

Алтухов А.В.¹, Козлов М.С.¹, Кочнев А.А.², Крюкова Н.В.¹, Скурихин Л.Э.¹, Чакилев М.В.³, Бурканов В.Н.^{1,4}

Оценка численности моржа (*Odobenus rosmarus*) методом аэрофотосъемки с квадрокоптера Фантом 4 ПРО в бухте Кенискин, Чукотка, в 2017 г.

1. Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, Россия
 2. Институт биологических проблем Севера ДВО РАН (ИБПС ДВО РАН), Магадан, Россия
 3. Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия
 4. Лаборатория морских млекопитающих, Аляскинский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, НОАА, Сиэтл, США
-

Altukhov A.V.¹, Kozlov M.S.¹, Kochnev A.A.², Kryukova N.V.¹, Skurikhin L.E.¹, Chakilev M.V.³, Burkanov V.N.^{1,4}

Estimation of walrus abundance (*Odobenus rosmarus*) using aerial photography taken from a Phantom 4 PRO quadcopter in Keniskin Bay, Chukotka, 2017

1. Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia
2. Institute of Biological Problems of the North, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia
3. Pacific Branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) – TINRO, Vladivostok, Russia
4. Marine Mammal Laboratory, Alaska Fisheries Science Center, NOAA, Seattle, USA

DOI: 10.35267/978-5-9904294-7-5-2020-1-42-47

Демография тихоокеанского моржа (*Odobenus rosmarus*, ТМ) изучена крайне недостаточно. В первую очередь это связано с особенностью биологии вида, проводящего большую часть жизни вдали от берега в районе подвижных льдов, используя их для отдыха и размножения. Животные выходят на берег лишь летом и осенью после разрушения ледового покрова и формируют береговые лежбища. На некоторые из них выходят десятки тысяч животных. Залежки моржа на берегу очень динамичны: животные выходят на берег, отдыхают на протяжении нескольких дней и снова уходят в море кормиться. Совершенно очевидно, что в связи с сокращением ледовитости в Арктике продолжительность использования моржами береговых лежбищ будет увеличиваться. Необычайно высокая численность и скученность моржей на лежбищах является потенциально опасной для них из-за высокой вероятности массовой давки и гибели в случае беспокойства. Регулярные наблюдения за численностью, половым и возрастным составом и смертностью моржей на лежбищах являются важной составной частью мониторинговых работ состояния популяции вида.

Лежбище ТМ в бухте Кенискин, расположенной в 4 км к югу от м. Сердце Камень на северном побережье Чукотского полуострова, является самым крупным лежбищем ТМ в мире. ТМ начали активно использо-

Demography of the Pacific walrus (*Odobenus rosmarus*; PW) is scarcely studied primarily due to the logistical difficulties studying this subspecies, which spends most of its life on ice and uses ice fields for rest and reproduction. Nevertheless, when ice cover melts, the animals travel ashore forming large haulouts. On some of these haulouts many thousands of animals aggregates annually. A major concern is that walrus will use coastal areas for longer periods due to the ongoing reduction of ice in the Arctic. The increased time that walruses may spend on these terrestrial haulouts may increase the probability of mortality during a panic event. Thus, monitoring these haulouts is important to assess the status of the population. Monitoring the haulout is also an important source of information to estimate total abundance. PW haulout in Keniskin Bay which is located 4 km south of Serdtse Kamen Cape and is the largest PW haulout in the world. Walruses began to haulout there in large numbers in the last decade associated with a decrease of Arctic ice. Abundance estimation at this rookery is extremely difficult due to the lack of terrestrial elevations necessary for visual observations. Therefore, abundance was determined by calculating the area occupied by the animals which has low accuracy. In 2017, aerial photography from a quadcopter was used to obtain abundance estimations.

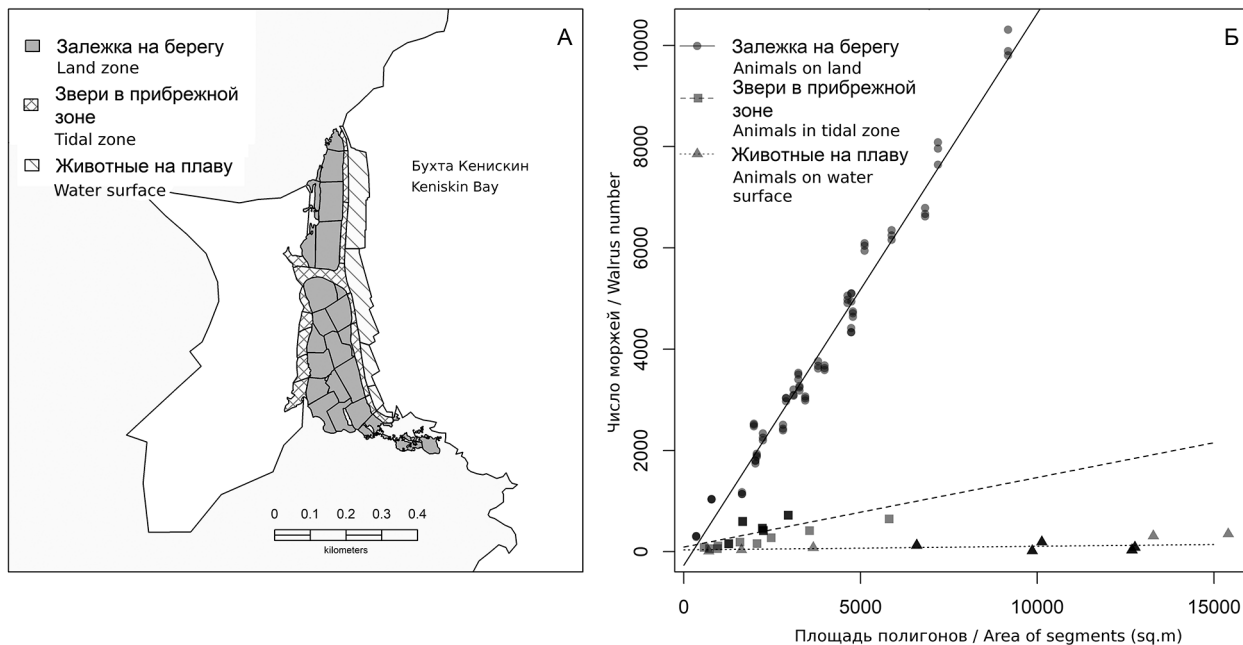


Рис. 1. Лежбище моржей и размещение выборочных полигонов (А). Зависимость числа учтенных моржей в полигоне от его площади (Б).

Fig. 1. Walrus haulout and count segments (left panel). Relationship between number of walrus in a segment and segment area (right panel).

вать его лишь в последнее десятилетие, что связывают с уменьшением ледового покрова в Арктике. Оценка численности животных на этом лежбище крайне затруднена из-за отсутствия возвышенностей, важных и необходимых для визуального учета зверей. Поэтому численность здесь оценивалась с использованием нескольких традиционных методов расчета, точность которых вызывает сомнения, а получаемые данные трудно верифицировать. В 2017 г. впервые для мониторинга численности на этом лежбище использовали сверхлегкий беспилотный летательный аппарат для проведения аэрофотосъемки залегающих на берегу животных.

Работа выполнялась с использованием квадрокоптеров «Фантом 4» и «Фантом 4 ПРО» производства корпорации DJI (Китай). Полеты осуществляли при наличии благоприятных погодных условий с 26 сентября по 19 октября 2017 года. Съемка велась с высоты 60-70 метров и скорости полета 3-5 м/сек. Таким образом, были получены материалы, которые позволили оценить численность животных на фотографиях за 14 дней сезона.

Полученные с помощью дрона изображения объединяли в единый ортофотоплан с привязкой залегающих на берегу животных к географическим координатам. Создание фотоплана и привязка его к координатам

Aerial images of the walrus haulout were collected using small unmanned quadcopters - a Phantom 4 and Phantom 4 Pro manufactured by DJI Corporation. Flights over the haulout were carried out regularly from September 26 to October 19, 2018, at an altitude of 60-70 meters. In total for the indicated period 14 days of flights were included in our analysis. The images obtained by the drone were used to create orthogonal maps of animal distribution. Projection maps were created with the Agisoft PhotoScan software.

Using data from the projected maps we estimated the relationship between walrus number and occupied area on the water, in the surge zone (the area of shallow water of the tidal zone) and on land. Each zone was divided by randomly created segments (Fig. 1 A). Observers manually counted walrus in each segment of the haulout at the peak of abundance (October 18, 2018).

The number of animals in each segment has a linear relationship with the area of the segment. Nevertheless, for the water, tidal zone and land, this relationship was different (Fig. 1 B).

For a parametric assessment of the relationship between the number of animals and occupied area, we used linear mixed effects models with a random component.

выполнены с помощью программы ФотоСкан, компании Агисофт.

На ортофотопланах оценили зависимость числа моржей от площади, занимаемой ими в акватории бухты (на плаву), в прибрежной зоне (области мелководий приливно-отливной зоны) и на берегу. Для этого в каждой зоне лежбища выделяли учетные сегменты (Рис. 1 А). В каждом заранее выбранном сегменте лежбища выполнили визуальные подсчеты животных на момент максимального заполнения лежбища моржами (18 октября 2018 г.).

Количество животных в каждом учетном полигоне имело хорошо выраженную линейную зависимость от площади полигона. Но для разных зон (акватории, прибрежной зоны и суши) эта зависимость была различной (Рис. 1 Б).

Для параметрической оценки зависимости числа моржей от площади учетного полигона использовали смешанные линейные модели с включением случайных компонентов. Выбор лучшей параметризованной модели осуществляли в два этапа. На первом этапе определяли оптимальный набор параметров для случайного компонента модели. Для этого фиксированный компонент регрессионной модели был описан с помощью максимального количества возможных параметров, а выбор строился на сравнении АИС-критерия, определенного

The choice of the best parameterized model was carried out in two stages. At the first stage, the optimal set of parameters was chosen for the random component of the model. For this, the fixed component of the regression model was defined using the maximum number of possible parameters, and the choice was made by comparing the AIC value obtained with the restricted maximum likelihood method (REML) for various combinations of parameters of the random component of the mixed model. An observer was chosen as a grouping parameter determining a random intercept. As random parameters determining the slope of the linear function, the polygon area and the location of the polygon were chosen. The smallest AIC value was estimated for a model containing an observer as a grouping element for a random component of the model. At the second stage, using the maximum likelihood (ML) method, the fixed component of the mixed model was selected. The best final model included parameters describing changes in the number of walruses from the area for each of the three zones, as well as a random component that determines a random bias for each of the observers (Table 1). To predict the number of walruses, the parameters of the best model were re-evaluated using the REML method. Confidence intervals were calculated using multiple simulations of model parameters using covariance matrix.

	Фиксированный эффект Fixed effects	Случайный эффект Random effects	AIC	Метод Method
Random effects selection Случайный компонент	count~area * zone + observer	~1 observer	1683.985	REML
	count~area * zone + observer	~area observer	1687.986	REML
	count~area * zone + observer	~zone observer	1693.985	REML
Фиксированный компонент Fixed effects selection	count~area * sealand	~1 observer	1722.761	ML
	count~area * sealand + observer	~1 observer	1726.772	ML
	count~sealand	~1 observer	2158.742	ML
	count~1	~1 observer	2233.602	ML
	count~area	~1 observer	2234.089	ML

Fixed effects selection - этап выбора фиксированного компонента модели

Random effect selection - этап выбора случайного компонента модели

count - число учтенных моржей

area - площадь области присутствия моржей

zone - размещение области присутствия моржей (акватория, прибрежная зона, берег)

observer - наблюдатель, выполнивший учет

Таблица 1. Выбор параметров смешанной модели для оценки численности моржей
Table 1. Mixed effect model selection for walrus abundance estimation

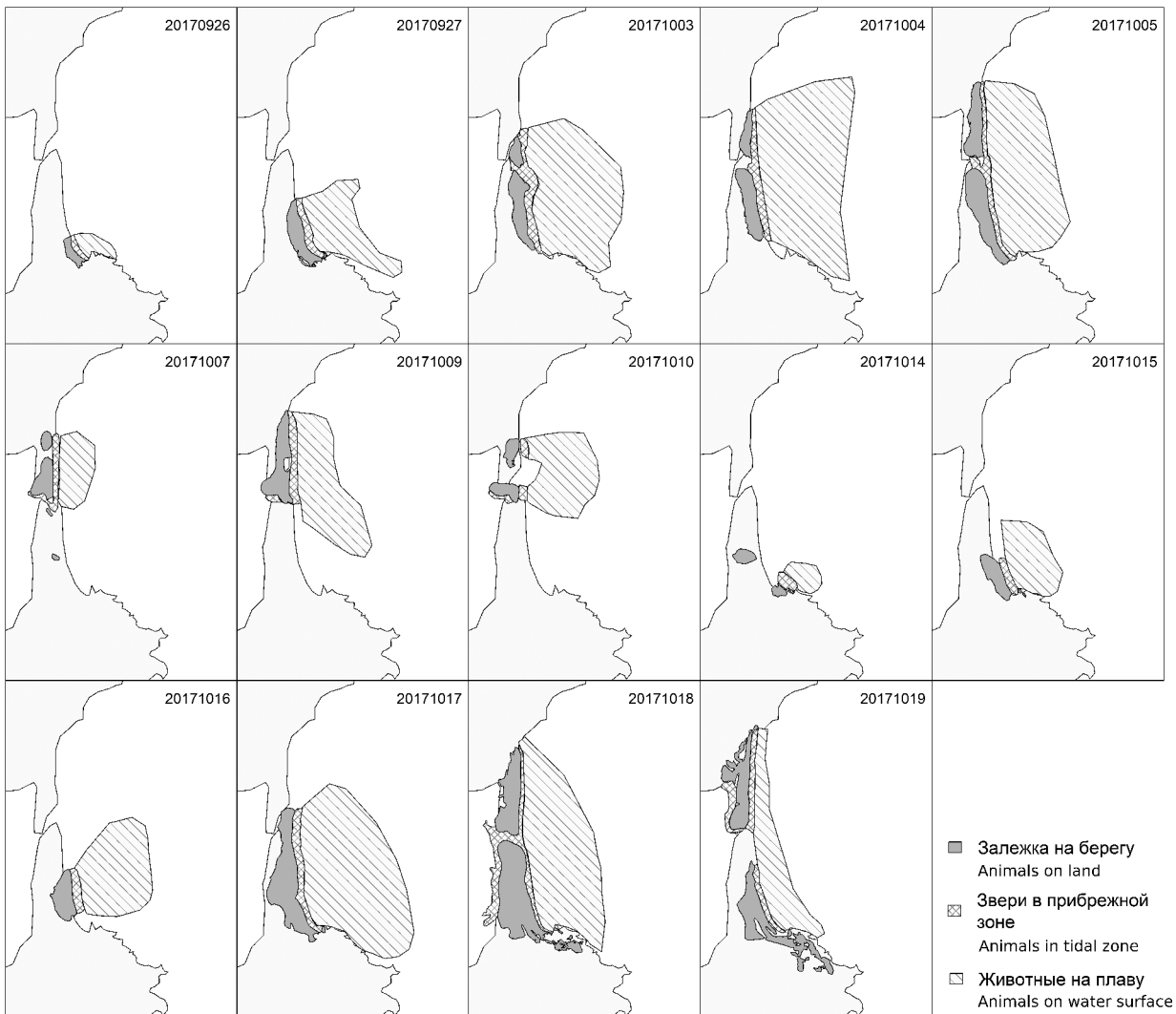


Рис. 2. Области присутствия моржей, определенные с помощью ортогональных проекционных карт и использованные для оценки численности.

Fig. 2. Area of walrus presence obtained from georeferenced aerial maps used to estimate walrus abundance.

на основе метода максимального правдоподобия, с дополнительными ограничениями (REML) для различных комбинаций параметров случайного компонента смешанной модели. В качестве группирующего параметра, определяющего случайное пересечение линейной функции с осью ординат, был выбран наблюдатель. В качестве случайных параметров, определяющих наклон линейной функции, были выбраны площадь и расположение полигона. Наименьшее значение АИС-критерия было для модели, содержащей наблюдателя как группирующего фактора случайного компонента модели. На втором этапе с использованием метода максимального правдоподобия (ML) был выбран фиксированный компонент смешанной модели.

For each date in the analysis, animal distribution maps on shore, in the tidal zone, and on the water were obtained (Fig. 2). We estimated the total number of animals using the area of walrus presence in each zone and estimated model parameters. The abundance assessment results are presented in Table 2. During the study period, the number of walruses in Keniskin Bay varied significantly (Fig. 3). Maximum abundance was observed on October 18 when 94,000 walruses (of all ages and both sexes) were present on land (95% CI-89,000 to 99,000). Including the water area, about 101,000 individuals were in the area of Keniskin Bay on October 18 (95% CI 88,000 – 114,000). Due to the great variability of estimates in the water and the

Data Дата	На берегу/On land			Всего в трех зонах/Three zones total		
	Estimate Расчет	95% Confidence Interval 95% доверительный интервал		Estimate Расчет	95% Confidence Interval 95% доверительный интервал	
9/26	5 252	4 980	5 524	5 830	5 060	6 619
9/27	18 267	17 310	19 237	20 468	15 919	25 211
10/3	25 925	24 598	27 310	31 263	19 350	43 376
10/4	28 776	27 292	30 277	34 560	17 854	50 318
10/5	51 037	48 395	53 727	56 285	44 392	68 115
10/7	17 259	16 341	18 178	19 266	16 620	21 987
10/9	27 208	25 733	28 655	30 561	23 854	37 489
10/10	13 675	12 973	14 394	15 724	10 150	21 009
10/14	7 864	7 445	8 282	8 697	7 707	9 693
10/15	13 623	12 913	14 356	15 133	11 508	18 776
10/16	16 671	15 797	17 556	18 982	12 462	25 161
10/17	51 661	48 938	54 408	57 063	42 191	72 043
10/18	93 797	88 908	98 780	100 798	88 278	113 945
10/19	70 264	66 582	73 985	75 149	68 650	81 708

Таблица 2. Результаты оценки численности моржей в бухте Кенискин в 2017 г.
Table 2. Results of walrus abundance estimation in Keniskin Bay, 2017.

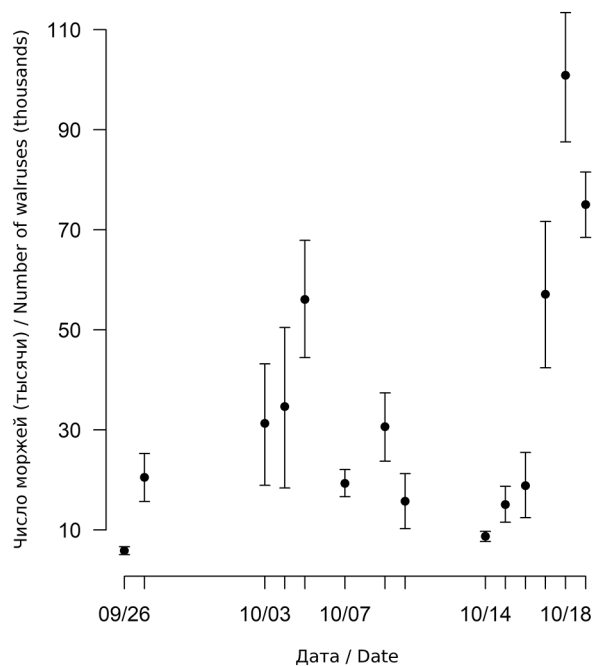


Рис. 3. Общая оценка численности моржей в бухте Кенискин с указанием 95% доверительного интервала. См. также Таблицу 2.

Fig. 3. Walrus abundance estimation in the Keniskin Bay with 95% confidence intervals. See also Table 2.

Лучшая итоговая модель включала параметры, описывающие изменения числа моржей от площади области из присутствия для каждой из трех выделенных зон, а также случайный компонент, определяющий случайное смещение для каждого из наблюдателей (Таблица 1). Для

tidal zone, the inclusion of these regions significantly increases the overall estimation error. At the same time, considering only animals that are already on land, walrus number in the Keniskin Bay area will be underestimated.

предсказания численности параметры лучшей модели были заново оценены методом REML. Доверительные интервалы были рассчитаны с использованием множественных симуляций параметров модели на основании ковариационной матрицы.

Для каждой анализируемой даты наблюдений были получены карты распределения животных на берегу, в прибрежной зоне и в акватории (Рис. 2). На основании оценки площади каждой из областей с применением параметров модели, описывающих зависимость числа животных от занимаемой ими площади, была получена общая численность животных. Результаты оценки численности представлены в Таблице 2.

За исследуемый период численность моржей в бухте Кенискин значительно варьировала (Рис. 3). Максимальную численность наблюдали 18 октября, когда на берегу присутствовало около 94 тысяч моржей (всех возрастов и полов) при 95% доверительном интервале от 89 до 99 тысяч. С учетом мелководий и акватории бухты здесь находилось около 101 тысячи (при доверительном интервале от 88 до 114 тысяч) особей. Из-за значительной вариабельности оценок числа моржей в воде и прибрежной зоне, включение этих зон в оценку общей численности значительно увеличивает ошибку. В то же время при рассмотрении только животных, находящихся на суше, численность моржей в районе бухты будет заниженной.

Использование аэрофотосъемки значительно упрощает процедуру подсчета животных в больших скоплениях. Моделирование и предсказание числа животных на основании занимаемой ими площади распределения значительно сокращает время для оценки численности. Для уменьшения ошибки расчета необходимо увеличить количество модельных учетов для наиболее вариабельных областей, занимаемых животными – зоны мелководий и акватории бухты. Максимальное число моржей, зафиксированное в бухте Кенискин, составляет примерно 101 тысячу особей, в то время как недавняя оценка общей численности ТМ составляет около 283 тысяч особей с доверительным интервалом от 93 до 479 тысяч особей (MacCracken et al., 2017). Если этот расчет верен, то в октябре 2017 г. в бухте Кенискин одновременно могло находиться 1/3 всей популяции ТМ, что делает эту бухту критическим местом обитания, исключительно важным для благополучия этого подвида.

Aerial photography significantly simplifies counting animals in large aggregations. Modeling and predicting the number of animals based on their distribution also reduces the time needed to obtain the number of animals. However, more data are needed to reduce the error for the most variable regions - the tidal zone and the water surface. The maximum number of walrus at Keniskin Bay is about 101,000 individuals; a recent estimate of the total number of Pacific walrus is about 283,000 individuals with a confidence interval of 93,000 – 479,000 individuals (MacCracken et al., 2017). Thus, 1/3 of the entire Pacific walrus population may haulout in the bay at a time, which makes it a critical habitat extremely important for the sake of this walrus subspecies.

Список использованных источников / References

MacCracken J. G., Beatty W. S., Garlich-Miller J. L., Kissling M. L., Snyder J. A. 2017. Final species status assessment for the Pacific walrus (*Odobenus rosmarus divergens*), May 2017 (Version 1.0). U.S. Fish and Wildlife Service, Marine Mammals Management, 1011 E. Tudor Rd. MS-341, Anchorage, AK 99503.