

- 2006 г. С. 542-546 в Морские млекопитающие Голарктики: Сборник научных трудов. СПб. Chernook [V.I., Kochnev A.A., Vasiliev A.N., Litovka D.I., Mikhno I.V., Kudryavtsev A.V. 2006. Distribution of the Pacific walrus (*Odobenus rosmarus divergens*) in Russian part of the Bering Sea in April 2005 and 2006. P. 542-546 in Marine Mammals of the Holarctic. Collection of Scientific Papers. SPb.]
- Chernook V.I., Kochnev A.A., Kuznetsov N.V., Lisovsky A.S., Vasiliev A.N., Myasnikov V.G., Krukova N.V., Kudryavtsev A.V. 2005. The experience of using the thermovision during spring aerial survey of the Pacific walrus census in the northwestern part of the Bering Sea. P. 57 in 16th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, San Diego, CA, USA, 12-16 December 2005. Abstracts.
- Kingsley M.C.S., Stirling I., Calvert W. 1985. The distribution and abundance of seals in the Canadian high Arctic, 1980-82. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 1189-1210.
- Stenson G.B., Myers R.A., Hammill M.O., Ni I-H., Warren W.G., Kingsley M.C.S. 1993. Population production of harp seals, *Phoca groenlandica*, in the Northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50: 2429-2439.
- Udewitz M.S., Gilbert J.R., Fedoseev G.A. 2001. Comparison of methods used to estimate numbers of walrus on sea ice. Marine Mamm. Sci. 17(3): 601-616.
- Udewitz M.S., Jay C.V., Fischbach A.S., Garlich-Miller J.L. In press. Modeling haul-out probabilities for walrus in Bering Sea ice. Canadian Journal of Zoology.

Челинцев Н.Г.

Методика расчета численности белух (*Delphinapterus leucas*) по данным авиаучетов

Москва, Россия

Chelintsev N.G.

*Estimation of beluga (*Delphinapterus leucas*) numbers based on aerial survey data*

Moscow, Russia

В 2005-2007 гг. были проведены выборочные авиаучеты белух в Белом море с размещением учетных маршрутов в виде параллельных галсов (Глазов и др. 2008). На рис. 1 представлена картосхема размещения учетных маршрутов в пяти выделенных районах при авиаучете в июле 2005 г. Примерно такое же размещение учетных маршрутов в районах сохранялось в 2006 и 2007 гг.

При регулярном (с равными интервалами) размещении учетных галсов в районе статистическая ошибка экстраполяции оказывается меньше, чем при случайном размещении галсов, поскольку исключается составляющая статистической ошибки, возникающая за счет случайного распределения чисел галсов в частях района с разной плотностью населения белух. Для оценки численности использовалась специально разработанная программа БЕЛУХА, составленная на основе приложения MS Excel. В каждом районе применялась отдельная экстраполяция по выделенным расчетным секторам (по одному сектору на каждый галс) и с расчетом адек-

In 2005-2007, sampling beluga aerial surveys were carried out in the White Sea with the location of census routes as parallel transects (Глазов и др. 2008). In fig. 1 you can see a chart of routes in five marked areas during the aerial survey in July 2005. The aerial routes remained approximately the same in 2006 and 2007.

With a regular (with equal intervals) location of survey transects in the area, the statistical extrapolation error is less than with a random location of survey transects. This is because we excluded the component of statistical error as it relates to the random distribution of transect numbers in the areas with different population density of belugas. A specially developed program BELUKHA based on MS Excel application was used to estimate beluga numbers. In every area separate extrapolations were used for the marked count sectors (one sector for each transect) and with calculation of adequate statistical extrapolation

ватной статистической ошибки экстраполяции на основе разностей плотности населения на смежных галсах (Челинцев 2000, 2004).

tion error based on the difference of population densities on neighboring transects (Челинцев 2000, 2004).

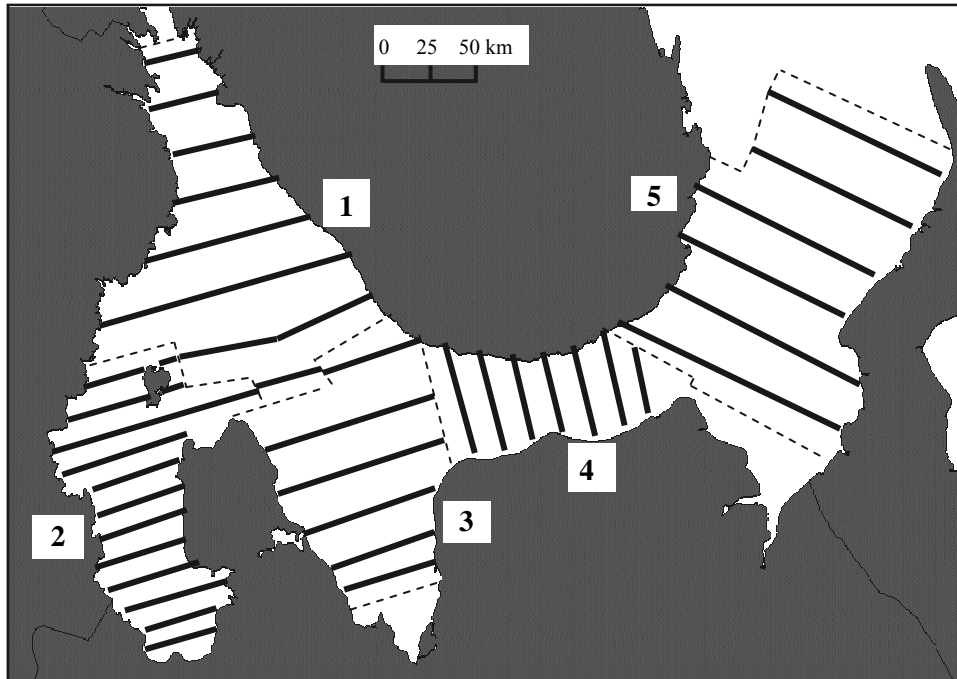


Рис. 1. Размещение учетных маршрутов в июле 2005 г. в 5 районах Белого моря: 1 – Кандалакшский залив, 2 – Онежская губа, 3 – Двинский залив, 4 – Горло, 5 – Воронка.

Fig. 1. Distribution of count transects in July 2005 in 5 regions of White Sea: 1 – Kandalaksha, 2 – Onezhskaya bay, 3 – Dvinsky bay, 4 – Gorlo, 5 – Voronka

Учет белух велся без ограничения учетной полосы с измерением перпендикулярных (от оси маршрута) расстояний до каждой из обнаруженных групп белух. Вероятность обнаружения белух существенно снижалась с увеличением расстояний до них от оси маршрута, то есть, имел место так называемый «дистанционный недоучет». Для оценки показателя дистанционного недоучета в программе БЕЛУХА используется аппроксимация фактического распределения расстояний обнаружения белух модельной функцией обнаружения, в качестве которой используется однопараметрическая логнормальная модель (сокращенно ЛН) на оптимально ограниченной полосе (Челинцев 2000). Оптимальное ограничение проводится автоматически и оно тем сильнее, чем больше групп животных обнаружено в учетном районе. За счет ограничения полосы уменьшается систематическая ошибка оценки недоучета, которая возникает при несоответствии теоретической модели функции обнаружения эмпирической. Оптимум достигается за счет минимизации полной ошибки в оценке показателя дистанционного недоучета при уравнивании ее составляющих – систематической и статистической ошибок.

На рис. 2 показана построенная программой БЕЛУХА диаграмма, иллюстрирующая оптимальное ограниче-

The beluga survey was carried out without limiting of the count strip with measuring of the perpendicular (from the axis of the route) distances to each of the detected groups of belugas. The probability to detection of belugas decreased significantly because of the increase of the distance from them to the axis of the route, i.e. so-called “distance underestimation” took place. To estimate distance underestimation index, BELUKHA-program uses an approximation of the actual distribution of the distances of beluga detection with using one-parametric logarithmic-normal model (further LN) as the model detection function for the optimal truncation of strip (Челинцев 2000). The optimal truncation of strip is carried out in automatic mode and the higher it is, the more animal groups are detected in the survey area. Due to strip truncation the probability of the systematic error in the estimation of distance underestimation is reduced, which takes place under irrelevance between theoretical and practical models of detection function. The optimum is reached by means of the total error minimization in estimation of the distance underestimation index. Herewith the systematic and statistical components of this error are counterbalanced.

Figure 2 shows a diagram made by BELUKHA-

ние полосы в районе «Онежская губа» при учете в 2005 г.

program that demonstrates the optimal strip truncation in Onega Bay area during the survey in 2005.

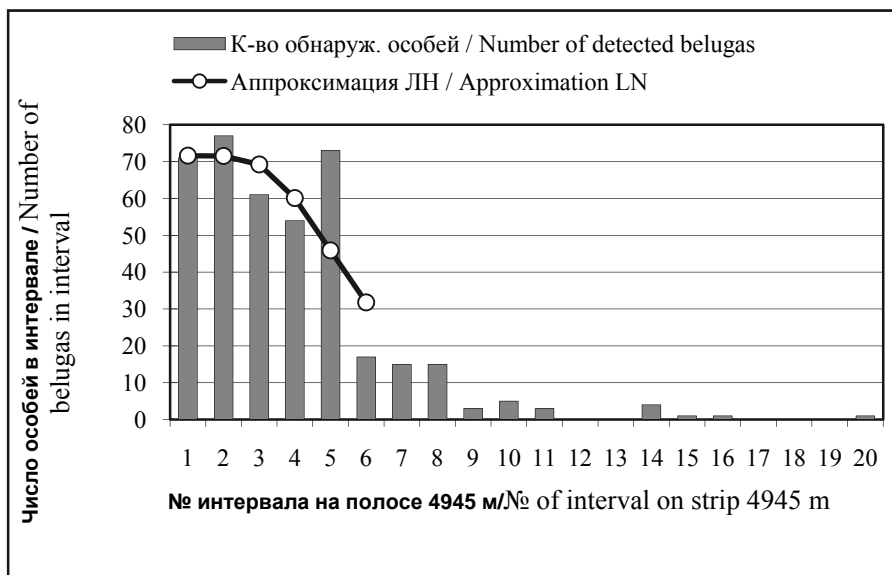


Рис. 2. Гистограмма обнаружений белух и аппроксимирующая ее функция обнаружения на оптимально ограниченной полосе шириной 1483 м.

Fig. 1. Histogram of detected belugas and its approximating detection function on optimum truncated strip of width 1483 m.

Для проведения расчета численности белух в данном учетном районе в программе БЕЛУХА заполняется «Таблица обнаружений белух» с указанием номера галса, числа белух в каждой обнаруженной группе и расстояния до группы от оси маршрута. По данным таблицы обнаружений программа определяет оптимальное ограничение учетной полосы для данного района и полноту учета на оптимальной полосе. В «Таблицу расчета численности белух» вносятся площадь района, интервал между галсами и длины галсов в порядке их размещения. Все остальные значения рассчитываются автоматически. В качестве примера ниже приводится таблица расчета численности белух в Онежской губе в 2005 г.

Для сравнения были проведены расчеты численности белух с использованием программы DISTANCE (Buckland et al. 1993), предназначенной для обработки данных учета разных видов животных. Были выявлены некоторые особенности программы, затрудняющие получение однозначных оценок численности и снижающие точность получаемых оценок.

To estimate the number of beluga whales in the specified survey area, one should fill in the table “Beluga detection table” in BELUKHA-program indicating a transect number, number of individuals in each group and distances from the group to the route axis. According to the table of detection, the program indicates the optimal truncation of the survey strip for the specified area and completeness of the animal detection in the optimal strip. In the “Beluga detection table”, one should enter area of the territory, interval between transects and lengths of transects in the order of their placement. Other values are calculated automatically. As an example, below you can see a table of the estimation of beluga number in Onega Bay in 2005.

For comparison, the beluga estimation were carried out with the help of the program DISTANCE (Buckland et al. 1993) meant to process count data of different species of animals. We found some specific features of the program that prevented us to obtain definite number estimations and reduced preciseness of the obtained estimation.

Таб. 1. Расчет численности белух в районе «Онежская губа»
 Table 1. Estimation of beluga number in region Onezhskaya bay.

Площадь района, км ² <i>Area of region, km²</i>			12426		Интервал между галсами, км <i>Interval inter transects, km</i>				16,32	
№ галса <i>№ of transect</i>	Длина галса, км <i>Transect length, km</i>	Площадь уч. ленты, км ² <i>Area of count strip, km²</i>	Кол-во белух, обн-х на оптим-й полосе <i>Number of belugas detected on optim. strip</i>		Плотн. насел-я, ос./км ² <i>Population density, ind./km²</i>	Ширина сектора, км <i>Width of sector, km</i>	Площадь сектора, км ² <i>Area of sector, km²</i>	Экстрап-я числ-сть в сек-ре <i>Extrapol-d number in sector</i>	Статист-я ошибка экстр-ции <i>Statistical error of extrapol-n</i>	
			особей <i>individ-s</i>	групп <i>groups</i>						
1	41,98	124,6	0	0	0,000	16,32	685	0	6	
2	46,61	138,3	2	2	0,014	16,32	761	11	87	
3	68,23	202,4	50	30	0,247	16,32	1113	275	138	
4	65,00	192,9	20	15	0,104	16,32	1061	110	86	
5	54,92	162,9	1	1	0,006	16,32	896	6	57	
6	51,85	153,8	16	12	0,104	16,32	846	88	77	
7	58,76	174,3	48	25	0,275	16,32	959	264	146	
8	55,78	165,5	92	51	0,556	16,32	910	506	235	
9	79,74	236,6	20	16	0,085	16,32	1301	110	263	
10	137,04	406,6	87	38	0,214	16,32	2236	479	203	
11	66,62	197,7	13		0,066	16,32	1087	72	87	
12	34,88	103,5	4	3	0,039	16,32	569	22	10	
Всего <i>Total</i>	761,41	2259,1	3	53	0,156	195,84	12426	1942	4	87
Экстраполированная оценка численности и ее относительная статистическая ошибка <i>Extrapolated number estimation and its relative statistical error</i>								1942	0	,251
Полнота учета белух на оптимальной полосе и ее относительная статистическая ошибка <i>Completeness of beluga detection on optimum strip and its relative statistical error</i>								0,821	0,	075
Оценка численности белух с коррекцией недоучета и ее относительная статистическая ошибка <i>Beluga number estimate with omission correction and its relative statistical error</i>								2364	0	,262
Доверительный (95%) интервал оценки численности белух в районе <i>Confidential (95%) interval of beluga number estimation in region</i>								1381	3	787

1) Экстраполяция в программе DISTANCE проводится не по данным обнаружения особей, а по данным обнаружения групп животных с последующим пересчетом численности групп в численность особей путем умножения на оценку среднего размера групп в популяции. Для оценки по выборке среднего размера групп в популяции предложены 4 разных способа расчета без автоматического отбора лучшего способа. Эти 4 способа на практике дают различающиеся (в некоторых случаях до 2-х раз) оценки среднего размера групп. Если оценка среднего размера групп в каком-либо районе оказывается достоверно меньше 1, то нет автоматической замены её на 1. В программе DISTANCE не используются, возможно, более точные способы оценки среднего размера групп, разработанные другими авторами (Quinn 1985, Drummer and McDonald 1987). Расчет статистической ошибки экстраполяции в программе DISTANCE проводится на основе формулы, предполагающей случайное

1) Extrapolation in the program DISTANCE is not carried out according to data on detection of the individuals, but according to data on detection of the groups of animals through multiplication to average group size in the population. There are offered 4 different methods of calculation without automatic selection of the best method to estimate through selection of the average size of group in the population. These 4 methods give us different values of the average group size (sometimes up to 2 times). If the value of the average group size in some particular area is less than 1, it is not automatically replaced by 1. The program DISTANCE probably doesn't use more accurate methods to estimate the average group size developed by other authors (Quinn 1985, Drummer and McDonald 1987). Extrapolation statistical error estimation in the program DISTANCE is carried out based on a formula assuming random location of

размещение проб на территории учета. При регулярном размещении галсов использование такой формулы может привести к неправильной, как правило, завышенной оценке статистической ошибки.

2) Оценка дистанционного недоучета с использованием двухпараметрической модели функции обнаружения "Hazard-rate" в большинстве случаев приводит к занижению оценки численности из-за слишком протяженного плато такой функции. Использование однопараметрической модели "Half-normal" из-за очень короткого плато этой модели, наоборот, приводит к завышению оценки численности. Более близкая к эмпирическим данным модель функции обнаружения с умеренным плато, например, примененная нами модель ЛН или же экспоненциальная функция с более высоким показателем степени в программе DISTANCE не используются. Коррекция формы расчетной функции обнаружения при помощи дополнительных членов нередко приводит к нарушению монотонности или к двухступенчатой форме расчетной функции обнаружения и, кроме того, увеличивает статистическую ошибку в оценке полноты учета. Автоматизированный отбор модели функции обнаружения и количества корректирующих членов разного порядка с помощью формального критерия максимального правдоподобия часто приводит к отслеживанию случайного отклонения наблюдаемого распределения расстояний обнаружения от ожидаемой формы и в результате к существенной ошибке в оценке показателя дистанционного недоучета.

3) Ограничение учетной полосы проводится по усмотрению пользователя без четких критериев выбора той или иной степени ограничения и позволяет произвольно изменять результаты расчета. Ширина ограниченной полосы определяется по всему массиву данных и одинакова для всех учетных районов независимо от особенностей обнаружения животных в разные дни в разных районах, вызванных изменениями погоды и условиями наблюдения.

В таб. 2 приведены сравнительные оценки численности белух, рассчитанные с использованием программ БЕЛУХА и DISTANCE, исходя из предоставленных нам первичных данных. Эти оценки не являются официальными и приводятся лишь для цели их сравнения друг с другом при применении разных алгоритмов расчета. Официальные оценки, опубликованные проводившими учеты специалистами (Глазов и др. 2008), отличаются от значений в таб. 2 за счет использования уточненных первичных данных, а также выбора иных расчетных алгоритмов в программе DISTANCE.

Данные таб. 2 показывают, что при использовании модели функции обнаружения "Hazard-rate" оценка численности белух на 10-12% ниже, чем при использовании

samples on the survey territory. When transects are located regularly, application of this formula can lead to the incorrect, as a rule, over-estimating value of the statistic error.

2) Evaluation of distance underestimation with usage of the two-parametric detection function model "Hazard-rate" leads in most cases to underestimation of population number due to too extended plateau of such a function. Usage of one-parametric model "Half-normal" leads to over-estimating the population number because of a short plateau of this model. The program DISTANCE doesn't use the detection function model with the medium plateau, which is much closer to empirical data, or the LN model which we use, or the exponential function with a higher exponent. Adjusting the form of the calculated detection function done with the help of the additive members often leads to the break of the monotony or to the two-stage form of the calculated detection function and additionally, it increases the statistic error in estimation of completeness of the count. An automatic selection of the detection function model and quantity of adjusting member of various degree with the help of the formal criteria of the maximum likelihood often leads to tracing of random deviate of the observed distribution of detection distances from the expected form and as a result to a significant error in estimation of the distance underestimation index.

3) Truncation of the survey strip is done according to user's discretion without any precise criteria of selection of this or that extent of truncation and allows changing the results of the survey on an arbitrary basis. The width of the truncated strip is set according to all the data and is the same for all the survey areas irrespective to the peculiarities of animal detection on different days in different areas that are caused by the weather change and changes of the observation conditions.

Table 2 demonstrates the comparative estimations of the beluga population calculated with help of BELUKHA and DISTANCE programs basing on the primary data given to us. These values are not official and are given here only to be compared with each other using different calculation algorithms. Official values published by the specialists who had carried out the survey (Глазов и др. 2008) differ from the values given in the table 2 because of usage of more exact primary data and selection of other calculation algorithms in the program DISTANCE.

The data from the table show that usage of the model detection function "Hazard-rate" provides a beluga

модели "Half-normal" при одном и том же способе расчета среднего размера групп. Наибольший разброс четырех оценок численности белух при применении четырех способов расчета среднего размера групп для одной и той же модели Hazard-rate достигает 10 % в 2007 г. Максимальное различие 8 оценок численности по программе DISTANCE, обусловленное в совокупности применением разных моделей функции обнаружения и разных способов расчета среднего размера групп, достигает 24% в 2005 г.

Оценки численности белух, полученные с использованием программы БЕЛУХА, находятся между крайними оценками численности, полученными по программе DISTANCE, и имеют примерно такую же статистическую точность, несмотря на ограничение полосы и сокращение расчетного числа обнаруженных белух. В целом, можно говорить о большей устойчивости оценок численности, получаемых с использованием программы БЕЛУХА, которая дает достаточно надежные однозначные результаты и к тому же более наглядна и проста в применении. Более подробное описание методики расчета численности белух в Белом море и результаты сравнения разных программ расчета БЕЛУХА и DISTANCE изложены в двух работах (Челинцев, 2010а, 2010б).

В заключение перечислим некоторые возможные направления дальнейшего совершенствования методики и повышения точности учета численности белух в Белом море. 1) Целесообразно сократить по возможности холостые перелеты от места базирования авиатехники до точки начала учета и от точки окончания учета до базы, а также холостые перелеты с одного галса на другой. Доля таких холостых перелетов от общей протяженности полетов достигает в проведенных учетах 30-40%. Чтобы существенно уменьшить холостые перелеты с галса на галс можно применить зигзагообразные учетные маршруты. 2) Чтобы уменьшить ошибку в оценке численности белух, возникающую из-за значительных ежедневных перемещений белух из одних районов моря в другие, можно применить способ повторных (до 2-3 раз) учетов с обследованием в один день более редкими галсами сразу примерно половины всей обследуемой акватории. 3) Дополнительное повышение точности учета может быть достигнуто оптимальным распределением густоты галсов в частях акватории с высокой и низкой плотностью населения белух. 4) Для определения полной численности белух в учетной акватории Белого моря необходима оценка средней доли белух, находящихся под водой и невидимых с борта пролетающего над ними самолета, как это, например, делается при учете популяции моржей в Беринговом море.

Работы по авиаучету и статистической обработке вы-

population value 10-12% lower than the value obtained with "Half-normal" model when we calculated an average group size using the same calculation methods. The biggest difference of the 4 estimations of the beluga population achieves 10% in 2007 when 4 methods of calculation of the average group size for the same model Hazard-rate. The highest difference of 8 population values done by the program DISTANCE which is caused altogether with usage of different detection function models and different methods of calculation of the average group size, reaches 24% in 2005.

Estimations of the beluga population obtained with help of the program BELUKHA are between extreme population values obtained with help of the program DISTANCE and have a approximately the same statistic accuracy despite truncation of the strip and reduction of the census number of the observed belugas. In general, we can speak of a greater stability of the population estimations obtained with help of the program BELUKHA which gives sufficiently reliable unambiguous results and is easier in application and demonstrative. More detailed description of the methods of beluga number estimation in the White Sea and the results of comparison of two calculation programs BELUKHA and DISTANCE are stated in two studies (Челинцев, 2010а, 2010б).

In conclusion we would like to specify some ways to development the method further and to increase accuracy of the beluga estimations in the White Sea. 1) It is worthwhile reducing, if possible, the empty flights from the aircraft base to the starting point of the survey and from the end point of the survey to the base as well as empty flights from one transect to another one. The share of such empty flights reaches up to 30-40% of the total flight length in the conducted surveys. To reduce amount of the empty flights from one transect to another one, one can use zigzag-like census routes. 2) To reduce the error in the estimations of the beluga number caused by significant shifts of belugas from one area of the sea to another every day, one can use the method of recurring (up to 2-3 times) surveys exploring about half of all explored water zone with more rare transects in 1 day. 3) Additional improvement of the survey accuracy can be reached by optimal distribution of transects density in parts of the water area with low and high beluga population density. 4) To determine the absolute number of belugas in the census waters of the White Sea, one should estimate the percentage of time belugas are underwater and not seen from the aircraft as is done when estimating number of walrus in the Bering Sea.

полнены при финансовой поддержке ООО «Утришский дельфинарий».

The research on the aerial surveys and processing statistical data were carried out with financial support from the Utrish Dolphinarium Ltd.

Таб. 2. Оценки численности белух, полученные разными методами расчета.
Table 2. Estimations of beluga numbers obtained by different methods.

Программа расчета численности <i>Program of number calculation</i>	Модель функции обнаружения <i>Model of detection function</i>	Метод расчета среднего размера групп <i>Method of mean group size calculation</i>	2005 2		006		2007	
			Оценка числ-ти <i>Number estimate</i>	Статист-я ошибка, % <i>Statistical error, %</i>	Оценка числ-ти <i>Number estimate</i>	Статист-я ошибка, % <i>Statistical error, %</i>	Оценка числ-ти <i>Number estimate</i>	Статист-я ошибка, % <i>Statistical error, %</i>
БЕЛУХА	ЛН/LN	-	6768	15,0	5106 1	4,6 4	527 1	4,1
DISTANCE	Hazard-rate + cos	1	6251	14,7	4574 1	6,8 4	410 1	3,0
		2	6871	16,7	4877 1	8,0 4	736 1	4,0
		3	6117	14,6	4591 1	7,2 4	480 1	3,0
		4	6461	19,0	4803 2	0,7 4	857 1	4,2
	Half-normal + cos	1	7010	14,5	5113 1	8,1 4	815 1	2,4
		2	7558	18,0	5418 1	9,7 5	214 1	3,5
		3	6954	14,5	5100 1	8,2 4	842 1	2,4
		4	7361	19,1	5335 2	1,3 5	241 1	3,5

Список использованных источников / References

- Глазов Д.М., Черноок В.И., Жариков К.А., Назаренко Е.А., Мухаметов Л.М., Болтунов А.Н. 2008. Авиаучет белух (*Delphinapterus leucas*) в июле 2005-2007 гг. в Белом море, распределение и численность. С. 194-198 в Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов. Одесса [Glazov D.M., Chernook V.I., Zharikov K.A., Nazarenko E.A., Mukhametov L.M., Bo ltunov A.N. 2008. Aerial surveys of white whales (*Delphinapterus leucas*) in July in the White Sea (2 005-2007), distribution and abundance. Pp. 194-198 in Marine Mammals of the Holarctic. Collection of Scientific Papers. Odessa]
- Челинцев Н.Г. 2000. Математические основы учета животных. Москва. 431 с. [Chelintsev N.G. 2000. Mathematical bases of animal counts. Moscow. 431 p.]
- Челинцев Н.Г. 2004. Алгоритмы экстраполяции при авиаучетах животных. Бюл. МОИП, отд. биол., 109(2): 3-14. [Chelintsev N.G. 20 04. Extrapolation algorithms for animal aerial counts. Bulletin MOIP, sec. Biology, 109(2): 3-14]
- Челинцев Н.Г. 2010а. Методика расчета численности белух по данным авиаучетов на параллельных галсах. Бюл. МОИП, отд. биол. 115(3): 3-12 [Chelintsev N.G. The method of white whale number estimation on data of aerial counts. Bulletin MOIP, sec. Biology. 115(3): 3-12]
- Челинцев Н.Г. 20 10б. Сравнительный анализ расчета численности белух с использованием программ БЕЛУХА и DISTANCE. Бюл. МОИП, отд. биол. 115(6): 3-13 [Comparative analysis of white whale number estimations made by program БЕЛУХА and by foreign program DISTANCE. Bulletin MOIP, sec. Biology. 115(6): 3-13]
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P., Laake J.L. 1993. Distance sampling: estimating abundance of biological populations. London, 443 pp.
- Drummer T.D., McDonald L.L. 1987. Size bias in line transect sampling. Biometrics, 43, p. 13-21.
- Quinn T.J. 1985. Line transect estimators for schooling populations. Fisheries Research, 3, p. 183-199.