ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2020, том 99, № 2, с. 215–222

МЕТОДИКА ЗООЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 599.745;59.084

МЕТОД УЧЕТА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ КАСПИЙСКИХ ТЮЛЕНЕЙ (*PUSA CASPICA*) НА ЛЕЖБИЩАХ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИКОПТЕРОВ

© 2020 г. М. Т. Баймуканов[a], *, Л. А. Жданко[a], Т. Т. Баймуканов[a], Е. С. Дауенев[a], С. Е. Рыскулов[a], А. М. Баймуканова[a]

[a] *Институт гидробиологии и экологии, Иргели 040916, Казахстан*

**e-mail: institute_he@ihe.kz*

Поступила в редакцию 19.12.2018 г.
После доработки 26.05.2019 г.
Принята к публикации 26.05.2019 г.

Метод разработан для обработки фотоснимков с мультикоптеров с целью определения числа залегающих животных и их линейных размеров на лежбищах каспийских тюленей (*Pusa caspica*). В специальный протокол заносятся место (координаты), дата, время, высота съемок, облачность по 10-балльной шкале, температура воздуха, скорость ветра, номера отснятых кадров. Подсчет особей, их измерения осуществляются в графическом редакторе (например, Adobe Photoshop CS5). В рамках одного фотоснимка каждому изображению тюленя присваивается индивидуальный порядковый номер. Совершая полеты и фотографируя лежбище в различное время суток, производят оценку суточной динамики численности тюленей. В случае оценки многочисленных группировок рекомендуется производить учет, летая над лежбищем по трансектам. С учетом величины угла поля зрения объектива (FOV) мультикоптера и высоты съемки производится расчет расстояния между крайними точками диагонали фотоснимка в Международной Системе Единиц (м, см или мм) (СИ), т.е. рассчитывается расстояние, охваченное фотоснимком по диагонали. Известной величиной также является и разрешение фотоснимка в пикселях. Отсюда в фотоснимке производится расчет размера 1 пикселя по СИ. Измерения индивидуальных изображений тюленей по фотоснимкам в пикселях переводятся в МСЕ. Таким образом определяют полную длину и максимальную ширину каждой особи. Эти параметры важны для последующих работ по определению размерной структуры скоплений тюленей на лежбищах. В последующем, составив размерно-возрастной ключ, станет возможным рассчитать и возрастную структуру группировок тюленей на лежбищах.

Ключевые слова: Pusa caspica, учет, лежбище, фотоснимок, пиксели, Международная Система Единиц (СИ)

DOI: 10.31857/S0044513420020038

В целях определения видовой принадлежности и подсчета числа животных все чаще применяются беспилотные летательные аппараты (Беликов и др., 2018).

В настоящей работе изложен метод обработки фотоснимков, сделанных с мультикоптеров, для определения числа и линейных размеров залегающих каспийских тюленей. Исследования производились в течение 2015–2017 годов на лежбищах в казахстанской зоне Каспийского моря, применялись квадрокоптеры Phantom Professional 3 и Phantom Professional 4. Указанные выше дроны находятся в свободной продаже, имеют сравнительно невысокую стоимость, малые габариты – вес до 1.5 кг, технические их характеристики изложены в соответствующих руководствах (Phantom Краткое руководство, Phantom 4 Pro Краткое руководство пользователя). Квадрокоптеры обладают небольшой дальностью полетов – до 2–3 км в одну сторону. Рекомендуемый температурный диапазон – от 0 до 40°С – позволяет использовать эти дроны во все сезоны года, кроме зимнего. Не рекомендуется производить полеты при скорости ветра выше 10 м/с. Перед каждым полетом исследователи должны измерять скорость ветра анемометром, при этом опыт показывает, что скорость ветра на высоте 2 м не должна превышать 6–7 м/с. Во время дождя или в условиях, когда велика вероятность их выпадения, полет не совершается.

Ввиду этих ограничений исследователи подъезжают к предполагаемым местам скопления тюленей и производят запуск квадрокоптера для поисковых работ. Эти разведочные полеты проходят на высоте 35–40 м и со скоростью 10 м/с с включенной видеокамерой и возможностью про-

Рис. 1. Лежбище каспийского тюленя на острове в заливе Кендирли (кругами выделены группировки тюленей).

сматривать видеоизображения на дисплее пульта управления. Указанная скорость при достаточно низкой высоте полета дает возможность разглядеть тюленей в определенном месте, не пугая их. При таких параметрах полета можно учесть и мертвых тюленей.

При обнаружении лежбища производятся исследовательские полеты, причем к месту скоплений животных дрон направлялся на высоте 100–130 м и выше с предельной скоростью до 15–20 м/с. Для уменьшения фактора беспокойства от шума винтов подлет к скоплениям совершается с подветренной стороны (рис. 1).

Дрон устанавливается над скоплением, объектив камеры направляется максимально вниз (–90°), устанавливается режим съемки на фотографирование и затем производится снижение с фотографированием через каждые 10 м. При снижении дрона ниже 40 м тюлени начинают сильно реагировать на шум от винтов, поэтому не рекомендуется опускаться ниже этой высоты. Для нивелирования возможной нечеткости изображений производится по 3 фотоснимка, при этом ассистент оператора записывает высоту съемки и номер каждого кадра или же высота определяется путем просмотра метаданных фотоснимка с помощью программы ExifTool.

Если оператор заметит, что тюлени обеспокоены и начинают уходить с лежбища в воду, он должен прекратить снижение и, сделав снимки с той высоты, на которой находится дрон, поднять его выше и вернуться в точку взлета. При подсчете общего количества особей на лежбище исследователь обязан учитывать и тех одиночных особей, которые были отсняты на большей высоте, включая и тех, которые в данный момент находились в воде.

Разрабатывается специальный протокол, куда заносятся место (координаты), дата, время и высота съемок, облачность по 10-балльной шкале, температура воздуха, скорость ветра, номера отснятых кадров.

Полеты с целью изучения суточной динамики численности тюленей на лежбище производятся по графику 3 раза в день: утро (в 7–8 ч), полдень (в 12–14 ч), вечер (в 18–20 ч), но время каждого взлета корректируется с учетом метеоусловий и достаточности света для фотографирования в утреннее и вечернее время.

После осуществления снимков на определенной высоте оператор поднимает дрон на высоту не менее 100 м и совершает обратный полет или же при нахождении вблизи другой группировки осуществляется подлет к ней и съемки по аналогичной схеме.

Рис. 2. Нумерация тюленей на фотоснимке.

В ходе работы отбираются кадры с более четким изображением тюленей. В камеральных условиях осуществляются подсчет численности и измерение длины и ширины тела тюленей по фотографиям.

Отбор фотоматериалов осуществляется по следующим критериям: статичное положение группы тюленей, охват группы целиком, четкость фотографии. Подсчет особей, обработка кадров осуществляются в графическом редакторе (к примеру, Adobe Photoshop CS5). В рамках определенного снимка каждому изображению тюленя присваивается индивидуальный порядковый номер. Данные учета численности тюленей отдельных группировок (рис. 2), располагающихся вблизи друг от друга, затем суммируются для отражения общего числа животных на данном лежбище. При этом порядковые номера тюленей, относящихся к разным группам, имеют сквозную нумерацию.

В случае оценки численности многочисленных группировок, имеющих в своем составе тысячи особей, рекомендуется производить учет, летая по трансектам и проводя фотосъемки на одной выбранной высоте и через определенный интервал полета. Полет и учет по трансектам позволит произвести затем оценку общей численности животных на лежбище путем экстраполяции рассчитанной по фотоснимкам плотности залегающих зверей на всю площадь лежбища.

С целью объективной оценки динамики численности тюленей рекомендуется производить поиск лежбищ и учеты, охватывая весь период залегания в весенний и осенний сезоны. Учет численности тюленей на лежбищах для оценки численности популяции в целом имеет относительный характер. При обнаружении и постоянном мониторинге за основными лежбищами в течение ряда лет станет возможным выявить тренд численности популяции (стабильная, увеличивается или уменьшается) и оценить порядок колебаний численности.

В будущем специализированное мечение животных позволит рассчитать индивидуальные сроки пребывания тюленей на лежбищах. При этом можно будет произвести более точную оценку и абсолютной численности популяции, сравнить и объединить данные по численности животных в ледовый период, полученные методом авиасъемки. Кроме того, появится возможность получать сведения о половой структуре популяции тюленей.

Вместе с учетом численности по полученным фотоснимкам можно определить и размерную структуру скоплений тюленей.

Таблица 1. Сравнительные данные измерений двухметровых досок по фотографиям с квадрокоптера Phantom 3 Pro с разной высоты

Высота, м	Среднее, пиксели	Ошибка среднего, пиксели	Коэффициент вариации	Размер 1 пикселя, см	Восстановленная длина доски, см	Ошибка измерения, %
Доска 1						
100	46.81	0.24	1.46	4.29	200.78	0.39
90	51.54	0.30	1.65	3.86	198.96	–0.52
80	58.67	0.17	0.82	3.43	201.35	0.67
70	67.22	0.10	0.42	3.00	201.84	0.92
60	78.61	0.29	1.06	2.57	202.32	1.16
50	95.43	0.32	0.96	2.14	204.67	2.33
40	119.88	0.50	1.17	1.72	205.69	2.84
Доска 2						
100	47.14	0.12	0.70	4.29	202.22	1.11
90	52.16	0.30	1.61	3.86	201.38	0.69
80	59.40	0.20	0.93	3.43	203.83	1.91
70	67.62	0.13	0.56	3.00	203.05	1.53
60	79.01	0.34	1.21	2.57	203.34	1.67
50	96.87	0.35	1.02	2.14	207.76	3.88
40	121.28	0.62	1.45	1.72	208.09	4.05
Доска 3						
100	47.4	0.20	1.19	4.29	203.17	1.59
90	53.0	0.26	1.41	3.86	204.61	2.31
80	60.0	0.19	0.91	3.43	205.88	2.94
70	67.9	0.15	0.64	3.00	204.00	2.00
60	79.8	0.17	0.59	2.57	205.33	2.66
50	97.4	0.31	0.90	2.14	208.85	4.42
40	122.7	0.69	1.59	1.72	210.61	5.31

Обратим внимание, что согласно техническим характеристикам, изложенным в вышеназванных руководствах, точность вертикального зависания (GPS Mode) Phantom 3 Professional 0.8 м, Phantom 4 Professional – 0.5 м. Следовательно, с указанной погрешностью знаем высоту получения фотоснимков, которая отображается на планшете пульта управления дрона.

Ориентируясь также на известную величину угла поля зрения объектива (FOV) (для Phantom 3 Pro 94°, Phantom 4 Pro 84°), по формуле “Катет, противолежащий углу, равен произведению второго катета на тангенс угла”, производится расчет расстояния, входящего в фотоснимок с известной высоты, или

$$b = a\mathrm{tg}\alpha,$$

где b – 1/2 расстояния, входящего в фотоснимок, по диагонали (м, см или мм); a – высота, с которого производится съемка фотографии в МСЕ; α – 1/2 угла поля зрения объектива (для Phantom 3 Pro 47°, Phantom 4 Pro 42°).

Известной величиной является и разрешение фотоснимка, выраженное в пикселях. К примеру, наибольшее разрешение для камеры Phantom 3 Pro 4000 × 3000 или по диагонали 5000 пикселей. Следовательно, 1/2 расстояния по диагонали, входящая в фотоснимок, равна 1/2 от 5000 или 2500 пикселей. Отсюда производится расчет размера 1 пикселя по фотоснимку с определенной высоты. Полученные данные измерений одного пикселя приведены в табл. 1 и 2.

Определив размер одного пикселя и измерив длину или ширину (или иной другой параметр) изображения тюленя по пиксельной линейке программы Adobe Photoshop, нетрудно узнать искомый параметр в единицах СИ:

Таблица 2. Сравнительные данные измерений двухметровых досок по фотографиям с квадрокоптера Phantom 4 Pro с разной высоты

Высота, м	Среднее, пиксели	Ошибка среднего, пиксели	Коэффициент вариации	Размер 1 пикселя, см	Восстановленная длина доски, см	Ошибка измерения, %
Доска 1						
100	72.15	0.24	0.94	2.87	206.95	3.48
90	80.29	0.22	0.79	2.58	207.27	3.63
80	90.25	0.14	0.43	2.29	207.09	3.55
70	103.42	0.29	0.79	2.01	207.65	3.82
60	121.06	0.28	0.65	1.72	208.34	4.17
50	145.52	0.30	0.59	1.43	208.70	4.35
40	183.08	0.28	0.43	1.15	210.05	5.03
Доска 2						
100	72.09	0.29	1.12	2.87	206.77	3.38
90	80.47	0.24	0.83	2.58	207.74	3.87
80	90.53	0.26	0.80	2.29	207.74	3.87
70	103.31	0.23	0.63	2.01	207.42	3.71
60	120.89	0.14	0.33	1.72	208.04	4.02
50	145.28	0.32	0.63	1.43	208.36	4.18
40	182.92	0.47	0.73	1.15	209.87	4.93
Доска 3						
100	72.61	0.25	0.97	2.87	208.26	4.13
90	80.88	0.20	0.71	2.58	208.78	4.39
80	90.65	0.17	0.54	2.29	208.00	4.00
70	103.91	0.26	0.70	2.01	208.64	4.32
60	121.38	0.33	0.78	1.72	208.89	4.44
50	146.18	0.45	0.87	1.43	209.65	4.82
40	183.52	0.44	0.68	1.15	210.56	5.28

$$\text{Параметр тюленя в единицах СИ} = \text{Параметр тюленя в пикселях} \times \text{размер одного пикселя в единицах СИ}.$$

С целью определения погрешностей измерений были произведены измерения длин трех двухметровых досок с фотографий с разных высот. Эти доски располагались следующим образом: № 1 – непосредственно под камерой дрона (ось съемки), № 2 – параллельно № 1 на расстоянии 10 м, № 3 – у № 2, но перпендикулярно (рис. 3). Совершены три полета, в каждом из которых производилось фотографирование через каждые 10 м – с высоты от 100 до 40 м. Измерения досок по полученным фотографиям производились тремя операторами независимо друг от друга; таким образом, каждая доска была измерена 9 раз.

Результаты измерений и основные статистические параметры, рассчитанные по программе Excel, сведены в табл. 1 и 2. Формула расчета ошибок измерений приведена ниже:

$$\text{Ошибка измерений (\%)} = (\text{восстановленная длина доски} - \text{истинная длина доски})/\text{истинная длина доски} \times 100.$$

Как видим, коэффициенты вариаций измерений имеют небольшие значения, не превышают 2%. Ошибки измерений также имеют низкие значения. Выявлено, что для досок, удаленных от оси съемок, из-за оптической аберрации (Грамматин, 2002) ошибки измерений выше при расче-

Рис. 3. Расположение досок (*1–3*) для экспериментальных съемок с квадрокоптеров.

те восстановленной длины. Ошибки измерений возрастают со снижением высоты съемок. Очевидно, это связано с увеличением количества пикселей при измерении досок на более низкой высоте, следовательно, накоплением ошибок от большего числа пикселей. Парадоксально, но, видимо, аналогичным явлением объясняются и более высокие значения ошибок измерений при съемках с дрона Phantom 4 Pro, характеризующегося более высокой разрешающей способностью камеры, в сравнении с изображениями, полученными с Phantom 3 Pro. При этом попарное сравнение средних данных измерений различных досок в пикселях, снятых на одних и тех же высотах, по *t*-тест может показывать достоверную разницу на фотографиях с Phantom 3 Pro при сравнении 1 и 3 досок ($p < 0.05$), тогда как на фотографиях с Phantom 4 Pro достоверная разница не обнаруживается. Тем не менее, максимальные значения пределов различий измерений длины доски с Phantom 3 Pro укладываются в 6 см (сравнение средних данных измерений досок 1 и 3 с 90 м) или составляет около 3% от истинной длины доски, минимальные – 0.95 см (сравнение средних данных измерений досок 2 и 3 с 90 м) или 0.47% от истинной длины доски.

Стоит отметить, что тюлени на фотографиях располагаются в различных позах, поэтому производится подразделение по пригодности изображений для измерений, и принимаются условные обозначения по категориям (табл. 3).

Отметим, что полную длину тела (L) определяли от кончика носа до конца задних ласт, максимальную ширину тела (B) – преимущественно на уровне середины тела. Измерение двух указанных признаков важно для поиска корреляционных связей между ними и в последующем для восстановления длины тела животных, относящихся к категории 3.

Тюлени, относящиеся к 1 категории, могут лежать как на животе, так и на боку (рис. 4).

Полная длина тела тюленей, отснятых в изогнутом состоянии (категория 2), может быть измерена по траектории, к примеру, как сумма измерений длины головы и шеи, длины собственно

Таблица 3. Категории расположения тюленей на фотографиях

Категория	Описание расположения
1	Измерение длины тела по прямой и максимальной ширины прямо лежащей особи
2	Измерение длины тела изогнутой особи “по траектории” и максимальной ширины
3	Длина тела не подлежит измерению
4	Максимальная ширина не подлежит измерению

Рис. 4. Измерения прямолежащих тюленей (категория 1), располагающихся на животе (№ 289) и на боку (№ 288).

тела, длины задних ласт. Измеряется у них и максимальная ширина тела (рис. 5).

На лежбище одни особи могут перекрывать часть тела других (категории 3 или 4), а также могут располагаться в совершенно непригодных для измерений позах; такие особи относятся к категориям 3 и 4 одновременно (рис. 6).

Сравнительный анализ измерений длины тела особей категорий 1 и 2, произведенный независимо двумя операторами (табл. 4), показал отсутствие достоверных различий средних значений признака.

Таким образом, разработанная методика учета и измерений линейных размеров каспийских тюленей по фотоснимкам с камер квадрокоптеров Phantom Professional 3 и 4, позволяет производить

Рис. 5. Измерение изогнутого тела тюленя (№ 54) “по траектории” (категория 2).

подсчет числа тюленей и осуществлять их измерения с известными погрешностями. Данная методика может найти применение для исследований других ластоногих (*Pinnipedia*) в периоды их залегания на суше. Преимущество мультикоптеров перед другими беспилотными летательными аппаратами состоит в том, что они могут останав-

Таблица 4. Сравнение данных измерений длины тюленей категорий 1 и 2 двух операторов (С и Л)

Категории	1		2	
Операторы	С	Л	С	Л
Мин.–макс.	58.83–72.24	59.77–72.09	52.18–82.14	52.35–80.93
Число измерений	15	15	15	15
Среднее	65.69	65.33	67.24	67.28
Ошибка среднего	1.02	1.09	1.86	1.85
Коэффициент вариации	5.82	6.25	10.33	10.30
t-тест	0.40		0.49	

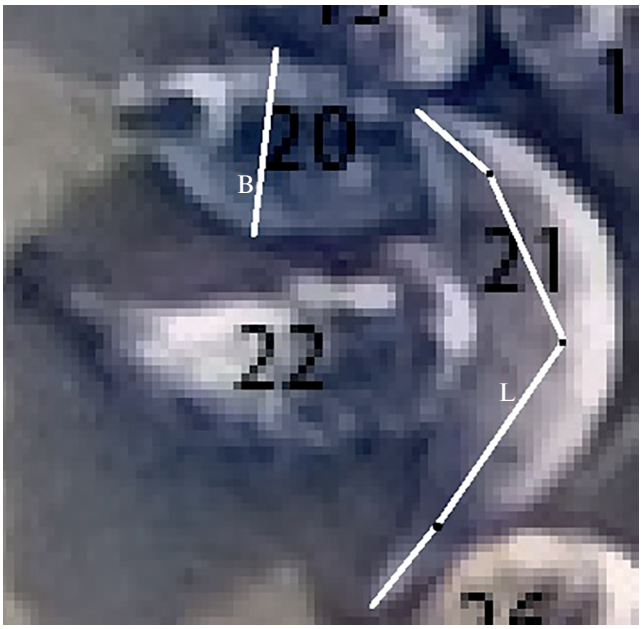

Рис. 6. Измерение тюленей, относящихся к категории 3 (№ 20) и категории 4 (№ 21), и пример изображения тюленя (№ 22), не подлежащего измерению – категории 3 и 4 одновременно.

ливаться – зависать над выбранным объектом съемки и производить качественную фотосъемку. Выбор марок мультикоптеров зависит от поставленных задач и удаленности лежбищ ластоногих животных. Но для определения линейных размеров животных при расчете размера пикселя в единицах СИ можно использовать настоящий метод.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по договору с ТОО “Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства” в рамках государственного заказа Министерства сельского хозяйства РК по оценке численности каспийских тюленей на островных лежбищах в казахстанской части Каспийского моря в 2015–2017 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беликов Р.А., Прасолова Е.А., Краснова В.В., Литовка Д.И., Белькович В.М., 2018. Опыт применения дистанционно пилотируемых и привязных беспилотных летательных аппаратов для исследования беломорской и анадырской белухи // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов. Москва. Т. 1. С. 45–50.

Грамматин А.П., 2002. Методы синтеза оптических систем. Учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (Технический университет). 65 с.

Phantom Краткое руководство // https://www.icover.ru/manuals/DJI_PHANTOM_RUS.pdf

Phantom 4 Pro Краткое руководство пользователя. 49 с.

A METHOD FOR ACCOUNTING AND IDENTIFYING THE LINEAR SIZES OF CASPIAN SEALS (*PUSA CASPICA*) ON ROOKERIES USING MULTICOPTERS

M. T. Baimukanov[1, *], L. A. Zhdanko[1], T. T. Baimukanov[1], E. S. Dauynev[1], S. E. Ryskulov[1], A. M. Baimukanova[1]

[1]*Institute of Hydrobiology and Ecology, Irgely 040916, Kazakhstan*

**e-mail: institute_he@ihe.kz*

A method is developed for processing the pictures taken from multicopters in order to identify the number of Caspian seals and their linear sizes on their rookeries. A special protocol records the location (coordinates), date, time, survey altitude, the cloudiness across a scale ranging from one to ten, air temperature, wind speed, and picture numbering. A photo software editor (for example, Adobe Photoshop CS5) is used for counting the individuals and taking their measurements. Each seal image is allotted an individual serial number within one picture. Through flying over and photographing a rookery at different times of the day, quadcopters allow for an assessment of the daily dynamics of the seal numbers to be made. In cases when the groups to assess are numerous, counts are recommended to be performed along transects. Knowing the angle of the field of vision (FOV) of the multicopter and the altitude it operates at, the following formula can be applied, “A cathetus lying opposite the angle equals to the product of the second cathetus multiplied by the tangent angle”, to calculate the distance between the extreme points of a picture’s diagonal in the International System of Units (m, cm or mm) (SI). As the resolution in pixels is also known, calculating of the size of a pixel in SI can be performed per picture. The measurements of individual seal images in the pictures are converted from pixels into SI units. As a result, the length and the maximum width of the seals can be established, this being of importance for identifying the size structure of the seal concentrations on rookeries. Subsequently, having compiled a size-age key, the age structure of the groups of seals on their rookeries can be calculated.

Keywords: Pusa caspica, accounting, rookery, photograph, pixels, International System of Units (SI)