

УДК 59.087

**ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО УЧЁТУ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ
С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ КАМЕР
НА ПРИМЕРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КОСУЛИ
(*CAPREOLUS PYGARGUS* PALLAS, 1771) (CERVIDAE, MAMMALIA)
В ХИНГАНСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ**

В. А. Кастрикин¹, С. А. Подольский², М. С. Бабыкина¹

¹ *Хинганский государственный природный заповедник
Россия, 676740, Амурская обл., пос. Архара, Дорожный пер., 6
E-mail: apodemus@mail.ru*

² *Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, Москва, Губкина, 3
E-mail: sergpod@mail.ru*

Поступила в редакцию 14.01.2020 г., после доработки 27.04.2020 г., принята 26.05.2020 г.

*Кастрикин В. А., Подольский С. А., Бабыкина М. С. Предложение по учёту наземных животных с помощью автоматических камер на примере определения плотности населения косули (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) (Cervidae, Mammalia) в Хинганском заповеднике // Поволжский экологический журнал. 2020. № 3. С. 307 – 317. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-307-317>*

Предложен к обсуждению метод расчёта плотности населения наземных животных, не поддающихся индивидуальной идентификации с помощью фотографий или видеоизображений, полученных автоматическими камерами. В основе метода лежит постоянный учёт животных на площадках, образованных зонами детекции фотоловушек с последующей экстраполяцией результатов на всю изучаемую территорию. Существенным отличием предложенного способа от других методов учёта фотоловушками является более простой математический аппарат, что позволяет применять метод широкому кругу пользователей. Достаточно легко вычисляются как меры положения, так и меры рассеяния, необходимые для последующего статистического анализа. Одним из преимуществ метода можно также назвать отсутствие необходимости знать скорость передвижения животных – наиболее трудно вычисляемый параметр, особенно в бесснежный период года. Приводится пример использования бутстреп-метода для случая, когда параметры распределения входных данных не соответствуют нормальному. С помощью локальной теоремы Лапласа оценена вероятность попадания отдыхающих на лёжках животных в зону детекции матриц фотоловушек, что необходимо для корректного использования предлагаемого метода. Предлагаются пути решения для случаев, когда таковая вероятность мала. Обозначены проблемы предлагаемого метода и возможные варианты их решения. Приведен пример расчета плотности косули в дубовом редколесье Хинганского заповедника на основе данных, полученных с помощью четырёх фотоловушек.

Ключевые слова: плотность населения животных, учёт животных, фотоловушки.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-307-317>

ВВЕДЕНИЕ

Учёты с помощью фотоловушек – новое и динамично развивающееся направление исследования численности животных. Несмотря на то, что первые фотоловушки появились довольно давно, массово доступны для проведения масштабных исследований они стали лишь в последнее десятилетие. Исторически сложилось так, что методика учёта с их помощью впервые была разработана и применена для животных с индивидуальной окраской (Karanth, Nichols, 1998). Спустя десять лет, J. M. Rowcliffe с соавторами (Rowcliffe et al., 2008) был опубликован метод оценки численности животных с помощью автоматических фотокамер (получивший название REM), при котором нет необходимости персональной идентификации. Вкратце, это модификация хорошо известного в России зимнего маршрутного учёта, в которой учётчиком выступает автоматическая фотокамера, ежесуточно проводящая фиксацию животных в секторе чувствительности датчика движения или тепла (Кастрикин, 2019). Переход от количества «пересечений» к плотности животных осуществляется также через формулу, аналогичную известной формуле Формозова – Малышева – Перелешина, но с поправкой на учёт в секторе.

В предложенном М. Роклифом методе в качестве одного из независимых параметров применяется скорость передвижения животного:

$$D = (y/t) \times (\pi / vr(2 + \theta)),$$

где D – плотность населения; y/t – количество фотофиксаций за единицу времени; v – скорость (средняя) передвижения животного; r – дальность детекции (обнаружения); θ – угол детекции, рад.

Для каждого вида животного параметры подвижности зависят от множества факторов: глубины снежного покрова, кормности угодий, температуры воздуха, пола, возраста и пр. Большинство этих факторов и, соответственно, показатели подвижности существенно меняются по сезонам и годам. В случае использования усреднённых многолетних данных неизбежно снижается репрезентативность результатов учёта.

И хотя позднее (Rowcliffe et al., 2016) проблема расчёта скорости перемещений животных по данным с автоматических камер была решена, применённый математический аппарат нельзя назвать простым.

Знание скорости передвижения животного необходимо и для оценки плотности населения с помощью модели TTE (time to event), где для расчёта используется время до регистрации (Moeller et al., 2018).

Методы, в которых данная проблема устранена, используют различные подходы, однако их роднит то обстоятельство, что все необходимые для расчёта плотности животных данные можно получить с фотоловушек. Например, метод, получивший название STE (space to event). Суть его состоит в учёте животных в поле обзора фотоловушки, которая фотографирует площадку через определённые промежутки времени (Moeller, 2017; Moeller et al., 2018). Однако метод применим только в светлое время суток, а кроме того, он довольно ресурсоёмок, так как съёмка происходит через короткие временные промежутки вне зависимости, есть объекты наблюдения в зоне учёта или нет.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО УЧЁТУ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ

В 2017 г. была опубликована работа (Nakashima et al., 2017), в которой расчёт плотности населения базировался как на количестве регистраций, так и на времени, проведенном животными в поле детекции автоматической камеры. Метод получил название REST. Математический аппарат для расчётов также достаточно сложен, и, кроме того, имеется существенное ограничение в использовании входных значений: время пребывания животных в поле учёта фотокамеры должно следовать параметрическому распределению (Nakashima et al., 2017).

Цель нашей работы – предложить к обсуждению метод сбора и интерпретации наблюдений, который позволит отказаться от использования при расчёте плотности населения такого сложно определяемого параметра, как скорость передвижения животного (Подольский и др., 2019) и не будет ограничен параметрами распределения входных данных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Использовались цифровые автоматические камеры Seelock (Seelock, Китай), Bushnell (Bushnell, Китай) и ScoutGuard (Bolymedia, Китай) в количестве 4 единиц, установленные в Антоновском лесничестве Хинганского заповедника на поросшей дубняком возвышенности. Основной задачей камер было наблюдение за барсуками (*Meles leucurus* Hodgson, 1847) на территории их поселений. Для этого камеры были установлены на запись видео с интервалом между повторными включениями 1 с. Запоздывание между входом объекта в зону чувствительности датчика и началом записи также составляет около 1 с. Чувствительность PIR-датчика (датчика теплового излучения) устанавливалась для камер Bushnell на авто, на остальных, где режим авто отсутствует, – на среднюю чувствительность. По времени работа камер распределилась следующим образом: одна работала с 25 июня по 18 июля, две – с 30 сентября по 22 октября и одна – с 25 июня по 22 октября с перерывами, связанными с отключениями камеры ввиду разрядки батарей. Всего камеры отработали 1752 часа. Дальность срабатывания датчика по объекту «коосуля» определялась предварительно для каждой фотокамеры на примере собаки схожих массогабаритных характеристик и составила более 10 м. Однако растительность и рельеф наложили существенные ограничения на эту величину в реальных условиях (в сторону уменьшения). С учётом угла обзора площадь детекции каждой камеры составила около 10 м². Точная оценка данного параметра не представляется существенной, так как практическое применение в данном случае было больше нацелено на иллюстрацию использования предлагаемого метода учёта, а не для точной оценки плотности обитающих животных. Для каждой из камер после снятия имела следующая информация: количество фиксаций косуль, время нахождения в поле фиксации каждого животного или группы, площадь поля фиксации (единая для всех камер) и продолжительность работы каждой камеры.

Для статистической обработки данных использовалась программа Statistica v. 5.1. Размножение выборки при реализации бутстрэп-метода выполнялось в Microsoft Excel 2007. Вероятность реализации события (для оценки возможности регистрации отдыхающих животных) считалась локальной теоремой Лапласа на онлайн-калькуляторе (<https://math.semestr.ru/probability/local-laplace.php>).

Как уже упоминалось, учёт не был основной целью использования камер, поэтому их было мало для работы по оценки плотности населения, расстановка не была оптимальной (ввиду чего дистанция между ними колебалась от 100 до 300 м), все задействованные фотоловушки размещались в одной станции. Тем не менее, считаем, что полученные данные могут быть использованы для данной статьи, так как её цель – предложить к обсуждению метод учёта.

Если в подходе, используемом J. M. Rowcliffe с соавторами (Rowcliffe et al., 2008), был реализован тот же принцип, что и в ЗМУ (линейный учёт), то авторами статьи было решено реализовать подход, применяемый в учётах прогоном или двойным окладом (Русанов, 1986) – площадной учёт. Для этого был рассмотрен факт пребывания животного в поле фиксации фотокамеры не как условное пересечение линии/сектора наблюдения, а как его временное нахождение на площадке фотоучёта. Ранее подобный взгляд был реализован Y. Nakashima с соавторами (2017, 2020).

Разумеется, при фиксированной плотности населения животных на территории наблюдения, на площади, существенно меньшей территории обитания одной особи, животные будут находиться не постоянно, а лишь какую-то часть времени. В случае, если всё местообитание одинаково привлекательно, на каждом его произвольном участке животные будут находиться часть времени, пропорциональной размеру участка. Как и во многих других выборочных методах учёта, будем исходить из предположения, что животные внутри станций распределены равномерно, метод учёта не влияет на поведение объекта учёта, численность и подвижность животных за время учёта характеризуются постоянными мерами положения и рассеивания.

Предложенный подход можно иллюстрировать следующим условным примером. Если бы одно животное определенного вида находилось в зоне срабатывания фотоловушки всё время экспозиции камеры, то плотность населения этого вида составляла бы 1 особь на площадь фотоучета.

При плотности одна особь на тысячу га, на площадке пятьсот га животное будет находиться половину времени, плотность составит 0.5 особ./500 га. На 100 га – соответственно 0.1 времени или 0.1 особ./100 га. То есть время пребывания животных на выборочной площадке отражает плотность на ней.

Исходя из этого, можно, вычислив долю времени пребывания исследуемого объекта на выборочной площадке (представленной в нашем случае зоной учёта фотоловушки), рассчитать плотность его населения на ней (назовём её D_f).

Учитывая, что плотность населения животных определенного вида в зоне учёта фотокамеры (D_f) отражает плотность их населения на территории обитания (назовём её D), можем вычислить D по известной формуле:

$$D = D_f = N_f / S_f,$$

где N_f – число животных (среднее) в зоне учёта фотокамеры S_f .

Как отмечалось выше, количество животных в поле учёта фотоловушки равно доле времени пребывания животных в ней.

$$N_f = \sum (y_i \times t_i) / T_f = \sum (y_1 \times t_1) / T_f + (y_2 \times t_2) / T_f + \dots + (y_n \times t_n) / T_f = \sum ((y_i \times t_i) / T_f). \quad (1)$$

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО УЧЁТУ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ

Здесь y_i – размер i -той группы в поле учёта, t_i – время пребывания i -той группы в поле учёта и T_f – время работы фотоловушки.

Или

$$N_f = n(y \times t) / T_f, \quad (2)$$

где n – число заходов групп в поле учёта фотоловушки (количество фото/видеофиксаций), $y \times t$ – среднее значение для всех $y_i \times t_i$.

Тогда

$$D = D_f = N_f / S_f = \Sigma(y_i \times t_i) / (S_f \times T_f). \quad (3)$$

Исходя из второго свойства среднего квадратичного отклонения (SV), $SV(C \times X) = C \times SV(X)$, где C – константа.

Тогда, учитывая, что в уравнении (2) отношение n / T_f является константой, стандартное отклонение для среднего количества животных $SV(N_f)$ в зоне учёта фотоловушки будет равно

$$SV(N_f) = SV(y \times t) \times n / T_f. \quad (4)$$

В свою очередь, в уравнении (3) константой является $1 / S_f$ и тогда стандартное отклонение для плотности населения животных на территории исследования рассчитывается как

$$SV(D) = SV(N_f) / S_f. \quad (5)$$

Разумеется, если на допустимом уровне значимости распределение переменной $y_i \times t_i$ не соответствует нормальному, применения стандартного отклонения для построения интервальной оценки генеральной средней следует избегать. В таких случаях применим бутстрэп-метод получения псевдовыборок с последующим расчётом интервальной оценки по процентилям.

Для выставленной матрицы фотоловушек при расчёте средней плотности населения применяется формула (3), при этом наблюдения со всех фотокамер объединяются в общую таблицу, а время работы камеры (T_f) заменяется суммарным временем работы всех камер в пределах одного биотопа. Соответствующие поправки вносятся и в формулы (4) и (5) при расчёте стандартных отклонений для матрицы. Необходимым требованием, в данном случае, является одинаковая для каждой из применяемых фотокамер площадь учёта S_f . Если это требование не выполняется, данные со всех фотокамер не объединяются в общую матрицу, а обрабатываются отдельно для каждой. С одной стороны, это несколько усложняет вычисления, но, с другой, избегая выравнивания всех камер по наименьшему показателю, увеличивает площадь «облова».

Перед началом учёта необходимо с максимально возможной точностью, опытным путем определить и обозначить на местности площадь фоторегистрации каждой установленной камеры. Применительно к лесу зону учёта можно разметить кольшками, обозначающими угол и дальность в секторе, в котором будет проводиться учёт. Для фиксации времени пребывания в зоне учёта необходимо настроить камеру на режим видеофиксации или фотофиксации с минимальным интервалом (большинство современных камер позволяют задавать интервал 1 с). Время пребывания животных в зоне фотоучёта должно регистрироваться с точностью до секунд. Следует учесть, что кроме максимальной дальности регистрации у

автоматических камер есть и минимальная, зависящая от скорости срабатывания камеры и скорости передвижения животного.

Итак, основными параметрами предлагаемого метода учёта являются: 1) площадь детекции (фоторегистрации); 2) длительность работы камеры (экспозиция); 3) время пребывания (в секундах) животных (каждой особи) учитываемого вида в зоне фоторегистрации.

Указанных трёх параметров достаточно для корректного определения плотности населения учитываемого вида в зоне фоторегистрации без использования дополнительных переменных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В дубовых и дубово-черноберёзовых лесах, наиболее характерных для Хинганского заповедника, было установлено 4 камеры вблизи нор барсуков с целью слежения за их активностью. Данные по численности косуль собирались попутно, однако мы считаем, что они вполне могут быть использованы для апробации предлагаемого метода учёта с помощью фотоловушек (таблица).

Данные по видеофиксации косуль автоматическими камерами

Table. Data on video recording of roe deer by automatic cameras

Номер наблюдения	Размер группы (y), особей	Время нахождения в зоне детекции (t), с	$y \times t$, особей \times с
1	1	2	2
2	1	4	4
3	1	8	8
4	1	49	49
5	1	12	12
6	1	35	35
7	1	18	18
8	1	13	13
9	1	14	14
10	1	22	22
11	1	5	5
12	1	3	3
13	1	9	9
14	1	12	12

Общее время работы всех камер составило 12096000 с. Площадь детекции каждой 10 м², или 0.001 га.

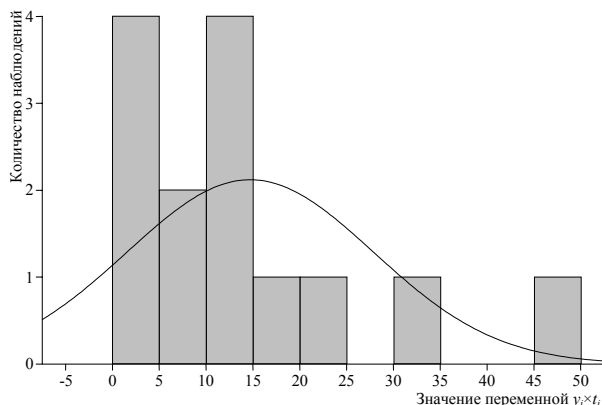
Рассмотрим распределение значений переменной $y_i \times t_i$. Как видим (рисунок), маловероятно, чтобы оно соответствовало нормальному (хотя полностью отвергнуть такое предположение нельзя).

Воспользуемся для построения доверительного интервала генеральной средней плотности косули бутстрэп-методом, сформировав 1000 псевдовыборок. Полученная по выборочным средним интервальная оценка генеральной средней, заключённая между процентилями 2.5 и 97.5, лежит между значениями 12.3 и 29.3

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО УЧЁТУ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ

при среднем значении 19.9. То есть с 95%-ной вероятностью плотность косули на исследуемом участке составляет $D = 19.9 \pm 9.4$ | -7.6 особ./1000 га.

Расчётная интервальная оценка генеральной средней, сделанная с предположением (невысоким) о нормальном распределении показателя $y_i \times t_i$, даёт значение плотности $D = 17.0 \pm 8.8$ особ./1000 га.



Гистограмма переменной $y_i \times t_i$

Figure. Histogram of the $y_i \times t_i$ variable

(по количеству и размещению фотокамер) итог работ авторов статьи сравнить с данными по плотности населения косули в пределах рассматриваемого участка, полученными на площадке многодневного оклада в феврале 2011 г. Тогда, по результатам трёх суток учёта, она составила 18 особ./1000 га. Использовать стандартное отклонение для выборки из $n = 3$ весьма спорно, поэтому приводить его здесь не будем.

Как видим, величины, полученные как учётом на площадке оклада, так и учётом камерами, одного порядка. И хотя это результат скорее случайный, чем закономерный, он всё же говорит в пользу правомерности применённого авторами статьи подхода, чем против него.

Одна из сложностей применённого подхода заключается в том, что для корректного расчёта в зону детекции фотоловушек должны попадать не только передвигающиеся животные, но и отдыхающие. В противном случае вычисленные как плотность, так и скорость передвижения относятся к активным (передвигающимся) особям (Rowcliffe et al., 2016; Nakashima et al., 2017).

Учитывая, что косули отдыхают 11 – 16 ч в сутки, делая 4 – 6 лёжек (Тимофеева, 1985), отсутствие регистрации животных на лёжке приведёт к занижению плотности примерно в 2 раза.

Попробуем вычислить вероятность регистрации лёжки, используя локальную теорему Лапласа при среднем числе суточных лёжек на одну особь, равную 5. Будем считать лёжки точечными объектами. Для плотности 18 особ./1000 га при известной зоне детекции 10 м² при суммарном времени работы камер 140 суток, ве-

Разумеется, полученные результаты иллюстрируют лишь возможность проведения учёта предложенным способом. Для полноценной работы по оценке плотности населения камеры должны устанавливаться во всех станциях, число их должно измеряться не единицами, а десятками, распределены они должны быть по гораздо большей площади.

Тем не менее, есть возможность необъективный

роятность, что событие наступит хотя бы один раз, составляет $P = 0.0125$. Как видим, при заданных условиях шанс, что такое произойдёт, ничтожно мал.

Однако на практике чаще используют большее количество фотокамер с большей площадью детекции. Так, для озвученных выше плотности животных и среднем количестве суточных лёжек, при использовании 20 камер в течение 100 суток, учитывая, что площадь детекции каждой камеры 40 м^2 , вероятность, что хотя бы одна лёжка попадёт в зону работы камеры, составит уже $P = 0.513$.

Тем не менее, вероятность события, реализация которого способна существенно повлиять на расчет плотности населения, остаётся невысокой.

В тех случаях, когда плотность населения животных выше нашего примера и/или больше количество применяемых фотокамер, вероятность регистрации животных, находящихся в состоянии покоя вне укрытий, будет достаточно высокой, что даёт возможность применения предлагаемого метода учёта в изначально изложенном варианте.

Когда же вероятность того, что за период наблюдений регистрация отдыхающих животных будет мала, предлагаем такие события, даже в случае их реализации, не учитывать, а использовать подход, основанный на информации о суточной активности животных, получаемой с матрицы фотокамер (Rowcliffe et al., 2014; Nakashima et al., 2018, 2020). Его реализация позволяет получить коэффициент суточной активности, который приближенно показывает долю учтённых фотоловушками животных.

В простейшем случае, если для исследуемого вида известен его суточный бюджет времени, найденную по формуле (3) плотность необходимо умножить на

$$k = 24/(24 - T_{\text{отд}}), \quad (6)$$

где $T_{\text{отд}}$ – среднее время отдыха (периода, когда животное не передвигается) вида за сутки, выраженное в часах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель статьи – обсудить достаточно простой метод, устойчивый к распределению входных переменных, позволяющий использовать фотоловушки для оценки плотности населения массовых видов животных без включения в расчёты скорости их передвижения. Для этого предложено считать каждую фото/видеорегистрацию как наблюдение, учитывая не только количество регистраций в секторе фотоловушки, но и время пребывания животных в секторе. При этом для получения выборочной средней используется простейшая формула. Меры рассеяния (необходимые для интервальной оценки генеральной средней) при нормальном распределении входных переменных легко рассчитываются по предложенной формуле (5). В случае, если распределение не является нормальным, интервальная оценка рассчитывается с использованием бутстрэп-метода – довольно простого в понимании и реализации способа генерации псевдобыборок.

При большом объёме регистраций, когда вероятность того, что неактивные животные также попадут в поле учёта фотоловушки достаточно велика, метод, вероятно, пригоден для использования без учёта периодов активности животных.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО УЧЁТУ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ

В противном случае использовать предложенный коэффициент (6), либо коэффициент активности (Rowcliffe et al., 2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кастрикин В. А. Какой танк самый лучший? // Рус. охотничий журн. 2019. Вып. 2. С. 16 – 19.

Подольский С. А., Кастрикин В. А., Левик Л. Ю., Гордеева Я. С. Методология использования фотоловушек для оценки обилия и сезонных изменений населения млекопитающих на примере Зейского заповедника // Байкальский зоол. журн. 2019. № 2 (25). С. 6 – 12.

Русанов Я. С. Основы охотоведения. М. : Изд-во МГУ, 1986. 160 с.

Тимофеева Е. К. Косуля. Л. : Изд-во ЛГУ, 1985. 224 с.

Karanth K. U., Nichols J. D. Estimating Tiger Densities in India from Camera Trap Data Using Photographic Captures and Recaptures // Ecology. 1998. Vol. 79, № 8. P. 2852 – 2862.

Moeller A. K. New Methods to Estimate Abundance from Unmarked Populations Using Remote Camera Trap Data: Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers. Missoula, University of Montana, 2017. 48 p.

Moeller A. K., Lukacs P. M., Horne J. S. Three Novel Methods to Estimate Abundance of Unmarked Animals Using Remote Cameras // Ecosphere. 2018. Vol. 9, iss. 8. P. e02331.

Nakashima Y., Fukasawa K., Samejima H. Estimating Animal Density Without Individual Recognition Using Information Derivable Exclusively from Camera Traps // J. of Applied Ecology. 2017. Vol. 55, iss. 2. P. 735 – 744. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13059>

Nakashima Y., Hongo S., Akomo-Okoue E. F. Landscape-scale Estimation of Forest Ungulate Density and Biomass Using Camera Traps : Applying the REST Model // Biological Conservation. 2020. Vol. 241. P. e 108381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108381>

Rowcliffe J. M., Field J., Turvey S. T., Carbone C. Estimating Animal Density Using Camera Traps Without the Need for Individual Recognition // J. of Applied Ecology. 2008. Vol. 45, iss. 4. P. 1228 – 1236. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x>

Rowcliffe J. M., Kays R., Kranstauber B., Carbone C., Jansen P. Quantifying Levels of Animal Activity Using Camera-trap Data // Methods in Ecology and Evolution. 2014. Vol. 5, iss. 11. P. 1170 – 1179. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12278>

Rowcliffe J. M., Jansen P. A., Kays R., Kranstauber B., Carbone C. Wildlife Speed Cameras: Measuring Animal Travel Speed and Day Range Using Camera Traps // Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2016. Vol. 2, iss. 2. P. 84 – 94. DOI: <https://doi.org/10.1002/rse2.17>

В. А. Кастрикин, С. А. Подольский, М. С. Бабыкина

**A New Method for Calculating the Population Density
of Terrestrial Animals Using Camera Traps with Assessment
of Roe Deer (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) (Cervidae, Mammalia)
Population Density in the Khingan Nature Reserve as an Example**

Viacheslav A. Kastrikin¹, <https://orcid.org/0000-0001-5877-5798>; apodemus@mail.ru

Sergei A. Podol'skii², sergpod@mail.ru

Marina S. Babykina¹, <https://orcid.org/0000-0002-3499-7625>; bimark@mail.ru

¹ Khingan State Nature Reserve

6 Dorozhny, Arkhara, Amurskaia Region 676740, Russia

² Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences

3 Gubkina St., Moscow 119333, Russia

Received 14 January 2020, revised 27 April 2020, accepted 26 May 2020

Kastrikin V. A., Podol'skii S. A., Babykina M. S. A New Method for Calculating the Population Density of Terrestrial Animals Using Camera Traps with Assessment of Roe Deer (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) (Cervidae, Mammalia) Population Density in the Khingan Nature Reserve as an Example. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 3, pp. 307–317 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-307-317>

A new method for calculating the population density of terrestrial animals, which are not amenable to individual identification, using photos or video images obtained by automatic cameras is proposed for discussion. The method is based on the continuous registration of animals on sites formed by the detection zones of camera traps with subsequent extrapolation of the results to the entire study area. A much simpler mathematical apparatus is a significant difference between our proposed method and other methods of accounting by camera traps, which allows it to be applied by a wide range of users. Both the positional measures and the scattering measures necessary for subsequent statistical analysis are calculated quite easily. Also, one of our method's advantages is no need to know the animal movement speed, the most difficult parameter to calculate, especially in the snowless period of the year. An example of using the bootstrap method is given for the case when the input data distribution parameters do not correspond to the normal one. Using the de Moivre–Laplace theorem, the probability that the animals resting on their beds would get into the detection zone of the camera trap matrices is estimated, which is necessary for the correct use of the proposed method. Solutions are proposed for cases when this probability is low. The problems of our proposed method and their possible solutions are described. An example of calculating the density of roe deer in the open oak forest of the Khingan Nature Reserve is given on the basis of our data obtained from four camera traps.

Keywords: animal population density, animal count, camera traps.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-307-317>

REFERENCES

Kastrikin V. A. What is the Best Tank ? *Russian Hunting Magazine*, 2019, iss. 2, pp. 16–19 (in Russian).

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО УЧЁТУ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ

Podol'ski S. A., Kastrikin V. A., Levik L. Yu., Gordeeva Ya. S. Methodology of Using Camera Traps to Estimate Abundance and Seasonal Changes in the Population of Mammals on the Example of the Zeya Reserve. *Baikal Zoological J.*, 2019, no. 2, pp. 6–12 (in Russian).

Rusanov Ya. S. *Osnovy okhotovedeniia* [Basics of Hunting]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1986. 160 p. (in Russian).

Timofeeva E. K. *Kosulia* [Roe Deer]. Leningrad, Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, 1985. 224 p. (in Russian).

Karanth K. U., Nichols J. D. Estimating Tiger Densities in India from Camera Trap Data Using Photographic Captures and Recaptures. *Ecology*, 1998, vol. 79, no. 8, pp. 2852–2862.

Moeller A. K. *New Methods to Estimate Abundance from Unmarked Populations Using Remote Camera Trap Data*. Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers. Missoula, University of Montana, 2017. 48 p.

Moeller A. K., Lukacs P. M., Horne J. S. Three Novel Methods to Estimate Abundance of Unmarked Animals Using Remote Cameras. *Ecosphere*, 2018, vol. 9, iss. 8, pp. e02331.

Nakashima Y., Fukasawa K., Samejima H. Estimating Animal Density Without Individual Recognition Using Information Derivable Exclusively from Camera Traps. *J. of Applied Ecology*, 2017, vol. 55, iss. 2, pp. 735–744. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13059>

Nakashima Y., Hongo S., Akomo-Okoue E. F. Landscape-scale Estimation of Forest Ungulate Density and Biomass Using Camera Traps: Applying the REST Model. *Biological Conservation*, 2020, vol. 241, pp. e 108381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108381>

Rowcliffe J. M., Field J., Turvey S. T., Carbone C. Estimating Animal Density Using Camera Traps Without the Need for Individual Recognition. *J. of Applied Ecology*, 2008, vol. 45, iss. 4, pp. 1228–1236. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x>

Rowcliffe J. M., Kays R., Kranstauber B., Carbone C., Jansen P. Quantifying Levels of Animal Activity Using Camera-trap Data. *Methods in Ecology and Evolution*, 2014, vol. 5, iss. 11, pp. 1170–1179. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12278>

Rowcliffe J. M., Jansen P. A., Kays R., Kranstauber B., Carbone C. Wildlife Speed Cameras: Measuring Animal Travel Speed and Day Range Using Camera Traps. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2016, vol. 2, iss. 2, pp. 84–94. DOI: <https://doi.org/10.1002/rse2.17>