

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РФ  
ФГБУ «ХИНГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК»

Отчет о НИР за 2020 г.

по теме «Использование фотоловушек для учета численности массовых и редких  
животных»

Отв. исполнитель: зам. директора по НР \_\_\_\_\_ В.А. Кастрикин

Зам. дир. по НР \_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 г.

## **Оглавление**

Введение .....	3
Материал и методы .....	3
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	6
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	9

## Введение

Включение темы в план НИР заповедника обусловлено рядом проблем методологического характера, ограничивающим применение фотоловушек для учёта массовых видов животных – копытных и мелких хищных. В заповеднике имеется довольно много фотоловушек, использующихся для мониторинга тигров, которые попутно собирают массу информации по всем группам средних и крупных животных. Однако, в перечисленных работах интерпретация данных базируется на не нулевом результате фотоучёта. То есть, когда представители вида были зафиксированы камерой, мы можем оценить их численность/плотность: найти среднюю, дисперсию, дать интервальную оценку для заданного нами уровня значимости. Но как трактовать нулевой результат учёта, когда фотоловушки нормально отработали некоторый промежуток времени и так и не зафиксировали ни одного представителя интересующего нас вида? Значит ли это, что данный вид отсутствует, или он присутствует, но его численность слишком мала? На момент написания статьи нам не известны работы, предлагающие решение поставленных вопросов. Поэтому была поставлена цель предложить подход, позволяющий дать вероятностную оценку отсутствия фотофиксаций вида при его фактическом наличии на исследуемом пространстве.

## Материал и методы

Так как фиксация животного фотоловушкой представляет собой вероятностный процесс, представим территорию обитания животного не как плотность населения, а как плотность вероятности нахождения исследуемого животного в любой точке его местообитания. Для этого решим, что вся территория обитания состоит из одинаковых фрагментов и каждый фрагмент – это зона учёта некоторой стандартной фотоловушки. В таком случае, для каждого фрагмента в любой произвольный момент времени будет справедливо одно из двух высказываний: 1) объект учёта в нём присутствует и 2) объект учёта в нём отсутствует. Тогда, имея необходимый набор данных, мы можем рассчитать вероятность посещения объектом любого фрагмента на протяжении заданного временного интервала (например – 1 сутки). Разумеется, вероятность будет прямо зависеть от плотности населения исследуемого животного. Кроме этого, учитывая, что фрагменты являются не точечными объектами и на их пересечение необходимо некоторое время, скорость передвижения животного также будет прямо влиять на вероятность посетить фрагмент в течение заданного времени. В таком случае, всю территорию обитания вида можно рассматривать (с точки зрения учёта фотоловушками) как плотность вероятностей с разрешением, равным рабочей площади фотоловушки.

Для упрощения решения предположим, что плотность вероятности обитания исследуемого вида животного на всей территории одинакова. Как было показано выше, для нахождения значения вероятности фотофиксации в каждом фрагменте нам необходимо знать размер фрагмента, длину временного интервала, плотность населения вида, среднюю скорость перемещения животного. Все эти параметры присутствуют в известной формуле Роклифа (Rowcliffe et al, 2008):

$$D=(y/t) \times (\pi/vr(2+\theta)), \quad (1)$$

Где  $D$  - плотность населения, прямо пропорциональная количеству фоторегистраций ( $y$ ) и обратно пропорциональна времени учёта ( $t$ ), скорости передвижения животного ( $v$ ) и размеру фрагмента ( $r(2+\theta)$ ).

Так как нас интересует, сколько ожидается фоторегистраций (математическое ожидание,  $M(y)$ ), то найдём эту величину из формулы (1):

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

Таким образом, мы можем рассчитать математическое ожидание количества фоторегистраций для заданных скорости передвижения, плотности населения животного и продолжительности фотоучёта. Соответственно, вероятность фоторегистрации в каждый из дней составит

$$P(y) = M(y) / t \quad (3)$$

Мы поставили перед собой задачу оценить вероятность того, что обитающее с известной плотностью населения на исследуемой территории животное не будет зафиксировано фотокамерами.

В таком случае, всё возможное поле событий сужается до двух исходов: 0 (фоторегистраций не было) и 1 (фоторегистрации были). Если продолжительность учёта измеряется сутками, то, соответственно, при ненулевой плотности населения животных, каждые сутки может произойти событие 0 или 1. И тогда наша задача сводится к оценке вероятности реализации только событий 0 при количестве независимых испытаний  $t$  и известной вероятности события 1 (которое находится по формуле (3)). В рамках теории вероятности, эта задача решается с помощью локальной теоремы Лапласа.

В качестве гипотетического примера, найдём решение для следующих условий:  $r$  (дальность регистрации фотоловушки) = 10 метров,  $v$  (средняя скорость перемещения животного) = 3000 м/сутки (соответствует длине суточного хода косули зимой),  $\theta$  (угол обзора фотоловушки) = 1 рад,  $t$

(длительность работы фотоловушки) = 100 суток и  $D$  (плотность населения) = 10 ос/1000 га = 0,000001 ос/м<sup>2</sup>.

Математическое ожидание количества фоторегистраций при таких условиях составит, согласно формуле (2)

$$M(y) = 100 \times 0,000001 \times 3000 \times 10 \times (2+1) / \pi = 2,87$$

Вероятность фоторегистрации в течении суток

$$P(y) = 2,87 / 100 = 0,0287$$

Для расчёта плотности населения формулой Роклиффа, не имеет значения, как регистрации распределились во времени: произошли они все в один день, или происходили не чаще 1 раза в сутки. Однако, в нашем случае, событие будет трактоваться как произошедшее при любом количестве фоторегистраций за выбранный отрезок времени. Решим задачу сначала для случая, когда количество фоторегистраций в выбранный временной отрезок (сутки) не превышало 1. Воспользуемся для подсчёта онлайн-калькулятором локальной теоремы Лапласа, размещённым по адресу <https://math.semestr.ru/math/events.php>.

Согласно наших первоначальных условий, событие 1 может наступить 100 раз (хотя вероятность такого события невысока, она отлична от 0). Вероятность наступления события (в каждый из дней) равна

$P(y) = M(y) / t = 2,87 / 100 = 0,0287$ . Выберем в меню программы «Найти вероятность того, что событие наступит 0 раз».

Искомая вероятность составит  $P_{100}(0) = 0,0545$ .

То есть, для нашего примера, мы можем сказать, что даже если за 100 отработанных фотоловушко-суток не произошло ни одной фоторегистрации учитываемого животного, мы не можем с вероятностью  $P \geq 0,95$  утверждать, что реальная плотность населения исследуемого вида ниже или равна 10 ос/1000 га.

Для заданной надёжности суждений, пограничным значением является период в 105 фотоловушко-суток, так как для него  $P_{105}(0) = 0,0494 \approx 0,05$ . Если при этом ни одной фоторегистрации интересующего нас вида не было, то мы с вероятностью  $P = 0,95$  принимаем гипотезу о том, что плотность населения ниже 10 ос/1000 га.

Теперь рассмотрим случай из нашего примера, когда в один из дней произошло более 1 фоторегистрации. Если мы будем использовать тот же лаг времени (сутки), то величина  $M(y)$  для двух и трёх фоторегистраций в сутки составит всё те же 2,87, или, округлённо, 3. Однако, в случае, если в один из дней произойдёт две фотрегистрации, то вероятность события (1) составит не 0,03, а 0,02. В случае же, если все три ожидаемых фоторегистрации произойдут в одни сутки, вероятность события (1) составит 0,01. Соответственно, значительно изменится величина  $P_{100}(0)$ . А это уже вступает в противоречие с положением формулы (1), согласно которому, неважно, как фоторегистрации распределены во времени.

Чтобы устранить возникшую проблему, увеличим количество временных отрезков учёта внутри суток. Это снизит возможность реализации более одной фоторегистрации в одном временном отрезке. Для нашего примера увеличим количество временных отрезков в пределах той же продолжительности учёта, до 1000. То есть, примем продолжительность каждого временного отрезка не в 1 сутки, как ранее, а в 1/10 суток. Насколько сильно это скажется на искомой величине  $P$ , которая теперь будет не  $P_{100}(0)$ , а  $P_{1000}(0)$  ?

Математическое ожидание количества фотофиксаций останется прежним (2,87), однако ожидаемая вероятность фотофиксации в каждый временной отрезок составит уже  $P(y)=2,87/1000=0,00287$ . Рассчитанная  $P_{1000}(0) = 0,0559$ , что больше  $P_{100}(0)$  на 0,0014. Если же мы примем продолжительность каждого временного отрезка в 1/100 суток, то  $P_{10000}(0) = 0,056$ .

То есть, дробление продолжительности фотоучёта на значительно большее количество временных интервалов крайне слабо сказывается на значении искомой вероятности реализации только событий «0» и таким путём мы уходим от образовавшейся выше проблемы, когда мы зависели от распределения фоторегистраций во времени.

Следовательно, так как дробление на короткие временные отрезки незначительно сказывается на искомой величине вероятности (реализации только событий «0»), то как бы не были распределены фоторегистрации во времени, мы можем в расчётах использовать продолжительность временного отрезка, равного 1 суткам. Разумеется, это справедливо, если  $M(y) \ll t$ , где  $t$  измеряется сутками. В противном случае, необходимо дробление отрезка учёта до величины, когда будет справедливо  $M(y) \ll t$ .

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Зимой 2018/2019 гг по долине реки Карапчи (рис.1) с 1 ноября 2018 г.

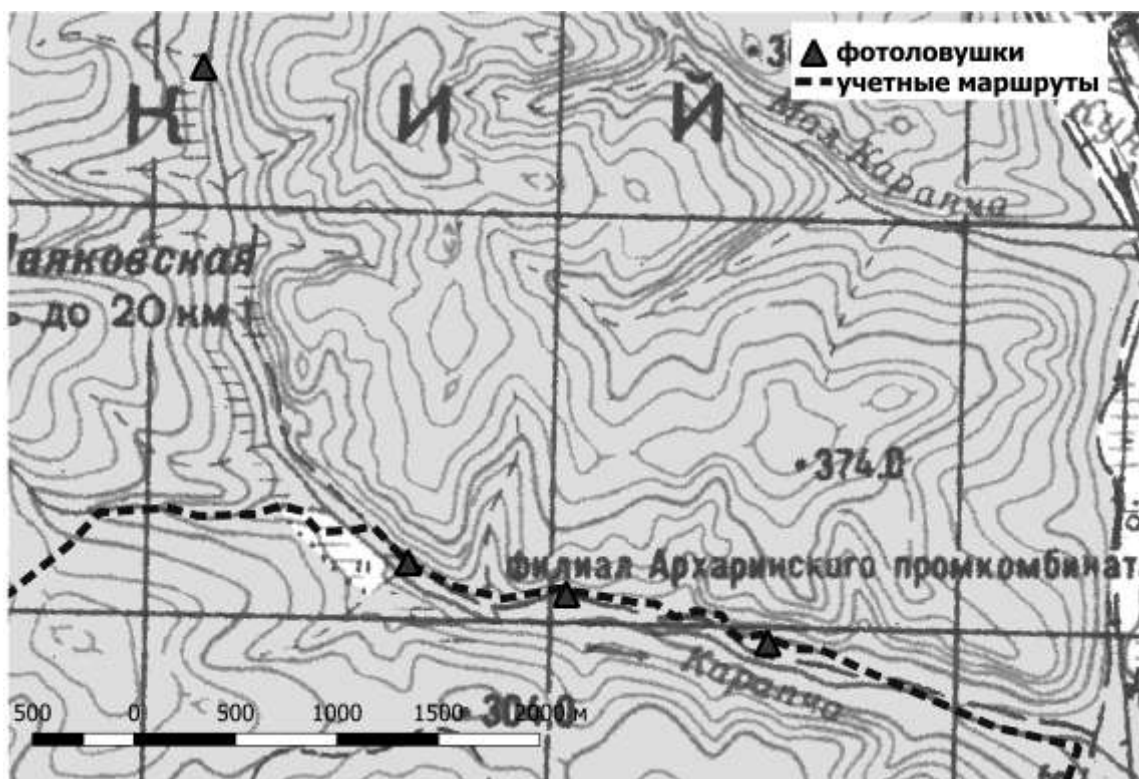


Рис.1. Расположение учётного маршрута и фотоловушек в долине реки Карача Хинганского заповедника

по 31 марта 2019 г. было отработано четырьмя фотоловушками 313 фотоловушко-суток, при этом фоторегистраций косули не было. Зимний маршрутный учёт по этой же долине проводился дважды – в декабре 2018г. и в феврале 2019 г., в обоих случаях на отрезке длиной 4,3 км. Показатели учёта для рассматриваемого вида составили 5,8 и 0,6 соответственно. Средняя для двух учётов составляет  $P_y = (5,8+0,6)/2=3,2$ . Согласно приложению № 2 к Методическим указаниям по осуществлению... мониторинга... методом зимнего маршрутного учёта (утверждены приказом МПРиЭ № 1 от 11.01.2012), пересчётный коэффициент для косули, обитающей на территории Амурской области, равен  $K=0,59$ . Это соответствует средней длине суточного хода  $v = \pi/(2 \times 0,59)=2,66$  км/сутки.

В таком случае, средняя плотность населения на маршруте по данным двух ЗМУ будет  $D = K \times P_y = 0,59 \times 3,2 = 1,888 \approx 1,9$  ос/1000 га.

Характеристики установленных фотоловушек следующие:  $r$  (дальность регистрации фотоловушки) = 8 метров,  $\theta$  (угол обзора фотоловушки) = 1,1 рад.

Тогда, математическое ожидание количества фотофиксаций будет

$$M(y) = 313 \times 0,00000019 \times 2660 \times 8 \times (2+1,1)/\pi = 1,2494 \approx 1,25$$

Вероятность фотофиксации для каждого суток составит

$$P(y) = M(y)/t = 1,25/313 = 0,00399 \approx 0,004.$$

И тогда  $P_{313}(0) = 0,19$ .

Аналогичным образом можно найти вероятности реализации 1, 2, ... 5 фоторегистраций (рис. 2).

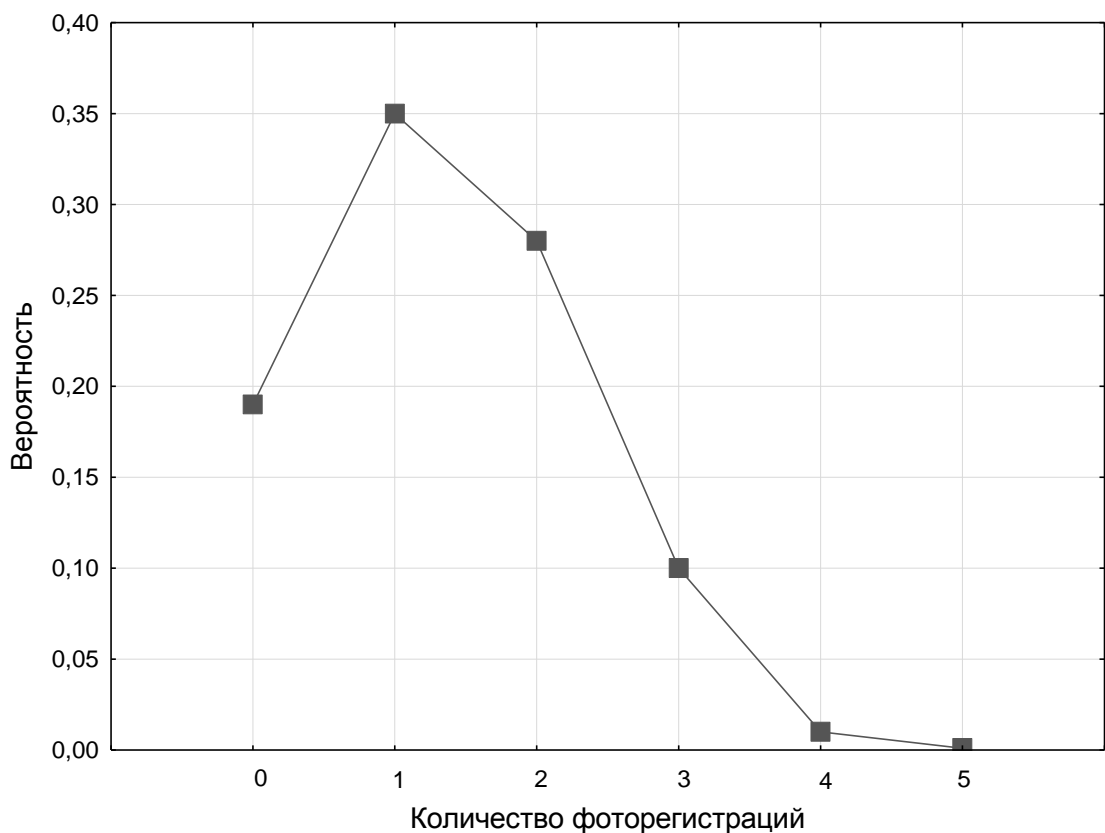


Рис. 2. Вероятность реализации определённого количества фоторегистраций.

Таким образом, вероятность того, что при существующих (по данным ЗМУ) плотностях козули наши фотокамеры ни разу не зафиксируют этих животных составит 0,19. Эта величина существенно превышает принятые в биологии для проверки гипотез уровни значимости 0,01...0,05, а значит, отсутствие фотофиксаций не противоречит рассчитанной плотности населения.

Небезынтересно отметить, что проверяемая гипотеза о плотности населения устояла бы при количестве фотофиксация от 0 до 3 (рис. 2), однако при большем числе её пришлось бы отвергнуть.

Теперь попробуем рассмотреть наши данные под другим углом, а именно: можно ли найти интервал плотностей населения козули, для которого с вероятностью  $P \geq 0,05$  были бы справедливы полученные нами данные фотоучёта? После несложных расчётов, получим следующие результаты (рис.3).



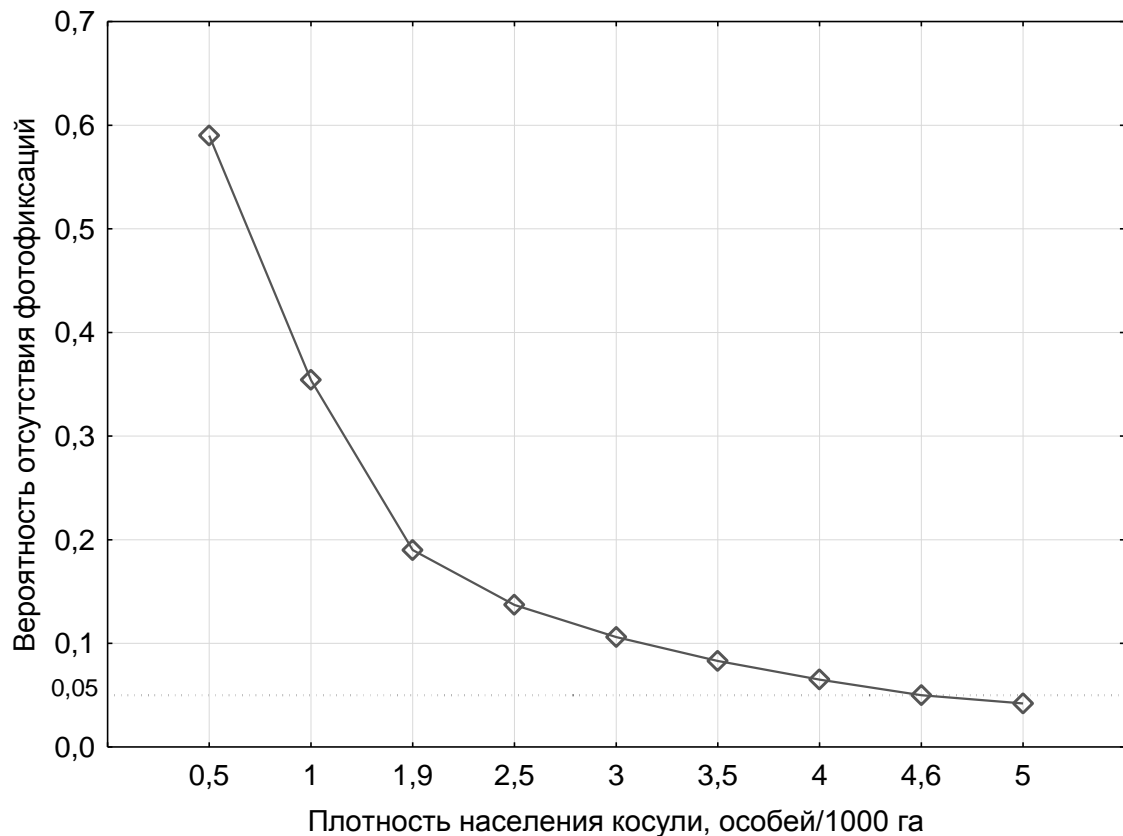


Рис.3. Вероятность отсутствия фотофиксаций матрицей камер при различной плотности населения косули.

Как видим, для нашего примера, с  $P \geq 0,05$  нулевое количество фотофиксаций может быть реализовано для плотностей населения косули от 0 до 4,6 ос/1000 га, что не противоречит данным, полученным в результате учёта методом ЗМУ – 1.9 ос/1000 га.

Натурное (хотя и ограниченное) испытание метода, проведённое выше, не выявило противоречий с оценками, полученными зимним маршрутным учётом.

Практическое применение предлагаемого способа оценки состоит в возможности принять или отклонить на заданном исследователем уровне значимости предположение о некоторой плотности населения вида зверей на исследуемой территории в условиях отсутствия фотофиксаций при учёте фотоловушками. При этом, можно заранее рассчитать количество фотоловушко-суток, достаточное для принятия или отклонения проверяемой гипотезы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Karant 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. 2017. 10958. <http://scholarworks.umt.edu/etd/10958>

Moeller, A. K., P. M. Lukacs, and J. S. Horne. 2018. Three novel methods to estimate abundance of unmarked animals using remote cameras. *Ecosphere* 9(8):e02331. 10.1002/ecs2.2331. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ecs2.2331>

Nakashima Y., Fukasawa K., Samejima H. Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps // *Journal of Applied Ecology*. 2017. Vol. 55, iss. 2. P. 735-744. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13059>

Rowcliffe J.M., Field J., Turvey S.T., Carbone C. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition // *Journal of Applied Ecology*. 2008.Vol. 45, iss. 4. P.1228-1236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x>