

УДК 59.002

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЧЕТА ДВИЖУЩИХСЯ ЖИВОТНЫХ

Н.Г. Челинцев

Представлен вывод формул расчета плотности населения по данным учетов движущихся животных, когда учитываемые животные движутся с той или иной скоростью и одновременно учетчик перемещается в пространстве с некоторой скоростью. Для каждой из трех моделей учета с разными углами обзора (360° , 180° – «передний» и «боковой») выводится формула расчета соответствующей «площади обнаружения» животных для заданной величины отношения скорости движения животных к скорости перемещения учетчика. Полученные формулы могут быть использованы на практике для расчета плотности населения движущихся животных. Дана оценка снижения эффективности учета при ограничении угла обзора учетчика. В качестве примера применения выведенных формул разработаны алгоритмы расчета плотности населения для категорий «летающих» и «перелетающих» птиц при их маршрутном учете.

Ключевые слова: учет движущихся животных, площадь обнаружения, плотность населения.

Примерами учетов, при которых требуются специальные математические алгоритмы для расчета плотности населения движущихся животных, могут служить следующие:

- комплексный учет летающих морских птиц с плывущего судна,
- учет китообразных млекопитающих с плывущего судна,
- учет «летающих» и «перелетающих» птиц при комплексном маршрутном обследовании,
- учет «летающих» и «перелетающих» птиц при комплексном круговом обследовании,
- учет быстро движущихся животных с автомобиля,
- учет птиц на пролете во время весенне-осенних миграций,
- учет вальдшнепов на тяге,
- учет летающих птиц по числу пересечений ими визирной линии.

При учете движущихся животных с летательных аппаратов, перемещающихся со значительными скоростями (более 150–200 км/ч), применяются методы расчета, которые вполне обоснованно исходят из модели учетов неподвижных животных, поскольку, как правило, скорость движения животных во много раз меньше скорости перемещения учетчиков по воздуху.

Математическое обоснование всякого метода учета животных начинается с разработки «модели учета» (Челинцев, 1989; 2000), включающей параметры размещения животных на территории и характеристики их обнаружения.

Учет движущихся животных при перемещении учетчика с круговым обзором 360°

Наблюдение с обзором 360° возможно при учетах в открытой местности, когда перемещающийся учетчик находится на транспорте (автомобиль, судно), управляемом другим человеком, и не отвлекается на слежение за маршрутом. При этом частота встреч животных учитываемых видов не должна быть чересчур высокой, чтобы учетчик успевал внимательно отследить все направления, и вероятность обнаружения животных не зависела от сектора наблюдения.

Предположим, что животное движется со скоростью A , и в то же время учетчик перемещается со скоростью U , тогда относительная скорость движения животного по отношению к учетчику будет зависеть как от соотношения величин этих двух скоростей, так и от угла θ , который образуют векторы скоростей \mathbf{A} и \mathbf{U} (условимся обозначать векторы скоростей прямыми латинскими буквами, а соответствующие им скалярные величины – курсивом). Для простоты будем считать, что и животные, и учетчик находятся в одной горизонтальной плоскости, или же все измерения будем относить к проекциям животных на горизонтальную плоскость учетчика. На рис. 1 (внизу) показан способ построения относительного вектора скорости движения животного $\mathbf{V}(\theta)$ по отношению к перемещающемуся учетчику. Абсолютная величина вектора $\mathbf{V}(\theta)$ равна (Бронштейн, Семендяев, 1986)

$$V(\theta) = \sqrt{A^2 + U^2 - 2AU \cos \theta}, \quad (1)$$

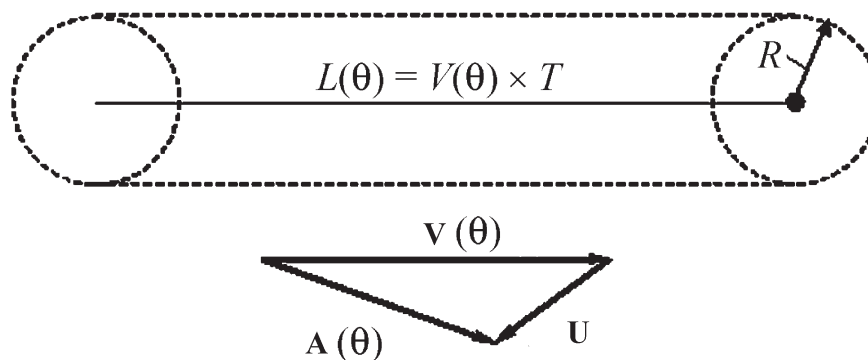


Рис. 1. Схема к определению площади обнаружения $S(\theta)$ за время T перемещения учетчика со скоростью U при угле кругового обзора учетчика 360° , радиусе обнаружения животных R , скорости движения животных A и относительной (по отношению к перемещающемуся учетчику) скорости движения животных $V(\theta)$

где A – модуль скорости движения животного, U – модуль скорости перемещения учетчика, θ – угол между направлением движения животного и направлением перемещения учетчика.

Для расчета плотности населения по данным числа обнаруженных при маршрутном учете движущихся животных примем следующую модель. На достаточно большой учетной территории площадью Q в момент начала перемещения учетчика случайно размещаются G групп животных учитываемого вида, составляющих в совокупности N особей. Каждая из групп животных движется прямолинейно со скоростью A в случайном направлении. Учетчик перемещается по прямолинейному маршруту с постоянной скоростью U . За время учета T маршрут не выходит за пределы учетной территории Q и находится на достаточном расстоянии от границ, так что «чужие» животные, находящиеся за пределами учетной территории, не могут быть обнаружены. Движущаяся группа животных обнаруживается независимо от направления движения, если она находится на расстоянии от наблюдателя, равном предельному расстоянию обнаружения (R) или меньшем его.

На основании принятой модели можно следующим образом определить «площадь обнаружения» движущихся животных: если группа животных движется под углом θ к направлению перемещения учетчика и находится внутри соответствующей углу θ «площади обнаружения» $S(\theta)$, то эта группа будет обнаружена за время перемещения учетчика по маршруту.

Если представить условно, что учетчик неподвижен, а группы животных движутся относительно учетчика со скоростью $V(\theta)$, то в соответствии со схемой в верхней части рис. 1 все группы животных, находящиеся внутри контура, обозначенного штрихо-

выми линиями (включая оба круга), будут обнаружены учетчиком, находящимся в центре правого круга, за время учета T . Соответствующая данному контуру площадь обнаружения $S(\theta)$ равна

$$S(\theta) = 2RL(\theta) + \pi R^2, \quad L(\theta) = V(\theta)T, \quad (2)$$

где $L(\theta)$ – относительное (по отношению к учетчику) расстояние, на которое за время учета T переместятся группы животных, имеющие по отношению к учетчику относительную скорость $V(\theta)$.

Среднее по всем углам θ значение площади обнаружения при случайном распределении углов исходя из выражений (1) и (2) равно (вследствие симметрии берем интеграл в пределах половины возможных значений угла $\theta = 0 \div \pi$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi S(\theta) d\theta = \frac{2RT}{\pi} \int_0^\pi V(\theta) d\theta + \pi R^2 = \\ &= \frac{2RT}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{A^2 + U^2 - 2AU \cos \theta} d\theta + \pi R^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Имея рассчитанное среднее значение площади обнаружения S , можно получить оценки плотности и численности населения движущихся животных учитываемого вида по формулам

$$D = n/S, \quad N = DQ, \quad (4)$$

где n – число обнаруженных при маршрутном учете животных, движущихся со скоростью A .

Для расчета значения площади обнаружения рассмотрим два варианта отношения скорости движения животных к скорости перемещения учетчика.

Вариант 1. Если скорость движения животных меньше или равна скорости перемещения учетчика ($A \leq U$), то средняя площадь обнаружения (3) может быть представлена в виде

$$S = \frac{2RTU}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2-2h\cos\theta} d\theta + \pi R^2 = 2RTUI(h) + \pi R^2 = 2RMI(h) + \pi R^2, \\ h = A/U \leq 1, \quad M = TU, \\ I(h) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2-2h\cos\theta} d\theta, \quad (5)$$

где h – отношение скорости движения животных к скорости перемещения учетчика, $I(h)$ – определенный интеграл, значение которого определяется величиной h , M – длина учетного маршрута.

Вариант 2. Если скорость движения учитываемых животных больше или равна скорости движения учетчика ($A \geq U$), то средняя площадь обнаружения (3) может быть представлена в виде

$$S = \frac{2RTA}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2-2h\cos\theta} d\theta + \pi R^2 = 2RTAI(h) + \pi R^2, \quad h = U/A \leq 1, \\ I(h) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2-2h\cos\theta} d\theta, \quad (6)$$

где h – отношение скорости перемещения учетчика к скорости движения животных.

Из выражений (5) и (6) следует, что для расчета площади обнаружения S при любом соотношении скоростей движения животных и перемещения учетчика необходимо знать значение интеграла $I(h)$

$$I(h) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2-2h\cos\theta} d\theta, \\ h = \begin{cases} A/U & \text{при } A \leq U \\ U/A & \text{при } A \geq U \end{cases} \quad (0 \leq h \leq 1). \quad (7)$$

Для вычисления интеграла (7) при заданном значении h , соответствующем заданному отношению скорости движения животных A к скорости перемещения учетчика U , в работе (Gaston et al., 1987) предложено для каждого конкретного значения h применять численное интегрирование, что затрудняет использование формул (5) и (6) на практике. Вместо численного интегрирования приближенное значение интеграла $I(h)$ при данной величине h можно рассчитать по формуле

$$I(h)_{\text{пр}} = 1 + 0,27h^2. \quad (8)$$

В табл. 1 для разных величин параметра $h = 0 \div 1$ представлены точные значения интеграла $I(h)$, а также его приближенные значения $I(h)_{\text{пр}}$, рассчитанные по формуле (8). Приближенные значения интеграла $I(h)_{\text{пр}}$ отличаются от точных $I(h)$ не более чем на $\pm 0,5\%$.

Таким образом, при маршрутном учете с круговым обзором 360° для расчета площади обнаружения животных, движущихся со скоростями как меньшими, так и большими скорости перемещения учетчика, можно при известных значениях A и U применять формулы (5) и (6) с расчетом значения $I(h)$ по формуле (8). Расчет плотности и численности населения движущихся животных при этом ведется по формулам (4).

Определение средней площади обнаружения при переднем угле обзора 180°

Передний угол обзора, равный 180° , характерен для пешего маршрутного учета животных (например, птиц в лесной зоне), когда учетчик не в состоя-

Т а б л и ц а 1

Точные значения интеграла $I(h)$, соответствующие разной величине $h = 0 \div 1$, и его приближенные значения $I(h)_{\text{пр}}$, рассчитанные по формуле (8)

h	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$I(h)$	1	1,003	1,010	1,023	1,040	1,064	1,092	1,127	1,168	1,216	1,273
$I(h)_{\text{пр}}$	1	1,003	1,011	1,024	1,043	1,068	1,097	1,132	1,173	1,219	1,270
Отклонение, %	0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,2

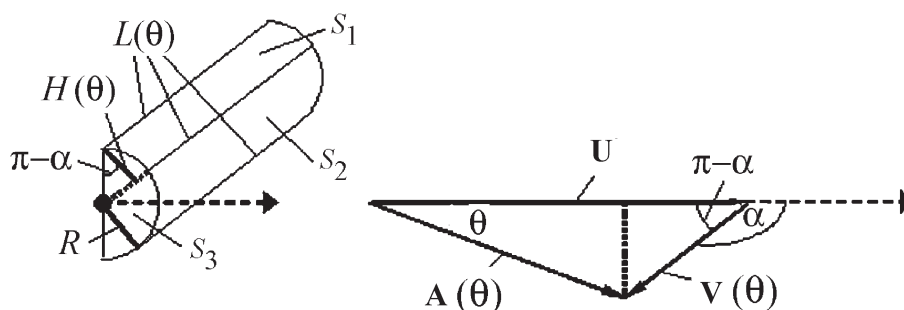


Рис. 2. Схема к определению площади обнаружения движущихся животных при переднем угле обзора 180° для случая, когда скорость движения животных меньше скорости перемещения учетчика (вариант 1: $A < U$). U – вектор скорости перемещения учетчика, $A(\theta)$ – вектор скорости движения животного под углом θ к направлению перемещения учетчика, $V(\theta)$ – вектор относительной (по отношению к перемещающемуся учетчику) скорости движения животного. Угол α между векторами $V(\theta)$ и U – это «кажущийся» угол движения животного по отношению к перемещающемуся учетчику. Штриховыми линиями со стрелками показано направление перемещения учетчика

нии одинаково тщательно наблюдать и с одинаковой вероятностью обнаруживать всех животных, находящихся как спереди, так и сзади по ходу. По этой причине все обнаружения животных сзади исключаются из расчета плотности населения. При этом животные, обгоняющие учетчика, регистрируются, если учетчик обнаруживает их впереди себя. Как и ранее, рассмотрим два варианта.

Вариант 1. Скорость движения животных A меньше или равна скорости перемещения учетчика U , т.е. $h = A/U \leq 1$. На рис. 2 представлена схема, позволяющая определить площадь обнаружения животного в зависимости от угла θ между направлением движения животных и направлением перемещения учетчика. Заметим, что в этом варианте нет животных, обгоняющих учетчика.

Площадь обнаружения движущихся животных для данного варианта складывается из трех по-разному вычисляемых слагаемых. Часть площади обнаружения определяется контуром, внутри которого все животные, имеющие вектор относительной (по отношению к учетчику) скорости $V(\theta)$ при данном угле θ между направлением движения животных и направлением перемещения учетчика, будут обнаружены за время T перемещения учетчика по маршруту. Указанный контур ограничивается двумя отрезками одинаковой длины $L(\theta) = TV(\theta)$, которые параллельны вектору $V(\theta)$, и двумя одинаковыми дугами полуокружности радиуса R , как это показано на рис. 2 (слева).

Расстояние между параллельными сторонами контура обнаружения («ширина» контура) равно сумме отрезков $H(\theta)$ и R , перпендикулярных вектору $V(\theta)$.

Эти отрезки на рис. 2 (слева) выделены жирными линиями, они определяют соответственно две площади $S_1(\theta)$ и $S_2(\theta)$. При любом угле θ выполняется равенство (см. рис. 2 справа)

$$V(\theta)\cos(\pi - \alpha) + A\cos\theta = U, \quad (9)$$

где α – угол между вектором скорости перемещения учетчика U и вектором относительной скорости движения животных $V(\theta)$. Следовательно, длина отрезка $H(\theta)$ равна

$$\begin{aligned} H(\theta) &= R \sin \left[\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha) \right] = \\ &= R \cos(\pi - \alpha) = R \frac{U - A\cos\theta}{V(\theta)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Используя выражение (10), определяем часть площади обнаружения $S_1(\theta)$, задаваемую отрезком $H(\theta)$,

$$S_1(\theta) = H(\theta)L(\theta) = H(\theta)TV(\theta) = RT(U - A\cos\theta). \quad (11)$$

Другая часть площади обнаружения $S_2(\theta)$ с шириной, задаваемой отрезком R , равна

$$S_2(\theta) = RTV(\theta). \quad (12)$$

И, наконец, третье слагаемое площади обнаружения S_3 определяется площадью полуокружности с радиусом R

$$S_3 = \pi R^2/2. \quad (13)$$

Движущиеся животные, находящиеся внутри этого полуокруга, обнаруживаются в начале учета независимо от направления движения животных.

Среднее по всем углам θ значение суммарной площади обнаружения движущихся животных

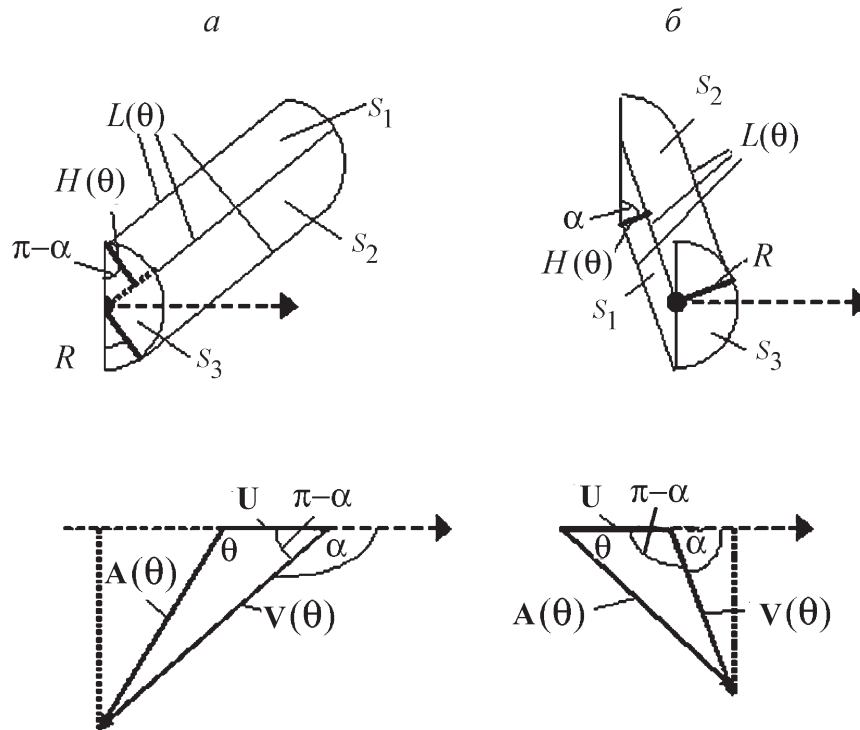


Рис. 3. Схемы к определению площади обнаружения движущихся животных при переднем угле обзора 180° для варианта 2 ($A \geq U$): а – интервал 1 ($\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$); б – интервал 2 ($0 \leq \alpha \leq \pi/2$). Обозначения те же, что и на рис. 2

$S(\theta) = S_1(\theta) + S_2(\theta) + S_3$ исходя из соотношений (11)–(13), а также выражений (1) и (7), равно (вследствие симметрии берем среднее значение в пределах угла $\theta = 0 \div \pi$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi S(\theta) d\theta = \frac{RT}{\pi} \int_0^\pi (U - A \cos \theta) d\theta + \\
 &+ \frac{RT}{\pi} \int_0^\pi V(\theta) d\theta + \frac{\pi R^2}{2} = RTU + RTUI(h) + \frac{\pi R^2}{2} = \\
 &= RTU[1 + I(h)] + \frac{\pi R^2}{2} = RM[1 + I(h)] + \frac{\pi R^2}{2}, \\
 I(h) &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1 + h^2 - 2h \cos \theta} d\theta, \quad h = A/U \leq 1. \quad (14)
 \end{aligned}$$

По формуле (14) при заданных величинах R , M и h , используя также формулу (8), можно рассчитать площадь обнаружения движущихся животных при учете с передним углом обзора 180° для варианта 1.

Из сравнения выражения (14) с выражением (5) следует, что при $A \leq U$ среднее значение площади обнаружения движущихся животных S при учете с передним углом обзора 180° меньше среднего значе-

ния площади обнаружения при учете с углом обзора 360°, поскольку при $A \neq 0$ значение $1 + I(h)$ в формуле (14) меньше значения $2I(h)$ в формуле (5) и площадь полукруга меньше площади круга.

Вариант 2. Рассмотрим случай, когда скорость движущихся животных A больше или равна скорости перемещения учетчика, т.е. $h = U/A \leq 1$. На рис. 3 представлены две схемы, позволяющие в этом случае определить площадь обнаружения животных в зависимости от угла θ между направлением движения животных и направлением перемещения учетчика.

Для определения части площади обнаружения $S_1(\theta)$, задаваемой шириной $H(\theta)$, рассмотрим два различных интервала угла α .

Интервал 1 ($\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$). В этом случае угол θ находится в интервале: $\arccos(U/A) \leq \theta \leq \pi$ (рис. 3, а). В указанном интервале угла α регистрируемые после начала перемещения учетчика животные пересекают границу полукруга обнаружения только спереди. Для этого интервала угла α выполняется равенство

$$V(\theta) \cos(\pi - \alpha) + A \cos \theta = U, \quad (15)$$

и, следовательно, длина отрезка $H(\theta)$ равна

$$H(\theta) = R \cos(\pi - \alpha) = R \frac{U - A \cos \theta}{V(\theta)}. \quad (16)$$

Используя выражение (16), определяем часть площади обнаружения $S_1(\theta)$ для данного значения угла θ в пределах интервала 1 для угла α

$$S_1(\theta) = H(\theta)L(\theta) = H(\theta)TV(\theta) = RT(U - A\cos\theta), \\ \arccos(U/A) \leq \theta \leq \pi. \quad (17)$$

Интервал 2 ($0 \leq \alpha \leq \pi/2$). В этом случае угол θ находится в интервале $0 \leq \theta < \arccos(U/A)$ (см. схему на рис. 3, б). В указанном интервале угла α движущиеся животные, регистрируемые после начала перемещения учетчика, догоняют учетчика и попадают в обследуемый передний полукруг. Для этого интервала угла α выполняется равенство

$$A\cos\theta - V(\theta)\cos\alpha = U, \quad (18)$$

и, следовательно, длина отрезка $H(\theta)$ равна

$$H(\theta) = R\cos\alpha = R\frac{A\cos\theta - U}{V(\theta)}. \quad (19)$$

Используя выражение (19), определяем часть площади обнаружения $S_1(\theta)$ для данной величины угла θ внутри интервала 2

$$S_1(\theta) = H(\theta)L(\theta) = H(\theta)TV(\theta) = RT(A\cos\theta - U), \\ 0 \leq \theta < \arccos(U/A). \quad (20)$$

Часть площади обнаружения $S_2(\theta)$, задаваемая шириной R , не зависит от угла α и в обоих интервалах значений этого угла равна

$$S_2(\theta) = RL(\theta) = RTV(\theta). \quad (21)$$

И, наконец, третье слагаемое площади обнаружения S_3 , определяемое площадью полукруга с радиусом R , равно

$$S_3 = \pi R^2/2. \quad (22)$$

Среднее по всем углам $\theta = 0 \div \pi$ значение суммарной площади обнаружения движущихся жи-

вотных $S(\theta) = S_1(\theta) + S_2(\theta) + S_3$ для варианта 2, когда $A/U \geq 1$ и $h = U/A \leq 1$, исходя из соотношений (17), (20)–(22), а также выражений (1) и (7) равно

$$S = \frac{RT}{\pi} \left[\int_{\theta_d}^{\pi} (U - A\cos\theta) d\theta + \int_0^{\theta_d} (A\cos\theta - U) d\theta + \int_0^{\pi} V(\theta) d\theta \right] + \frac{\pi R^2}{2} = \\ = RTA \left[h \left(1 - \frac{2}{\pi} \arccos h \right) + \frac{2}{\pi} \sqrt{1-h^2} + I(h) \right] + \frac{\pi R^2}{2} = \\ = RTAJ(h) + \frac{\pi R^2}{2}, \quad \theta_d = \arccos h, \quad h = U/A \leq 1, \\ J(h) = h \left(1 - \frac{2}{\pi} \arccos h \right) + \frac{2}{\pi} \sqrt{1-h^2} + I(h), \quad (23)$$

где θ_d – значение, разделяющее весь интервал интегрирования $0 \leq \theta \leq \pi$ на два смежных интервала, которые соответствуют рассмотренным выше интервалам 1 и 2 угла α ; $J(h)$ – параметр, величина которого однозначно определяется значением отношения $h = U/A \leq 1$.

В табл. 2 приведены точные значения параметра $J(h)$ при разных значениях $h = U/A \leq 1$, а также приближенные его значения $J(h)_{\text{пр}}$, которые рассчитаны по формуле

$$J(h)_{\text{пр}} = 1,64 + 0,62h^2. \quad (24)$$

Отклонение приближенных значений от точных не превышает $\pm 1\%$. Используя выражение (23) и формулу (24), можно рассчитать площадь обнаружения движущихся животных при учете с передним углом обзора 180° для варианта 2 ($A/U \geq 1$).

В работе (Gaston et al., 1987) приводится выражение для средней по всем углам θ площади обнаружения

Т а б л и ц а 2

Значения $J(h)$, $J(h)_{\text{пр}}$ и $J_G(h)$ при разной величине $h = U/A \leq 1$ ($A/U \geq 1$, вариант 2)

$h = U/A$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$J(h)$	1,637	1,642	1,659	1,688	1,729	1,782	1,847	1,927	2,022	2,135	2,273
$J(h)_{\text{пр}}$	1,640	1,646	1,665	1,696	1,739	1,795	1,863	1,944	2,037	2,142	2,260
Отклонение, %	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	0,7	0,3	-0,6
$J_G(h)$	1,637	1,636	1,634	1,630	1,624	1,615	1,602	1,581	1,550	1,494	1,273
Отклонение, %	0,0	-0,4	-1,5	-3,4	-6,1	-9,4	-13,3	-17,9	-23,4	-30,0	-44,0

летающих морских птиц при учете их с движущегося судна с передним углом обзора 180° . При этом, однако, при определении средней площади обнаружения допущена ошибка, и в приведенной там формуле (A2) не хватает одного слагаемого, которое в выражении параметра $J(h)$ в формуле (23) стоит на первом месте. В табл. 2 представлены значения параметра $J_G(h)$, соответствующие полученному в указанной работе выражению площади обнаружения S при разных значениях $h = U/A \leq 1$. Видно, что при значении $h < 0,2$, т.е. при более чем пятикратном превышении скорости летающих птиц над скоростью перемещения учетчика на судне значение параметра $J_G(h)$ отличается от точного значения $J(h)$ в меньшую сторону на 1,5%. При меньшей величине отношения скорости полета птиц к скорости перемещения учетчика занижение оценки площади обнаружения S доходит до $-9,4\%$ при $h = 0,5$, т.е. двукратном превышении скорости летающих птиц над скоростью учетчика.

В указанной выше работе (Gaston et al., 1987) отношение скорости судна к скорости летающих птиц $h = U/A$ для некоторых видов морских птиц принимается равным половине, и применение коэффициента $J_G(h)$ вместо точного значения $J(h)$ систематически занижает оценку площади обнаружения и соответственно завышает оценку плотности населения примерно на 9%.

Вариант учета летающих морских птиц со скоростями полета равными или меньшими скорости движения судна в упомянутой работе не рассматривается.

Для других учетов, когда отношение скорости движения животных к скорости перемещения учетчика меньше двух, значение $J_G(h)$ занижает оценку площади обнаружения, доходя до -44% при $h = 1$. Чтобы избежать больших ошибок в этих случаях, следует использовать для расчета площади обнаружения формулы (14) и (23). Эти формулы вместе охватывают весь диапазон значений A/U и могут применяться для расчета площадей обнаружения движущихся животных при маршрутном учете с передним углом обзора 180° при любом отношении скоростей животных и учетчика.

Определение средней площади обнаружения при боковом угле обзора 180°

Односторонний учет с углом бокового обзора, равным 180° , характерен для маршрутного учета с движущегося транспорта, когда учетчик находится с одной его стороны и проводит наблюдение, например, из бокового окна. При этом регистрируются все животные, появляющиеся в поле зрения наблюдателя, независимо от направления их движения. Как и ранее, рассмотрим два варианта для расчета площади обнаружения. Схемы для такого расчета представлены на рис. 4.

Вариант 1. Скорость движения животных A меньше или равна скорости перемещения учетчика U , т.е. $A/U \leq 1$ и $h = A/U \leq 1$. На рис. 4, а представлена схема, позволяющая определить площадь обнаружения животных в зависимости от угла θ между направлением

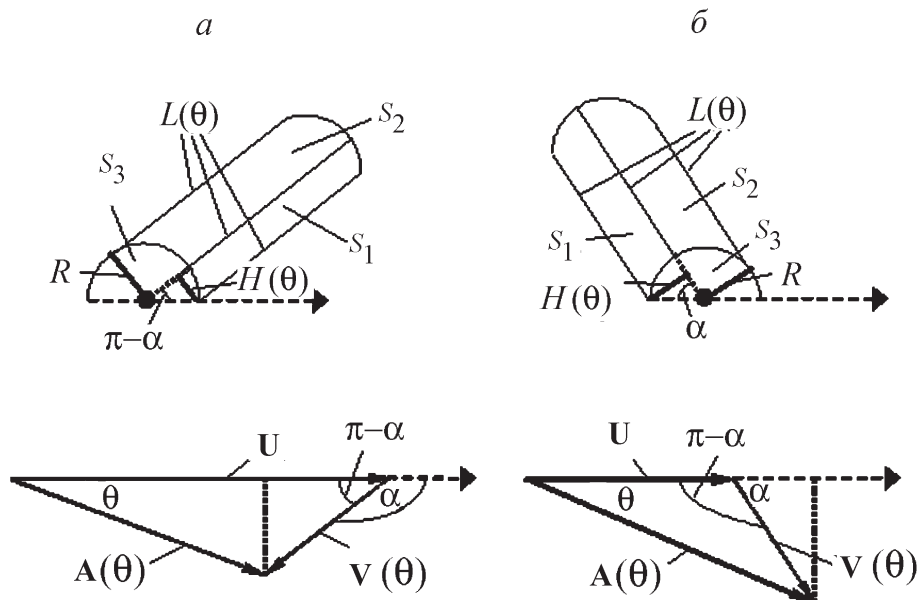


Рис. 4. Схемы к определению площади обнаружения движущихся животных при боковом угле обзора учетчика 180° : а – вариант 1 ($A \leq U$); б – вариант 2 ($A \geq U$). Обозначения те же, что и на рис. 2

движения животных и направлением перемещения учетчика для этого варианта, в котором не будет животных, обгоняющих учетчика.

При любом угле θ выполняется равенство (см. схему внизу рис. 4, а)

$$V(\theta)\sin(\pi - \alpha) = A\sin\theta. \quad (25)$$

Следовательно, длина отрезка $H(\theta)$ равна

$$H(\theta) = R\sin(\pi - \alpha) = R\frac{A\sin\theta}{V(\theta)}. \quad (26)$$

Используя выражение (26), определяем часть площади обнаружения $S_1(\theta)$, задаваемую шириной $H(\theta)$,

$$S_1(\theta) = H(\theta)TV(\theta) = RTA\sin\theta. \quad (27)$$

Другая часть площади обнаружения $S_2(\theta)$, задаваемая шириной R , равна

$$S_2(\theta) = RTV(\theta). \quad (28)$$

Заметим, что соотношения (27) и (28) сохраняются при замене угла θ на угол минус θ . Здесь предполагается, что обнаружение животных, движущихся слева направо по отношению к линии перемещения учетчика, как это показано на рис. 4, а, существенно не отличается от обнаружения животных, движущихся справа налево.

Третье слагаемое площади обнаружения движущихся животных определяется площадью полукруга с радиусом R (см. рис. 4, а).

$$S_3 = \pi R^2/2. \quad (29)$$

Все находящиеся внутри полукруга движущиеся животные обнаруживаются в начале учета независимо от направления движения животных.

Среднее по всем углам θ значение суммарной площади обнаружения движущихся животных $S(\theta) = S_1(\theta) + S_2(\theta) + S_3$ исходя из соотношений (27)–(29) и выражений (1) и (7) и вследствие высказанного выше предположения об одинаковости обнаружения животных, пересекающих маршрут слева и справа, равно (берем среднее значение в пределах угла $\theta = 0 \div \pi$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi S(\theta) d\theta = \frac{RTA}{\pi} \int_0^\pi \sin\theta d\theta + \frac{RT}{\pi} \int_0^\pi V(\theta) d\theta + \frac{\pi R^2}{2} = \\ &= \frac{2RTA}{\pi} + \frac{RTU}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2 - 2h\cos\theta} d\theta + \frac{\pi R^2}{2} = \\ &= RTU \left[\frac{2h}{\pi} + I(h) \right] + \frac{\pi R^2}{2}, \quad h = A/U \leq 1, \\ I(h) &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2 - 2h\cos\theta} d\theta. \quad (30) \end{aligned}$$

Используя выражение (30) и формулу (8), можно рассчитать среднее значение площади обнаружения при учете с боковым углом обзора 180° для варианта 1.

Вариант 2. Скорость движения животных A больше или равна скорости перемещения учетчика U , т.е. $A/U \geq 1$ и $h = U/A \leq 1$. На рис. 4, б представлена схема, позволяющая определить площадь обнаружения движущихся животных в зависимости от угла θ между направлением движения животных и направлением перемещения учетчика для этого варианта. При любом угле θ выполняется равенство (см. схему на рис. 4, б, внизу)

$$V(\theta)\sin\alpha = A\sin\theta. \quad (31)$$

Следовательно, длина отрезка $H(\theta)$ равна

$$H(\theta) = R\sin\alpha = R\frac{A\sin\theta}{V(\theta)}. \quad (32)$$

При $\alpha > \pi/2$ соотношение (32) сохраняется, поскольку $H(\theta) = R\sin(\pi - \alpha) = R\sin\alpha$. Используя (32), определяем часть площади обнаружения $S_1(\theta)$, задаваемую шириной $H(\theta)$,

$$S_1(\theta) = H(\theta)TV(\theta) = RTA\sin\theta. \quad (33)$$

Другая часть площади обнаружения $S_2(\theta)$, задаваемая шириной R , равна

$$S_2(\theta) = RTV(\theta). \quad (34)$$

Соотношения (33) и (34) сохраняются при замене угла θ на угол минус θ . Так же как в варианте 1, предполагается, что вероятности обнаружения животных, движущихся слева направо и справа налево, не различаются.

Третье слагаемое площади обнаружения определяется площадью полукруга с радиусом R

$$S_3 = \pi R^2/2. \quad (35)$$

Среднее по всем углам θ значение суммарной площади обнаружения $S(\theta) = S_1(\theta) + S_2(\theta) + S_3$ исходя из соотношений (33)–(35) и выражений (1) и (7) равно (вследствие симметрии берем среднее значение в пределах угла $\theta = 0 \div \pi$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi S(\theta) d\theta = \frac{RTA}{\pi} \int_0^\pi \sin\theta d\theta + \frac{RT}{\pi} \int_0^\pi V(\theta) d\theta + \frac{\pi R^2}{2} = \\ &= \frac{2RTA}{\pi} + \frac{RTA}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{1+h^2 - 2h\cos\theta} d\theta + \frac{\pi R^2}{2} = \\ &= RTA \left[\frac{2}{\pi} + I(h) \right] + \frac{\pi R^2}{2}, \quad h = U/A \leq 1, \end{aligned}$$

$$I(h) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{1 + h^2 - 2h \cos \theta} d\theta. \quad (36)$$

При маршрутном учете движущихся животных с боковым углом обзора 180° формула расчета площади обнаружения (30) для случаев, когда $A/U \leq 1$, и формула (36) для случаев, когда $A/U \geq 1$, вместе охватывают весь диапазон значений A/U и могут применяться на практике для расчета площадей обнаружения движущихся животных при маршрутном учете с боковым углом обзора 180° при любом соотношении скоростей животных и учетчика.

Оценка эффективности учета при угле обзора 180° по сравнению с обзором 360°

Оценим эффективность учета при углах обзора 180° по сравнению с углом обзора 360° при одинаковой величине отношения скорости движения животных к скорости перемещения учетчика A/U . Эффективность учета оценивается пропорцией ожидаемого числа регистраций движущихся животных при обзоре 180° к ожидаемому числу регистраций при учете с круговым обзором 360° при одинаковых значениях плотности населения движущихся животных и прочих параметров.

Для учета с передним углом обзора 180° при варианте 1, когда $A \leq U$ (скорость движения животных меньше или равна скорости перемещения учетчика), отношение средней площади обнаружения при переднем угле обзора 180°, определяемой выражением (14), к средней площади обнаружения при обзоре 360°, определяемой выражением (5), равно

$$K_{\pi} = \frac{RTU[1 + I(h)] + \pi R^2 / 2}{2RTUI(h) + \pi R^2}, \quad h = A/U \leq 1. \quad (37)$$

Для варианта 2, когда $A \geq U$ (скорость движения животных больше или равна скорости перемещения

учетчика) отношение средней площади обнаружения при переднем угле обзора 180°, определяемой выражением (23), к средней площади обнаружения, определяемой выражением (6), равно

$$K_{\pi} = \frac{RTAJ(h) + \pi R^2 / 2}{2RTAI(h) + \pi R^2}, \quad h = U/A \leq 1. \quad (38)$$

Величина K_{π} может быть названа показателем эффективности учета при переднем угле обзора 180° по сравнению с учетом при полном угле обзора 360°.

Разница в площадях обнаружения за счет разницы площадей круга и полукруга зависит от соотношения «маршрутной» и «радиальной» частей площади обнаружения. При достаточно большой «маршрутной» части по сравнению с «радиальной» показатель эффективности K_{π} будет определяться первыми «маршрутными» слагаемыми в числителе и знаменателе выражений (37) и (38), и эти выражения могут быть сведены к более простым соответственно

$$K_{\pi} = \frac{1 + I(h)}{2I(h)}, \quad h = A/U \leq 1; \quad (39)$$

$$K_{\pi} = \frac{J(h)}{2I(h)}, \quad h = U/A \leq 1. \quad (40)$$

В табл. 3 приведены значения показателя эффективности учета K_{π} , рассчитанного по формулам (39) и (40), в зависимости от величины отношения A/U . Из данных табл. 3 следует, что при увеличении отношения A/U от нуля до 1 эффективность учета при переднем угле обзора 180° снижается до 89%, а затем при увеличении отношения A/U до 4 и более еще снижается примерно до 82%. В общем можно считать, что при переднем угле обзора 180° исключение из учета животных, обнаруживаемых сзади, снижает эффективность учета не столь значительно и может

Таблица 3

Зависимость показателей эффективности учета с ограниченным углом обзора K_{π} и K_6 от величины A/U – отношения скорости движения животных к скорости перемещения учетчика

A/U	0	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
h	0	0,125	0,25	0,5	1	0,5	0,25	0,125	0,0625
$I(h)$	1	1,004	1,016	1,064	1,273	1,064	1,016	1,004	1,001
$J(h)$	–	–	–	–	2,273	1,782	1,672	1,646	1,639
K_{π}	1	0,998	0,992	0,970	0,893	0,838	0,823	0,820	0,819
K_6	0,5	0,540	0,578	0,650	0,750	0,799	0,813	0,817	0,818

считаться приемлемой «платой» за упрощение процедуры обнаружения животных.

При учете с боковым углом обзора 180° выражения для показателей эффективности учета, аналогичные выражениям (39) и (40), получаются на основе соотношений (30) и (36) для учета с боковым углом обзора 180° и на основе соотношений (5) и (6) для учета с обзором 360°

$$K_6 = \frac{2h/\pi + I(h)}{2I(h)}, \quad h = A/U \leq 1; \quad (41)$$

$$K_6 = \frac{2/\pi + I(h)}{2I(h)}, \quad h = U/A \leq 1. \quad (42)$$

В табл. 3 представлены значения показателя эффективности учета K_6 , рассчитанного по формулам (41) и (42), в зависимости от отношения скорости движения животных к скорости перемещения учетчика A/U . Из табл. 3 видно, что эффективность учета при боковом угле обзора 180° при отношении $A/U < 1$ составляет 50–75%. При отношении $A/U > 1$ эффективность растет от 75 до 82%, сравниваясь с эффективностью учета при переднем угле обзора 180° .

Если задаться отношением средней скорости движения учитываемых животных к скорости перемещения учетчика, то, используя данные табл. 3, можно заранее оценить потерю эффективности учета при использовании половинного угла обзора и одного из двух вариантов ориентации этого угла (передний или боковой). Выбор варианта учета с ограниченным углом обзора на практике чаще всего диктуется техническими ограничениями, но может быть также обусловлен стремлением уменьшить пропуск животных за счет ограничения обследуемого сектора.

Расчет плотности населения летящих птиц при пешем маршрутном учете

В качестве примера применения разработанных выше подходов к расчету плотности населения движущихся животных рассмотрим наиболее широко применяемый в России и за рубежом пеший комплексный маршрутный учет населения птиц. Этот метод имеет давнюю историю. Обычно при таких учетах в расчет берутся только птицы, обнаруженные впереди учетчика при переднем угле обзора 180° .

Для варианта 2, когда скорость летящих птиц равна или больше скорости перемещения учетчика, то есть $A/U \geq 1$, площадь обнаружения летящих птиц с расстоянием обнаружения R_i в соответствии с формулами (23) и (24) будет равна

$$S_i = R_i T A J(h) + \frac{\pi R_i^2}{2} = R_i M \frac{A}{U} J(h) + \frac{\pi R_i^2}{2},$$

$$J(h) = 1,64 + 0,62h^2, \quad M = UT, \quad h = U/A \leq 1, \quad (43)$$

где T – продолжительность маршрутного учета в часах, M – протяженность маршрута в км, A – скорость летящих птиц учитываемого вида в км/ч, U – средняя скорость перемещения учетчика по маршруту в км/ч. Если R_i измеряется в километрах, то S_i выражается в квадратных километрах.

Часть площади обнаружения, обусловленная площадью полукруга, при достаточно большой длине маршрута (более 3 км) и при обычных расстояниях обнаружения летящих птиц для большинства видов не более 50–100 м не превышает нескольких процентов и может не включаться в расчетную формулу. При таком допущении плотность населения летящих птиц учитываемого вида, летящих со скоростью A и обнаруживаемых на расстоянии R_i , рассчитывается по формуле

Таблица 4

Зависимость корректирующих коэффициентов $F_{лет}$ и F_Y от отношения скорости движения птиц к скорости перемещения учетчика по маршруту A/U

A/U	1	1,5	2	3	4	6	8	12	16	24	32
$F_{лет}$	0,880	1,053	1,123	1,176	1,196	1,210	1,215	1,219	1,220	1,221	1,221
F_Y (1956)	0,707	0,832	0,894	0,949	0,970	0,986	0,992	0,996	0,998	0,999	0,999
Отклонение, %	-19,6	-21,0	-20,4	-19,3	-18,9	-18,5	-18,3	-18,3	-18,2	-18,2	-18,2
$F_{р.ч.}$ (1990)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Отклонение, %	13,8	-5,0	-10,9	-15,0	-16,4	-17,4	-17,7	-18,0	-18,0	-18,1	-18,2

$$D_i = \frac{n_i}{S_i} = \frac{n_i U}{R_i MAJ(h)},$$

$$J(h) = 1,64 + 0,62h^2, \quad h = U/A \leq 1. \quad (44)$$

Суммарная плотность населения птиц учитываемого вида, летящих со скоростью A , для всех расстояний обнаружения R_i при $A/U \geq 1$ рассчитывается по формуле

$$D = \sum_i D_i = \frac{U}{MAJ(h)} \sum_i \frac{n_i}{R_i} = \frac{nU}{MAJ(h)B} = \frac{nUF_{лет}}{2MAB},$$

$$n = \sum_i n_i, \quad B = n / \sum_i \frac{n_i}{R_i}, \quad h = U/A \leq 1,$$

$$F_{лет} = 2/J(h), \quad J(h) = 1,64 + 0,62h^2, \quad (45)$$

где n – суммарное число птиц данного вида, обнаруженных летящими со скоростью A ; $F_{лет}$ – корректирующий коэффициент, зависящий от величины $h = U/A$ (отношения скорости летящих птиц к скорости перемещения учетчика по маршруту); B – эффективная ширина учетной полосы с каждой стороны линии маршрута («среднегармонический радиус обнаружения»). Понятие эффективной ширины учетной полосы (ЭШУП) определяется на основе функции обнаружения (Burnham et al., 1980; Челинцев, 2000).

В табл. 4 представлены значения корректирующего коэффициента $F_{лет}$ в формуле (45) при разной величине отношения скорости летящих птиц к скорости перемещения учетчика A/U .

В работе В. Яппа (Yapp, 1956) предложена следующая формула для расчета плотности населения летящих птиц при маршрутном учете, которая в наших обозначениях имеет вид

$$D = \frac{n}{2RT\sqrt{A^2 + U^2}} = \frac{nU}{2RMA\sqrt{1 + h^2}} = \frac{nUF_Y}{2RMA},$$

$$F_Y = \frac{1}{\sqrt{1 + h^2}}, \quad (46)$$

где F_Y – корректирующий коэффициент. Формулу Яппа (46) для расчета плотности населения при маршрутном учете летящих птиц предлагали применять отечественные исследователи (Иоганзен, 1959; Равкин, 1967). Значения этого коэффициента при $A \geq U$ приведены в табл. 4. Сравнение величины F_Y с величиной $F_{лет}$ показывает, что применение формулы (46) вместо формулы (45) занижа-

ет оценку плотности населения во всем диапазоне значений $A/U \geq 1$ примерно на 18–21%.

В «Методических рекомендациях по комплексному маршрутному учету птиц» (Равкин, Челинцев, 1990) обнаруженные летящими птицы учитываемого вида выделяются в отдельную категорию «летающие» и плотность населения птиц этой категории $D_{л}$ рассчитывается по формуле

$$D_{л} = \frac{n_{л}U}{2MB_{л}A}, \quad n_{л} = \sum_i n_{л,i}, \quad B_{л} = n_{л} / \sum_i \frac{n_{л,i}}{R_{л,i}}. \quad (47)$$

Сравнение формулы (47) с формулой (45) показывает, что в формуле (47) корректирующий коэффициент тождественно равен 1 ($F_{п,ч} \equiv 1$), и, следовательно, расчет плотности населения по формуле (47) занижает оценку плотности населения, начиная с $A/U \geq 2$ примерно на 11–18% (см. табл. 4). Заметим, что занижение оценки плотности меньше, чем при использовании формулы Яппа.

Таким образом, при расчете плотности населения летящих птиц можно применять формулу (45), используя значения $F_{лет}$ из табл. 4. Если скорость полета птиц некоторых видов никак не определена, то на практике обычно принимается значение A , равное 30 км/ч.

Расчет плотности населения при маршрутном учете «перелетающих» птиц

При маршрутном учете многих мелких видов птиц бóльшая часть обнаружений может быть отнесена к категории так называемых «перелетающих» птиц, средняя скорость перемещения которых сравнима со скоростью перемещения учетчика. Если средняя скорость перемещения «перелетающих» птиц меньше скорости хода учетчика ($A/U \leq 1$), то площадь обнаружения при переднем угле обзора 180° и расстоянии обнаружения R_i рассчитывается по формуле (14) (вариант 1)

$$S_i = R_i M [1 + I(h)] + \frac{\pi R_i^2}{2}, \quad I(h) = 1 + 0,27h^2,$$

$$h = A/U \leq 1, \quad (48)$$

где A – средняя скорость «перелетающих» птиц в км/ч, U – средняя скорость перемещения учетчика по маршруту в км/ч. Если R_i и M измеряются в километрах, то S_i выражается в квадратных километрах. При пешем маршрутном учете обычно R_i намного меньше длины маршрута M . Тогда плотность населения «пе-

релетающих» птиц данного вида можно рассчитать по формуле

$$D_i = \frac{n_i}{S_i} = \frac{n_i}{R_i M [1 + I(h)]}, \quad I(h) = 1 + 0,27h^2, \quad (49)$$

где n_i – число «перелетающих» птиц данного вида, обнаруженных на расстоянии R_i . Плотность населения выражается в числе особей на 1 км^2 .

Суммарная плотность населения «перелетающих» птиц данного вида для всего набора расстояний обнаружения R_i при $A/U \leq 1$ (вариант 1), рассчитывается по формуле

$$D = \sum_i D_i = \frac{1}{M[1 + I(h)]} \sum_i \frac{n_i}{R_i} = \frac{n}{M[1 + I(h)]B} = \frac{nF_{\text{пер}(1)}}{2MB},$$

$$n = \sum_i n_i, \quad B = n / \sum_i \frac{n_i}{R_i}, \quad F_{\text{пер}(1)} = 2/[1 + I(h)], \quad (50)$$

где n – суммарное число обнаруженных «перелетающих» птиц данного вида; $F_{\text{пер}(1)}$ – корректирующий коэффициент, зависящий от отношения средней скорости «перелетающих» птиц к скорости перемещения учетчика по маршруту $h = A/U \leq 1$ (вариант 1); B – эффективная ширина учетной полосы с каждой стороны маршрута («среднегармонический радиус обнаружения»). Значения корректирующего коэффициента $F_{\text{пер}(1)}$ в зависимости от величины отношения $A/U \leq 1$ приведены в табл. 5. Если средняя скорость «перелетающих» птиц больше скорости перемещения учетчика $A/U \geq 1$ (вариант 2), то плотность населения рассчитывается по формуле, вытекающей из соотношений (23) и (4) при $M = TU$ и $R_i \ll M$,

$$D = \sum_i D_i = \frac{U}{MAJ(h)} \sum_i \frac{n_i}{R_i} = \frac{nU}{MAJ(h)B} = \frac{nF_{\text{пер}(2)}}{2MB},$$

$$n = \sum_i n_i, \quad B = n / \sum_i \frac{n_i}{R_i}, \quad F_{\text{пер}(2)} = 2h/J(h),$$

$$J(h) = 1,64 + 0,62h^2, \quad h = U/A \leq 1. \quad (51)$$

Анализ данных табл. 5 показывает, что расчет плотности населения по формуле (50) без корректирующего коэффициента $F_{\text{пер}(1)}$ при скорости «перелетающих» птиц, которая вдвое меньше скорости перемещения учетчика ($A/U = 0,5$), дает оценку плотности населения с завышением всего на 3%. При $A/U = 0,7$ завышение увеличивается до 6,4%, а при равенстве средней скорости «перелетающих» птиц и скорости перемещения учетчика по маршруту ($A/U = 1$) оценка плотности населения завышается на 13,8%. При скорости перемещения «перелетающих» птиц, в полтора раза превышающей скорость перемещения учетчика по маршруту ($A/U = 1,5$), расчет плотности населения без корректирующего коэффициента $F_{\text{пер}(2)}$ будет завышать оценку плотности населения на 42%. При дальнейшем увеличении отношения A/U от 2 до 5 расчет плотности населения без корректирующего коэффициента $F_{\text{пер}(2)}$ будет завышать оценку плотности примерно в 2–4 раза и такое завышение не может игнорироваться.

Другие варианты учета движущихся животных, такие, как учет птиц на визирных линиях (Кузьмин, Челинцев, 1991), учет вальдшнепа на тяге (Челинцев, 1997), комплексный круговой учет населения птиц (Челинцев, Равкин, 2000) могут потребовать создания моделей учета, отличных от тех, которые рассмотрены выше. В данной работе эти модели не рассматриваются.

Таблица 5

Зависимость значения корректирующего коэффициента от величины отношения A/U

A/U	0	0,25	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3	4	5
$F_{\text{пер}(1)}$	1	0,992	0,969	0,940	0,879	–	–	–	–	–	–
$F_{\text{пер}(2)}$	–	–	–	–	0,879	0,702	0,561	0,463	0,392	0,299	0,241

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. М., 1986. 545 с.
- Иоганзен Б.Г.* Основы экологии. Томск, 1959. 389 с.
- Равкин Е.С., Челинцев Н.Г.* Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. М., 1990. 33 с.
- Равкин Ю.С.* К методике учета птиц в лесных ландшафтах. // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае, Новосибирск, 1967. С. 66–75.
- Челинцев Н.Г.* Теоретическое и математическое обоснование методов учета охотничьих животных // Современные проблемы охотничьего хозяйства. М., 1989. С. 38–49.
- Кузьмин И.Ф., Челинцев Н.Г.* Методические рекомендации по учету летающих птиц на визирных линиях. М., 1991. 13 с.
- Челинцев Н.Г.* Теоретические основы учета вальдшнепа на тяге // Охотничья библиотечка (апрель), М., 1997. С. 38–43.
- Челинцев Н.Г.* Математические основы учета животных. М., 2000. 431 с.
- Челинцев Н.Г., Равкин Е.С.* Методы оценки плотности населения птиц по данным круговых учетов // Сибирский экологический журнал. 2000. № 1. С. 25–29.
- Burnham K.P., Anderson D.R., and Laake J.L.* Estimation of density from line transect sampling of biological population // Wildlife monographs. 1980. N 72. 202 pp.
- Gaston A.J., Collins B.T., Diamond A.W.* Estimating densities of birds at sea and the proportion in flight from counts made on transect of indefinite width // Occasional Paper. 1987. N 59. 16 pp.
- Yapp W.B.* The theory of line transect // Bird study. 1956. Vol. 3. N 2. P. 93–104.

Поступила в редакцию 27.06.12

MATHEMATICAL BASES OF MOVING ANIMAL SURVEYS

N.G. Chelintsev

The deduction of formulas to calculation of animal population density when animals move with some speed and the observer also moves in space with the certain speed is given. For each of the three survey models with different viewing angles (360° , 180° – «front» and «lateral») is derived the formula to calculate the «detection area» depending on the value of the ratio of the velocity of the animal motion to the speed of observer movement. The formulas obtained can be used in practice to calculate the population density of moving animals. The estimate of decreasing of effectiveness of the surveys of the moving animals owing to limitation viewing angle is given. As an example of application of the deduced formulas the algorithm to calculation of population density of the «flying» and «moving» birds for the transect count of the bird population is developed.

Key words: moving animal survey, detection area, population density.

Сведения об авторе: *Челинцев Никита Геннадиевич* – чл.-корр. РАЕН, докт. биол. наук. (nchelin@mail.ru).