



Промысловые виды и их биология

Распределение и численность каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия в феврале – марте 2023 г.

Сидоров Л.К.¹, Бизиков В.А.¹, Рожнов В.В.³, Шипулин С.В.², Кузнецов В.В.², Белокобыльский И.Ф.¹, Мягкий Н.А.², Соловьева М.А.³, Глазов Д.М.³, Назаренко Е.А.³

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

² Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), ул. Савушкина, 1, г. Астрахань, 414056

³ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН («ИПЭЭ РАН»), Ленинский пр-т, 33, Москва, 119071

E-мэйл: sidorov@vniro.ru

Цель работы: оценка современной численности популяции каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия с использованием инструментальных методов авиасъёмки в инфракрасном и оптическом диапазонах с применением пилотируемого самолёта и БПЛА.

Основным методом исследования был мультиспектральный авиаучёт, суть которого заключается в съёмке залёжек тюленей синхронно в инфракрасном и оптическом диапазонах. В зимний период на ледовом субстрате Северного Каспия для размножения, лактации и спаривания собираются 90% всех половозрелых особей и проводят значительную часть времени вне воды, что облегчает их обнаружение и подсчёт. Авиаучёт выполнялся параллельно с двух видов воздушных судов – пилотируемого самолёта-амфибии Ла-8 и БПЛА, оборудованных камерами высокого разрешения в оптическом и инфракрасном диапазонах, обеспечивающими надёжную регистрацию тюленей на льду.

Новизна: отмечено преимущество совместного использования пилотируемого самолёта и БПЛА, оборудованных специальной фото- и инфракрасной аппаратурой.

Результат: полёты выполнены с 20 февраля по 5 марта 2023 г. в дневное время в условиях хорошей видимости на высоте от 200 до 300 м. Общая расчётная численность популяции каспийского тюленя в российской части Северного Каспия в зимний период 2023 г. составила 19704 особи, в том числе 4062 щенка. Животные располагались в юго-восточной части ледового покрова у линии воздушного разграничения между Российской Федерацией и Республикой Казахстан на кромке льда. Зафиксировано увеличение численности тюленей за счёт мигрирующих особей со стороны Казахстана. Размножение каспийского тюленя в зиму 2022/2023 гг. проходило в удовлетворительном режиме. В ходе облёта было установлено отсутствие свежих выбросов тюленей на побережье Дагестана. Отдельные старые туши, частично растерзанные, зарегистрированы только на берегах Аграханского п-ова.

Практическая значимость: полученные данные необходимы для оценки общей численности популяции тюленя в Каспийском море.

Ключевые слова: Каспийское море, авиаучёт, БПЛА, каспийский тюлень, ледовые лежбища, фотосъёмка, инфракрасная съёмка, популяция, численность, распределение.

Abundance and distribution of the Caspian seals on ice in the Russian part of the Northern Caspian in February – March 2023

Lev K. Sidorov¹, Vyacheslav A. Bizikov¹, Vyacheslav V. Rozhnov³, Sergey V. Shipulin², Vasily V. Kuznetsov², Ivan F. Belokobylsky¹, Nikita A. Myagkiy², Maria A. Solovyeva³, Dmitriy M. Glazov³, Yevgeniy A. Nazarenko³

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

² Volga-Caspian Branch of «VNIRO» («CaspNIRKH»), 1, Savuskin st., Astrakhan, 414056, Russia

³ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS («SIEE RAS»), 33, Leninskii prosp., Moscow, 119071, Russia

The aim of this research was to assess the current abundance of the Caspian seal population on ice in the Russian part of the North Caspian using instrumental methods of aerial survey in the infrared and optical ranges using a manned aircraft and UAV.

The main method of the research was a multispectral aerial survey, the essence of which is to survey seal haulouts synchronously in the infrared and optical ranges. In winter, 90% of all mature individuals gather on the ice substrate of the Northern Caspian for reproduction, lactation and mating and spend a significant part of their time outside the water, which greatly facilitates their detection and counting. The aerial survey was carried out in parallel from two types of aircraft – the La-8 manned amphibious aircraft and unmanned aerial vehicles equipped with high-resolution cameras in optical and infrared modes, which ensure reliable registration of seals on ice.

Novelty: the advantage of joint use of a manned aircraft and a UAV equipped with special photo and infrared equipment is noted.

As a result of the research, the flights were carried out from February 20 to March 5, 2023 in the daytime in good visibility conditions at an altitude of 200 to 300 m. amounted to 19704 individuals, including 4062 puppies. The animals were located in the southeastern part of the ice cover near the air demarcation line between the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan on the ice edge. An increase in the number of seals was recorded due to migrating individuals from Kazakhstan. Breeding of the Caspian seal in winter 2022/2023 proceeded in a satisfactory manner. During the flight, it was found that there were no fresh releases of seals on the coast of Dagestan. Separate old carcasses, partially torn to pieces, were registered only on the shores of the Agrakhan Peninsula.

Practical value: the obtained data are needed to assess the current abundance of the Caspian seal population in the Caspian Sea.

Keywords: Caspian seal *Pusa caspica*, aerial survey, UAV, ice whelping rookeries, photography, infrared photography, population, abundance, distribution.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийский тюлень (*Pusa caspica* Gmelin, 1788) эндемик и единственный представитель морских млекопитающих в фауне Каспийского моря [Атлас..., 1980]. Ареал его распространения охватывает всю акваторию Каспийского моря. Этот вид в течение длительного времени был предметом промысла, в особенности, в периоды ледостава на Северном Каспии [Бадамшин, 1960]. Размер популяции в начале XX века оценивался около 0,7–1 млн особей [Бадамшин, 1966], но к 1980-м гг. она сократилась до 450 тыс. особей [Крылов, 1976]. В начале 2000 гг. (2000–2004 гг.) популяция тюленя не превышала 375 тыс. особей, в настоящее время общая численность популяции тюленя в Каспийском море оценивается на уровне около 300 тыс. особей [Бизиков и др., 2021].

Основными угрозами для популяции тюленя в Каспийском море считаются изменение климата, загрязнение моря и изменение среды обитания, вызванные хозяйственной деятельностью человека. В марте 2020 года этот вид был внесён в Красную книгу России как уязвимый вид. Определение уязвимости вида в современный период очень точно характеризует его состояние. Поэтому необходим постоянный мониторинг популяции каспийского тюленя при помощи авиаучёта в многолетнем аспекте.

В Российской Федерации методы и техника авиаучётов морских млекопитающих в течение последних 20 лет развивались быстрыми темпами. Опыт использования инструментально-визуального авиаучёта тюленей в Белом, Охотском, Беринговом и других морях создал хорошую методическую и техническую основу для проведения подобных работ в Каспийском море для оценки численности каспийского тюленя [Черноок и др., 1999, 2014, 2015, 2018]. Наиболее эффективными для Каспия оказались мультиспектральные авиасъёмки в оптическом и инфракрасном

диапазонах: большой тепловой контраст животных на фоне холодного ледяного фона (свыше 15 °С) позволяет надёжно обнаруживать их на инфракрасных (ИК) снимках [Бизиков и др., 2021 а]. Высокая контрастность ИК-фотографий облегчает применение технологий автоматизированного распознавания и подсчёта животных; инструментальный характер авиасъёмки даёт возможность документировать все встречи животных, идентифицировать не только взрослых особей, но и новорождённых бельков, имеющих маскирующую окраску и практически неразличимых на фоне льда на обычных фотографиях [Бизиков и др., 2021 б].

В зимне-весенний период на ледовых полях в Северном Каспии для размножения, лактации и спаривания собираются более 90% всей популяции каспийского тюленя. В этот период тюлени проводят значительную часть времени вне воды, образуя скопления (залёжки) на ледовых полях, что существенно облегчает их обнаружение и подсчёт. Таким образом, инструментальные авиаучёты в зимний период являются наиболее эффективным методом оценки численности каспийского тюленя и других ледовых форм тюленей сем. Phocidae [Бизиков и др., 2021 а].

Методики авиаучётов каспийского тюленя, применявшиеся в XX в. (1973–1989 гг.), предусматривали визуальный учёт только взрослых особей, контрастно выделявшихся на фоне льда. При визуальном методе наблюдатели осматривали льды с самолёта и при обнаружении животных «на глазок» оценивали их численность. Проведённое впоследствии сравнение полученных таким образом оценок с данными параллельного инструментального авиаучёта показало, что при визуальных наблюдениях недоучёт взрослых особей и приплода составляет от 58 до 85% [Черноок и др., 2015]. Кроме того, поскольку в классическом визуальном учёте данными являются записи и неформа-

лизованные наблюдения участников, то полная фото- и видеорегистрация ледовой и водной поверхностей с животными на ней даёт большие преимущества в части сохранения материала, обработки его различными методами и верификации данных.

Инструментальный авиаучёт впервые был применён для оценки численности и распределения щенных залёжек тюленей на льдах Северного Каспия в 2012 г. [Кузнецов и др., 2013]. Начиная с 2020 г. специалисты ФГБНУ «ВНИРО» и ТОО «Казахстанское Агентство Прикладной Экологии» в рамках многолетней программы российско-казахстанского научного сотрудничества выполняют ежегодные мультиспектральные авиационные учёты каспийского тюленя в оптическом и инфракрасном диапазонах с применением пилотируемого самолёта на льдах в казахстанской зоне Северного Каспия [Бизиков и др., 2021 а].

В последние годы быстрое развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) включило в повестку дня вопрос о возможности их применения для авиаучётов морских млекопитающих и, в частности, каспийского тюленя. Возможность БПЛА охватывать за один полет расстояния более 1000 км дало возможность проводить авиаучёты на больших площадях. Кроме того, низкий уровень шума БПЛА по сравнению с ПЛА снижает беспокойство, тревожность зверя, а значит повышает точность исследования. Проведённые экспериментальные авиаучётные работы ФГБНУ «ВНИРО» на Байкале в мае 2019 г. с применением новых методов и технических средств [Бизиков и др., 2019] показали успешность этого метода и позволили провести уже полномасштабный авиаучёт ледовых залёжек байкальской нерпы на льдах оз. Байкал в 2021 г. [Бизиков и др., 2022].

Целью настоящей работы является оценка современной численности популяции каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия с использованием современных инструментальных методов авиасъёмки в инфракрасном и оптическом диапазонах с применением пилотируемого самолёта и БПЛА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Каспийское море — частично замерзающее. В зимний период его северная часть покрывается льдом, распространение и сплочённость которого существенно различаются год от года в зависимости от характера зимы. Ежегодно замерзает только северная часть Каспия. В суровые зимы, когда дуют частые холодные северо-восточные ветры, кромка льда на востоке опускается до мыса Урдюк (п-ов Мангышлак), а на западе — до Махачкалы. В такие зимы подвижка льда

происходит, как правило, только в западной части северного Каспия, а в восточной части, на Гурьевской бороздине, льды в суровые зимы стоят неподвижно [Бизиков и др., 2021 а]. Поскольку течения в районах традиционных ценных залёжек каспийского тюленя очень слабые, основной причиной подвижки льда является ветровое воздействие. Ледовые явления в северной части Каспийского моря контролируются, с одной стороны, зимним антициклоном, определяющим понижение температуры воздуха в направлении запад-восток, с другой стороны — мощным волжским стоком, препятствующим льдообразованию на западе. Важным фактором льдообразования является также исключительное мелководье этого района моря, определяющее его, при наличии к тому условий, быстрое выхолаживание. Кроме различных форм «плоского льда», характерными формами льда, образующегося под влиянием ветровых воздействий, несмотря на мелководье, являются стамухи высотой до 12 м.

Каспийский тюлень образует зимние залёжки на ледяных полях сплочённостью свыше 7 баллов по 10-бальной шкале [Морской энциклопедический ..., 1987]. Самки выбирают для щенки более старые прочные льды, стараясь проникнуть вглубь ледового массива, используя полыньи и трещины. Зрелые самцы-косачи концентрируются ближе к краям ледовых полей. В целом, особенности распределения и характера ледового покрова в конкретную зиму обуславливают формирование ценных залёжек каспийского тюленя и, соответственно, определяют план проведения авиаучётных работ [Бизиков и др., 2021 а].

В зимне-весенний период 2023 г. авиаучёты каспийского тюленя в российской части Каспийского моря выполнялись на оборудованных летательных аппаратах: пилотируемом (ПЛА) — Ла-8 (рис. 1 А) и беспилотном (БПЛА) ДИАМ-20 (рис. 1 Б).

Планирование маршрутов полётов выполнялось с учётом многолетних данных о местоположении залёжек тюленей, а также информации, полученной в ходе рекогносцировочных полётов. Процент самок, находящихся на льду, в зависимости от погоды и других факторов может колебаться в диапазоне от 20 до 80% [Попов, 1966]. В ходе выполненных исследований установлено, что большее количество самок на льдах наблюдается в более тёплую погоду, в штиль или при слабом ветре [Бизиков и др., 2021 а]. Поэтому авиаучёты проводили в дни с тёплой и безветренной погодой, при хорошей видимости и при отсутствии тумана и осадков. Перед началом авиаучёта, с первых чисел февраля, ежедневно анализировалась доступная информация о ледовых условиях в Каспийском море по данным пассивного СВЧ-зондирования спут-

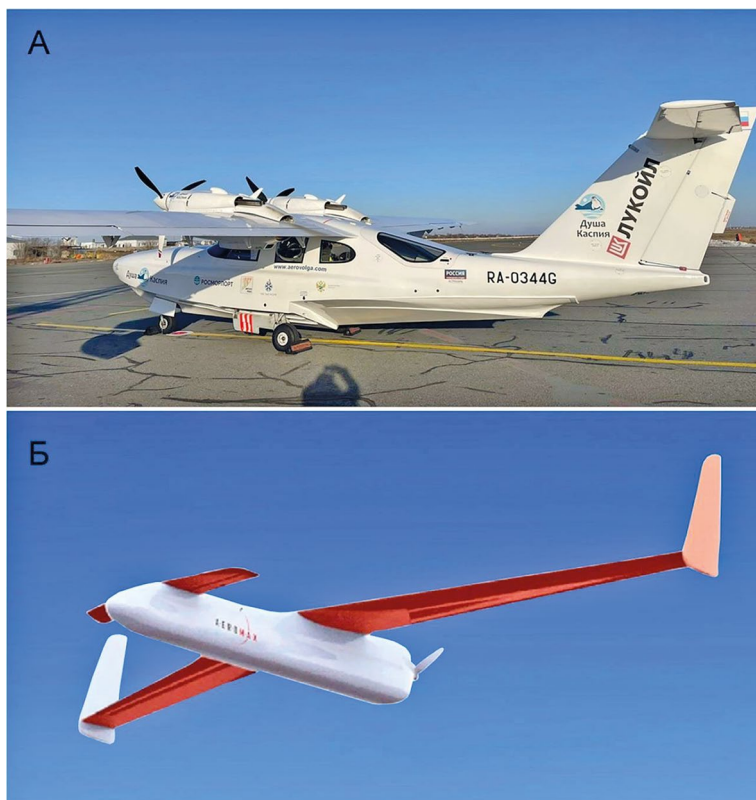


Рис. 1. Летательные аппараты, использованные в авиационном учёте каспийского тюленя: А — самолёт-амфибия Ла-8; Б — беспилотный летательный аппарат (БПЛА) «ДИАМ 20»

Fig. 1. Aircraft used in the aviation survey of the Caspian seal: А — La-8 amphibious aircraft; Б — unmanned aerial vehicle (UAV) «DIAM 20»

никовой системы SSMI/DMSP, спутников RADARSAT и Aqua/Terra (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>). На основе этой информации строился прогноз формирования ледовых залежек тюленя и план полётов.

В третьей декаде февраля 2023 г. сформировался лёд в российской части Северного Каспия, благоприятный для залежек тюленей. Были составлены маршруты БПЛА и ПЛА так, чтобы полностью охватить весь ледовый массив в российской части Северного Каспия (рис. 2).

С использованием ПЛА было проведено 5 учётных полётов: 25.02.2023, 26.02.2023, 27.02.2023, 02.03.2023, 03.03.2023. Из них 25.02.2023 тюленей на фотографиях не было. По окончании авиаучёта ледовых скоплений тюленей самолёт-амфибия Ла-8 выполнил облёт береговой полосы Республики Дагестан от о. Чечень до устья р. Самур с целью подсчёта мёртвых тюленей.

С использованием БПЛА ДИАМ 20 за весь период исследований с 20 февраля по 5 марта 2023 г. было выполнено в общей сложности 10 полётов в северной российской части Каспийского моря и при большой площади льдов трансектами удалось «закрыть» практически всю площадь льдов и обследовать все воз-

можные места нахождения залежек тюленей. В конце исследований 5 марта 2023 г. для анализа динамики миграции особей был выполнен полёт, сетка галсов которого была проложена над ранее обнаруженным скоплением тюленей.

Основная задача авиасъёмочных работ в период щенки заключалась в одновременном определении численности щенков и маточного поголовья. Для реализации поставленной задачи была применена методика мультиспектрального авиаучёта, которая заключается в съёмке залежек тюленей синхронно в инфракрасной и видимой областях спектра. Фотоснимки позволяют идентифицировать объекты авиасъёмки и документально подтверждают достоверность распознавания на ИК-изображениях теплокровных морских млекопитающих на льдах.

В ходе облётов учётные галсы располагались параллельно друг другу. Расстояние между соседними галсами составляло от 1 до 2 км для БПЛА и от 3 до 5 км для ПЛА. Авиасъёмка выполнялась на фиксированной высоте полёта для БПЛА 250 м и для ПЛА — 200–300 м, чтобы обеспечить высокое разрешение тепловизионных изображений (не хуже 0,3 м) и фотоснимков (не хуже 0,03 м), а также миними-

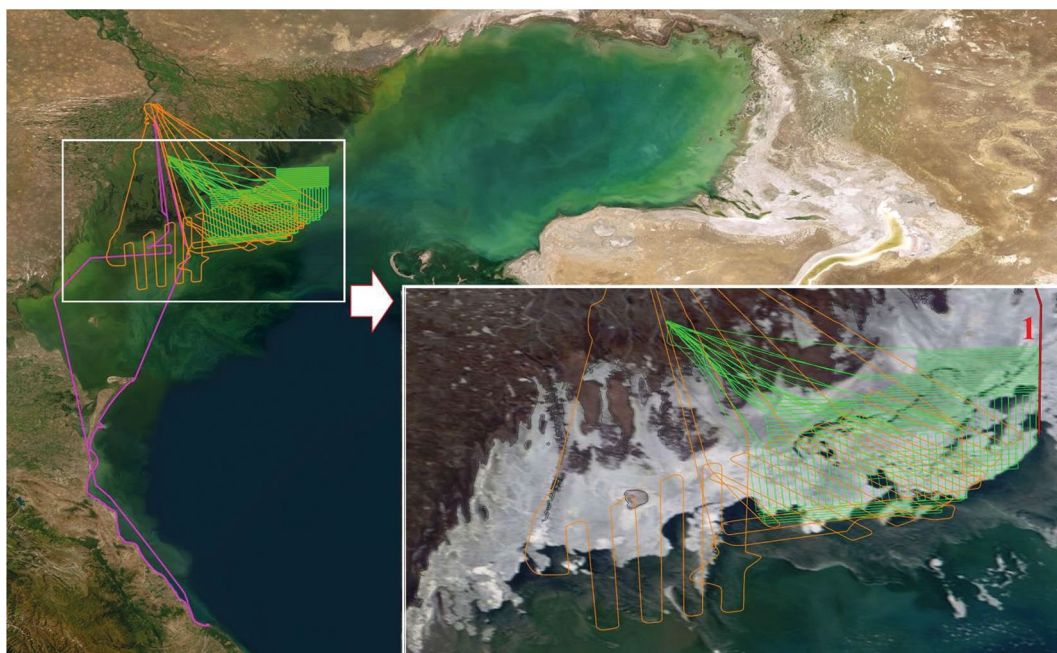


Рис. 2. Карта-схема района выполнения маршрутов авиаучёта каспийского тюленя в Северном Каспии с ледовой обстановкой в третьей декаде февраля 2023 г. (1 – граница воздушного пространства, зелёные треки – БПЛА, оранжевые и фиолетовые треки – ПЛА)

Fig. 2. Schematic map of the area of implementation of the Caspian seal aerial survey routes in the Northern Caspian with ice conditions in the third decade of February 2023 (1 – airspace boundary, green tracks – UAVs, orange and purple tracks – aircraft)

зирать тревожащий эффект для тюленей от шума летящих БПЛА и ПЛА. Работы включали в себя фотографирование подстилающей поверхности с интервалом в 3–5 с при помощи комплекса мониторинга, который включал в себя фотоаппарат и тепловизор, направленные вертикально вниз в нади́р так, чтобы кадры шли с перекрытием, и систему автоматического управления ими. Тепловизионная съёмка с ПЛА производилась с помощью тепловизионного модуля GIT UTM-FHD-23 (разрешение 1920 × 1080 пикселей; тепловая чувствительность < 60 мК, рабочая температура –40 °С ~ +60 °С, фокусное расстояние объектива 23 мм), с БПЛА – тепловизором UTM-XD (разрешение 1280 × 1024 пикселей; тепловая чувствительность ≤ 35 мК, рабочая температура –40 °С ~ +60 °С, фокусное расстояние объектива 25 мм). Фотосъёмку с ПЛА проводили с помощью цифровой фотокамеры Canon EOS5DS (матрица 50 Мпикс., полнокадровая (36 × 24 мм), максимальное разрешение 8688 × 5792, фокусное расстояние объектива 24 мм), с БПЛА – Canon EOS5 DSR (матрица 50 Мпикс., полнокадровая (36 × 24 мм), максимальное разрешение 8688 × 5792, фокусное расстояние объектива 85 мм). Полосы обзора фотоаппарата и тепловизора приведены на рис. 3.

Полоса захвата тепловизора ПЛА была уже, чем полоса захвата фотоаппарата в видимом диапазоне.

Возможный недоучёт на краях снимка учитывался при дальнейшем расчёте численности (см. ниже). У БПЛА полоса захвата ИК превосходила на 10%, поэтому расчёт численности вёлся по фотографиям видимого диапазона.

Все параметры полёта (координаты, курс, высота, скорость, крен, тангаж) с привязкой по времени автоматически фиксировались в бортовой ЭВМ. Координаты точек полёта получены в формате: градусы с десятичной дробной частью (45,36158; 52,25318).

На борту ПЛА, кроме аппаратно-инструментальной регистрации, двумя бортнаблюдателями (по одному с каждого борта самолёта) велись визуальные наблюдения. Наблюдатели находились на двух передних рабочих местах, которые были оборудованы выпуклыми блистерами, что позволяло проводить визуальные наблюдения за ледовой обстановкой и проводить идентификацию животных в широких углах обзора, включая подсамолётное пространство. С помощью внутрисамолётной связи бортнаблюдатели передавали информацию бортпроводнику. Вся звуковая информация записывалась и архивировалась на компьютере с привязкой по времени. Визуальные наблюдения были использованы только для корректировки авиаучётных работ, выполненных с помощью аппаратно-инструментальных методов,

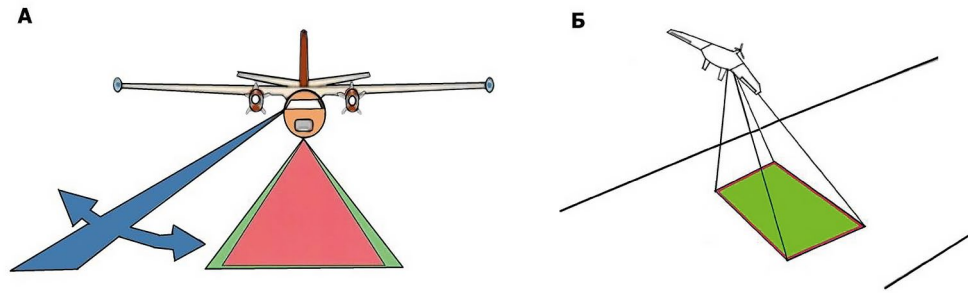


Рис. 3. Полосы обзора ПЛА (А) и БПЛА (Б) (красный – ИК диапазон, зелёный – видимый диапазон, синий – зона наблюдения из блистера)

Fig. 3. Aircraft (A) and UAV (B) observation area (red – IR range, green – visible range, blue – observation area from the blister)

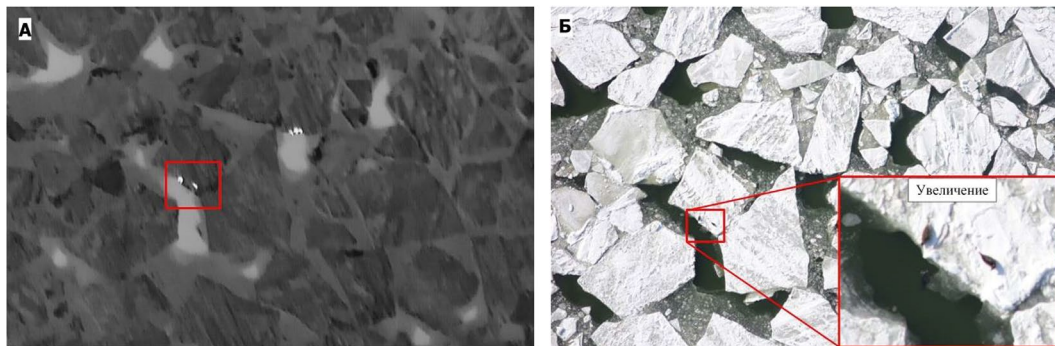


Рис. 4. Часть ИК изображения тюленей на льду (А) и соответствующие фрагмент фотоснимка (Б), использованного для идентификации тепловых пятен. Авиасъёмка с БПЛА 2023 г.

Fig. 4. Part of the IR image of Caspian seals on ice (A) and the corresponding fragment of the photograph (B) used to identify heat spots. Aerial survey photography from UAV 2023

и не использовались для расчёта численности каспийского тюленя.

Дальнейшая обработка данных и расчёт численности осуществлялась по фотографиям и тепловизионным данным (рис. 4). Поиск тюленей на фотографиях и ИК-кадрах сделан с помощью предварительно обученной нейросети в программе Python с использованием модуля Yolo 5, с последующей коррекцией вручную и сверкой тепловизионных данных с фотографиями. Обработка производилась на компьютере с процессором AMD Ryzen 9 5950X, 36 Гб памяти, видеокарта NVIDIA GeForce RTX 2060 с 12 Гб памяти.

На втором этапе производили совместный анализ ИК-изображений с «горячими пятнами» и повышенной плотностью животных и соответствующих им цифровых фотоснимков для обнаружения щенков и взрослых особей тюленей. Подсчёт животных на ИК-изображениях и на фотографиях производили тремя операторами независимо друг от друга.

Оценка полноты учёта, основанная на использовании однопараметрической интегральной логнормальной модели функции обнаружения при оптимальном

ограничении учётной полосы [Челинцев, 2000], проводилась отдельно для каждого из выделенных районов, что обеспечивало более достоверные оценки численности животных в районах при достаточно резких отличиях в обнаруживаемости, обусловленных различиями погодных условий, плотности населения и средних размеров обнаруживаемых групп в разные дни учёта в разных частях учётной акватории.

Оценка полноты учёта в данном районе для полосы, содержащей t интервалов перпендикулярного расстояния с каждого борта, велась по формуле:

$$P_t = 0,78 G_t + 0,22 G_t^{4,3},$$

$$G_t = \frac{1}{t} \sqrt{\frac{3}{n_t} \sum_{i=1}^t (i-0,5)^2 n_i + \frac{1}{4}}, \quad t=1 \div z, \quad (1)$$

где P_t – оценка полноты учёта на полосе, состоящей из t интервалов по каждому борту; G_t – нормированная среднеквадратическая величина расстояний обнаружения животных для той же полосы; i – номер интервала перпендикулярного расстояния обнаружения; n_i – число особей, обнаруженных в i -м интервале; n_t – сумма чисел обнаруженных особей на ограниченной полосе, состоящей из t интервалов; z – мак-

симальное количество интервалов, равное 20 в расчётной таблице. Каждый интервал составляет 1/20 от ширины учётной полосы с каждого борта. Ширина полосы берётся равной наибольшему расстоянию обнаружения в данном учётном районе.

В качестве программной среды ГИС-приложений использовали продукты QGIS3.10¹ и ArcGIS. Использование ГИС позволило нанести на карту маршруты учётных авиасъёмок, произвести пространственную привязку тепловизионных и фотоизображений, произвести пространственную привязку графических спутниковых ледовых карт спутниковой системы MODIS, построить карты распределения залегания тюленей.

Оценка численности каспийского тюленя на обследованной площади проводилась по методу раздельной экстраполяции [Челинцев, 2004]. При этом методе на каждую трансекту полёта выделяется по одному расчётному сектору. Так как авиаучёты каспийского тюленя были выполнены на параллельных трансектах, границы секторов проводились на равном расстоянии между соседними трансектами, которые в каждом полёте нумеровались в порядке их выполнения по каждому району исследования. Экстраполированная численность N_j тюленя в каждом секторе рассчитывалась по формулам:

$$N_j = D_j Q_j, \quad (2)$$

$$D_j = \frac{n_j}{q_j}, \quad (3)$$

$$Q_j = L_j W_j, \quad (4)$$

где n_j – общее число животных, обнаруженных при прохождении j -й трансекты; q_j – площадь соответствующей учётной ленты; L_j – длина j -й учётной трансекты; W_j – ширина учётной ленты на j -й трансекте; D_j – плотность тюленей на j -й трансекте, рассчитанная по формуле (3); Q_j – площадь j -го сектора.

Площадь сектора, соответствующая j -й учётной трансекте, определяется как площадь прямоугольника, длина которого равна длине j -й трансекты, а ширина равна полусумме расстояний до соседних трансект.

Контур территории экстраполяции при таком подходе вычисляется по формуле: $Q_j = L_j B_j$, где B_j – ширина сектора. Для промежуточных (не крайних) секторов ширина j -го сектора равна $B_j = 0,5(F_{j-1,j} + F_{j,j+1})$, где $F_{j-1,j}$ – расстояние между $(j-1)$ -й и j -й трансектами, $F_{j,j+1}$ – расстояние между j -й и $(j+1)$ -й трансектами. Для крайних трансект ширина расчётных секторов равна $B_1 = 0,5F_{1,2}$ и $B_t = 0,5F_{t-1,t}$, где $F_{1,2}$ – расстояние между 1-й и 2-й трансектами, $F_{t-1,t}$ – расстояние между предпоследней $(t-1)$ и последней t -м трансектами. Стати-

стическая ошибка оценки численности тюленей в j -м (кроме крайних) секторе рассчитывали по формуле:

$$m(N_j) = \frac{Q_j}{2} \sqrt{\left(1 - \frac{q_j}{Q_j}\right) \left[(D_{j-1} - D_j)^2 + (D_j - D_{j+1})^2 \right]}, \quad (5)$$

где D_{j-1} и D_{j+1} – расчётные плотности тюленей на $(j-1)$ -й и $(j+1)$ -й трансектах.

Для крайних трансект статистическую ошибку оценки численности определяли на основе оценки дисперсии плотности животных на крайней и соседней с ним трансектах и рассчитывали по формулам:

$$m(N_1) = Q_1 \sqrt{1 - \frac{q_1}{Q_1} \frac{|D_1 - D_2|}{\sqrt{2}}}, \quad (6)$$

$$m(N_t) = Q_t \sqrt{1 - \frac{q_t}{Q_t} \frac{|D_t - D_{t-1}|}{\sqrt{2}}}.$$

Оценка общей численности тюленей на всей учётной территории равна сумме оценок их численности в секторах, составляющих в совокупности территорию экстраполяции:

$$N_o = \sum_j N_j, \quad (7)$$

где N_j – оценка численности животных в j -ом секторе, рассчитанная по формуле 1.

Статистическая ошибка оценки общей численности тюленей на всей учётной территории рассчитывалась по формуле:

$$m = \sqrt{\sum_j m^2(N_j)}, \quad (8)$$

где $m(N_j)$ – статистическая ошибка оценки численности животных в j -ом секторе.

Для расчёта общей численности популяции каспийского тюленя применяли расчётные формулы, апробированные на популяциях гренландского тюленя в Белом море и каспийского тюленя в Каспийском море. Основой для расчёта является метод прямого учёта во время аэрофотосъёмки приплота каспийского тюленя на поверхности льдов Северного Каспия [Шафиков, 2008]. Родившийся щенок в течение календарного месяца не может долго находиться в воде и не совершает протяжённых миграций. Одна продуцирующая самка в приплоте приносит одного щенка и таким образом численность приплота у каспийского тюленя соответствует численности продуцирующих самок. Зная численность приплота за один год, можно перейти расчётным способом на общую численность всей популяции каспийского тюленя [Бизиков и др., 2021 а]:

$$S = P \times K, \quad (9)$$

где S – численность популяции, особей; P – численность приплода в учётном году, особей; K – коэффициент пересчёта на популяцию.

$$K = 1 + 2 \times \frac{J_{\max}}{(1-k) \times (J_{\max} - J_{\min})}, \quad (10),$$

где J_{\max} – максимальный возраст самок, лет, $J_{\max}=25$; J_{\min} – возраст половозрелости самок, лет, $J_{\min}=6,1$; k – доля яловых среди половозрелых самок, $k=0,313$.

Для расчёта пересчётного коэффициента (K) показатели максимального возраста и возраста половозрелости взрослых самок являются постоянными величинами. За показатель яловости среди половозрелых самок ($k=0,313$) принято среднегодовалое (10 лет) значение за период 2006–2015 гг. [Кузнецов, 2017; Бизиков и др., 2021].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Авиаучётная инструментальная мультиспектральная съёмка с использованием двух типов воздушных судов полностью охватила места ценных залёжек и залёжек взрослых особей каспийского тюленя на льдах Северного Каспия в зоне ответственности Российской Федерации. За весь период исследований двумя бортами выполнено в районе работ 128 галсов, общая их протяжённость составила 5127 км, средняя

длина галса – 40 км. БПЛА сделал 86 галсов общей протяжённостью 2924 км, средняя длина составила 34 км. ПЛА выполнил 42 галса, общая протяжённость которых составила 2203 км, а средняя длина галса не превышала 52 км. Учётные работы выполнялись в течение 12 рабочих дней.

Результаты ПЛА Ла-8. Требованиям для расчёта численности каспийского тюленя соответствовали только три дня из проведённой ПЛА авиасъёмки: 26.02.2023 (рис. 5 А, табл. 1–2), 02.03.2023 и 03.03.2023 (рис. 5 Б, табл. 3–4).

При анализе фото- и ИК-изображений было обнаружено соответственно 63, 323, 388 взрослых особей каспийского тюленя. Щенков (бельков) обнаружено не было. По результатам дальнейшей статистической обработки была проведена оценка численности тюленей с коррекцией недоучёта и её относительная статистическая ошибка: 26.02.2023 – 2740 (SE – 0,4278), 02.03.2023 и 03.03.2023 – 9233 (SE – 0,4033). Необходимо отметить, что из-за того, что в расчёт численности не вошли данные 27.02.2023 из-за плохих погодных условий во время съёмки, а съёмка 26.02.2023 не охватила некоторые районы массовых скоплений тюленей, выявленных 27.02.2023, то расчёты численности для этого периода не могут считаться полными.

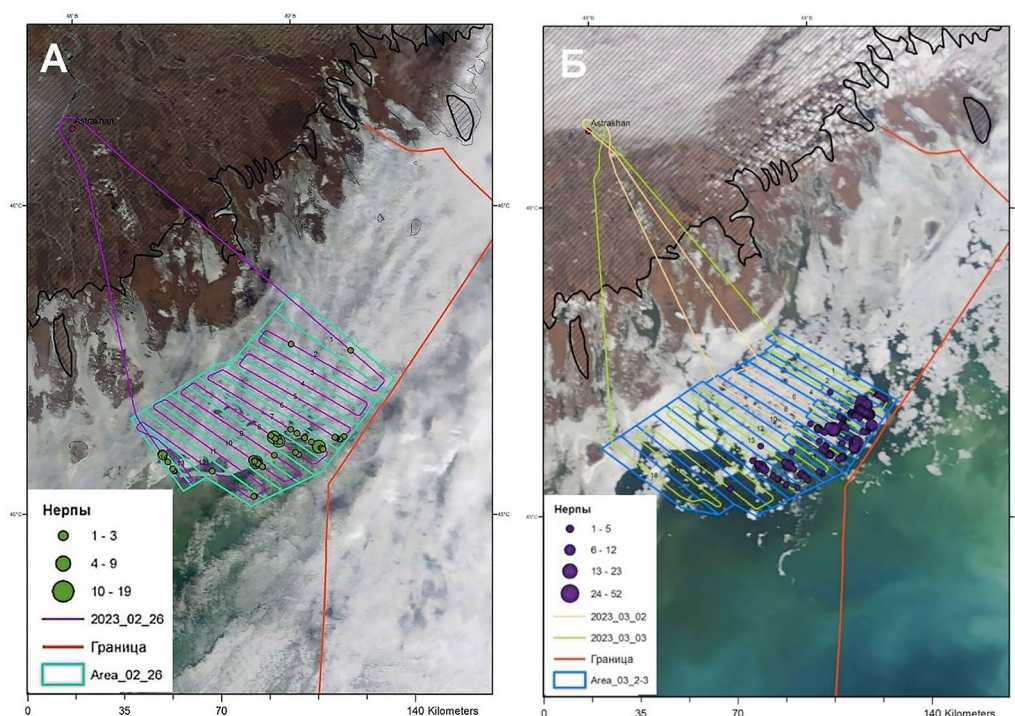


Рис. 5. Авиаучёт А – 26/02/2023 и Б – 02/03/2023, 03/03/2023 (Учётная площадь разбита на расчётные полигоны для каждого галса)

Fig. 5. Aerial survey A – 26/02/2023 and B – 02/03/2023, 03/03/2023 (The accounting area is divided into calculated polygons for each tack)

Таблица 1. Описание галсов авиаучёта от 26.02.2023
Table 1. Description of the tacks of aerial survey of 26.02.2023

Галс	Начало галса		Конец галса		Длина (км)	Площадь сектора (км ²)	Средняя высота (м)	Ширина полосы учёта (м)
	Долгота	Широта	Долгота	Широта				
1	48,99069	45,70487	49,42922	45,43933	45,4	361,6	247	371
2	49,38917	45,40140	48,89025	45,59538	44,8	358,9	250	375
3	48,85746	45,56212	49,35175	45,36084	44,9	255,1	230	345
4	49,31183	45,32174	48,80953	45,52065	45,3	273,9	225	338
5	48,77048	45,48344	49,27531	45,27848	45,8	256,5	217	326
6	49,22273	45,24514	48,69142	45,46830	48,6	279,7	234	351
7	48,62376	45,44236	49,16984	45,20198	50,6	318,7	224	336
8	49,10395	45,16375	48,55720	45,42617	52,0	305,9	234	351
9	48,50099	45,39582	49,03947	45,13701	51,3	315,7	233	350
10	48,97321	45,10699	48,42794	45,37138	52,0	312,5	277	416
11	48,37434	45,34747	48,88503	45,08406	49,8	307,8	274	411
12	48,81717	45,05523	48,32004	45,29889	47,6	275,7	284	426
13	48,55096	45,11526	48,35888	45,26290	22,3	95,3	277	416
14	48,29520	45,31220	48,5162	45,10273	29,1	84,7	269	404
Всего	–	–	–	–	629,7	3802,1	248	372

Таблица 2. Расчёт численности каспийского тюленя по данным 26.02.2023
Table 2. Estimate of the abundance of the Caspian seal according to the of aerial survey data of 26.02.2023

Галс №	Кол-во тюленей на оптимальной полосе		Кол-во тюленей на максимальной полосе		Наблюдаемая плотность населения, особей/км ²	Экстраполированная численность в секторе, особей	Статистическая ошибка экстраполяции
	особей	групп	особей	групп			
1	1	1	1	1	0,0586	21	0,2062
2	1	1	1	1	0,0594	21	10,4485
3	0	0	0	0	0,0000	0	7,3695
4	0	0	0	0	0,0000	0	0,0000
5	0	0	0	0	0,0000	0	20,6815
6	3	3	3	3	0,1642	46	188,9400
7	29	18	29	18	1,5248	486	302,9870
8	57	37	57	37	2,9174	893	468,4810
9	2	1	2	1	0,1039	33	497,3380
10	33	20	36	23	1,6881	527	352,7080
11	0	0	0	0	0,0000	0	256,5300
12	1	1	1	1	0,0559	15	10,6193
13	0	0	0	0	0,0000	0	50,4301
14	13	6	14	7	1,1897	101	67,5242
Итого	140	88	144	92	0,5637	2143	890,1330
Экстраполированная оценка численности и её относительная статистическая ошибка						2143	0,4154
Полнота учёта тюленей на оптимальной полосе и её относительная статистическая ошибка						0,7822	0,1022
Оценка численности тюленей с коррекцией недоучёта и её относительная статистическая ошибка						2740	0,4278
Доверительный (95 %-ный) интервал оценки численности тюленей в районе						1128	5626

Таблица 3. Описание галсов авиаучётов от 02.03.2023, 03.03.2023
Table 3. Description of the tacks of aerial survey of 02.03.2023, 03.03.2023

Галс №	Дата	Начало галса		Конец галса		Длина (км)	Площадь сектора (км ²)	Средняя высота (м)	Ширина полосы учёта (м)
		Долгота	Широта	Долгота	Широта				
1	3.03.23	48,86388	45,57791	49,36422	45,37679	45,3	233,4	244	366
2	3.03.23	49,33246	45,33954	48,83880	45,53529	44,6	179,6	222	333
3	3.03.23	48,82579	45,52018	49,31122	45,31920	44,3	127,1	212	318
4	2.03.23	48,78487	45,50323	49,29839	45,29767	46,4	174,6	182	273
5	3.03.23	49,26668	45,27483	49,05059	45,36522	19,8	60,5	205	308
6	2.03.23	49,25814	45,25765	48,72073	45,47990	49,0	214,7	190	285
7	3.03.23	49,02078	45,32709	49,22842	45,23764	19,1	64,1	199	299
8	2.03.23	48,65646	45,45340	49,20812	45,21718	50,8	244,0	164	246
9	3.03.23	49,16596	45,19539	48,95653	45,29176	19,7	63,5	201	302
10	2.03.23	49,14210	45,18636	48,58546	45,43717	52,0	259,0	193	290
11	3.03.23	48,92045	45,25252	49,09558	45,15879	17,3	77,0	197	296
12	3.03.23	49,07345	45,14098	48,52379	45,40747	52,5	266,9	197	296
13	3.03.23	48,47721	45,38388	49,00483	45,12251	50,7	320,1	193	290
14	3.03.23	48,93468	45,09046	48,40212	45,35670	51,3	316,0	192	288
15	3.03.23	48,36132	45,33270	48,8546	45,06164	49,2	324,7	226	339
16	3.03.23	48,76680	45,02739	48,28965	45,28425	47,2	374,7	191	287
17	3.03.23	48,22001	45,25966	48,60578	45,04306	38,8	293,5	182	273
18	3.03.23	48,46396	45,04305	48,114	45,23541	34,9	287,9	192	288

Таблица 4. Расчёт численности 02.03.2023, 03.03.2023

Table 4. Estimate of the abundance of the Caspian seal according to the of aerial survey data of 02.03.2023, 03.03.2023

Галс №	Кол-во тюленей на оптимальной полосе		Кол-во тюленей на максимальной полосе		Наблюдаемая плотность населения, особей/км ²	Экстраполированная численность в секторе, особей	Статистическая ошибка экстр.
	особей	групп	особей	групп			
1	10	7	10	7	0,6819	159	747,8200
2	77	39	78	40	5,3389	959	646,1080
3	160	84	160	84	11,1621	1419	607,5980
4	45	33	45	33	2,9926	522	741,8010
5	25	19	26	20	3,90754	236	66,0108
6	29	21	29	21	1,8279	392	1715,6600
7	113	61	113	61	18,2383	1169	708,6540
8	33	26	33	26	2,0080	490	1922,4000
9	7	5	7	5	1,0994	70	27,6070
10	17	16	17	16	1,0107	262	126,6770
11	0	0	0	0	0,0000	0	43,6130
12	10	7	10	7	0,5888	157	346,6410
13	49	35	49	35	2,9849	956	376,8140
14	52	30	52	30	3,1288	989	481,9270
15	0	0	0	0	0,0000	0	502,6190
16	1	1	1	1	0,0654	25	17,0362
17	0	0	0	0	0,0000	0	9,78477
18	0	0	0	0	0,0000	0	0,0000
Итого	628	384	630	386	2,0108	7805	3131,7600

Галс №	Кол-во тюленей на оптимальной полосе		Кол-во тюленей на максимальной полосе		Наблюдаемая плотность населения, особей/км ²	Экстраполированная численность в секторе, особей	Статистическая ошибка экстр.
	особей	групп	особей	групп			
Экстраполированная оценка численности и её относительная статистическая ошибка						7805	0,4013
Полнота учёта тюленей на оптимальной полосе и её относительная статистическая ошибка						0,84533	0,0404
Оценка численности тюленей с коррекцией недоучёта и её относительная статистическая ошибка						9233	0,4033
Доверительный (95%-ный) интервал оценки численности тюленей в районе						4001	18326

Во время учётов 2 и 3 марта 2023 г. тюлени концентрировались в основном на внешней стороне ледовых полей. Авиачёты в этот период охватили большую часть скоплений тюленей на российской акватории, поэтому именно эти учёты мы считаем более полными, отражающими численность тюленей на исследованной акватории.

В ходе облёта береговой полосы Республики Дагестан от о. Чечень до устья р. Самур было установлено отсутствие свежих выбросов тюленей на побережье Дагестана. Отдельные старые туши, частично растерзанные, были зарегистрированы только на берегах Аграханского п-ова (ООПТ Аграханский государственный природный заказник).

Результаты БПЛА ДИАМ 20. На полученных при использовании БПЛА фотоснимках можно идентифи-

цировать как скопления (залёжки) тюленей, так и отдельных взрослых особей и бельков.

Покрытые сеткой галсов полётов БПЛА акватории были разбиты на шесть отдельных районов для расчёта численности животных (рис. 6). Результаты обработки по каждому району занесены в табл. 6–12.

По результатам БПЛА авиаучёта с 20 февраля по 5 марта 2023 г. на обследованной акватории расчётная численность составила: щенков — 2599 ± 678 особей, взрослых тюленей — 3303 ± 716 особей (табл. 12). Из этого следует, что доля щенков составляет — 44% на льдах в российской части Северного Каспия.

Следует отметить, что тюлени как щенки, так и взрослые особи в основном распределялись вдоль ледовой кромки (рис. 7).

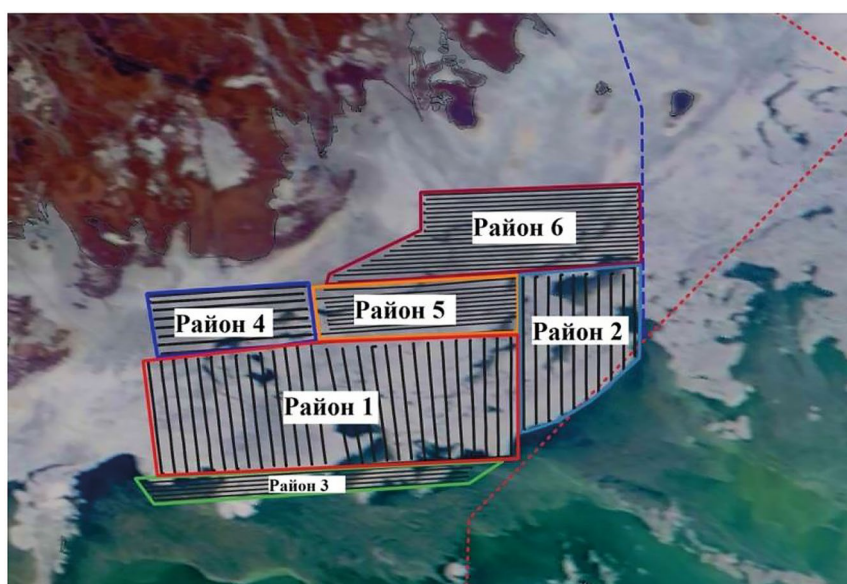


Рис. 6. Карта-схема обследованной площади льдов, разделённой на шесть районов (красный пунктир — граница Российской Федерации, синий пунктир — граница воздушного пространства)

Fig. 6. Schematic map of the aerial survey ice area, divided into six regions (red dotted line is the border of the Russian Federation, blue dotted line is the airspace boundary)

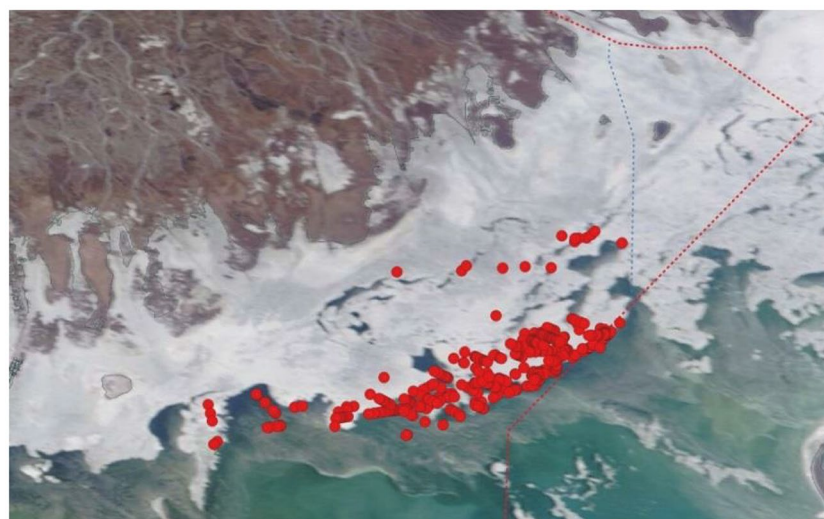


Рис. 7. Карта-схема всех обнаруженных локаций (красные кружочки) залёжек каспийского тюленя на льдах Северного Каспия по данным авиаучёта ПЛА и БПЛА в период с 20 февраля по 5 марта 2023 г. (красный пунктир – граница Российской Федерации, синий пунктир – граница воздушного пространства)

Fig. 7. Schematic map of all detected locations (red circles) of Caspian seal haulouts on the ice of the North Caspian according to aircraft and UAV aerial survey data from February 20 to March 5, 2023 (red dotted line is the border of the Russian Federation, blue dotted line is the airspace boundary)

Таблица 5. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя в 1-м районе исследования

Table 5. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal in region No. 1

Галс- дата полёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
1–26.02	45,399	48,487	45,173	48,514	250	100	25,2	75,6	0	0	0	0
2–26.02	45,398	48,513	45,174	48,541	250	100	25,0	75,3	0	0	0	0
3–26.02	45,400	48,539	45,178	48,566	250	100	24,7	72,9	0	0	0	0
4–26.02	45,402	48,564	45,182	48,590	250	100	24,5	70,2	0	0	0	0
5–26.02	45,402	48,589	45,18	48,617	250	100	24,7	69,6	0	0	0	0
6–26.02	45,404	48,615	45,184	48,643	250	100	24,6	69,4	0	0	0	0
7–26.02	45,405	48,64	45,184	48,668	250	100	24,6	73,6	0	0	0	0
8–26.02	45,406	48,666	45,19	48,693	250	100	24,1	72,2	0	0	0	0
9–26.02	45,187	48,719	45,405	48,692	250	100	24,4	69,1	0	0	0	0
10–26.02	45,193	48,744	45,411	48,718	250	100	24,4	64,1	0	0	0	0
11–28.02	45,191	48,768	45,414	48,743	250	100	24,9	67,3	0	0	0	0
12–28.02	45,193	48,795	45,429	48,766	250	100	26,3	74,1	0	0	0	0
13–28.02	45,194	48,821	45,429	48,792	250	100	26,2	75,1	0	0	0	0
14–28.02	45,197	48,849	45,417	48,822	250	100	24,6	72,6	0	0	0	0
15–20.02	45,197	48,898	45,421	48,853	250	100	25,1	94,3	0	0	0	0
16–20.02	45,199	48,924	45,422	48,885	250	100	25,0	101,4	1	41	0	0
17–20.02	45,201	48,949	45,425	48,916	250	100	25,1	85,4	0	0	0	0
18–20.02	45,203	48,975	45,431	48,946	250	100	25,4	79,7	0	0	0	0
19–20.02	45,204	48,999	45,428	48,973	250	100	25,0	71,3	0	0	0	0
20–20.02	45,206	49,025	45,43	49,001	250	100	25,0	67,4	2	54	2	54
21–21.02	45,204	49,052	45,433	49,029	250	100	25,6	80,0	0	0	0	0

Галс-дата полёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей				
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи		
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность	
22–21.02	45,205	49,078	45,433	49,059	250	100	25,3	83,1	0	0	0	0	
23–21.02	45,207	49,103	45,434	49,087	250	100	25,3	73,3	0	0	0	0	
24–21.02	45,209	49,128	45,438	49,116	250	100	25,5	74,1	0	0	0	0	
25–21.02	45,209	49,154	45,439	49,145	250	100	25,6	78,5	0	0	0	0	
26–21.02	45,210	49,179	45,442	49,174	250	100	25,8	74,7	0	0	0	0	
27–21.02	45,213	49,202	45,444	49,200	250	100	25,7	73,5	0	0	0	0	
28–21.02	45,213	49,229	45,445	49,228	250	100	25,8	79,1	3	92	11	337	
ИТОГО								703,4	2116,9	6	186	13	391

Таблица 6. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя в 2-м районе исследования

Table 6. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal in region No. 2

Галс-дата полёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей				
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи		
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность	
1–24.02	45,262	49,254	45,572	49,254	250	100	34,4	103,2	0	0	0	0	
2–24.02	45,277	49,280	45,570	49,278	250	100	32,5	93,8	0	0	0	0	
3–24.02	45,279	49,305	45,569	49,305	250	100	32,2	90,7	0	0	0	0	
4–24.02	45,297	49,332	45,573	49,330	250	100	30,7	90,2	1	29	3	88	
5–24.02	45,307	49,357	45,573	49,356	250	100	29,6	83,3	3	84	7	197	
6–24.02	45,328	49,382	45,574	49,380	250	100	27,3	74,6	3	82	5	137	
7–24.02	45,336	49,407	45,573	49,408	250	100	26,3	75,1	11	314	18	514	
8–24.02	45,366	49,433	45,576	49,432	250	100	23,4	66,0	23	648	31	874	
9–24.02	45,384	49,459	45,573	49,458	250	100	21,1	59,4	3	84	4	113	
10–24.02	45,416	49,481	45,592	49,480	250	100	19,6	54,8	0	0	0	0	
ИТОГО								277,1	791,1	44	1243	68	1922

Таблица 7. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя в 3-м районе исследования

Table 7. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal in region No. 3

Галс-дата полёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
1–23.02	45,159	48,469	45,206	49,218	250	100	58,9	58,9	47	470	37	370
2–23.02	45,147	48,542	45,196	49,198	250	100	51,7	51,7	7	70	9	90
3–23.02	45,148	48,569	45,183	49,145	250	100	45,3	45,3	7	70	10	100

Галс- дата полёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
4-23.02	45,134	48,489	45,173	49,132	250	100	50,6	50,6	6	60	9	90
5-23.02	45,125	48,502	45,165	49,136	250	100	49,9	49,9	14	140	13	130
6-23.02	45,116	48,497	45,154	49,129	250	100	49,8	49,8	0	0	3	30
ИТОГО							306,2	306,2	81	810	81	810

Таблица 8. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя в 4-м районе исследования

Table 8. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal in region No. 4

Галс- дата по- лёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
1-28.02	45,534	48,497	45,555	48,805	250	100	24,1	45,8	0	0	0	0
2-28.02	45,521	48,492	45,539	48,798	250	100	23,9	45,4	0	0	0	0
3-28.02	45,506	48,503	45,525	48,801	250	100	23,3	44,3	0	0	0	0
4-28.02	45,487	48,503	45,508	48,806	250	100	23,8	45,2	0	0	0	0
5-28.02	45,469	48,508	45,489	48,808	250	100	23,5	44,7	0	0	0	0
6-28.02	45,451	48,514	45,472	48,812	250	100	23,4	44,5	0	0	0	0
7-28.02	45,434	48,511	45,455	48,815	250	100	23,8	45,2	0	0	0	0
8-28.02	45,416	48,518	45,437	48,82	250	100	23,7	45,0	0	0	0	0
ИТОГО							189,5	360,1	0	0	0	0

Таблица 9. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя в 5-м районе исследования

Table 9. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal in region No. 5

Галс- дата по- лёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
1-24.02	45,547	48,852	45,57	49,24	250	100	30,5	45,0	0	0	0	0,0
2-05.03	45,528	48,829	45,56	49,24	250	100	32,5	56,5	0	0	1	13
3-05.03	45,521	48,853	45,55	49,24	250	100	29,9	55,1	0	0	3	37
4-05.03	45,512	48,856	45,54	49,24	250	100	29,8	45,9	0	0	0	0,0
5-05.03	45,503	48,86	45,53	49,24	250	100	29,4	47,4	0	0	0	0,0
6-05.03	45,494	48,86	45,52	49,24	250	100	29,5	44,6	0	0	0	0,0
7-05.03	45,485	48,859	45,51	49,24	250	100	29,4	45,0	0	0	0	0,0
8-04.03	45,476	48,858	45,5	49,23	250	100	29,2	45,5	0	0	0	0,0
9-04.03	45,467	48,865	45,49	49,24	250	100	29,3	45,6	0	0	0	0,0
10-28.02	45,456	48,831	45,48	49,22	250	100	30,6	45,5	0	0	0	0,0
11-28.02	45,437	48,824	45,46	49,23	250	100	31,3	67,3	0	0	0	0,0
ИТОГО							331,4	543,4	0	0	4	50

Таблица 10. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя в 6-м районе исследования

Table 10. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal in region No. 6

Галс- дата по- лёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
1-03.03	45,741	49,056	45,757	49,478	250	100	32,8	32,8	0	0	0	0
2-03.03	45,732	49,062	45,748	49,487	250	100	33,1	33,1	0	0	0	0
3-03.03	45,722	49,051	45,738	49,478	250	100	33,2	33,2	0	0	0	0
4-03.03	45,713	49,062	45,729	49,485	250	100	32,9	32,9	0	0	0	0
5-03.03	45,704	49,052	45,72	49,478	250	100	33,1	33,1	0	0	0	0
6-03.03	45,695	49,063	45,711	49,486	250	100	32,9	32,9	0	0	0	0
7-03.03	45,685	49,053	45,702	49,479	250	100	33,1	33,1	0	0	0	0
8-03.03	45,676	49,062	45,693	49,487	250	100	33,1	33,1	0	0	0	0
9-03.03	45,667	49,055	45,684	49,478	250	100	32,9	32,9	0	0	0	0
10-03.03	45,657	49,038	45,674	49,485	250	100	34,8	34,8	0	0	0	0
11-02.03	45,647	49,023	45,666	49,482	250	100	35,7	35,7	0	0	0	0
12-02.03	45,637	49,011	45,656	49,484	250	100	36,8	36,8	0	0	0	0
13-02.03	45,627	48,986	45,647	49,483	250	100	38,7	38,7	0	0	3	30
14-02.03	45,617	48,976	45,638	49,483	250	100	39,5	39,5	1	10	2	20
15-02.03	45,607	48,945	45,629	49,482	250	100	41,8	41,8	35	350	5	50
16-02.03	45,597	48,93	45,62	49,482	250	100	43,1	43,1	0	0	2	20
17-02.03	45,587	48,899	45,611	49,481	250	100	45,3	45,3	0	0	1	10
18-02.03	45,577	48,871	45,602	49,483	250	100	47,7	47,7	0	0	0	0
19-24.02	45,564	48,881	45,592	49,467	250	100	45,7	45,7	0	0	0	0
ИТОГО							706,2	706,2	36	360	13	130

Таблица 11. Данные по оценке численности взрослых и щенков каспийского тюленя на скоплении у кромки льда

Table 11. Estimate of the abundance of adults and pups of the Caspian seal on the haulout at the ice edge

Галс- дата по- лёта	Координаты начала галса		Координаты конца галса		Высота полёта, м	Ширина полосы учёта, м	Длина галса, км	Площадь экстр., км ²	Количество тюленей, особей			
	Широта	Долгота	Широта	Долгота					Щенки		Взрослые особи	
									Обнаружены	Расчётная численность	Обнаружены	Расчётная численность
1-05.03	45,367	48,864	45,406	49,412	250	100	43,1	86,2	0	0	0	0
2-05.03	45,349	48,863	45,387	49,411	250	100	43,0	86,0	0	0	1	20
3-05.03	45,331	48,866	45,369	49,411	250	100	42,8	85,6	6	120	7	140
4-05.03	45,313	48,869	45,351	49,412	250	100	42,7	85,4	16	320	65	1300
5-05.03	45,295	48,869	45,333	49,411	250	100	42,6	85,2	8	160	15	300
6-05.03	45,275	48,855	45,315	49,410	250	100	43,6	87,2	9	180	50	1000
ИТОГО							257,8	515,6	39	780	138	2760

Таблица 12. Оценка численности каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия по данным авиаучёта БПЛА

Table 12. Estimation of the abundance of the Caspian seal on the ice in the Russian part of the North Caspian according to UAV aerial survey data

Район	Площадь, км ²	Щенки, особей	Взрослые, особей	Всего, особей
1	2117	186	391	577
2	791	1243	1922	3165
3	306	810	810	1620
4	360	0	0	0
5	543	0	50	50
6	706	360	130	490
Итого	4823	2599 ± 678	3303 ± 716	5902 ± 1336

Для популяции каспийского тюленя, учитывая текущее её состояние, возрастную структуру, возраст наступления половозрелости и процент яловости самок, коэффициент пересчёта K был принят 4,85.

$$K = 1 + 2 \times \frac{25}{(1 - 0,313) \times (25 - 6,1)} = 1 + 2 \times 1,92540222 = 4,85080443.$$

Соответственно, расчётная общая численность каспийских тюленей (S) на льдах в российской части Северного Каспия составила:

$$S = 4062 \times 4,85080443 = 19703,97 \approx 19704 \text{ (SE} - 0,4033) \text{ особи.}$$

С таянием льда зарегистрировано смещение животных в северном направлении вместе с кромкой льда. При повторном (спустя неделю) обследовании места скопления тюленей отмечено, что их стало больше, по-видимому, за счёт миграции животных со стороны Казахстана, где на льдах происходит основное размножение этого вида [Бизиков и др., 2021].

По данным многолетних наблюдений КаспНИРХ массовое рождение щенков происходит в первой декаде февраля. В конце февраля – начале марта 2023 г. бельки на щенных залёжках встречаются единично. К этому периоду на льдах в российской части Северного Каспия по данным авиаучёта доля перели-

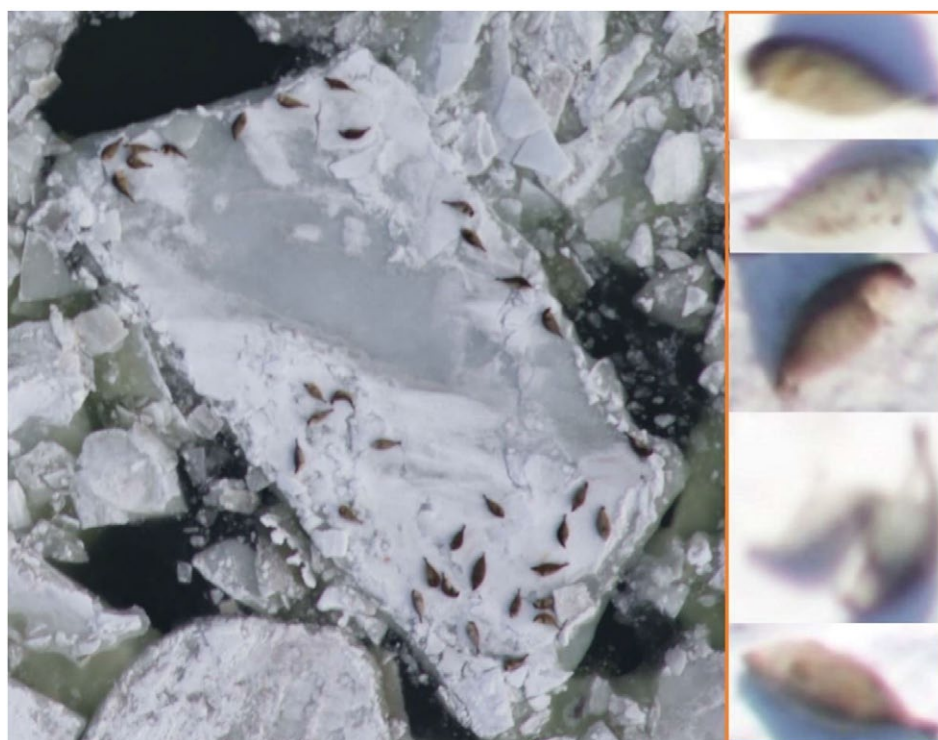


Рис. 8. Изображения упитанных бочонкообразных особей каспийского тюленя на льду с высоты полёта БПЛА 250 м
Fig. 8. Images of well-fed barrel-shaped individuals of the Caspian seal on ice from a UAV flight altitude of 250 m

нявших бельков составляла более 90%. Размножение каспийского тюленя в зиму 2022/2023 гг. проходило в удовлетворительном режиме. Свыше 95% тюленей на фотоснимках имеют бочонкообразную форму, что свидетельствует о хорошей их упитанности (рис. 8).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведён авиаучёт для оценки численности, распределения и естественного воспроизводства каспийского тюленя на Северном Каспии в зоне ответственности Российской Федерации в зимне-весенний период 2023 г. с 20 февраля по 5 марта с применением ПЛА и БПЛА. Была детально обследована вся акватория российской части Северного Каспия, занятая в период исследований припайным и дрейфующим льдом. Авиаучёт был проведён методом мультиспектральной съёмки с корректировкой авиасъёмки визуальными наблюдателями с самолёта Ла-8 и БПЛА ДИАМ 20. Следует отметить, что наблюдатели на самолёте фиксировали сходжение животных в воду при приближении ПЛА и не смогли зарегистрировать ни одного белька. Материалы, полученные с БПЛА, отличаются от материалов с ПЛА более правильными и ровными галсами и фиксированной высотой полёта, однако они ограничены съёмкой поверхности акватории «в надир», непосредственно под пролетающим аппаратом, и не позволяют отслеживать распределение тюленей по сторонам от маршрута. Кроме того, в силу ограничений, установленных на использование БПЛА в отдельных районах Северного Каспия в период работ, авиаучётом с борта самолёта Ла-8 была охвачена большая акватория, чем с борта БПЛА. Часть районов, где были отмечены скопления тюленей, была обследована только с борта самолёта.

По итогам работ отмечено преимущество совместного использования пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов при условии оборудования и тех и других специальной фото- и инфракрасной аппаратурой со сходными характеристиками. В этом случае самолёт с научной группой и оборудованием, имея дальность полётов больше, чем БПЛА, может осуществлять рекогносцировочные полёты с охватом больших акваторий, в ходе которых выявляются районы ледовых лежбищ каспийского тюленя. По результатам этих полётов в оконтуренные районы лежбищ тюленей вылетает практически бесшумный БПЛА и с высоты, обеспечивающей его незаметность для тюленей, производит детальное сканирование и точный учёт животных, не тревожа их. Совместное использование пилотируемого самолёта и бесшумного БПЛА позволяет решить сразу несколько задач: сэкономить время на проведение съёмки, повысить точность оценки

численности и провести методическое сравнение численности, оцененной пилотируемым и беспилотным летательными аппаратами (тем самым оценить долю тюленей, сходящих в воду от испуга при приближении самолёта).

Результаты съёмки показывают, что в феврале-марте 2023 г. в российской части Северного Каспия тюлени держались в юго-восточной части ледового покрова, на кромке льда. Отмечено смешение взрослых тюленей и щенков, а также увеличение численности на кромке льда, по-видимому, за счёт мигрирующих особей со стороны Казахстана. Соотношение приплода и взрослых особей на льдах составило 44 : 56 (%).

Следует отметить хорошую упитанность тюленей в зимний период 2022/2023 гг. Об этом свидетельствует характерная бочонкообразная форма тела большинства взрослых особей и щенков. Были отмечены отдельные самки, кормящие своих щенков. Формирование ледовых залёжек каспийского тюленя в российской части Северного Каспия в зимний период 2023 г. произошло впервые за последние 4 года. В предыдущие годы (2020–2022 гг.) зимние залёжки тюленей регистрировались исключительно в казахстанской части Северного Каспия из-за отсутствия льда в западной, российской части моря.

Для расчёта численности тюленей в российской части Северного Каспия были использованы данные, полученные в ходе рекогносцировочных полётов самолёта Ла-8 с 25 февраля по 3 марта, которыми была покрыта практически вся площадь пригодного льда для залёжек каспийского тюленя. В 2023 г. общая численность тюленей на льдах в российской части Северного Каспия (приплод, взрослые особи) по данным рекогносцировочных полётов составила 9 233 ($SE \pm 0,4033$) особи, следовательно, по аналогии с детальным полётом, рождаемость приплода может находиться на уровне 44% от общей численности всех учтённых тюленей, или 4 062 ($SE \pm 0,4033$) особи.

Учитывая текущее состояние популяции каспийского тюленя к 2023 г., возрастную структуру, возраст наступления половозрелости и процент яловости самок, коэффициент пересчёта K на популяцию был принят 4,85, а расчётная численность каспийских тюленей в российской зоне зимой 2023 г. составила 19 704 особи. Эта величина составляет лишь 6,5% от общей численности популяции тюленей в Каспийском море (302 тыс. особей), оценённой по результатам совместных российско-казахстанских авиаучётов 2020–2021 гг. [Бизиков и др., 2021] и подтверждённой совместной авиаучётной съёмкой каспийского тюленя в 2022 г. Очевидно, что и в зимний сезон

2022/2023 гг. основная часть популяции каспийского тюленя размножалась на льдах в казахстанской части Северного Каспия. В связи с этим для расчёта общей численности популяции каспийского тюленя в зимний период 2023 г. необходимо привлечение результатов авиационной съёмки, выполнявшейся одновременно с российской съёмкой в казахстанской части Северного Каспия в рамках программы совместных российско-казахстанских исследований этого вида.

Благодарности

Работа выполнена по заданию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации при финансовой поддержке ПАО «Лукойл». Авторы выражают благодарность руководству и администрации ПАО «Лукойл», оперативные действия которых позволили выполнить данную работу в оптимальные сроки, а также лично Алексею Валерьевичу Дудареву за юридическое сопровождение договоров. Авторы искренне благодарны руководству и пилотам международного экологического фонда «Чистые моря», обеспечившим авиаучётные работы на самолёте-лаборатории Ла-8, руководству и операторам беспилотных летательных аппаратов АО «Юнайтед Телеком», обеспечивших авиаучётные работы на БПЛА «ДИАМ-20».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

В рамках договора с ПАО «Лукойл».

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас морских млекопитающих СССР.* 1980. М.: Пищ. пром-ть, 184 с.
- Бадамшин Б.И. 1960. Состояние запасов каспийского тюленя // Зоологический журнал. Т. 39. Вып. № 6, стр. 898–905.
- Бадамшин, Б.И. 1966. Биология и промысел каспийского тюленя // Рыбные ресурсы водоёмов Казахстана и их использование. Алма-Ата: Наука. Вып. 5. С. 335–338.
- Бизиков В.А., Болтнев Е.А., Петров Е.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И. 2019. Экспериментальная авиасъёмка байкальской нерпы с использованием БПЛА большой дальности // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 226–229.
- Бизиков В.А., Черноок В.И., Сидоров Л.К., Беляев В.А., Шипулин С.В., Кузнецов В.В., Скольский В.А., Климов Ф.В., Марбаев Е.Н., Ербулеков С.Т., Куанышев Е.К. 2021 а. Оценка численности популяции каспийского тюленя по результатам инструментальных авиаучётов на льдах в северной части Каспийского моря в 2012 г., 2020 г. и 2021 г.

// Использование и охрана природных ресурсов России. № 4. С. 81–93.

- Бизиков В.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Петров Е.А., Бобков А.И. Качёв В.В., Сидоров Л.К., Болтнев Е.А. 2021 б. Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыбохозяйственном бассейне. М.: Изд-во ВНИРО. С. 56.
- Бизиков В.А., Сидоров Л.К., Петерфельд В.А., Болтнев Е.А. 2022. Применение беспилотных летательных аппаратов для оценки численности байкальской нерпы // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование. Керчь, 13–18 сентября 2022 года. Мат. III Межд. науч.-практ. конф. Симферополь: ООО Издательство Типография «Ариал». С. 108–113.
- Кузнецов В.В. 2017. Влияние промысла на структуру популяции каспийского тюленя в исторической ретроспективе // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 14–25.
- Кузнецов В.В., Черноок В.И., Шипулин С.В. 2013. Оценка численности популяции каспийского тюленя в современный период // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. № 5. С. 86–91.
- Морской энциклопедический справочник.* 1987. Том I / Исанин Н.Н. ред. Л.: Судостроение. 512 с.
- Попов Л.А. 1966. На льдине с тюленями // Природа. № 9. С. 93–101.
- Челинцев Н.Г. 2000. Математические основы учёта животных. М.: Центр охотконтроль. 431 с.
- Челинцев Н.Г. 2004. Алгоритмы экстраполяции при авиаучётах животных // Бюллетень МОИП. Отд. биол. Т. 109. Вып. 2. С. 3–14.
- Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Яковенко М.Я. 1999. Мультиспектральная съёмка гренландского тюленя. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 73 с.
- Черноок В.И., Грачев А.И., Васильев А.Н., Труханова И.С., Бурканов В.Н., Соловьёв Б.А. 2014. Результаты инструментального авиаучёта ледовых форм тюленей на льдах Охотского моря в мае 2013 г. // Известия ТИНРО. Т. 179. С. 158–176.
- Черноок В.И., Кузнецов В.В., Кузнецов Н.В., Шипулин С.В., Васильев А.Н. 2015. Инструментальные авиасъёмки каспийских тюленей (*Phoca caspica*) на ценных залёжках // Морские млекопитающие Голарктики. 2015. Том 2. С. 283–292.
- Черноок В.И., Труханова И.С., Васильев А.Н., Грачев А.И., Литовка Д.И., Бурканов В.Н., Загребельный С.В. 2018. Численность и распределение настоящих тюленей на льдах в западной части Берингова моря весной 2012–2013 гг. // Известия ТИНРО. Т. 192. С. 74–88.
- Шафилов И.Н. 2008. Экспресс-оценка максимальной численности беломорской популяции гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) по данным учёта приплода // Морские млекопитающие Голарктики: сборник научных трудов. Одесса: Изд-во Астропринт. С. 483–486.

REFERENCE

Atlas of marine mammals of the USSR. 1980. Moscow. Pishevaya promishlennost. 184 p. (In Russ.)

- Badamshin B.I.* 1960. State of stocks of the Caspian seal // Zoological journal. V. 39. No. 6. P. 898–905. (In Russ.)
- Badamshin, B.I.* 1966. Biology and fishing of the Caspian seal // Fish resources of reservoirs of Kazakhstan and their use. Alma-Ata: Nauka. V. 5. P. 335–338. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Boltnev E.A., Chernook V.I., Petrov E.A., Peterfeld V.A.* 2019. Experimental aerial survey of the Baikal seal using long-range UAVs // Trudy VNIRO. V. 175. P. 226–229. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Belyaev V.A., Chernook V.I., Sidorov L.K., Shipulin S.V., Kuznetsov V.V., Vasiliev A.N., Skolsky V.A., Klimov F.V., Marabaev E.N., Erbulekov S.T., Kuanyshev E.K.* 2021 a. Estimation of abundance of the Caspian seal basing on the results of aviation surveys of the seal ice rookery in the Northern Caspian in 2012, 2020 and 2021 // Use and protection of Russia's natural resources. No. 4. P. 81–93. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Peterfeld V.A., Chernook V.I., Kuznetsov N.V., Petrov E.A., Bobkov A.I., Tkachev V.V., Sidorov L.K., Boltnev E.A.* 2021 b. Methodological recommendations for the accounting of the Baikal seal (*Pusa sibirica*) offspring using unmanned aerial vehicles in the Baikal fishery basin. Moscow: VNIRO Publish. 56 p. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Sidorov L.K., Peterfeld V.A., Boltnev E.A.* 2022 The use of unmanned aerial vehicles for estimation of Baikal seals population // Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use. Kerch, September 13–18, 2022. Mat. of the III Intern. Scient. and Pract. Conf. Simferopol: LLC Typography Arial. P. 108–113. (In Russ.)
- Kuznetsov V.V.* 2017. The impact of fishing on the structure of the Caspian seal population in historical retrospect // Trudy VNIRO. V. 168. P. 14–25. (In Russ.)
- Kuznetsov V.V., Chernook V.I., Shipulin S.V.* 2013. Assessment of the Caspian seal population size in the current time period // Environmental protection in oil and gas complex. No. 5. P. 86–91. (In Russ.)
- Marine encyclopedic reference book.* 1987. V. 1 / ed. Isanin N.N. Leningrad: Shipbuilding. 512 p. (In Russ.)
- Popov L.A.* 1966. On an ice floe with seals // Priroda. No. 9. pp. 93–101. (In Russ.)
- Chelintsev N.G.* 2000 Mathematical foundations of animal accounting. M.: Tsentrrohotkontrol. 431 p. (In Russ.)
- Chelintsev N.G.* 2004 Extrapolation algorithms for aerial surveys of animals // Bul. MOIP. Dep. biol. V.109. iss. 2. P. 3–14. (In Russ.)
- Chernook V.I., Kuznetsov N.V., Yakovenko M. Ya.* 1999. Multispectral survey of the harp seal. Murmansk: PINRO Publish. 73 p. (In Russ.)
- Chernook V.I., Grachev A.I., Vasiliev A.N., Trukhanova I.S., Burkanov V.N., Solovyov B.A.* 2014. Results of instrumental aerial survey of ice-associated seals on the ice in the Okhotsk Sea in May 2013 // Izvestiya TINRO. V. 179. P. 158–176. (In Russ.)
- Chernook V.I., Kuznetsov V.V., Kuznetsov N.V., Shipulin S.V., Vasiliev A.N.* 2015. Instrumental aerial surveys of Caspian seals (*Phoca caspica*) on breeding grounds // Marine Mammals of the Holarctic. V. 2. P. 283–292. (In Russ.)
- Chernook V.I., Trukhanova I.S., Vasiliev A.N., Grachev A.I., Litovka D.I., Burkanov V.N., Zagrebelny S.V.* 2018. Abundance and distribution of phocid seals on ice in the western Bering Sea in spring, 2012–2013 // Izvestiya TINRO. V. 192. P. 74–88. (In Russ.)
- Shafikov I.N.* 2008. Express assessment of the maximum number of the White Sea population of the harp seal (*Phoca groenlandica*) using pup data // Marine Mammals of the Holarctic. Odessa: Astroprint Publish. P. 483–486.

Поступила в редакцию 12.07.2023 г.

Принята после рецензии 25.08.2023 г.