вида на u -й контрольной точке k -го выдела; L_{ku} — суммарная длина учетных

¹ При этом могут использоваться как данные специально проводимых рекогносцировочных учетов, так и данные проведенных ранее учетов.

маршрутов на u -й точке; D_{ku} — плотность населения вида на u -й точке; B_{ku} — эффективная ширина учетной полосы, рассчитанная по одной из приведенных выше формул. При учетах на «узкой полосе» вместо величины B_{ku} подставляется ширина учетной полосы по каждую сторону от оси маршрута (W).

Для всей территории k -го выдела рассчитывается средняя плотность населения вида

$$\bar{D}_k = \frac{1}{t_k} \sum_{u=1}^{t_k} D_{ku}, \quad (27)$$

где t_k — число контрольных точек на территории k -го выдела; \bar{D}_k — средняя плотность населения в k -м выделе.

Численность животных в k -м выделе равна

$$N_k = \bar{D}_k S_k, \quad (28)$$

где S_k — площадь k -го выдела.

Относительная (в долях единицы) статистическая ошибка в оценке: плотности населения и численности особей в k -м выделе рассчитывается по формуле

$$e(\bar{D}_k) = e(N_k) = \frac{1}{\bar{D}_k} \sqrt{\frac{1}{t_k(t_k-1)} \sum_{u=1}^{t_k} (D_{ku} - \bar{D}_k)^2}. \quad (29)$$

Для приближенного расчета ошибки можно пользоваться выражением

$$e(\bar{D}_k) = e(N_k) = (D_{k,\text{макс}} - D_{k,\text{мин}}) / \bar{D}_k t_k, \quad (30)$$

где $D_{k,\text{макс}}$ и $D_{k,\text{мин}}$ — максимальное и минимальное значения плотности на всех контрольных точках k -го выдела.

Общая численность вида на всей учетной территории (N_0) равна

$$N_0 = \sum_k N_k, \quad (31)$$

где суммирование проводится по всем выделам, составляющим учетную территорию.

Средняя плотность населения вида на всей учетной территории равна

$$D_0 = N_0 / S, \quad (32)$$

где S — площадь всей учетной территории.

Относительная статистическая ошибка в оценке численности и плотности населения вида на всей территории рассчитывается по формуле

$$e(N_0) = e(D_0) = \frac{1}{N_0} \sqrt{\sum_k e^2(N_k) N_k^2}, \quad (33)$$

где N_k , $e(N_k)$ — оценка численности в k -м выделе и ее статистическая ошибка, рассчитанные соответственно по формулам (28) и (29), (30).

Для уровня доверия 95% нижний односторонний доверительный предел численности равен

$$N_{н.о} = N_0 / [1 + 1,64e(N_0)]. \quad (34)$$

Верхний односторонний доверительный предел численности равен

$$N_{в.о} = N_{н.о} + 3,28e(N_0)N_0. \quad (35)$$

Верхний и нижний двухсторонние доверительные пределы оценки численности рассчитываются по формулам

$$N_{н.д} = N_0/[1 + 1,96e(N_0)], \quad (36)$$

$$N_{в.д} = N_{н.д} + 3,92e(N_0)N_0. \quad (37)$$

Формулы (34)—(37) могут использоваться и при расчете доверительных пределов оценок плотности населения, если вместо N_0 и $e(N_0)$ подставлять соответственно оценку плотности населения D и ее относительную статистическую ошибку $e(D)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бережной О. А. Применение метода стратификации для определения абсолютной численности рептилий в урочище Кызылджар (Бадхызский заповедник)//Количественные методы в экологии животных. Л., 1980.

Кузьмин И. Ф., Хяхин Г. В., Челинцев Н. Г. Авиация в охотничьем хозяйстве. М., 1984.

Макеев В. М., Божанский А. Т. Методические подходы к изучению численности рептилий//Редкие и малоизученные животные Туркменистана. Ашхабад, 1988.

Смирнов В. С. Методы учета численности млекопитающих//Труды Ин-та биологии УФАН. Вып. 39. Свердловск, 1964.

Челинцев Н. Г. Методы расчета плотности населения по данным маршрутных учетов//Пространственно-временная динамика животного населения. Новосибирск, 1985а.

Челинцев Н. Г. Методы учета животных на маршрутах//Экологические особенности охраны животного мира. М., 1985б.

Челинцев Н. Г. Методы расчета плотности населения боровой и полевой дичи при маршрутном учете//Научно-технический прогресс — в практику перестройки охотничьего хозяйства. (Науч. конф.). М., 1988а.

Челинцев Н. Г. Количественные показатели неравномерности и нестабильности размещения вида на территории//Экология популяций. Ч. 2. М., 1988б.

Челинцев Н. Г. Коррекция недоучета лося при авиаобследовании//Третий международный симпозиум по лосю. (Тез. докл.). Сыктывкар, 1990.

Burnham K. P., Anderson D. R., Laake J. L. Estimation of density from line transect sampling of biological population//Wildlife monographs. 1980. N 72.

Haune D. W. An examination of the strip census methods for estimating animal population//J. Wildl. Manag. 1949. Vol. 13.

ВНИИприрода,
Москва

Поступила в редакцию
26.11.94

MATHEMATICAL BASIS OF TRANSECT CENSUS OF REPTILE

N. G. Chelintsev

Summary

Restrictions of transect census on «narrow strip» were analysed. The main one is the remarkable reduction of the number of registered animals. Mathematical formulas for census without limitation of transect line width and with radial distances of animal detection are listed. They were suggested by different authors for reptile and other animals' registration. The census of desert reptile shows that radial distance of animal detection depends on perpendicular distances. Because of this fact the use of formulas with radial distances of animal detection can be a source of considerable errors in determining the density of population. The formulas of population density founded on perpendicular distances of animal detection are presented. They are based on half normal and log-normal models of detection. The formula based on log-normal model is more universal. It can be used in situations when distribution of animal meetings

is not corresponded to half-normal function of determination. A mathematical formula used perpendicular distances for calculation of population density of limited strip width is suggested. It can correct the decreasing of the number of registered animals caused by reduction of reptile detecting on the far parts of transect. Formulas of statistical errors caused by accident occurrence of animals on transect and probability characters of their detection are adduced for all formulas of population density. The order and formulas of calculation when extrapolate the data of sample census for a big territory are discussed. Criteria for detection of necessary number of control points on the territory of census and their optimum distribution by zones of extrapolation are given.