

УДК 599.745.3–152.6(265.51)

**В.И. Черноок<sup>1,2</sup>, И.С. Труханова<sup>3</sup>, А.Н. Васильев<sup>1</sup>, А.И. Грачев<sup>4</sup>,  
Д.И. Литовка<sup>5</sup>, В.Н. Бурканов<sup>6,7</sup>, С.В. Загребельный<sup>5\*</sup>**

<sup>1</sup> Гипрорыбфлот,

197022, г. Санкт-Петербург, ул. Инструментальная, 8, лит. В;

<sup>2</sup> Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,  
197110, г. Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18;

<sup>3</sup> Университет Вашингтона, Полярный научный центр,  
г. Сиэтл, Вашингтон, 98195, США;

<sup>4</sup> Магаданский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии,  
685000, г. Магадан, ул. Портовая, 36/10;

<sup>5</sup> ЧукотНИО Тихоокеанского научно-исследовательского  
рыбохозяйственного центра,  
689000, г. Анадырь, ул. Отке, 56;

<sup>6</sup> Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,  
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6;

<sup>7</sup> РОО «Совет по морским млекопитающим»,  
103050, г. Москва, ул. Тверская, 27

## **ЧИСЛЕННОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАСТОЯЩИХ ТЮЛЕНЕЙ НА ЛЬДАХ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ ВЕСНОЙ 2012–2013 ГГ.**

На основании материалов двух инструментальных авиасъемок, проведенных в западной части Берингова моря в апреле-мае 2012 и апреле 2013 гг., дана оценка численности четырех пагофильных видов тюленей — акибы, крылатки, лахтака и ларги — на весенних льдах, проанализировано их распределение и проведено сравнение этих показателей между учетами разных лет. Численность акибы на льду оценена в 61 тыс. особей,

---

\* Черноок Владимир Ильич, доктор географических наук, заведующий отделом, e-mail: chernook@mail.ru; Труханова Ирина Сергеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: irinatr@uw.edu; Васильев Александр Николаевич, главный специалист, e-mail: vasiliev9grf@gmail.com; Грачев Алексей Иванович, научный сотрудник; Литовка Денис Игоревич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, e-mail: d-litovka@yandex.ru; Бурканов Владимир Николаевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vburkanov@gmail.com; Загребельный Сергей Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: tryton2011@mail.ru.

Chernook Vladimir I., D.Sc., head of department, e-mail: chernook@mail.ru; Trukhanova Irina S., Ph.D., researcher, e-mail: irinatr@uw.edu; Vasiliev Alexander N., principal specialist, e-mail: vasiliev9grf@gmail.com; Grachev Alexei I., reesearcher; Litovka Denis I., Ph.D., head of laboratory, e-mail: d-litovka@yandex.ru; Burkanov Vladimir N., Ph.D., leading reseracher, e-mail: vburkanov@gmail.com; Zagrebelyny Sergey V., Ph.D., senior researcher, e-mail: tryton2011@mail.ru.

животные были достаточно равномерно распределены между южной, центральной и северной частями российской акватории Берингова моря. Численность лахтак на льдах в указанной акватории была оценена в 42 тыс. особей. Расчетная численность крылатки в 2012 г. составила 62 тыс., а в 2013 г. — всего лишь около 15 тыс. особей. Численность ларги также подвержена значительным межгодовым колебаниям в оценках с максимальным значением в 2012 г. — около 97 тыс. особей. На фотоматериалах, полученных в ходе учета в Анадырском заливе, в оба года отмечено отсутствие ларги и крылатки. Подтверждено большое значение Карагинского залива для размножения тюленей. Многочисленная популяция ларги сосредоточена в этом небольшом районе, акиба и лахтак характеризовались там наибольшими величинами плотности залегания на льду по сравнению с другими районами западной части Берингова моря. Показана эффективность применения метода инструментальной авиасъемки для регистрации пагофильных тюленей и оценки их численности и распределения на весенних льдах. Однако для определения реального размера популяций на основании этих данных необходимо использование дополнительных поправочных коэффициентов, позволяющих учесть поведенческие и миграционные процессы, определяющие долю тюленей, доступных для регистрации с самолета во время съемки.

**Ключевые слова:** инструментальные авиационные учеты, ледовые формы тюленей, численность, распределение, акиба, кольчатая нерпа, крылатка, лахтак, ларга, Берингово море.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-74-88.

**Chernook V.I., Trukhanova I.S., Vasiliev A.N., Grachev A.I., Litovka D.I., Burkanov V.N., Zagrebelny S.V.** Abundance and distribution of phocid seals on ice in the western Bering Sea in spring, 2012–2013 // *Izv. TINRO.* — 2018. — Vol. 192. — P. 74–88.

Abundance and density distribution of four seal species (ringed, ribbon, spotted, and bearded) on spring ice was estimated based on the data from two instrumental aerial surveys in the western Bering Sea in April-May 2012 and April 2013 and compared with the previously published values. The number of ringed seals on ice was about 61,000, they were rather evenly distributed in the southern, middle and northern parts of the Russian EEZ in the Bering Sea. The estimated number of ribbon seals was about 62,000 in 2012, but only 15,000 in 2013. The number of bearded seals was estimated as 42,000 animals. The abundance and density distribution of spotted seals was shown to be a subject of significant interannual fluctuations with the maximum of about 97,000 individuals. The spotted or ribbon seals were not found in the Anadyr Bay, but importance of the Karaginsky Bay for reproduction of the phocid seals was confirmed. A large population of spotted seals was concentrated there and the ringed and bearded seals were presented there in the highest recorded density. Effectiveness of the instrumental aerial survey method application for assessing abundance and distribution of seals on sea ice was demonstrated. However, in order to estimate the real population abundance, it is essential to apply correction coefficients allowing to account for behavioural and migration processes predefining the proportion of seals available for detection.

**Key words:** instrumental aerial survey, phocid seals, seal abundance, seal distribution, ringed seal, ribbon seal, spotted seal, bearded seal, Bering Sea.

*Посвящается памяти нашего коллеги  
Грачева Алексея Ивановича, внесшего  
большой вклад в изучение морских  
млекопитающих Дальнего Востока*

## Введение

Пагофильные тюлени — лахтак *Erignathus barbatus*, ларга *Phoca largha*, крылатка *Histiophoca fasciata* и акиба *Pusa hispida* — широко распространены в российской части Берингова моря и с давних времен играли важную роль в жизни коренных народов Дальнего Востока России (Кузин, 2003). Они также были объектом коммерческого промысла на протяжении всей второй половины 20-го в. (Федосеев, Бухтияров, 1981\*; Федосеев, 2005). Для обеспечения устойчивой эксплуатации их запасов необходимо

---

\* Федосеев Г.А., Бухтияров Ю. Динамика возрастного-полового состава побоек настоящих тюленей Берингова моря : отчет о НИР / Мо ТИНРО. № 17697. Владивосток, 1981. 33 с.

ежегодно рассчитывать общедопустимый улов, что требует проведения учетных работ и мониторинга численности.

Первая авиационная разведка с целью определения численности тюленей была проведена в 1963–1964 гг. (Шустов, 1969). Позднее авиаучеты стали выполняться ресурсными институтами регулярно вплоть до 1987 г. (Федосеев, 2005). Уже на основании первых расчетов численности тюленей на льду по данным авиаучетов стало ясно, что величина поголовья животных заметно меньше, чем считалось до этого. Были сделаны рекомендации по оптимизации промысла, что позволило стабилизировать численность животных и успешно вести промысел без вреда для популяций всех четырех видов вплоть до 1994 г. (Trukhanova et al., 2017).

Современные глобальные климатические изменения наряду с активным развитием хозяйственной деятельности в шельфовой зоне дальневосточных морей повышают требования к мерам, принимаемым для сохранения и рационального использования морских биологических ресурсов. В свете существенного устаревания данных о численности популяций тюленей, являющихся важными элементами экосистемы и объектами промысла в Беринговом море, видится необходимым продолжение мониторинга численности и получение современных оценок, базирующихся на передовых технологиях и статистических методах, разработанных для оценки численности популяций морских млекопитающих.

Авиационные учеты тюленей на льду в период их размножения и линьки зарекомендовали себя как один из наиболее эффективных методов оценки их численности, позволяющих обследовать обширные труднодоступные акватории в сжатые сроки. Разработка методики учета тюленей, включающего инструментальную съемку подстилающей самолет поверхности в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах (Черноок и др., 1999, 2008, 2014) с географической привязкой зарегистрированных приборами тюленей, сделала возможным получение детальных, документально подтвержденных данных о распределении объектов учета по обследуемой акватории во взаимосвязи с параметрами их среды обитания, что повышает научную ценность таких работ.

Основной целью настоящей работы стала оценка численности и распределения настоящих тюленей на льдах в российской части Берингова моря весной 2012–2013 гг. с использованием инструментальных методов учета.

Полеты были осуществлены российскими учеными в западной части Берингова моря, а в его американской зоне — сотрудниками лаборатории по изучению морских млекопитающих Аляскинского рыбохозяйственного научного центра Национального управления по океаническим и атмосферным исследованиям (г. Сизтл, США). Авиачеты проводились параллельно в одни и те же сроки, по единой методике, в рамках Межправительственного российско-американского соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды, проект 02.05-61 «Морские млекопитающие». По мере обработки и опубликования результатов авиасъемок ученых двух стран будут получены сведения о численности популяций ледовых форм тюленей на всей акватории Берингова моря.

## Материалы и методы

### *Авиационный учет*

Инструментальная авиационная съемка ледовых форм тюленей (акибы, крылатки, лахтака и ларги) была проведена дважды — с 20 апреля по 5 мая 2012 г. и с 11 по 30 апреля 2013 г. в российской части акватории Берингова моря. Восточная граница учетного региона была определена по границе исключительной экономической зоны (ИЭЗ) Российской Федерации, южная граница — по параллели 56,25° с.ш., северная граница проходила по Берингову проливу (рис. 1, А, Б). Учет проводился по стандартной методике учета морских млекопитающих на линейных трансектах (Skalski et al., 2005). Для съемки использовался самолет Ан-38 «Восток», оснащенный ИК-сканером «Малахит-М», 3 цифровыми фотокамерами Nikon D800 с разрешением матриц 36 Мп и фокусным расстоянием 50 мм и бортовой компьютерной системой записи данных. Полеты выполнялись на высоте 200–250 м со средней скоростью 260 км/ч преимущественно с 10 до 17 час по местному времени (GMT+11). Фото- и ИК-оборудование

было закреплено под самолетом в специализированном отсеке (Черноок и др., 2014). ИК-сканер регистрировал тепловые пятна (тюленей) на поверхности льда, затем их автоматически фиксировали фотокамеры высокого разрешения. Визуальная идентификация видов тюленей производилась по цифровым фотоснимкам после полета (Черноок и др., 2014). В ходе работ аппаратура ежесекундно автоматически регистрировала параметры полета: время, координаты, курс, высота, скорость. Послеполетную обработку полученных фото- и ИК-материалов осуществляли в соответствии со стандартным протоколом, описанным в работах В.И. Черноока с соавторами (2000, 2014).

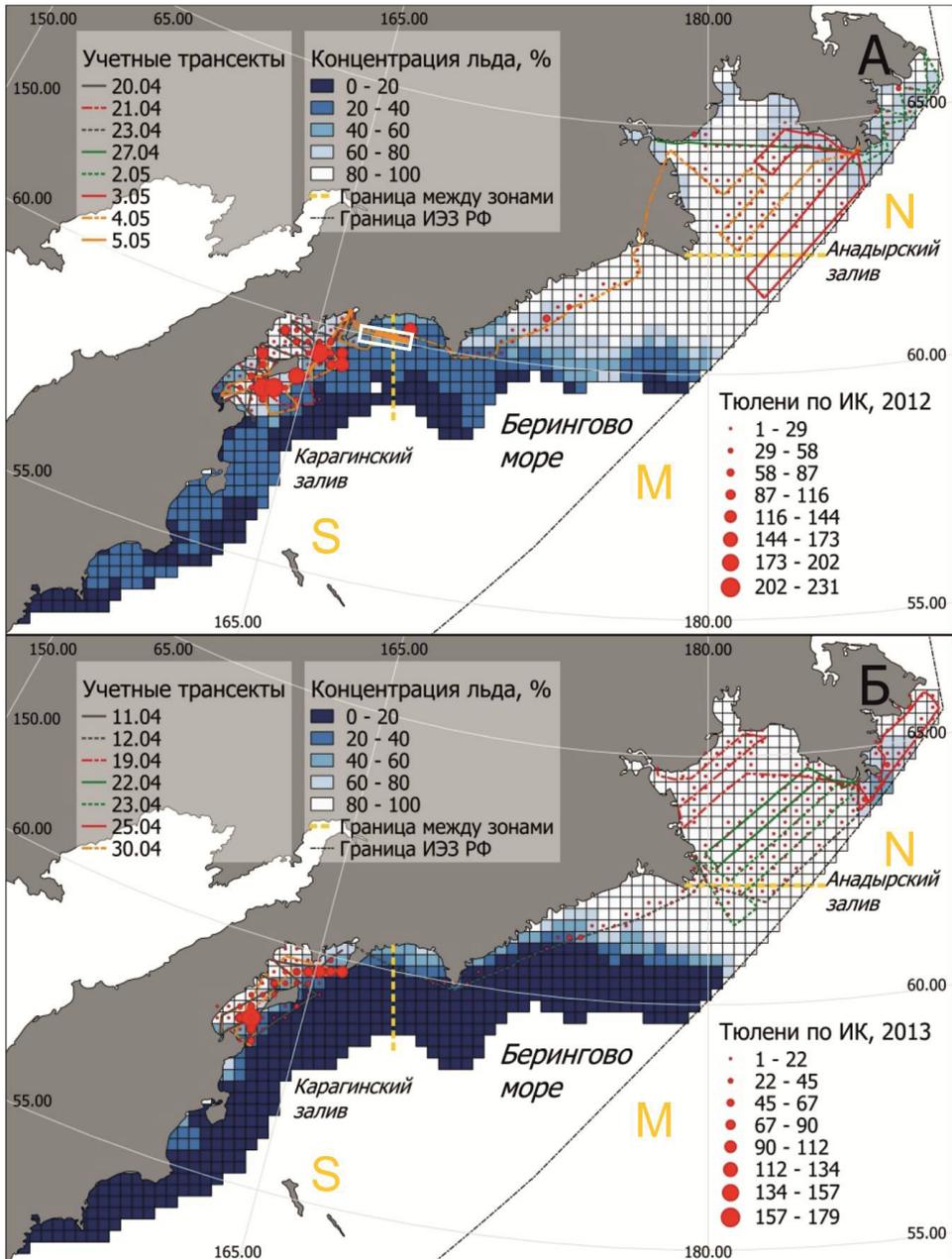


Рис. 1. Схема трансект, блоков и зон в пределах западной части Берингова моря при проведении учетов в 2012 и 2013 гг. Для 2012 г. (А) приведены средние значения концентрации льда за апрель-май, для 2013 г. (Б) — значения за апрель. Белым прямоугольником на границе южной и центральной зон (А) отмечена зона повышенной концентрации тюленей

Fig. 1. Scheme of survey transects, clusters and zones in the western Bering Sea in 2012 (A) and 2013 (B). The sea ice concentration averaged for April-May is presented for 2012 and averaged for April — for 2013. The area of high density of the seals in 2012 is marked by white rectangle

### **Анализ распределения и оценка численности**

Для анализа распределения тюленей акватория российской части Берингова моря была разделена на блоки размером 25 x 25 км каждый (рис. 1; прил. 1, табл. П1\*). Для каждого блока были определены координаты центра, кратчайшее расстояние до материка (*dst\_mnl*; км), расстояние до шельфа (*dst\_shl*; км; определено как расстояние до изобаты 1000 м), средняя концентрация льда в апреле и мае 2012 и апреле 2013 гг. (*ice\_con*; %; <http://dx.doi.org/10.7265/N5833PZ5>), площадь акватории в пределах каждого блока (км<sup>2</sup>). Для тех блоков, через которые проходили учетные трансекты, были определены общая длина трансект в пределах блока (км), площадь льда, покрытая учетными трансектами (км<sup>2</sup>), и количество тюленей в пределах учетной полосы суммарно по ИК-данным и отдельно для каждого вида тюленей по результатам фотоидентификации.

Для оценки площади льда, покрытого учетными трансектами, использовали величину эффективной ширины полосы обзора ИК-сканера, которую рассчитывали на основании данных о высоте полета самолета и удаленности тепловых пятен от центра трансекты с использованием программы Distance 6.2 (Thomas et al., 2010). Расчет эффективной ширины ИК-полосы производили отдельно для каждого дня полетов.

Видовой состав выборки тюленей на льду определяли по взрослым животным, идентифицированным экспертом на цифровых фотографиях. Процентное соотношение видов тюленей рассчитывали отдельно для северной (N; блоки к северу от 62,4° с.ш. преимущественно в акватории Анадырского залива), южной (S; блоки к западу от 167,8° в.д., преимущественно в акватории Карагинского залива) и центральной (M; остальные блоки, рис. 1) зон (zone) российской части Берингова моря и считали единым для всех блоков в пределах одной зоны. Затем количество тюленей по ИК-данным в каждом блоке принимали за 100 %. В зависимости от принадлежности блока к конкретной зоне рассчитывали ожидаемое количество животных каждого вида в этом блоке.

Для получения оценок численности тюленей каждого вида на покрытой льдом части акватории учетного региона использовали отрицательные биномиальные обобщенные линейные модели (Zuur et al., 2009):

$$N_i = NB(\mu_i, k),$$

$$\ln(\mu_i) = f(\textit{dst\_mnl}; \textit{ice\_con}; \textit{dst\_shl}; \textit{zone}; \textit{offset}),$$

где NB — отрицательное биномиальное распределение с параметром подгонки *k*; среднее  $\mu_i$  моделирует ожидаемое число тюленей в данном блоке как экспоненциальную функцию от линейной комбинации независимых переменных *dst\_mnl*, *ice\_con*, *dst\_shl*, *zone* и компенсации (*offset*). Для стабилизации коэффициентов в модели параметры *dst\_mnl* и *dst\_shl* были стандартизированы путем деления на их среднее, а *ice\_con* выражена в долях от единицы. Компенсация позволяла учесть различия в учетной площади в пределах блоков и рассчитывалась как  $\textit{offset}_i = \ln(s_i)$ , где  $s_i$  — площадь, покрытая трансектами в блоке *i*.

Наилучшую модель для каждого вида выбирали с использованием информационного критерия Акаике (*AIC*). Для оценки качества модели рассчитывали величину доли объясненной дисперсии (*PDE*) по формуле

$$PDE = 1 - (\sigma(M_i)/\sigma(M_0)),$$

где  $\sigma(M_i)$  — стандартное отклонение модели *i*;  $\sigma(M_0)$  — стандартное отклонение нулевой модели (содержащей только свободный член).

Значение индивидуальной вероятности *p*, определенное для каждой независимой переменной в наилучшей модели, использовали для идентификации эффектов, значимых для распределения тюленей. Мы полагали переменную статистически значимой на уровне  $\alpha = 0,05$ . Поскольку зона была значимым фактором во всех моделях, распределение каждого вида тюленей в каждой из зон смоделировали отдельно и выбрали наилучшие модели как описано выше.

---

\* Приложения 1, 2 размещены на странице статьи на сайте журнала (<http://izvestiya.tinro-center.ru>) как дополнительный файл.

Ожидаемую плотность распределения тюленей на льду ( $D$ ) рассчитали, применив гибридную комбинацию наилучших моделей для каждой зоны ко всем блокам в пределах учетного региона. Затем вычислили общую численность  $\mu$  животных каждого вида путем суммирования теоретически ожидаемых плотностей, умноженных на площадь льда в соответствующем блоке. Доверительные интервалы вокруг точечных оценок были получены с использованием дельта-метода (Oehlert, 1992). Относительную точность оценок определяли с помощью коэффициента вариации  $CV$ .

Для всего процесса анализа использовали программную среду R 3.3.3 (<https://www.R-project.org/>), включая пакет MASS (Venables, Ripley, 2002). Картирование результатов производили в программе QGIS 2.12 Lyon (<http://www.qgis.org/>).

### Результаты и их обсуждение

Площадь западной части Берингова моря, включенной в границы учетного региона, составила 465 808 км<sup>2</sup>, из которых 439 504 км<sup>2</sup> было покрыто льдами разной степени сплоченности в апреле-мае 2012 г. и 282 338 км<sup>2</sup> — в апреле 2013 г. (рис. 1). Всего за восемь учетных дней в 2012 и семь учетных дней в 2013 гг. было обследовано соответственно около 1,2 и 1,8 % всей покрытой льдом акватории (табл. 1).

Таблица 1  
Результаты аэросъемки в западной части Берингова моря в 2012 и 2013 гг.

Table 1

Results of the surveys in the western Bering Sea in 2012 and 2013

Дата	Зона	Эф. ширина ИК-полосы, м	Длина трансект, км	Площадь обслед. льда, км <sup>2</sup>	Доля от общей площади льда, %
20.04.2012	S	471,74	456,91	215,55	0,0010
21.04.2012	S	453,22	1431,89	648,96	0,0020
23.04.2012	S	524,34	163,69	85,83	0,0003
27.04.2012	N	417,60	335,50	140,11	0,0005
02.05.2012	N	528,94	747,82	395,55	0,0010
03.05.2012	M, N	331,98	1367,75	454,07	0,0020
04.05.2012	S, M, N	423,76	1595,21	675,99	0,0020
05.05.2012	S	673,84	1125,45	758,37	0,0030
<b>Итого</b>	—	—	<b>7224,23</b>	<b>3374,41</b>	<b>0,0120</b>
11.04.2013	S	447,72	816,10	365,39	0,002
12.04.2013	M, N	611,52	1335,21	816,49	0,004
19.04.2013	N	667,48	968,04	646,12	0,003
22.04.2013	N	578,86	783,99	453,83	0,002
23.04.2013	N	630,36	1131,0	712,96	0,003
25.04.2013	N	626,46	752,72	471,56	0,002
30.04.2013	S	437,16	949,59	415,09	0,002
<b>Итого</b>	—	—	<b>6736,66</b>	<b>3881,44</b>	<b>0,018</b>

Всего в 2012 и 2013 гг. ИК-сканером было зарегистрировано соответственно 4 137 и 2 932 тепловых пятна, которые впоследствии были определены как тюлени (прил. 1: табл. П1); из общего числа тюленей 1 125 (27,2 %) и 1 676 (57,2 %) были сфотографированы цифровыми камерами высокого разрешения, позволяющего видовую идентификацию. Из них в 2012 г. 25 % составила акиба, 16 — крылатка, 19 — лахтак и 40 % — ларга. В 2013 г. видовой состав выборки несколько отличался в пользу преобладания акибы — 42 %, количество крылатки снизилось до 5 %, по 26 и 27 % пришлось на лахтака и ларгу (табл. 2).

Данные учета тюленей, использованные для построения моделей, состояли из 306 блоков, обследованных в 2012 г., и 326 — в 2013 г., из них соответственно 189 (61,7 %) и 230 (70,6 %) включали встречи тюленей (от 1 до 231 особи на блок). Общее количество блоков, имевших ненулевую концентрацию льда, на которые в дальнейшем производилась экстраполяция, составило в апреле-мае 2012 г. 792 шт. и в апреле 2013 г. 538 шт. Средняя концентрация льда в учетном регионе была в апреле

Таблица 2

Величины наблюдаемой и ожидаемой плотности и численности ледовых форм тюленей на льду в западной части Берингова моря, 2012–2013 гг.

Table 2

Observed and expected density and abundance of phocid seals on ice in the western Bering Sea in 2012 and 2013

Вид	Зона	Доля вида по фото (всего особей)	Тюлени по ИК	Наблюдаемая плотность (max), ос./км <sup>2</sup>	Оценка плотности (CI 95 %), ос./км <sup>2</sup>	Оценка численности тюленей на льду (CI 95 %), особи
<i>2012 г.</i>						
Акиба	N	0,52	284	0,262 (2,435)	0,368 (0,200–0,712)	40 725 (22 120–78 532)
	M	0,03	18	0,062 (0,667)	0,041 (0,019–0,090)	2 924 (1 284–7 006)
	S	0,12	376	0,184 (1,909)	0,183 (0,104–0,342)	9 375 (5 602–16 255)
	<b>Итого</b>	<b>0,25 (281)</b>	<b>678</b>	<b>0,203 (2,435)</b>	<b>0,206 (0,113–0,399)</b>	<b>53 024 (29 006–101 793)</b>
Лахтак	N	0,48	258	0,238 (2,215)	0,335 (0,183–0,642)	37 025 (20 237–70 784)
	M	0,01	5	0,016 (0,167)	0,013 (0,005–0,032)	1 121 (440–2 853)
	S	0,04	137	0,067 (0,694)	0,077 (0,045–0,138)	3 742 (2 314–6 232)
	<b>Итого</b>	<b>0,19 (211)</b>	<b>400</b>	<b>0,138 (2,215)</b>	<b>0,135 (0,074–0,259)</b>	<b>41 888 (22 991–79 959)</b>
Крылатка	N	0	0	0	0	0
	M	0,31	170	0,575 (6,166)	0,523 (0,279–1,007)	44 373 (23 530–85 954)
	S	0,23	713	0,349 (3,621)	0,367 (0,209–0,671)	17 912 (10 924–30 167)
	<b>Итого</b>	<b>0,16 (183)</b>	<b>883</b>	<b>0,222 (6,166)</b>	<b>0,281 (0,154–0,530)</b>	<b>62 285 (34 484–116 121)</b>
Ларга	N	0	0	0	0	0
	M	0,64	348	1,182 (12,66)	1,004 (0,524–2,089)	50 596 (26 093–99 845)
	S	0,60	1828	0,895 (9,27)	1,002 (0,547–1,909)	46 484 (26 680–83 211)
	<b>Итого</b>	<b>0,40 (450)</b>	<b>2176</b>	<b>0,527 (12,66)</b>	<b>0,647 (0,339–1,266)</b>	<b>97 080 (52 773–183 056)</b>
<i>2013 г.</i>						
Акиба	N	0,49	400	0,161 (2,137)	0,162 (0,121–0,217)	20 910 (15 656–28 114)
	M	0,50	141	0,215 (1,291)	0,317 (0,186–0,551)	23 407 (13 813–40 141)
	S	0,38	692	0,746 (3,992)	0,808 (0,500–1,334)	16 920 (11 165–26 068)
	<b>Итого</b>	<b>0,42 (708)</b>	<b>1233</b>	<b>0,312 (3,992)</b>	<b>0,335 (0,214–0,538)</b>	<b>61 237 (40 634–94 323)</b>
Лахтак	N	0,51	416	0,168 (2,224)	0,169 (0,134–0,213)	21 138 (16 800–27 722)
	M	0,14	41	0,062 (0,373)	0,095 (0,055–0,168)	6 695 (3 959–11 559)
	S	0,17	304	0,327 (1,752)	0,366 (0,232–0,589)	7 540 (5 078–11 373)
	<b>Итого</b>	<b>0,26 (443)</b>	<b>761</b>	<b>0,189 (2,224)</b>	<b>0,180 (0,125–0,268)</b>	<b>35 373 (25 837–49 654)</b>
Крылатка	N	0,002	1	0,001 (0,011)	0,001 (0,001–0,003)	81 (16–400)
	M	0,280	78	0,119 (0,716)	0,181 (0,115–0,289)	12 944 (8 341–20 330)
	S	0,030	61	0,066 (0,353)	0,076 (0,043–0,141)	1 510 (1 072–2 142)
	<b>Итого</b>	<b>0,050 (81)</b>	<b>140</b>	<b>0,036 (0,716)</b>	<b>0,075 (0,048–0,119)</b>	<b>14 535 (9 429–22 872)</b>
Ларга	N	0	0	0	0	0
	M	0,08	22	0,034 (0,202)	0,051 (0,025–0,112)	3 626 (1 782–7 665)
	S	0,42	774	0,835 (4,470)	0,872 (0,498–1,567)	18 798 (11 403–31 542)
	<b>Итого</b>	<b>0,27 (444)</b>	<b>796</b>	<b>0,208 (4,47)</b>	<b>0,179 (0,101–0,329)</b>	<b>22 424 (13 185–39 207)</b>

2012 и 2013 гг. соответственно 75 и 77 %, в мае 2012 г. 49 % и колебалась в разных блоках от 7,5 до 100,0 %.

В 2012 г. первое обследование Карагинского залива производили 20–23 апреля, а второе — 5 мая (рис. 2). Наблюдаемая плотность залегания тюленей ( $d$ ; особи/км<sup>2</sup>) за этот период возросла: акибы — с 0,142 до 0,286 ( $F = 0,127$ ,  $p < 0,05$ ), крылатки — с

0,269 до 0,654 ( $F = 0,063, p < 0,05$ ), лахтака — с 0,051 до 0,102 ( $F = 0,129, p < 0,05$ ) и ларги — с 0,691 до 1,605 ( $F = 0,079, p < 0,05$ ), но низкие значения F-критерия свидетельствуют в пользу отсутствия достоверного роста показателя наблюдаемой плотности между выборками. В 2013 г. Карагинский залив обследовали дважды, 11 и 30 апреля, и за этот период  $d$  также возросла для всех четырех видов: с 0,681 до 0,885 для акибы, с 0,059 до 0,086 для крылатки, с 0,299 до 0,386 для лахтака и с 0,386 до 0,973 для ларги (рис. 2). Тем не менее эти изменения были статистически недостоверны (F-тест,  $p > 0,05$  для всех видов). Анадырский залив также обследовали в 2013 г. в течение нескольких дней, в промежутке между 12 и 25 апреля (рис. 2), однако значительных изменений в величине  $d$  отмечено не было (F-тест,  $p > 0,05$  для всех видов).

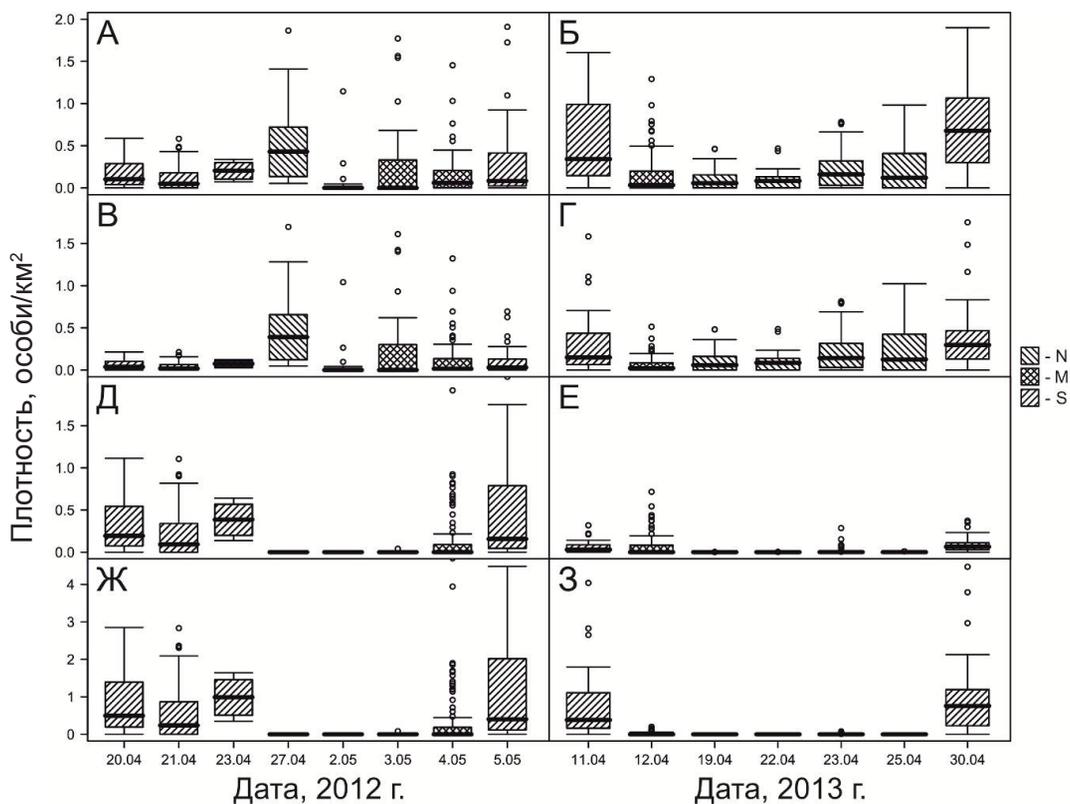


Рис. 2. Наблюдаемая плотность распределения тюленей в различные учетные дни в 2012 и 2013 гг.: А, Б — акиба; В, Г — лахтак; Д, Е — крылатка; Ж, З — ларга. Жирная линия в каждом из боксов отражает среднее значение плотности; усы — первый и третий квантиль; точки — выбросы

Fig. 2. Observed seal density on different survey days in 2012 and 2013: А, Б — ringed seal; В, Г — bearded seal; Д, Е — ribbon seal; Ж, З — spotted seal. Thick line — mean density, whiskers — the first and third quantiles, points — outliers

Наблюдаемая плотность залегания тюленей на льду существенно различалась для разных видов, а также изменялась от зоны к зоне (табл. 2). В 2012 г. наибольшей величиной  $d$  характеризовалась ларга, которую наблюдали в значительных концентрациях в южной ( $d_{max} = 12,66$  особи/км<sup>2</sup>) и центральной зонах ( $d_{max} = 9,27$  особи/км<sup>2</sup>). На следующий год в южной зоне отмечались схожие показатели  $d$  ларги, но в центральной зоне значения были почти в четыре раза ниже. Крылатка оказалась на втором месте после ларги по величине скоплений, обнаруженных в 2012 г. ( $d_{max} = 6,17$  особи/км<sup>2</sup>). В 2013 г. было отмечено значительное уменьшение ее плотности. Ни ларга, ни крылатка не были отмечены в северной зоне (за исключением одной особи крылатки в 2013 г.),  $d$  акибы в среднем составила 0,203 особи/км<sup>2</sup> в 2012 г. и 0,312 особи/км<sup>2</sup> в 2013 г. во всех трех зонах. Лахтак также был отмечен во всех зонах изучаемого региона, при этом плотность его залегания в средней зоне была минимальной по сравнению с другими

зонами в оба сезона. В целом наиболее плотные скопления тюленей наблюдались в Карагинском заливе.

Мы протестировали все возможные комбинации параметров в применении к данным по каждому из видов тюленей, сравнивая модели по величине  $AIC$  и  $PDE$ . Большинство наилучших моделей были среди наиболее комплексных и включали взаимодействия с параметром  $zone$ , показывая, что в каждой из выделенных нами зон распределение тюленей моделируется уникальным набором параметров. В связи с этим мы отдельно провели выбор и анализ наилучших моделей для каждой из трех зон и привели значения коэффициентов наклона кривых ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ) и соответствующих им  $p$ -значений (по результатам дисперсионного анализа, тест Хи-квадрат), а также формулировки гибридных прогнозных моделей в прил. 2. Параметр  $dst\_mnl$  был исключен из всех моделей для центральной зоны, поскольку преобладающая часть обследованных блоков находилась на одинаковом удалении от берега и параметр не имел описательной силы.

Концентрация льда оказывала статистически значимый положительный эффект на распределение акибы ( $\beta = 8,204$ ,  $p = 0,019$ ) и лахтака ( $\beta = 8,197$ ,  $p = 0,016$ ) в 2012 г. в северной зоне, предопределяя повышенную плотность распределения этих видов в прибрежных районах на льдах высокой сплоченности. Для ларги была отмечена отрицательная квадратичная зависимость от этого параметра в центральной зоне ( $\gamma = 4,099$ ,  $p = 0,0001$ ). Высокая степень значимости в ряде моделей была продемонстрирована для  $dst\_shl$ . Этот параметр определял рост численности акибы при удалении от шельфа в северной ( $\beta = 5,779$ ,  $p = 0,001$ ) и южной ( $\alpha = 4,008$ ,  $p = 0,001$ ) зонах, обратную зависимость для крылатки в центральной ( $\gamma = -9,035$ ,  $p = 0,0001$ ) и южной ( $\alpha = -1,863$ ,  $p = 0,0230$ ) зонах, значительный рост численности ларги при приближении к границе шельфовой зоны ( $\alpha = -11,729$ ,  $p = 0,015$ ) в южной зоне. Для лахтака была выявлена положительная корреляция с расстоянием до шельфа в Карагинском заливе ( $\alpha = 5,760$ ,  $p = 0,001$ ), но отрицательная — в Анадырском ( $\beta = -14,009$ ,  $p = 0,002$ ).

В 2013 г.  $ice\_con$  не являлась значимым параметром, описывающим распределение тюленей ни в одной из моделей. Однако была продемонстрирована сильная отрицательная зависимость  $d$  крылатки, лахтака и ларги в центральной зоне и ларги в южной зоне от этого параметра в комбинации с  $dst\_shl$ . Все коэффициенты наклона кривой для  $dst\_shl$  в преобладающем большинстве моделей значительно отличались от нуля и были статистически значимыми, свидетельствуя о сильной структурной зависимости между количеством тюленей и этим параметром. Знак коэффициента менялся в зависимости от вида и зоны (см. прил. 2). Модели для южной зоны в 2013 г. демонстрировали наибольшую степень зависимости распределения тюленей от комбинации эффектов  $dst\_mnl$  и  $dst\_shl$ , при этом все эффекты были статистически значимы. Распределения крылатки в северной зоне в 2013 г. и лахтака в средней зоне в 2012 г. описывались нулевой моделью (без параметров) из-за малого объема выборки, таким образом предсказывая равномерно низкую плотность распределения этих видов в указанных частях учетного региона. Модели для ларги в северной зоне в оба года, а также для крылатки в северной зоне в 2012 г. не были определены в связи с их отсутствием в этом районе во время обследования.

Мы применили гибридные прогнозные модели к комбинации параметров в каждом из блоков, имеющих ненулевую концентрацию льда, для оценки плотности распределения и численности каждого вида тюленей отдельно в 2012 и 2013 гг., затем картировали полученные значения плотности (рис. 3).

В 2012 г. высокая ожидаемая  $D$  акибы (0,2–0,7 особи/км<sup>2</sup>) ожидалась в Анадырском заливе, преимущественно на прибрежных льдах (табл. 2, рис. 3, А). Крупные скопления тюленей этого вида также ожидалось в Карагинском заливе. В центральной зоне количество встреченных животных было очень незначительным, что выразилось в низкой  $D$  акибы, с небольшим ростом этого показателя, отмеченным в краевых блоках. В 2013 г. максимальная  $D$  акибы (табл. 2) ожидалась в центральной части Карагинского залива ( $> 1,2$  особи/км<sup>2</sup>) и в районе Берингова пролива, что хорошо со-

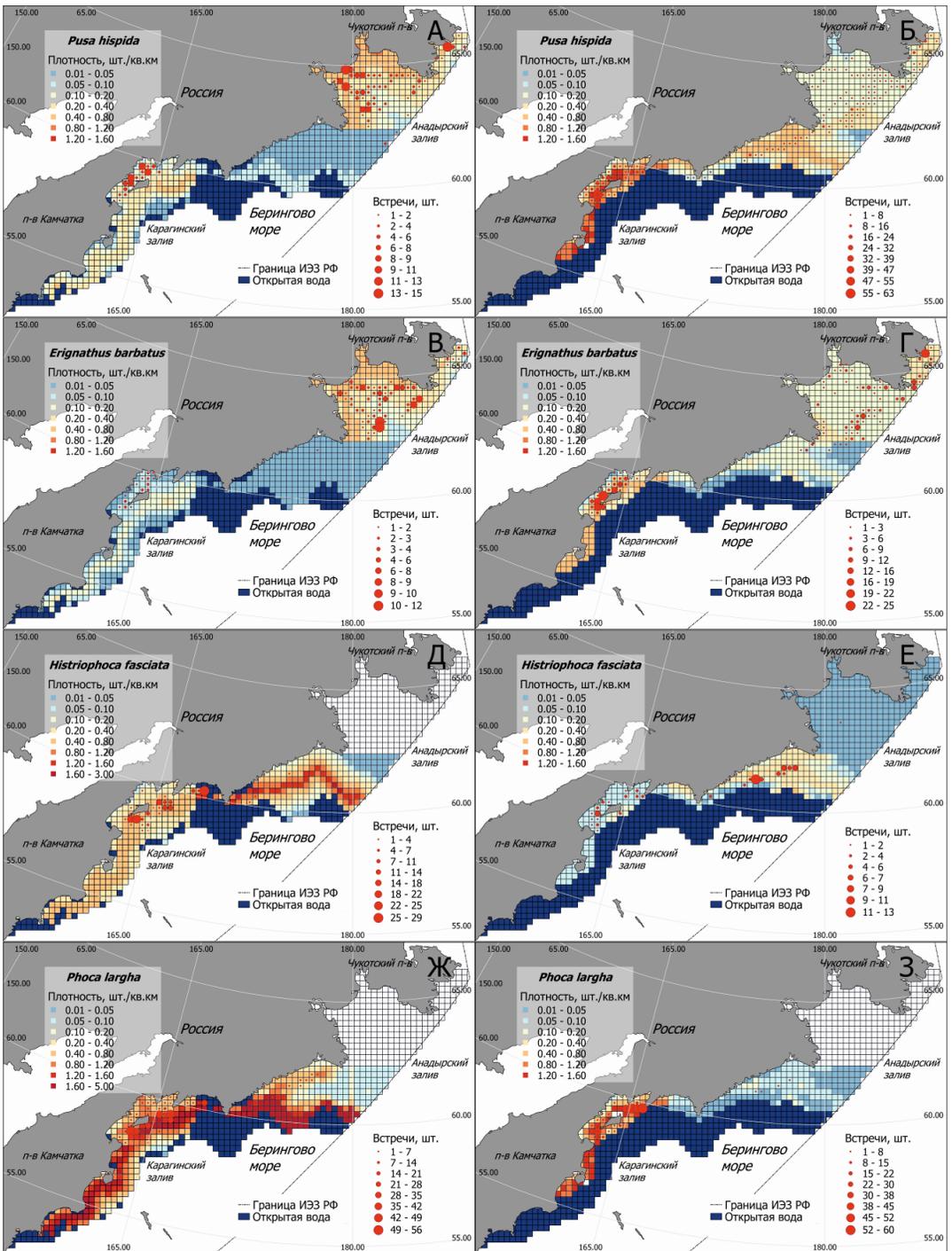


Рис. 3. Ожидаемая плотность распределения тюленей на льду в западной части Берингова моря в апреле-мае 2012 г. (карты слева) и апреле 2013 г. (карты справа): А, Б — акиба; В, Г — лахтак; Д, Е — крылатка; Ж, З — ларга. Точками обозначено количество идентифицированных особей каждого вида в пределах блока

Fig. 3. Expected density distribution of seals on ice in the western Bering Sea in April-May, 2012 (left) and April, 2013 (right): А, Б — ringed seal; В, Г — bearded seal; Д, Е — ribbon seal; Ж, З — spotted seal. Number of individuals of each species identified within a cluster is shown by dots

относится с учетными данными, свидетельствующими о высокой частоте ее встреч в указанных районах (рис. 3, Б). Кроме того, модель предсказывала высокую  $D$  акибы

к югу от Карагинского залива, вдоль восточного побережья Камчатки, где учеты не проводились, и в большей части блоков центральной зоны, а также за пределами учетного маршрута. Краевые блоки, блоки в Анадырском лимане и зал. Креста характеризовались наименьшей  $D$  для этого вида ( $< 0,05$  особи/км<sup>2</sup>).

Ожидаемые районы концентрации лахтака были в основном приурочены к Анадырскому заливу (0,183–0,642 особи/км<sup>2</sup>), где, сходно с акибой, модель определила блоки, расположенные вдоль береговой полосы, как наиболее пригодные для залегания тюленей этого вида (табл. 2, рис. 3, В). В десять раз меньшая плотность залегания ожидалась в Карагинском заливе (0,045–0,138 особи/км<sup>2</sup>). В центральной зоне на основании единичных встреч *E. barbatus* было предсказано их равномерное распределение с низкой  $D = 0,01$  особи/км<sup>2</sup>. В 2013 г. распределение лахтак по всей акватории учетного региона было наиболее равномерным по сравнению с другими видами. Максимальные скопления ожидалось в Карагинском заливе и в акватории, прилегающей к Берингову проливу. Встречи тюленей этого вида были достаточно однородно распределены по всей акватории Анадырского залива, что дало сглаженные оценки  $D$  в пределах 0,134–0,213 особи/км<sup>2</sup>. В целом распределение лахтака, как и в 2012 г., было схоже с распределением акибы, за исключением более низких  $D$  лахтака в центральной зоне, особенно в блоках с низкой концентрацией льда и находящихся на удалении от берега (рис. 3, Г).

Большое количество встреч крылаток на учетном маршруте в первый год учета выразилось в высоких показателях  $D$  крылатки в центральной и южной зонах. Максимальные значения (0,3–1,0 особи/км<sup>2</sup>) были получены для льдов средней степени сплоченности, образовавших пояс, протянувшийся вдоль западного побережья Берингова моря на расстоянии 50–100 км от берега и некотором удалении от края шельфовой зоны (табл. 2, рис. 3, Д).  $D$  крылатки в 2013 г. была наименьшей по сравнению с остальными видами (рис. 3, Е). Эта величина была повсеместно ниже 0,1 особи/км<sup>2</sup> в Карагинском заливе, тогда как в Анадырском заливе на основании единичной идентификации модель предсказала плотность, равную 0,001 особи/км<sup>2</sup>. Относительно высокая  $D$  крылатки отмечалась в центральной зоне и колебалась преимущественно в пределах 0,112–0,284 особи/км<sup>2</sup>.

Нулевая плотность залегания ларги в северной зоне, включая всю акваторию Анадырского залива, явилась следствием отсутствия там этого вида в оба периода учетов. В 2012 г. её крупные скопления были отмечены в мае в центральной зоне и на всем протяжении учетных маршрутов в Карагинском заливе (табл. 2, рис. 3, Ж).  $D$  в этих районах превышала 1 особь/км<sup>2</sup>, при этом звери тяготели к более глубоководным районам и льдам низкой степени сплоченности. В 2013 г. ситуация кардинально поменялась: в центральной зоне были отмечены единичные особи ларги, что дало в целом низкие значения  $D$  для этого региона (0,05 особи/км<sup>2</sup>). Основные скопления ларги ожидалось в Карагинском заливе и наиболее южных блоках учетного региона — в среднем  $D = 0,872$  особи/км<sup>2</sup>, что явилось максимальным показателем среди всех рассматриваемых видов на всей учетной площади в этом году, но все же было существенно ниже аналогичных значений 2012 г. (рис. 3, З).

Комбинация гибридных моделей позволила получить оценки численности исследуемых видов тюленей на льду в западной части Берингова моря в апреле-мае 2012 г. и апреле 2013 г. (табл. 2). В первый год учетов максимальная оценка численности была получена для ларги  $\mu = 97\ 080$  особей (СІ 95 %: 52 773–183 056,  $CV = 33,6$  %), в первую очередь за счет центральной зоны региона. Численность крылатки составила  $\mu = 62\ 285$  особей (СІ 95 %: 34 484–116 121,  $CV = 32,8$  %), максимум животных также ожидался в центральной зоне. Численность акибы на льду была оценена в  $\mu = 53\ 024$  особи (СІ 95 %: 29 006–101 793,  $CV = 34,3$  %), за ней следовал лахтак с оценкой численности в  $\mu = 41\ 888$  особей (СІ 95 %: 22 991–79 959,  $CV = 34,0$  %).

Учет 2013 г. дал схожие показатели численности акибы  $\mu = 61\ 237$  особей (СІ 95 %: 40 634–94 323,  $CV = 21,9$  %) и лахтака  $\mu = 35\ 373$  особи (СІ 95 %: 25 837–49 654,  $CV = 16,8$  %), при этом тюлени обоих видов были равномерно рассредоточены по зонам

учетного региона и учетной акватории в целом, что позволило получить более точные оценки по сравнению с 2012 г. Расчетная численность крылатки составила всего  $\mu = 14\ 535$  особей (CI 95 %: 9 429–22 872, CV = 23,1 %), что в четыре раза меньше оценки 2012 г. Схожим образом оценка численности ларги в 2013 г. оказалась в 4,3 раза меньше и составила  $\mu = 22\ 424$  особи (CI 95 %: 13 185–39 207, CV = 29,0 %).

Среди различных методов учета численности млекопитающих метод линейных трансект является одним из наиболее широко применяемых и точных для популяций, занимающих обширные и труднодоступные для визуальных наблюдений пространства воды или суши (Anderson et al., 2001; Buckland et al., 2001; Skalski et al., 2005).

В ходе работ линейные трансекты были проложены случайно по отношению к распределению тюленей, в основном зигзагообразно, по возможности перпендикулярно к градиентам факторов среды, что позволяло равномерно охватить различные места обитания тюленей и с достаточной точностью оценить дисперсию выборки для оценки численности. Длина и положение трансект частично определялись ограничениями, накладываемыми временным, финансовым, погодным и другими лимитирующими факторами. Объективно наименее удачное расположение трансект в оба года было в центральной зоне в силу ее протяженности с юго-запада на северо-восток и удаленного расположения аэропортов. Модели распределения тюленей в этой зоне имели наименьшую описательную силу. Общая площадь охвата учетами льдов в западной части Берингова моря, составившая в среднем 1,5 %, изначально представлялась достаточной и на практике позволила получить оценки численности всех четырех исследуемых видов с точностью (100 % — CV) от 64,6 до 83,2 %.

Разделение учетного региона на северную, центральную и южную зоны было изначально обусловлено очевидными различиями в наблюдаемой плотности залегания и видовом составе тюленей. Статистическая значимость фактора *zone* во всех без исключения моделях подтвердила наши предположения о неравномерности использования акватории западной части Берингова моря разными видами тюленей в период исследований.

Во время работ ледовый покров в Беринговом море был достаточно стабилен, и мы полагаем, что результаты анализа учетных данных хорошо отражают распределение и численность тюленей на льдах весной 2012 и 2013 гг. Потенциальный эффект изменения площади ледовых полей от момента начала работ и до окончания учетов на наблюдаемую плотность залегания тюленей был исследован статистически и учтен в процессе моделирования посредством использования данных о ледовых условиях на конкретный учетный месяц.

Высокие значения плотности залегания лахтака, акибы, ларги и крылатки в Карагинском заливе отмечались исследователями и ранее (Бурканов и др., 1988; Кузин, 2003). Предельные значения оценок численности тюленей там сильно колебались от года к году и от учета к учету (Бурканов и др., 1988). Учет 2012–2013 гг. подтвердил большое значение этого района, прежде всего для размножения тюленей. Все, кроме одного, щенки, идентифицированные по фотоматериалам ( $n = 73$  в 2012 г. и  $n = 100$  в 2013 г.), были обнаружены именно в Карагинском заливе. Стабильно многочисленная популяция ларги сосредоточена в этом небольшом районе, который по площади составляет всего 19,6 % всего изучаемого региона. В 2013 г. распределение акибы и лахтака характеризовалось в Карагинском заливе наибольшими величинами плотности залегания на льду по сравнению с другими районами западной части Берингова моря. Можно предположить, что относительно мелководный, частично изолированный от открытого моря Карагинский залив имеет богатую пищевую базу, а также стабильный ледовый покров, важный с точки зрения успешного воспроизводства популяций пагофильных тюленей.

По нашим данным, оценки численности акибы и лахтака на льду стабильны между учетными годами, а животные в оба года были достаточно равномерно распределены между южной, центральной и северной частями российской акватории Берингова моря. Численность крылатки в 2012 г. оценивалась в 80 тыс. особей, однако в 2013 г. мы обнаружили здесь на льдах всего лишь около 15 тыс. особей. Такие значительные флуктуации численности могут быть связаны с перераспределением крылатки в пределах ареала, о

возможности чего свидетельствуют данные спутникового слежения за этими тюленями (Бенгтсон и др., 2006). Следует также отметить, что практически полное отсутствие крылатки в Анадырском заливе во время наших работ противоречит наблюдениям в середине прошлого века, когда этот вид достигал 45 % численности всех тюленей на юге и 90 % — на севере залива\*. Мы также отметили четырехкратные колебания и в оценке численности ларги в смежные годы. Так же как и в случае с крылаткой, во время съемки мы не обнаружили ларгу в Анадырском заливе, хотя ранее там велся активный промысел весной на льду и исследователи выделяли обособленную анадырскую популяцию\*\*. Она до сих пор здесь многочисленна в летний период года. При идентификации видов тюленей по результатам анализа авиафотоснимков ларга является одним из наиболее сложных видов с высокой (36 %) вероятностью ошибки идентификации (Труханова и др., 2016). Этот факт наряду с активными сезонными миграциями может быть причиной того, что ларга не была обнаружена в северной части обследованного региона во время наших работ. К погрешностям в оценках численности крылатки и ларги может также приводить специфика их распределения — склонность к формированию крупных, локальных скоплений на плавучих льдах, которые в силу случайности расположения трансект могут попасть или не попасть в полосу учета. Подтверждением этого может служить наблюдение такого скопления тюленей во время наших работ. Так, 5 мая 2012 г. в Олюторском заливе на границе южной и центральной зон (блоки 903, 904, 905 и 990, 992, 993; см. прил. 1) при пролете самолета над разреженным ледовым полем (*ice con* < 10 %) за пределами учетной полосы были замечены большие скопления тюленей (см. рис. 1, А). Для их обследования были заложены 4 параллельных галса с расстоянием между ними 3 км и общей протяженностью около 80 км. Всего на этом участке разреженного льда на ИК-изображениях было зафиксировано 5 555 тюленей, из которых по результатам визуальной фотоидентификации 68,3 % составляла ларга, 31,6 — крылатка и менее 0,1 % — лахтак, а также неидентифицированные особи. Таким образом, животные были зафиксированы авиасъемочной аппаратурой, но эти данные пришлось исключить из расчетов и моделирования, поскольку они были собраны вне запланированной системы учетных трансект и поэтому не отвечали требованию случайности выборки. Этот пример показывает, что на отдельно находящихся разреженных льдах могут находиться крупные скопления ларги и крылатки, которые могут быть пропущены при аэросъемке.

Полученные оценки численности отражают количество тюленей, находящихся на льду, без учета животных, которые на момент пролета самолета находились в воде. Доля залегающих на льду животных сильно зависит от вида, района, времени суток, погодных условий и других факторов (Kelly, 2005; Conn et al., 2014), а также фактора беспокойства (Грачев и др., 2014). По данным спутникового мечения максимальная вероятность залегания тюленей на льду в дневные часы в щенный и линный периоды составляет 53 % у ларги, 65 — у крылатки, 68 — у лахтака (Conn et al., 2014) и 68 % — у акибы (Bengtson et al., 2005). С учетом этих сведений численность популяций исследуемых видов тюленей в западной части Берингова моря может достигать: ларги — 183 000 особей, крылатки — 95 000, акибы — 89 700 и лахтака — 58 800 особей.

Изменения погодных и океанографических условий могут оказывать сильное влияние на поведенческие и миграционные процессы в популяциях тюленей, тем самым сказываясь на доступности животных для регистрации авиасъемочной аппаратурой на льду. Плохая изученность связи поведения тюленей с изменениями условий среды (в первую очередь — льда) во времени затрудняет получение объективных оценок размера популяции. Очевидно, что четырехкратная разница в расчетной численности ларги и крылатки на льду в смежные годы не отражает реальные флюктуации в размерах их

---

\* Кагановский А., Панин К., Шустов А. Распределение и некоторые черты биологии размножения крылатки (*Histiophoca fasciata*) в Беринговом море : отчет о НИР / Мо ТИНРО. № 8276. Владивосток, 1962. 22 с.

\*\* Федосеев Г.А., Шустов А.П., Гольцев В. Половое созревание и воспроизводительная способность различных популяций ларги : отчет о НИР / Мо ТИНРО. № 13202; ГР № 71070016. Владивосток, 1972. 27 с.

популяций. В связи с этим возникает объективная необходимость в проведении серии телеметрических исследований поведения и миграций этих видов в ледовый период для получения точных инструментальных данных для расчета поправочных коэффициентов на количество животных, находящихся в воде, что в конечном итоге позволит получить более точные оценки численности их популяций.

Более ранние авиационные учеты тюленей в Беринговом море (Шустов, 1969; Федосеев, 2005) основывались исключительно на визуальных наблюдениях с самолета, в ходе которых наблюдатели осматривали поверхность льда в пределах фиксированной полосы сбоку (или с обеих сторон) самолета, подсчитывали и одновременно определяли вид встреченных на льду тюленей и записывали эти данные и характеристики ледового покрова в маршрутный лист. Учет 2012–2013 гг. является первым исследованием, в результате которого были получены обширные инструментальные данные для расчета численности и моделирования распределения пагофильных тюленей на льдах в российской части Берингова моря, эти данные приведены в прил. 1.

### Заключение

Использованный в работе инструментальный метод съемки в ИК- и видимом диапазоне позволяет документально регистрировать количество и идентифицировать вид тюленей на льду.

Впервые во время учета тюленей в Беринговом море был получен большой объем инструментальных данных: фотоснимков, ИК-изображений, визуальных наблюдений, навигационных параметров и информации о характере льда, создан архив данных по встреченным на льду тюленям с их фотографиями и координатно-временной привязкой, который можно использовать в будущем для планирования съемок и сравнения их результатов. Собранные сведения использованы при построении моделей расчета численности и плотности распределения тюленей на поверхности льда в западной части Берингова моря в 2012–2013 гг. Для оценки фактической численности популяции тюленей в изучаемом районе необходимо иметь поправочные коэффициенты на количество животных, находящихся в воде, которые не фиксируются приборами с самолета. Такие коэффициенты могут быть получены только в результате специальных исследований с применением методов телеметрии.

В ходе исследования было подтверждено важное значение Карагинского залива для размножения тюленей. В этом заливе наблюдалась самая высокая плотность распределения ледовых форм тюленей и, учитывая относительно небольшие размеры, предлагается сделать его полигоном, на котором можно отработать методики авиаучета.

Примененный инструментальный метод позволяет проводить авиаучеты тюленей с беспилотных летательных аппаратов, и это позволит в будущем существенно уменьшить стоимость экспедиционных работ. В данное время идет работа по установке нашего авиасъемочного комплекса на беспилотный летательный аппарат с максимальной дальностью полета около 1000 км. Авиасъемка в российской части Берингова моря в 2012–2013 гг. выполнялась одновременно со съемкой в американской части, проводившейся американскими специалистами в эти же сроки по единой и согласованной методике, что позволит по завершении обработки всех данных получить общую оценку численности популяций ледовых форм тюленей на всей акватории Берингова моря.

*Авиаучет выполнен успешно во многом благодаря усилиям различных служб авиакомпании «Восток» и командира эскадрильи И.А. Козлитина. Огромную благодарность выражаем специалистам лаборатории по морским млекопитающим Аляскинского рыбохозяйственного центра НОАА, в первую очередь д-рам Джону Бенгтсону и Питеру Бовенгу за поддержку и координацию работ с американскими коллегами. Авторы признательны Б.А. Соловьеву, который оказал большую помощь в сборе данных, Н.А. Черноок и В.В. Асютенко за работу по обработке и дешифрированию ИК- и фотоматериалов. Большой вклад в осуществление проекта внес «Совет по морским млекопитающим» в лице И.В. Смеловой и С.И. Смирновой.*

## Список литературы

- Бенгтсон Дж., Камерон М., Бовенг П. и др.** Выбор местообитаний и сезонные перемещения крылатки (*Histriophoca fasciata*) // Морские млекопитающие Голарктики : сб. науч. тр. по мат-лам 4-й междунар. конф. — СПб., 2006. — С. 75–76.
- Бурканов В.Н., Семенов А.Р., Машагин С.А., Китаев Е.В.** Материалы по численности тюленей ледовых форм в Карагинском заливе Берингова моря в 1986–1987 гг. // НИР по морским млекопитающим в северной части Тихого океана в 1986–1987 гг. — М. : ВНИРО, 1988. — С. 71–80.
- Грачев А.И., Черноок В.И., Васильев А.Н. и др.** Предварительные результаты исследований реакции тюленей (Phocidae) при проведении авиаучетных работ в Беринговом и Охотском морях, в апреле-мае 2013 г. // Морские млекопитающие Голарктики : сб. науч. тр. по мат-лам 8-й междунар. конф. — СПб., 2014. — С. 157–160.
- Кузин А.Е.** Морские млекопитающие Берингова моря (ретроспективный анализ промысла и численности) // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 134. — С. 46–100.
- Труханова И.С., Грачев А.И., Черноок В.И. и др.** Оценка погрешности идентификации ледовых форм тюленей при выполнении многовидовых авиаучетов тюленей // Тр. конф. «Морские млекопитающие Голарктики» : тез. докл. 9-й междунар. конф. — Астрахань, 2016. — С. 85.
- Федосеев Г.А.** Популяционная биология ледовых форм тюленей и их роль в экосистеме Северной Пацифики : моногр. — Магадан : МагаданНИРО, 2005. — 180 с.
- Черноок В.И., Васильев А.Н., Мелентьев В.В., Глазов Д.М.** Опыт использования самолета-лаборатории Л-410 для инструментальных авиаучетов морских млекопитающих // Морские млекопитающие Голарктики : сб. науч. тр. по мат-лам 5-й междунар. конф. — Одесса, 2008. — С. 132–137.
- Черноок В.И., Грачев А.И., Васильев А.Н. и др.** Результаты инструментального авиаучета ледовых форм тюленей на льдах Охотского моря в мае 2013 г. // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 179. — С. 158–176.
- Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Шафиков И.Н. и др.** Автоматизированный подсчет гренландских тюленей на авиаснимках // Морские млекопитающие Голарктики : сб. науч. тр. по мат-лам 1-й междунар. конф. — Архангельск, 2000. — С. 418–422.
- Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Яковенко М.Я.** Мультиспектральная авиасъемка залежек тюленей : моногр. — Мурманск : ПИНРО, 1999. — 73 с.
- Шустов А.П.** Опыт количественного аэровизуального учета тюленей в северо-западной части Берингова моря // Морские млекопитающие. — М. : Наука, 1969. — С. 111–126.
- Anderson D.R., Burnham K.P., Lubow B.C. et al.** Field trials of line transect methods applied to estimation of desert tortoise abundance // J. Wildl. Manage. — 2001. — Vol. 65, Iss. 3. — P. 583–597. DOI: 10.2307/3803111.
- Bengtson J.L., Hiruki-Raring L.M., Simpkins M.A., Boveng P.L.** Ringed and bearded seal densities in the eastern Chukchi Sea, 1999–2000 // Polar Biol. — 2005. — Vol. 28, Iss. 11. — P. 833–845. DOI: 10.1007/s00300-005-0009-1.
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P. et al.** Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations. — Oxford : Oxford Univ. Press, 2001. — 448 p.
- Conn P.B., Ver Hoef J.M., McClintock B.T. et al.** Estimating multispecies abundance using automated detection systems: ice-associated seals in the Bering Sea // Methods Ecol. Evol. — 2014. — Vol. 5, Iss. 12. — P. 1280–1293. DOI: 10.1111/2041-210X.12127.
- Kelly B.P.** Correction factor for ringed seal surveys in northern Alaska : Final Report to Coastal Marine Institute. — Juneau, AK : Univ. of Alaska Southeast, 2005. — 37 p.
- Oehlert G.W.** A note on the delta method // The American Statistician. — 1992. — Vol. 46, Iss. 1. — P. 27–29. DOI: 10.1080/00031305.1992.10475842.
- Skalski J.R., Ryding K.E., Millsaugh J.J.** Wildlife demography: analysis of sex, age and count data. — Boston : Elsevier Academic Press, 2005. — 636 p.
- Thomas L., Buckland S.T., Rexstad E.A. et al.** Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size // J. Appl. Ecol. — 2010. — Vol. 47, Iss. 1. — P. 5–14. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x.
- Trukhanova I.S., Grachev A.I., Somov A.G. et al.** The commercial harvest of ice-associated seals in the Sea of Okhotsk, 1972–1994 // PLoS One. — 2017. — Vol. 12, Iss. 8. — P. e0182725. DOI: 10.1371/journal.pone.0182725.
- Venables W.N., Ripley B.D.** Modern Applied Statistics with S. — N.Y. : Springer, 2002. — 495 p.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N. et al.** Mixed effects models and extensions in ecology with R. — Springer Verlag, 2009. — 579 p.

Поступила в редакцию 26.10.17 г.

Принята в печать 26.02.18 г.