

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ АЭРОСЪЕМКИ ЦИФРОВОЙ КАМЕРОЙ NIKON D1X ЩЕННЫХ ЗАЛЕЖЕК ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ (*PAGOPHILUS GROENLANDICUS*) В БЕЛОМ МОРЕ В 2004 ГОДУ

А.П. Голиков

Лабораторией ДИ ПИНРО 23 марта 2004 г. выполнена мультиспектральная аэросъемка ценных залежек гренландского тюленя в Белом море. Съемка выполнялась как выборочный учет на параллельных трансектах, ориентированных в направлении север-юг и расположенных через 14,8 км. Сфотографированная площадь составила 0,18% от общей площади залежек. С целью оценки воспроизводства щенков гренландского тюленя в Белом море в 2004 г. лабораторией морских млекопитающих СевПИНРО проанализированы материалы аэросъемки цифровой камерой NIKON D1X. Оценка численности детенышей составила 231812 (SE=43807) особей. Эта оценка значительно ниже оценок, полученных по результатам съемок, выполненных по аналогичной методике в последние годы. Вероятно, оценку следует считать значительно заниженной из-за малого объема выборки и поздних сроков проведения съемки.

Введение

Гренландский тюлень (*Pagophilus groenlandicus*) – многочисленный, размножающийся на льдах, вид семейства *Phocidae* Северной Атлантики. В зависимости от районов щенения принято выделять три популяции гренландского тюленя: популяция Северо-Западной Атлантики, популяция Гренландского моря и популяция Белого моря [Хузин, 1972; Sergeant, 1991]. Беломорская популяция, щенные залежки которой локализуются в Белом море, является объектом ежегодного коммерческого промысла России и Норвегии с 70-х годов XIX в. Для наблюдения за состоянием численности беломорской популяции регулярно проводятся аэросъемки залежек тюленей в Белом море. В последние годы для определения размеров популяций тюленей рекомендуется использовать независимые оценки воспроизводства щенков [ICES, 1990; ICES, 1992; ICES, 1993; ICES, 1994]. Статус стада оценивается посредством подгонки модели популяции к независимым оценкам воспроизводства щенков. В период 1959-1991 гг. воспроизводство щенков можно было оценить по результатам аэрофотосъемок взрослых самок на щенных залежках. В этих съемках применяли метод сплошного фотографирования залежек, в основном, аэрофотоаппаратами АФА 42-20 и АФА 33-500 на негативную черно-белую фотопленку [Сурков, 1963; Яковенко, 1967; Яковенко, 1970; Svetochev, Golikov, 2003]. После 1991 г. техника выполнения съемок

изменилась. Съёмки выполняются как систематический выборочный учет щенков на параллельных трансектах, где единицей учета считается трансекта переменной длины. Техника таких съёмок была разработана в Канаде и Норвегии для оценки воспроизводства щенков гренландского тюленя и хохлача (*Cystophora cristata*) в Северо-Западной Атлантике [Stenson et al., 1993; Stenson et al., 1996; Stenson et al., 2003] и Гренландском море [Oristland, Oien, 1995]. В Белом море была выполнена съёмка с применением только аэрофотоаппарата АФА 42-20 [Potelov et al., 2003] и ряд мультиспектральных съёмок с использованием тепловизионной, фото- и видеоаппаратуры [Черноок и др., 1999; Черноок и др., 2000; Черноок и др., 2003; Черноок и др., 2004]. В 2004 г. лабораторией ДИ ПИНРО выполнена очередная мультиспектральная съёмка щенных залежек гренландского тюленя в Белом море. Наряду с тепловизионной и видеоаппаратурой, в этой съёмке использовали цифровую фотокамеру.

Целью настоящей работы является анализ материалов аэросъёмки цифровой камерой щенных залежек гренландского тюленя в Белом море 23 марта 2004 г.

Материалы и методы

Аэрофотосъёмка. Съёмка залежек проводилась с самолета АН-26 «Арктика» цифровой камерой Nikon D1X с ПЗС матрицей 5.47 миллиона пикселей. Физический размер матрицы соответствовал 23,7 x 15,6 мм, размер полученного при этом снимка равен 3008 x 1960 пикселей. Камера была оснащена стандартным широкоугольным объективом Nikkog с фиксированным фокусным расстоянием 35 мм. Угол обзора составлял по горизонтали 37,41°, по вертикали 25,13°. Съёмка проводилась с высоты 160 м, что позволяло фотографировать на каждый кадр площадь размером 108 x 71 м.

Съёмка выполнялась, как систематический выборочный учет на параллельных, ориентированных в направлении север-юг, трансектах, где единицей учета считалась трансекта переменной длины.

Подсчет щенков на фотографиях. Фотографии исследовались по методам, предложенным Stenson et al. (1993, 1996, 2003). Просмотр цифровых фотографий и подсчеты на них тюленей вели с помощью программы Surfer 7.0. Открывался файл снимка, на него накладывалось изображение учетной формы, на которой специальными символами отмечали позиции каждого тюленя. Затем файл-снимок удалялся, а учетная форма с символами, отображающими позиции тюленей на снимке, и с другой необходимой информацией сохранялась в отдельном файле.

Снимки исследовались тремя чтецами, двое из которых не имели опыта подсчета тюленей на цифровых фотографиях. Для того чтобы

откорректировать результаты подсчетов на число пропущенных щенков, серия контрольных снимков исследовалась двумя опытными чтецами. Результаты подсчетов на контрольных снимках опытными чтецами считались «наилучшей оценкой» числа щенков на фотографиях. Допуская линейную зависимость, «наилучшие оценки» (y) затем регрессировали на первоначальные подсчеты (x), чтобы определить поправочный коэффициент для каждого чтеца. Первоначальные расчеты показали, что параметр «отрезок» уравнения линии регрессии незначительно отличается от нуля для всех трех чтецов. Поэтому регрессии пересчитали, используя формулу $y = ax$, где: y - откорректированное число щенков на фотографии, x - первоначальное число щенков на фотографии. Первоначальные подсчеты для каждого чтеца затем были исправлены, используя соответствующие регрессии (табл. 1). Ошибки, связанные с вариацией около линии регрессии, оценивали для каждой фотографии, используя формулу:

$$V_{photo_j} = \sum_{z=1}^Z (V_{intercept} + (V_{slope} \times t_{jz}^2)), \quad (1)$$

где: j - номер трансекты,

Z - число фотографий на трансекте.

Варианса, связанная с коррекциями подсчетов на фотографиях, суммировалась по всем трансектам, чтобы определить общую ошибку для съемки, и добавлялась к выборочной вариансе.

Анализ результатов съемки. Данные съемки анализировались, используя методы предложенные Hammill et al. (1992) и Stenson et al. (1993, 1996, 2003).

Соседние трансекты с одинаковыми расстояниями между ними объединялись в одну группу. Для каждой такой группы рассчитывался коэффициент экстраполяции (k_i):

$$k_i = S_i / W_i, \quad (2)$$

где: S_i - расстояние между трансектами (км) для i^{th} группы,

W_i - ширина трансект (км) для i^{th} группы.

Число тюленей на трансекте (x_j) рассчитывали по формуле:

$$x_j = \frac{l_j \sum_z f_j t_{jz}}{f_j p_j}, \quad (3)$$

где: f_j - число фотографий на трансекте j ,

t_{jz} - число тюленей на $z^{\text{й}}$ снимке на $j^{\text{й}}$ трансекте,

l_j - длина трансекты, p_j - длина снимка.

Оценка численности тюленей (N) для $i^{\text{й}}$ съемки задается по выражению:

$$\hat{N}_i = k_i \sum_{j=1}^{J_i} x_j, \quad (4)$$

где J_i - число трансект в $i^{\text{й}}$ съемке.

Оценки варiances основываются на серийных различиях числа тюленей на трансектах [Cochran, 1977; Kingsley et al., 1985] и рассчитываются как:

$$V_{lines} = \frac{k_i(k_i-1)J_i}{2(J_i-1)} \sum_{j=1}^{J_i-1} (x_j - x_{j+1})^2 \quad (5)$$

Если расстояние между трансектами в районе съемки изменялось, каждый район с одинаковым расстоянием между трансектами принимался, как отдельная съемка, и оценка численности тюленей рассчитывалась как:

$$\hat{N}_i = k_i(x_{j_1}/2 + \sum_{j=2}^{J_i-1} x_{ij} + x_{iJ_i}/2), \quad (6)$$

где: J_i - число трансект в $i^{\text{й}}$ группе и x_{ij} - число тюленей на $j^{\text{й}}$ трансекте в $i^{\text{й}}$ группе, а первая и последняя трансекты ограничивают район съемки.

Оценкой варiances в этом случае является:

$$V_{lines} = \frac{k_i(k_i-1)}{2} \sum_{j=1}^{J_i-1} (x_j - x_{j+1})^2 \quad (7)$$

Оценку численности всей популяции и ее вариансу определяют по формулам:

$$\hat{N} = \sum_{i=1}^I N_i, \quad (8)$$

$$\hat{V} = \sum_{i=1}^I (V_{lines} + V_{photo}), \quad (9)$$

где I - число групп трансект.

Результаты и обсуждение

Поправочные коэффициенты для каждого чтеца на число пропущенных щенков определены по результатам исследования 478 контрольных снимков. Регрессии для всех чтецов были значимы и имели коэффициент детерминированности не менее 87%. Поправки для всех чтецов были разными, но все давали в результате небольшое увеличение числа щенков на фотографиях (до 15%). Для всех чтецов параметр «отрезок» не значимо отличался от нуля. Поэтому все регрессии пересчитали, принуждая линию регрессии проходить через ноль (табл. 1).

Таблица 1

Статистики регрессии, использованные для коррекции результатов чтений фотографий на число пропущенных щенков

(N – число фотографий, использованных для определения регрессии; n – общее число фотографий, исследованных чтецом; r^2 – коэффициент детерминированности)

Чтецы	N	n	Отрезок (SE)	Наклон (SE)	r^2
1	203	879	-	1,157 (0,027)	0,870
2	125	668	-	1,035 (0,014)	0,970
3	150	900	-	1,041 (0,013)	0,976

Основные результаты съемки представлены в таблице 2. Съемка была выполнена на 16 трансектах, на которых сфотографировано 0,18% от общей площади залежки.

Таблица 2

**Результаты съемки ценных залежек гренландского тюленя в Белом море
23 марта 2004 г.**

Номер трансе кты	Длина трансекты, км	Расстояние между трансектами, км	Число фотографий	Число щенков на фотографиях	Откорректи- рованная оценка числа щенков на фотографиях
3640	8,112	14,8	33	0	0
3700	71,061	14,8	184	9	9,369
3720	50,745	14,8	170	61	63,501
3740	71,487	14,8	232	8	8,28
3800	72,580	14,8	237	68	70,38
3820	74,265	14,8	289	81	91,033
3840	84,951	14,8	327	41	47,437
3900	90,711	14,8	235	27	31,239
3920	21,428	14,8	77	42	48,594
3940	18,927	14,8	81	23	26,611
4000	13,168	14,8	49	4	4,628
4020	13,501	14,8	56	10	10,41
4040	20,891	14,8	79	2	2,082
4100	18,668	14,8	72	5	5,205
4120	26,206	14,8	85	0	0
4140	68,802	14,8	241	4	4,164
Всего	724,689		2447	385	422,933

Стратификации района съемки не проводилось, расстояние между всеми трансектами было равным 14,8 км. По результатам съемки, проанализировано 2447 цифровых фотографий, на которых при первоначальных просмотрах учтено 385 щенков. После введения поправки на ошибки, допущенные чтецами при просмотре фотографий, оценка общего числа щенков на всех фотографиях составила 423.

Оценка воспроизводства щенков гренландского тюленя в Белом море в 2004 г. по результатам этой съемки составила 231812 (SE=43807) особей.

Полученная нами оценка воспроизводства щенков гренландского тюленя в Белом море в 2004 г. значительно отличается от аналогичных оценок в 1998-2003 гг. (табл. 3). Схема съемок как 2004 г., так и в период 1998-2003 гг., осталась прежней – выборочный учет на трансектах фиксированной ширины. Однако съемки выполнялись с помощью разной аппаратуры. В съемках 1998-2003 гг. использовали тепловизоры, видеокамеры и аэрофотоаппараты, в съемке 2004 г. – цифровую камеру. Поэтому прямо сравнивать результаты съемок, выполненных с помощью разной аппаратуры, возможно и не совсем корректно. Тем не менее, если съемки проводятся в одни и те же сроки, по одной и той же методике, с

одинаковым усилием, а на снимках можно достоверно подсчитать действительное число щенков, то итоговые результаты таких съемок, видимо, не сильно будут отличаться друг от друга.

Таблица 3

Оценки воспроизводства щенков гренландского тюленя
в Белом море в 1998-2003 гг.

Год	Оценка, тыс.	Источник
1998	361±27%	[Черноок и др., 2003]
2000	365±9%	[Черноок и др., 2003]
2000	325 (SE=36168)	[Potelov et al., 2003]
2002	330±15%	[Черноок и др., 2003]
2003	327±41	[Черноок и др., 2004]

Съемка в 2004 г. проводилась 23 марта, несколько позднее, чем в предыдущие годы, вероятно, не в оптимальные сроки. На дату съемки много щенков находилось уже в стадии «хохлуша» и «серка», что хорошо было видно на снимках, а часть щенков этой возрастной группы может сходить в воду, и поэтому их нельзя увидеть на фотографиях.

Во второй половине марта в связи с выносом льдов из Бассейна ценные залежки рассредоточиваются на большей акватории и, вследствие этого, какая-то часть сильно разреженных залежек могла быть не охвачена съемкой.

К недостаткам данной съемки следует отнести малый объем выборки. Как правило, при выполнении таких работ общее покрытие составляло не менее 1,5% от общей площади залежек [Stenson et al., 1993; Черноок и др., 1999; Черноок и др., 2000; Potelov et al., 2003], а покрытие съемкой на трансектах - не менее 60% от площади трансекты [Stenson et al., 2002]. В данном случае общее покрытие составило всего 0,18%, а покрытие на трансектах - 18-30%, что, вероятно, недостаточно для получения репрезентативной выборки. Для увеличения объема выборки следовало бы увеличить как число трансект, так и число кадров на каждой трансекте, уменьшая расстояние между трансектами и временной интервал между последовательными кадрами, соответственно.

Общая ошибка съемки определяется ошибками чтецов при просмотре фотографий и ошибкой выборки. Определены поправки для каждого чтеца. В целом коррекции, потребовавшиеся для каждого чтеца, были небольшими и имели тенденцию изменяться в одном направлении. Не смотря на то, что двое чтецов не имели опыта просмотра цифровых фотографий, их подсчеты тюленей на фотографиях незначительно отличались от результатов подсчетов опытного чтеца. Ошибки, связанные с регрессиями, которые применяли для коррекции числа тюленей на фотографиях, составили менее 0,001% от общей дисперсии съемки.

Следовательно, можно сказать, что общая ошибка съемки определяется полностью ошибкой выборки.

Заключение

Полученная нами оценка численности щенков в 2004 г. значительно ниже аналогичных оценок в предыдущие годы. Маловероятно, что мы наблюдаем резкое падение численности новорожденных щенков в 2004 г. Оснований для таких выводов у нас нет. Скорее всего, эти результаты отражают погрешности, допущенные при выполнении аэросъемочных работ:

- поздние сроки съемки,
- пропуск части разреженных залежек,
- малый объем выборки.

Литература

Сурков С.С. К вопросу о методике определения численности и нормах вылова беломорского лысуна // Акклиматизация тихоокеанских лососей в бассейне Баренцева и Белого морей. Материалы по биологии трески и морских млекопитающих Севера: Тр. ПИНРО. - 1963. - Вып. XV. - С. 271- 279.

Хузин Р.Ш. Эколого-морфологический анализ различий и перспективы промысла гренландского тюленя беломорской, ян-майенской и ньюфаундленской популяций. - Мурманск : Мурманское книжн. изд-во, 1972.- 174 с.

Черноок В.И., Тимошенко Ю.К., Мейзенхеймер П., Иннес С., Кузнецов Н.В., Егоров С.А. Результаты авиасъемки ценных залежек гренландского тюленя в Белом море в 1998 г. // Развитие технических методов рыбохозяйственных исследований: Тр. ПИНРО. - Мурманск : Изд-во ПИНРО, 1999. - С 202-239.

Черноок В.И., Тимошенко Ю.К., Мейзенхеймер П., Иннес С., Кузнецов Н.В., Егоров С.А. Результаты учета численности гренландского тюленя в белом море в 1998 году // Морские млекопитающие Голарктики: Материалы Международной конференции. Архангельск, 21-23 сентября 2000 г. - Архангельск : Изд-во «Правда Севера», 2000. - С. 426-431.

Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Шафиков И.Н., Асютенко В.В., Васильев А.Н. Авиасъемка залежек гренландского тюленя беломорской популяции в 2002 г. // Тезисы докладов отчетной сессии ПИНРО и СевПИНРО по итогам научно-исследовательских работ в 2001-2002 гг. - Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2003. - С.

Черноок В.И., Шафиков И.Н., Кузнецов Н.В., Егоров С.А., Терещенко В.А., Лисовский А.С., Асютенко В.В., Васильев А.Н. Оценка численности детенышей гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) беломорской популяции на ценных залежках в 2003 г. // Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов по материалам III Междунар.й конф-ции. Коктебель, Крым, Украина, 11-17 октября 2004. - М. : КМК, 2004. - С. 575-578.

Яковенко М.Я. Беломорская популяция гренландского тюленя и перспективы ее промысла // Исследования морских млекопитающих. Тр. ПИНРО. - 1967. - Вып. XXI. - С. 6-18.

Яковенко М.Я. Результаты аэрофотоучета численности беломорского лысуна в 1968 г. // Материалы рыбохозяйственных исследований северного бассейна. - В. XVI. - Ч. II. Материалы отчетной сессии ученого совета по результатам исследований в 1968 г. - Мурманск : Изд-во ПИНРО, 1970. - С. 68-75.

Cochran W.G. Sampling techniques / 3rd edition. - New York: Wiley, NY, 1977. - 428 p.

Hammill M.O., Stenson G.B., and Myers R.A. Hooded seal (*Cystophora cristata*) pup production in the Gulf of St. Lawrence // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. - 1992. - Vol. 49. - P. 2546-2550.

ICES. Report of the Working Group on Harp and Hooded seals, Bergen, Norway, 16-19 October 1989. ICES CM 1990/Assess: 2. 25 pp.

ICES. Report of the Joint ICES/NAFO Working Group on Harp and Hooded seals, Copenhagen, Denmark, 14-18 October 1991. ICES CM 1992/Assess: 5. 31 pp.

ICES. Report of the Joint ICES/NAFO Working Group on Survey Methodology for Harp and Hooded seals, SevPINRO, Archangelsk, Russia, 5-12 October 1992. ICES CM 1993/N: 2. 31 pp.

ICES. Report of the Joint ICES/NAFO Working Group on Harp and Hooded seals, Copenhagen, Denmark, 15-21 September 1993. ICES CM 1994/Assess: 5. 35 pp.

Kingsley M.C.S., Stirling I., and Calvert W. The distribution and abundance of seals in the Canadian high Arctic // Can. J. Fish. Aquat. Sci. - 1985. - Vol. 42. - P. 1189-1210.

Oristland T., Oien N. Aerial surveys of harp and hooded seal pups in the Greenland Sea pack ice // Whales, Seals, Fish and Man. Ed. by A.S. Blix, L. Walloe, and O. Ultang. - Amsterdam: Elsevier, 1995. - P. 77-87.

Potelov V.A., Golikov A.P., and Bondarev V.A. Estimated pup production of harp seals *Pagophilus groenlandicus* in the White Sea, Russia, in 2000 // ICES Journal of Marine Science. - 2003. - Vol. 60. - P. 1012-1017.

Sergeant D.E. Harp, seal, man and ice // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. 114/Ottawa: Canada Communication Group - Publishing, 1991. - 153 p.

Stenson G.B., Hammill M.O., Kingsley M.C.S., Sjare B., Warren W.G., and Myers R.A. Is there evidence of increased pup production in northwest Atlantic harp seals, *Pagophilus groenlandicus*? // ICES Journal of Marine Science. - 2002. - Vol. 59. - P. 81-92.

Stenson G.B., Myers R.A., Hammill M.O., Ni I.-H., Warren W.G., and Kingsley M.C.S. Pup production of harp seals, *Phoca groenlandica*, in the northwest Atlantic // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. - 1993. - Vol. 50. - P. 2429-2439.

Stenson G.B., Sjare B., Warren W.G., Myers R.A., Hammill M.O., and Kingsley M.C.S. 1994 Pup production of the Northwest Atlantic Harp Seal, *Phoca groenlandica* // NAFO Sci. Coun. Studies. - 1996. - Vol. 26. - P. 47-61.

Stenson G.B., Rivest L.P., Hammill M.O., Gosselin J.F., and Sjare B. Estimating pup production of harp seals (*Pagophilus groenlandicus*) in the northwest Atlantic // Marine Mammal Science. - 2003. - Vol. 19, No. 1. - P. 141-160.

Svetochev V.N., Golikov A.P. Harvest and estimations of the White Sea harp seal stock conditions in 1920-2003 (en catch statistics and aerial photography surveys data). Soint ICES/NAFO Group on Harp and Hooded Seals. SevPINRO, Archangelsk, 2-6 September, 2003. WP SEA-129. - Pp. 16.