

УДК 599.745.31; 004.93'1

Промысловые виды и их биология

Применение беспилотных авиационных систем и технологий искусственного интеллекта для оценки численности байкальской нерпы

Л.К. Сидоров, В.А. Бизиков

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: sidorov@vniro.ru

SPIN-код: Л.К. Сидоров – 4497-6033; В.А. Бизиков – 3272-0808

Цель работы – разработка методики оценки численности байкальской нерпы на основе прямого учёта животных на льдах с применением беспилотных авиационных систем (БАС).

Материалом послужили данные авиаучётов в 2019 и 2021 гг. и опубликованная в открытой печати рукопись «Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыбохозяйственном бассейне».

Новизна – предложена методика оценки численности байкальской нерпы на основе прямого подсчёта животных на льду с применением одновременно нескольких БАС. Обработка массива цифровых фотоснимков высокого разрешения была автоматизирована за счёт применения программных комплексов, использующих компьютерное зрение на основе нейросетевых технологий искусственного интеллекта для распознавания различных видов образов на изображениях, включая морских млекопитающих.

Результат: разработана и апробирована методика оценки численности байкальской нерпы на основе прямого подсчёта животных на льду с применением БАС, включающая расчёты численности вида по методу раздельной экстраполяции. Апробация методики проведена на материалах авиаучётов 2019 и 2021 гг. – в итоге получены оценки численности байкальской нерпы на льду: 106 486 экз. и 107 723 экз., соответственно.

Практическая значимость: предложенная методика прямого учёта животных на льдах разработана с целью повышения точности и достоверности итоговых оценок численности популяции и разработки рекомендаций по её сохранению и рациональному использованию.

Ключевые слова: байкальская нерпа *Pusa sibirica*, озеро Байкал, авиаучёт, численность, нейросеть, искусственный интеллект.

Application of unmanned aerial systems and artificial intelligence technology to assess the population of Baikal seals

Lev K. Sidorov, Vyacheslav A. Bizikov

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

The aim of the research is to develop the methodology for assessment the Baikal seal based on direct counting of animals on ice using unmanned aerial systems (UAS).

Materials were the data of aerial survey obtained in 2019 and 2021 and the manuscript published in the open press “Methodological recommendations for conducting a census of the Baikal seal (*Pusa sibirica*) offspring using unmanned aerial vehicles in the Baikal fishery basin.

Novelty – the method for assessment the Baikal seals based on direct counting of animals on ice using several UAS simultaneously is proposed. Processing of an array of high-resolution digital photographs was automated through the use of software packages that use computer vision based on neural network technologies of artificial intelligence (AI) to recognize various types of images, including marine mammals.

Result: The methodology for assessment the Baikal seals based on direct counting of animals on ice using UAS has been developed and tested, including calculations of the species' numbers using the separate extrapolation method. The methodology was tested using materials from aerial surveys in 2019 and 2021 – as a result, estimates of the number of Baikal seals on ice were obtained: 106,486 specimens and 107,723 specimens, respectively.

Practical significance: the proposed method of direct census of animals on ice has been developed with the aim of increasing the accuracy and reliability of final estimates of the population size and developing recommendations for its conservation and rational use.

Keywords: Baikal seal *Pusa sibirica*, Lake Baikal, aerial survey, abundance, neural network, artificial intelligence.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших показателей, характеризующих состояние вида в экосистеме, является его численность. Традиционный способ [Пастухов, 1993] учёта байкальской нерпы (*Pusa sibirica* (Gmelin, 1788)) базируется на методе, предложенном в 1963 г. В.Д. Пастуховым [1965] и впервые реализованном им же в 1966 г. [Пастухов, 1971]. Суть его заключается не в прямом подсчёте животных, а в учёте логовов, в которых щенков приносят и выкармливают щенков, с последующим расчётом общей численности популяции, с учётом данных о возрастном составе популяции, соотношения полов, возрасте созревания и яловости самок. Учёты логовов выполнялись путём мотоциклистных облёздов по стандартным разрезам на размеченных участках, с последующей экстраполяцией данных на всю исследуемую акваторию озера.

В 1953 г. на Байкале была впервые предпринята попытка учёта численности нерпы с самолёта [Свиридов, 1954]. Результаты авиаучёта оказались более чем скромными: численность байкальской нерпы, по данным наблюдений с борта самолёта, составила 20–25 тыс. голов. Следующие попытки были предприняты В.Д. Пастуховым [1965] в конце декабря 1960 г. и в начале мая 1961 г., однако обе они оказались неудачными. Количественный учёт байкальской нерпы с борта самолёта или вертолёта оказался затруднён по следующим причинам. Во-первых, звук самолёта или вертолёта, летящего на небольшой высоте, пугал животных, часть из них сходила в воду раньше, чем их могли увидеть наблюдатели на воздушном судне, и поэтому определить достоверно долю животных, сошедших в воду, было невозможно. Во-вторых, было нереально оценить часть поголовья, в момент авиаучёта охотившуюся подо льдом, особенно в ветреную и холодную погоду, когда нерпы предпочитали находиться в воде, а не на льду. Были и методические трудности: отсутствовал алгоритм расчёта площади обследованной акватории, не были проработаны маршруты самолёта при авиаучёте.

Как отмечал В.Д. Пастухов [1965], байкальская нерпа, в отличие от каспийского и гренландского тюленей, не образует крупных детных скоплений. В период щенки самки рассредоточены по всему озеру, и для их учёта требуется покрыть значительную часть акватории Байкала. И хотя в последующей работе [Пастухов, 1971] не исключал возможности авиаучёта байкальской нерпы с применением самолёта или вертолёта, и предлагал параллельный учёт логовищ на одних и тех же полигонах со льда и с воздуха, реализована эта идея не была.

В последние годы быстрое развитие беспилотных авиационных систем (БАС – далее беспилотник) самолётного типа включило в повестку дня вопрос о возможности их применения для авиаучётов морских млекопитающих и, в частности, байкальской нерпы. Бесшумность беспилотника и возможность охватывать за один полёт расстояния более 1000 км дало возможность проводить авиаучёты на больших акваториях.

В мае 2019 г. ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» совместно с ООО «Современные информационные технологии» (ООО «СИТ») выполнил на оз. Байкал экспериментальные авиаучётные работы с использованием беспилотников, показавшие эффективность применения новых технических средств для оценки численности байкальской нерпы [Бизиков и др., 2019], однако исследования были направлены на учёт логовов, а не на подсчёт животных на льду. По результатам этих работ были разработаны методические рекомендации по авиаучёту приплода байкальской нерпы на основе подсчёта логовов [Бизиков и др., 2021 а]. В соответствии с этими рекомендациями весной 2021 г. совместно с АО «Юнайтед Телеком» (АО «ЮТК») был проведён полномасштабный авиаучёт логовов байкальской нерпы с применением беспилотников, результатом которого была показана возможность использовать метод прямого учёта нерп, находившихся на льду [Бизиков и др., 2022 а].

Цель настоящей работы – разработка методики оценки численности байкальской нерпы на основе прямого учёта животных на льдах с помощью беспилотных авиационных систем и применения технологии искусственного интеллекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом послужили данные авиационных учётов 2019 г. и 2021 гг. байкальской нерпы с применением беспилотников (табл. 1) [Бизиков и др., 2019, 2022 а].

В 2019 г. исследования были проведены в период 9 по 16 мая в северной половине оз. Байкал, когда в южной половине озера сплошной лёд уже отсутствовал (рис. 1). район № 1 исследовался дважды: 9 и 11 мая; район № 2 – трижды: 10, 12 и 16 мая; район № 3 – однократно 13 мая. Было выполнено 11 полётов по 110 трансектам с интервалом в среднем 3,9 км. Протяжённость всех трансект – 5673 км, исследуемая площадь ледовой поверхности составила 10 041 км².

В 2021 г. авиаучёт байкальской нерпы был начат 11 апреля (сплошной лёд был по всей акватории) с учётом поступившей информации от БайкалНИРО

Таблица 1. Техническое обеспечение авиаучётов и объём материала используемый в статье
Table 1. Technical support for aerial surveys and the materials used in the article

| Год | Сроки | Площадь охвата авиаучётом, км ² | Кол-во фотографий, шт. | БАС | Фотокамера |
|------|-------------|--|------------------------|--------------------|---------------------------|
| 2019 | 09.05-16.05 | 10041 | 51736 | Лунь-20 3 шт | Canon EOS5DS Sony 7RN2 |
| 2021 | 11.04-12.05 | 23 625 | 57524 | Альбатрос M5 2 шт. | Canon EOS5DS |

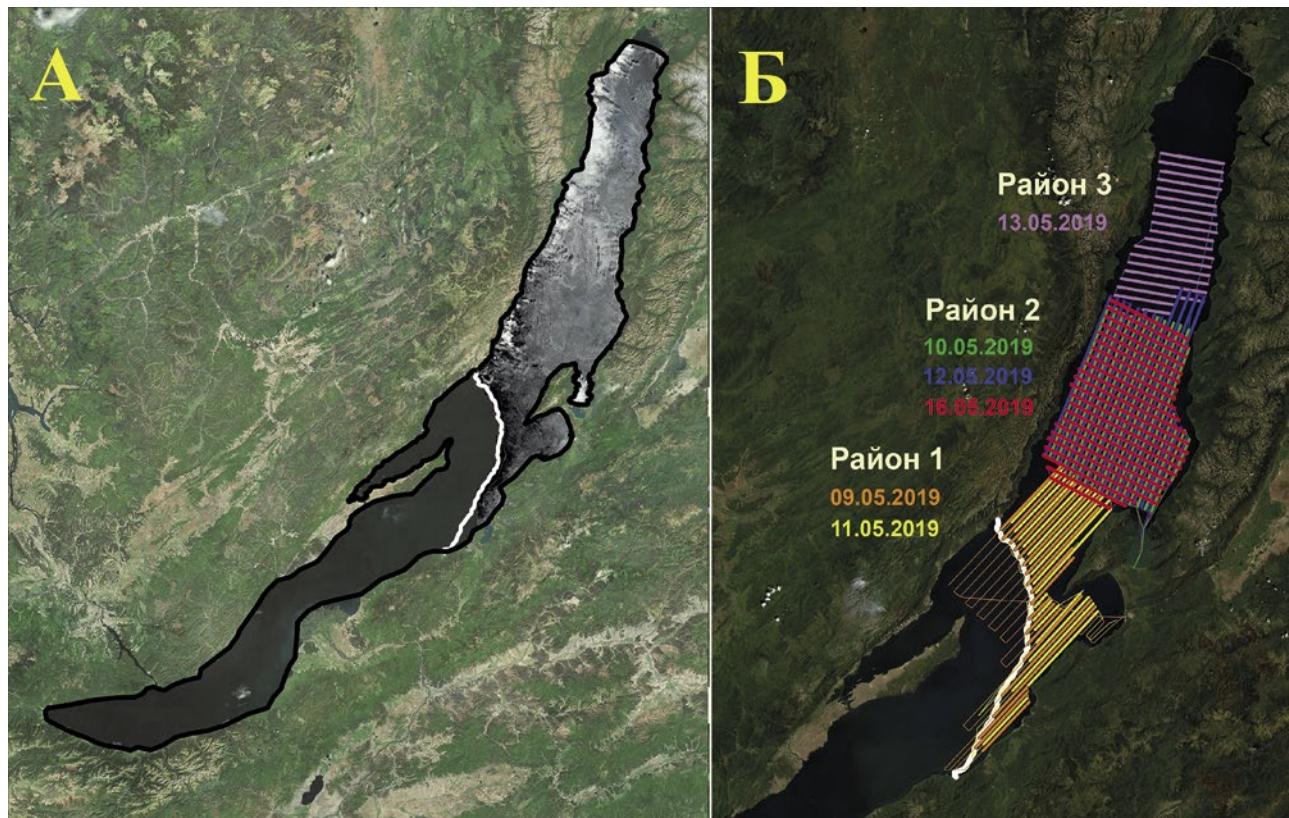


Рис. 1. Ледовая обстановка (А) и карта-схема (Б) маршрутов авиаучета байкальской нерпы в период с 9 по 16 мая 2019 г. Маршруты, выполненные в разное время,emarkированы разными цветами; даты полётов указаны соответствующим цветом для каждого из трёх обследованных районов. Белой линией отмечена южная граница кромки сплошного ледового покрова

Fig. 1. Ice conditions (A) and a map-scheme (Б) of the routes of the aerial survey of the Baikal seal from May 9 to May 16, 2019. The routes performed at different times are marked in different colors; the dates of the flights are indicated in the corresponding color for each of the three surveyed areas. The white line marks the southern boundary of the edge of the continuous ice cover

о начале обрушения крыши логовов в южном районе о. Байкал и закончен 12 мая надо льдами в северном районе. Выполнено 63 полёта по 146 трансектам с интервалом в среднем 4,3 км (рис. 2). Протяжённость трансекта составила 5323 км, с общей площадью охвата ледовой поверхности 23 625 км² [Бизиков и др., 2022 а].

Расчёты осуществлялись в программе Microsoft Excel 2010, а для анализа и визуализации пространственного распределения животных использовалась географическая информационная система

QGIS 3.30.3¹. Анализ ледовой обстановки оз. Байкал проводили по спутниковым снимкам². Построение карт распределения байкальской нерпы по данным авиаучёта проводилось с использованием метода сплайн-аппроксимации в программном пакете System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA9.8.1)³.

¹ <https://qgis.org>. 04.03.2023

² <https://worldview.earthdata.nasa.gov> 17.07.2024

³ <https://saga-gis.sourceforge.io> . 25.06.2025

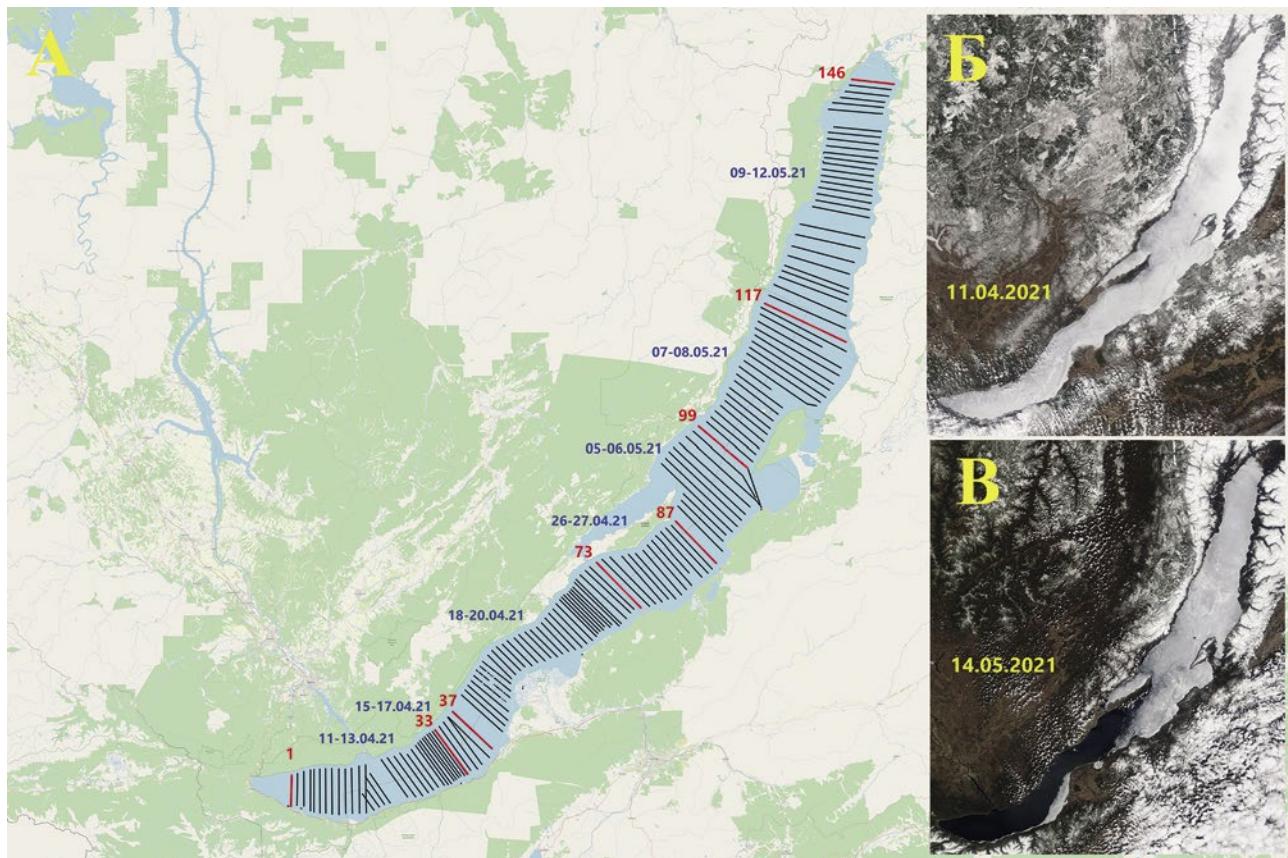


Рис. 2. Карта-схема (А) авиаучёта с 11 апреля по 12 мая 2021 г. и ледовая обстановка (спутниковые снимки) в начале (Б) и в конце (В) работ (красным цветом выделены начальные трансекты временных интервалов, синим цветом указаны временные интервалы)

Fig. 2. Map-scheme (A) of aerial survey from April 11 to May 12, 2021 and ice conditions (satellite images) at the beginning (Б) and end (B) of the work (initial transects of time intervals are highlighted in red, time intervals are indicated in blue)

Все данные были оформлены в виде электронных таблиц. Информация внесена в базу данных авиационных учётов ЦИ ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», где она доступна для повторного анализа и исследований.

На основе накопленного опыта авиаучётов 2019 и 2021 гг., взяв за основу методические рекомендации по учёту приплода [Бизиков и др., 2021 а], предлагается методика прямого учёта численности байкальской нерпы на льдах с применением беспилотных воздушных судов, будучи оригинальной разработкой, приводится в разделе «Результаты» с пояснениями каждого этапа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Авиаучёт с применением беспилотников рекомендуется проводить с апреля до середины мая, так как зимы на Байкале бывают холодные и тёплые. Конкретные сроки проведения авиаучёта могут изменяться год от года и зависят от динамики разрушения сплошного ледового покрова. В этот период времени в хорошую погоду выходят нерпы на лёд для релакса-

ции и линьки в массовом количестве. С повышением среднесуточных температур начинается разрушение логовов и для учёта становятся видны щенки (рис. 3).

Авиасъёмку необходимо проводить последовательно: южная часть – средняя часть – северная часть оз. Байкал (рис. 4). Предложенная карта-схема включает 115 трансект общей протяжённостью 7000 км. Дату начала работ в каждой части определяют в зависимости от погодных условий и ледовой обстановки.

Учётные полёты предлагается выполнять параллельными галсами, ориентированными либо вдоль берегов озера, либо перпендикулярно (предпочтительнее) им. Полоса акватории озера, отнятая при выполнении одного галса (учётная трансекта), является основным структурным элементом авиаучёта, используемым при последующем подсчёте численности байкальской нерпы и анализе её распределения. Расстояние между трансектами рекомендуется соблюдать в диапазоне 2-4 км в зависимости от высоты полёта беспилотника и фокусного расстояния объектива камеры видимого диапазона. Это необходимо, чтобы от-



Рис. 3. Залёжки нерп на льду (А, Б) и самки с щенками около разрушенных логовов (В, Г)

Fig. 3. Haulouts on the ice (A, B) and females with pups near destroyed dens (B, Г)

снятая на трансектах общая площадь охвата составляла не менее 5 % от площади всего обследованного участка ледового покрытия. Пример – при высоте полёта беспилотника 200 м и объективом 35 мм расстояние между трансектами должно быть не более 3,8 км.

Авиасъёмку рекомендуется выполнять с помощью беспилотников, оборудованных двумя камерами, позволяющими снимать синхронно в видимом и в инфракрасном диапазонах. В зависимости от технических характеристик камер и их объективов устанавливаются скорость полёта и диапазон высот для беспилотника. По данным авиаучётов 2019 и 2021 гг. установлено: приемлемая скорость беспилотника 100 км/ч; оптимальные высоты от 160 м до 200 м. При съёмке в этом диапазоне высот на фотографиях отчётливо видны не только силуэты особей, но и их части тела (голова, ласты) и детали окраса (рис. 5), тем самым снижается количество ошибок при идентификации животных на фотографиях.

Погодные условия на оз. Байкал в апреле-мае переменчивые, и количество пригодных для авиаучёта дней непредсказуемо. Поэтому для выполнения работ следует использовать несколько беспилотников, чтобы за один погожий день обследовать максимальную ледовую площадь. Такую возможность дают беспилотники с дальностью полёта более 1000 км, особенно при обследовании удалённых районов от места базирования лётной группы. Так, в 2019 году за один световой день двумя беспилотниками был обследован участок акватории оз. Байкал площадью более 3000 км², а за три дня – практически весь оставшийся на момент учёта ледовый массив.

Авиасъёмку необходимо проводить в светлое время суток в дни с температурой окружающего воздуха не ниже минус 15 °С при маловетреной погоде (скорость ветра до 10 м/с) и хорошей прямой видимости (отсутствие тумана, существенных осадков и облачности ниже высоты полёта беспилотника).

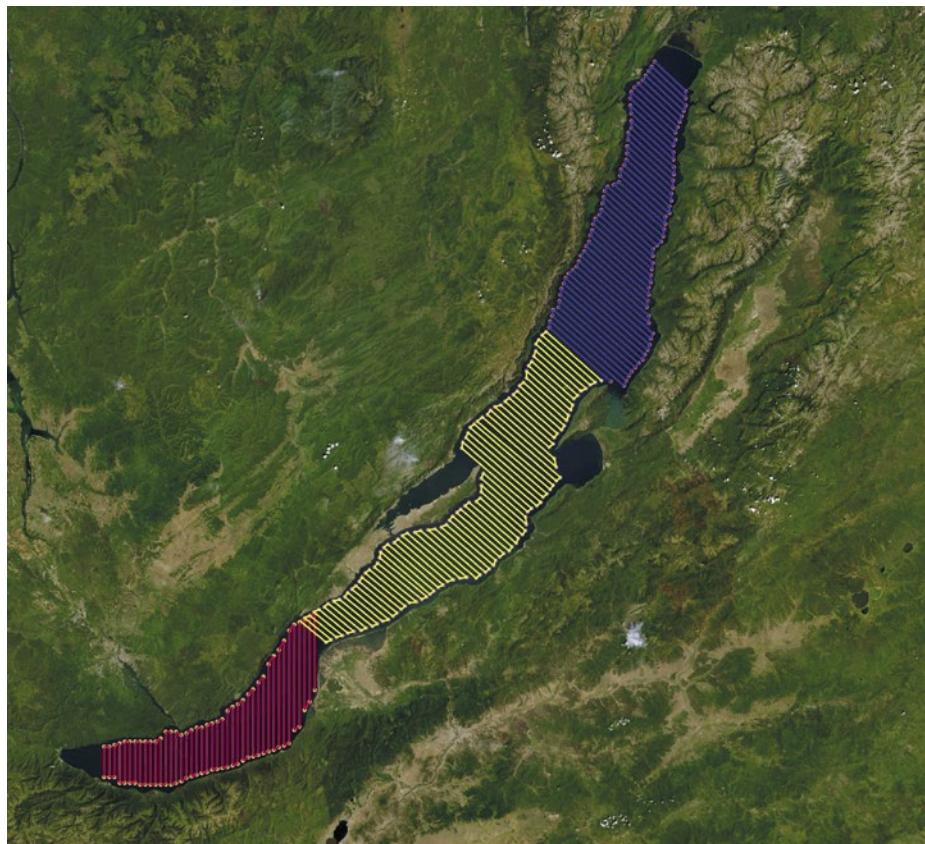


Рис. 4. Карта-схема учётных трансектов в южной (красные линии), средней (жёлтые линии) и в северной (синие линии) частях оз. Байкал

Fig. 4. Map-scheme of survey transects in the southern (red lines), middle (yellow lines) and northern (blue lines) parts of Lake Baikal

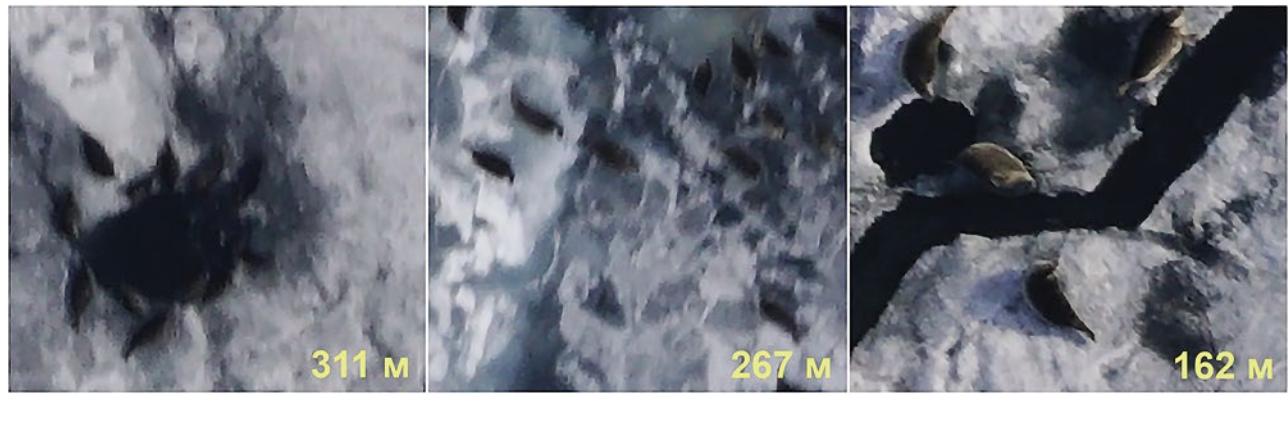


Рис. 5. Чёткость фотоснимков байкальской нерпы, выполненных на разных высотах полёта беспилотника. Высота полёта (в метрах) указана в правом нижнем углу каждого снимка

Fig. 5. Clarity of photographs of the Baikal seal, taken at different altitudes of the UAV flight. The flight altitude (in meters) is indicated in the lower right corner of each photograph

Авиасъёмку рекомендуем проводить камерами с разрешением полнокадровой матрицы, обеспечивающей оптическое разрешение (размер пикселя изображения на местности), соответственно, для фо-

тоснимков в видимом диапазоне не хуже, чем 0,025 м на пиксель и ИК-изображений не хуже, чем 0,30 м на пиксель. Такое разрешение позволяет обеспечить качество фотографий, позволяющее идентифицировать

взрослых особей, детёнышей и логова байкальской нерпы на льду оз. Байкал.

Фотокамера видимого диапазона и фотокамера ИК-диапазона следует установить совместно, соосно, в надир (перпендикулярно вниз поверхности земли) на борту беспилотника. Затворы вышеуказанных фотокамер должны срабатывать одновременно. Все виды авиаъёмки во время полёта должны выполняться синхронизировано и непрерывно, временной интервал между кадрами должен обеспечивать до 10 процентов перекрытия соседних кадров. Полоса захвата ИК-съёмки должна превосходить съёмку в видимом диапазоне, так как подсчёт и верификация особей проводится по площади, перекрываемой фотографиями видимого диапазона.

Система телеметрии беспилотника регистрирует параметры полёта, обязательно включая такие данные, как время в формате UTC⁴, координаты, высоты, курс, скорость, тангаж, крен.

Для обработки материалов авиаучёта рекомендуем применять алгоритмы, использующие нейросетевую технологию искусственного интеллекта -компьютерное зрение. Такой вид обработки позволяет в автоматическом режиме с высокой скоростью обрабатывать большие массивы данных (десятки тысяч фотографий) и идентифицировать на них особей байкальской нерпы. В отличие от обработки материалов исследователями вручную, в несколько раз снижается количество пропусков отдельных животных на фотографиях. Например, в ходе первичной обработки материалов полётов от 9 мая авиаучёта 2019 г. три независимых исследователя после анализа всех отснятых фотографий полёта обнаружили нерп только на 98 изображениях, в основном в скоплениях, тогда как обработка с использованием искусственного интеллекта на том же материале идентифицировала нерп на 454 фотографиях. Сравнение результатов показало, что исследователями не были обнаружены на фотографиях более 1,5 тыс. животных. Ранее схожий алгоритм обработки данных был успешно применён для учёта численности приплода гренландского тюленя (*Pagophilus groenlandicus*) на льдах в Белом море [Сидоров и др., 2025].

Поиск животных предлагается проводить параллельно независимо на двух массивах данных – фотографии видимого диапазона и ИК-изображениях, которые между собой синхронизированы. Далее результаты обработки сравнивают и выявляют отличия между парными синхронизированными снимками ИК- и видимого диапазона. Выявляется причина несоот-

ветствия, так «горячим» пятном на ИК-изображении может оказаться другой объект, нагретый на солнце (мусор, бревна, птицы и т. п.). Однако возможен случай, когда есть «горячее» пятно на ИК-изображение, а на синхронизированной фотографии видимого диапазона компьютерным зрением нерпа не была распознана из-за нахождения только её отдельной части на границе кадра или вследствие небольшого тумана. Такой метод обработки является элементом верификации. На заключительном этапе следует исключить повторные учёты отдельных особей на перекрывающихся участках смежных фотографий (из-за перекрывания зон фотофиксации).

Результатом автоматической обработки, сравнения синхронизированных пар снимков являются данные, содержащие имена файлов с количеством обнаруженных нерп, времени съёмки, координаты центра кадра и соответствующая телеметрия полёта. Эти данные заносятся в электронные таблицы базы данных для последующей обработки и хранения с возможностью обращения к первоисточникам (фотографиям авиаучёта).

Для экстраполяции полученных данных с целью получения итогового результата по оценке численности байкальской нерпы на льду проводят предварительные математические вычисления ширины и протяжённости (длины) трансект, а также расстояний между ними.

Ширину (*W*) трансекты (ширину полосы прямого фотоучета) на поверхности озера рассчитывают отдельно для каждого типа фотокамеры, исходя из высоты полёта и фокусного расстояния объектива, по следующей формуле:

$$W = \frac{b \times H}{f}, \quad (1)$$

где *f* – фокусное расстояние объектива (мм); *b* – ширина матрицы фотоаппарата (мм); *H* – высота полёта (м).

Для вычисления протяжённости (длины) учётных трансект и расстояния между ними используют алгоритмы сфероидической геодезии [Морозов, 1979], позволяющие рассчитывать угловые расстояния ($\Delta\sigma$) между точками (локациями), расположенными на сфере (земном шаре), по формуле:

$$\Delta\sigma = \arccos(\sin\varphi_1 \times \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \times \cos\varphi_2 \times \cos\Delta\lambda), \quad (2)$$

где φ_1, φ_2 – широта и долгота двух локаций в радианах; $\Delta\lambda$ – разница координат по долготе.

Для перевода углового расстояния ($\Delta\sigma$) в метрическое расстояние (*l*, км) используют формулу:

$$l = \Delta\sigma \times R, \quad (3)$$

⁴ Всемирное координированное время.

где $R = 6371,22$ км – средний радиус земного шара [Хромов, Мамонтова, 1974].

Оценку численности байкальской нерпы на обследованных ледовых площадях предлагается проводить делением учётной акватории на расчётные сектора по методу раздельной экстраполяции [Челинцев, 2004]. Статистическая ошибка в описанном методе определяется дисперсией количества (плотности распределения) животных лишь на соседних учётных трансектах, а не на всей их совокупности. Ранее этот метод был применён для обработки данных авиаучётов популяций различных видов морских млекопитающих [Сидоров и др., 2023, 2025].

Описание метода раздельной экстраполяции Н.Г. Челинцева применительно к байкальской нерпе. Так как авиаучёты выполняются параллельными трансектами, границы расчётных секторов проводят на равноудалённом расстоянии между соседними трансектами (рис. 6).

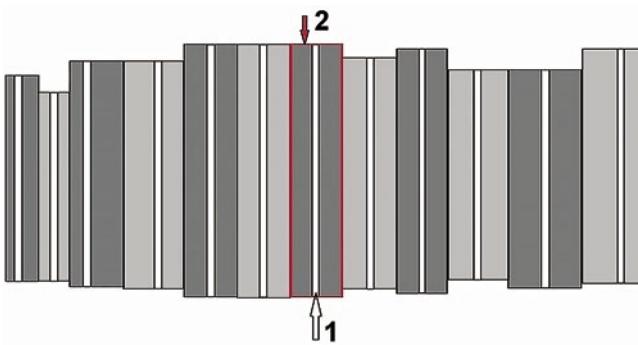


Рис. 6. Схема, иллюстрирующая формирование контуров расчётных секторов (2) для каждой учётной трансекты (1) по методу раздельной экстраполяции Н.Г. Челинцева [2004] при выполнении авиаучёта параллельными трансектами

Fig. 6. Scheme illustrating the formation of contours of calculation sectors (2) for each survey transect (1) using the separate extrapolation method of N.G. Chelintsev [2004] when performing aerial surveys using parallel transects

Экстраполированная численность N_j нерпы в каждом учётном секторе рассчитывают по формулам, взятым из работы Н.Г. Челинцева [2004]:

$$q_j = L_j W_j; \quad (4)$$

$$D_j = n_j / q_j; \quad (5)$$

$$N_j = D_j Q_j, \quad (6)$$

где q_j – площадь j -й учётной трансекты; L_j – длина j -й учётной трансекты; W_j – ширина j -й учётной трансекты; n_j – общее число животных, обнаруженных на j -й учётной трансекте; D_j – плотность животных на j -й учётной трансекте; Q_j – площадь j -го учётного сектора.

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

$$Q_j = L_j B_j; \quad (7)$$

$$B_j = 0,5(F_{j-1,j} + F_{j,j+1}), \quad (8)$$

где $F_{j-1,j}$ – расстояние между $(j-1)$ -й и j -й трансектами; $F_{j,j+1}$ – расстояние между j -й и $(j+1)$ -трансектами.

Для крайних учётных трансект ширина расчётных секторов оценивается следующим образом:

$$B_1 = 0,5 F_{1,2}; \quad (9)$$

$$B_t = 0,5 F_{t-1,t}, \quad (10)$$

где $F_{1,2}$ – расстояние между 1-й и 2-й трансектами; $F_{t-1,t}$ – расстояние между предпоследней ($t-1$) и последней (t) трансектами.

Статистическая ошибка оценки численности нерп в j -м (кроме крайних учётных секторов) секторе рассчитывают по формуле:

$$m(N_j) = \frac{q_j}{2} \sqrt{\frac{1-q_j}{q_j} [(D_{j-1} - D_j)^2 + (D_j - D_{j+1})^2]}, \quad (11)$$

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

Для крайних учётных секторов статистическую ошибку оценки численности определяют на основе оценки дисперсии плотности животных на крайней и соседней с ней трансектах и рассчитывают по формулам:

$$m(N_1) = Q_1 \sqrt{1 - \frac{q_1}{Q_1} \frac{|D_1 - D_2|}{\sqrt{2}}}; \quad (12)$$

$$m(N_t) = Q_t \sqrt{1 - \frac{q_t}{Q_t} \frac{|D_t - D_{t-1}|}{\sqrt{2}}}, \quad (13)$$

Оценка общей расчётной численности N_o животных на учётной акватории равна сумме оценок их численности в секторах, составляющих в совокупности площадь экстраполяции:

$$N_o = \sum_j N_j, \quad (14)$$

где N_j – оценка численности животных в j -й учётной трансекте, рассчитанная по формуле (6).

Статистическая ошибка оценки общей численности нерп на всей учётной площади льда оз. Байкал рассчитывалась по формуле:

$$m = \sqrt{\sum_j m^2(N_j)}, \quad (15)$$

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

Благодаря этим расчётам оценивается численность байкальской нерпы на льду и может служить отправной точкой для оценки общей численно-

сти вида, для которой необходимо дополнительно определить долю животных, находящихся в воде. В 2021 году была предпринята попытка оценить процент неучтённых особей. Такую возможность дало применение беспилотников и цифровых фотокамер высокого разрешения, которые позволили не только посчитать количество нерп на льду, не тревожа их, но и по косвенным признакам оценить долю животных, находившихся под водой на момент авиаучёта. Весной байкальская нерпа массово выходит на лёд, проводя на нём продолжительное время [Пастухов, 1993]. На авиаснимках видно, что в мае 2021 г. [Бизиков и др., 2022 а], нерпы, лежащие на льду, отогревают на льду вокруг себя проталины, повторяющие контур тела животного. Сходящие в воду нерпы оставляют после себя такие пустые проталины, хо-

рошо заметные на фотографиях нерпичьих залёжек (рис. 7).

Количество свободных проталин в процентном отношении к численности конкретной группы, по нашему мнению, может отражать долю животных, находившихся во время авиаучёта под водой. В мае 2021 г. эта доля составила: для залежек вокруг крупных полыней и в зоне разноса льдов – около 14%; вокруг щенных логовов – 27%; в среднем – 18,6% [Бизиков и др., 2022 а].

Апробация методики. Обработка данных, распознавание и подсчёт животных осуществлялись по фотографиям видимого диапазона с помощью предварительно обученной нейросети в программе, написанной на языке Python с использованием модуля Yolo v4 [Сидоров, 2025]. В качестве обучающего на-

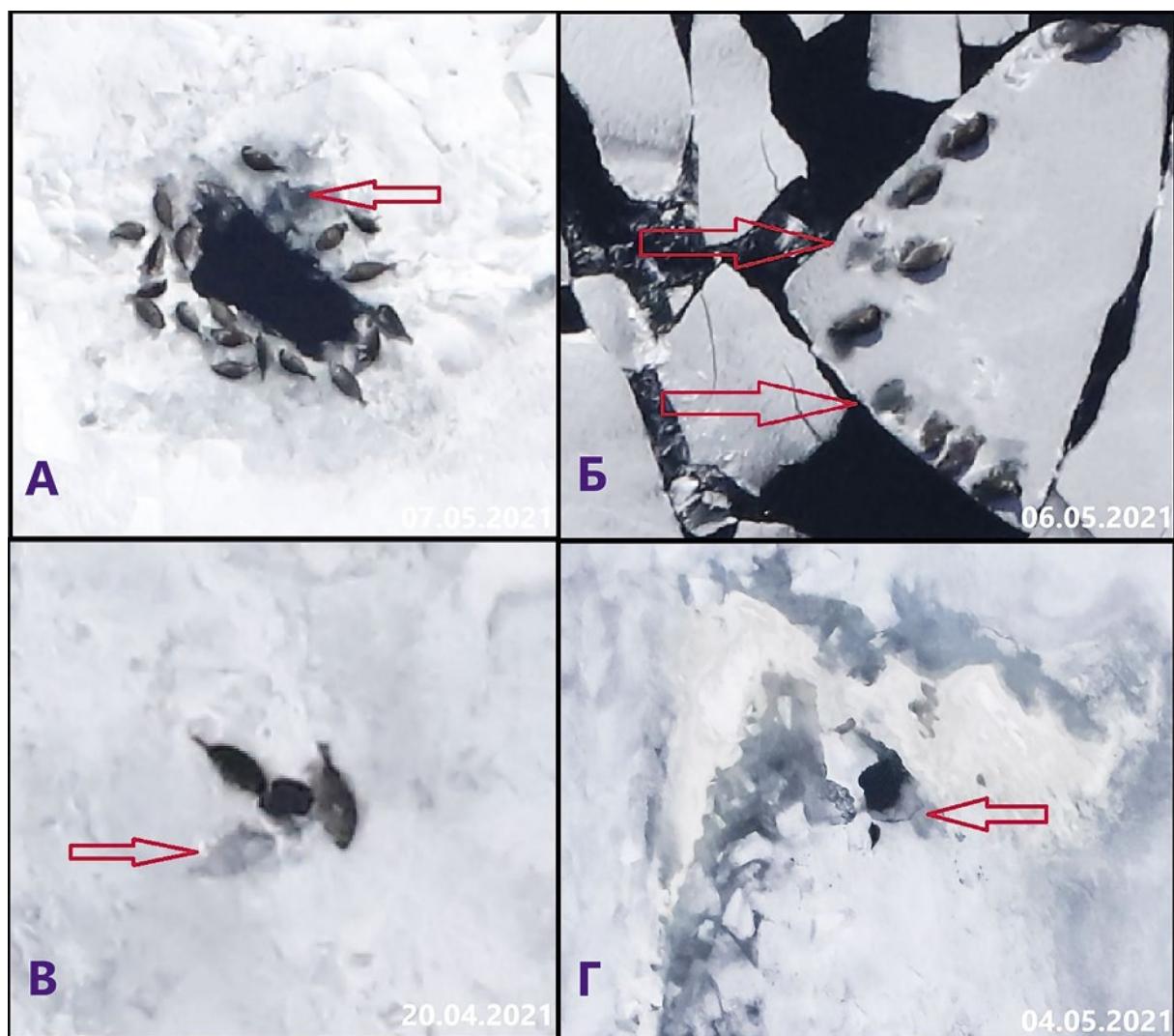


Рис. 7. Нерпичьи залежки животных со следами проталин (указаны красными стрелками), оставленные животными, сошедшими в воду (А - залежка у отдушины, Б – залежка на плавающей льдине, В – две особи у продуха, Г – особь у логова)

Fig. 7. Seal haulouts with traces of thawed patches (indicated by red arrows) left by animals that went into the water (A - haulout near an air vent, B – haulout on a floating ice floe, В – two individuals near a vent "dive", Г – individual near a den).

бора данных (датасета) была использована выборка из 1 412 изображений размером 896×896 пикселей с байкальскими нерпами, набранная из общего массива фотоданных авиаучёта 2021 г. Верификация автоматической обработки данных была выполнена в программе LabelImg⁵ тремя исследователями, работавшими независимо друг от друга. Фотографии, на которых количество идентифицированных особей различалось между исследователями, были проанализированы отдельно для выяснения причин и выработки консенсусной оценки. В спорных моментах принимались минимальные значения количества идентифицированных особей.

Предложенный метод обработки первичных материалов с использованием технологии искусственного интеллекта и алгоритм экстраполяции были применены к данным авиаучёта 2019 г.

Для оценки численности нерп на льду из всего массива данных были выбраны результаты обработки трех полётных дней с 11 по 13 мая, в течение которых практически весь сплошной пригодный массив льда (10 041,4 км²) для байкальской нерпы был обследован. По результатам облёта 11 мая численность байкальской нерпы на льду была оценена на уровне $27\,321 \pm 5\,162$ экз., 12 мая – $76\,616 \pm 15\,416$ экз., 13 мая – $2\,549 \pm 509$ экз. В итоге общая расчётная численность животных на льду в районе проведения авиаучёта в мае 2019 г. составила 106 486 экз. (табл. 2).

Полученный формат данных позволяет анализировать и визуализировать пространственные (географические) данные. Для оценки распределения нерпы в оз. Байкал в период авиаучёта в мае 2019 г. были построены: карта её встречаемости, на которой точками

Таблица 2. Распределение на учётных трансектах и общая расчётная численность байкальской нерпы в мае 2019 г. на льдах оз. Байкал

Table 2. Distribution by transects and estimated abundance of Baikal seals in May 2019 on the ice of Lake Baikal

| № учётной трансекты | Высота полёта, м | Ширина учётной полосы, м | Длина трансекты, км | Площадь учета на трансекте, км ² | Ширина расчетного сектора, км | Площадь расчетного сектора, км ² | Количество нерп | Численность нерп в расчетном секторе, экз. | Плотность распределения, нерп, экз./км ² |
|---|----------------------|--------------------------|----------------------|---|-------------------------------|---|----------------------|--|---|
| <i>j</i> | <i>h_j</i> | <i>W_j</i> | <i>L_j</i> | <i>q_j</i> | <i>F_j</i> | <i>Q_j</i> | <i>n_j</i> | <i>N_j</i> | <i>D_j</i> |
| 11 мая 2019 г. (нумерация учётных трансект с востока на запад) | | | | | | | | | |
| 1 | 314 | 226 | 31,8 | 7,2 | 2,9 | 92,1 | 110 | 1 413 | 15,3 |
| 2 | 312 | 225 | 69,5 | 15,6 | 4,0 | 274,3 | 38 | 675 | 2,5 |
| 3 | 299 | 215 | 58,3 | 12,5 | 4,0 | 233,1 | 112 | 2 088 | 9,0 |
| 4 | 296 | 213 | 42,7 | 9,1 | 3,9 | 166,4 | 84 | 1 545 | 9,3 |
| 5 | 289 | 208 | 32,5 | 6,8 | 4,1 | 131,6 | 66 | 1 292 | 9,8 |
| 6 | 291 | 210 | 16,8 | 3,5 | 4,2 | 69,6 | 26 | 523 | 7,5 |
| 7 | 287 | 207 | 13,1 | 2,7 | 4,0 | 52,2 | 84 | 1 625 | 31,1 |
| 8 | 291 | 210 | 8,6 | 1,8 | 4,2 | 35,8 | 42 | 824 | 23,0 |
| 9 | 308 | 222 | 54,9 | 12,2 | 4,0 | 219,5 | 70 | 1 269 | 5,8 |
| 10 | 309 | 222 | 55,0 | 12,2 | 3,6 | 195,4 | 77 | 1 234 | 6,3 |
| 11 | 305 | 220 | 52,1 | 11,4 | 3,6 | 187,5 | 99 | 1 621 | 8,6 |
| 12 | 307 | 221 | 48,4 | 10,7 | 3,8 | 181,3 | 84 | 1 433 | 7,9 |
| 13 | 291 | 210 | 45,2 | 9,5 | 3,9 | 174,1 | 99 | 1 820 | 10,5 |
| 14 | 288 | 207 | 43,5 | 9,0 | 4,0 | 174,1 | 272 | 5 255 | 30,2 |
| 15 | 290 | 209 | 42,1 | 8,8 | 4,0 | 166,3 | 43 | 821 | 4,9 |
| 16 | 292 | 210 | 40,1 | 8,4 | 4,0 | 160,3 | 135 | 2 571 | 16,0 |
| 17 | 293 | 211 | 36,8 | 7,8 | 3,1 | 114,2 | 89 | 1 312 | 11,5 |
| ИТОГО | | 691,4 | 149,2 | 65,3 | 2 627,8 | 1 530 | 27 321 | $\bar{x} = 12,3$ | |

⁵ <https://github.com/HumanSignal/labelImg> 01.05.2024

Окончание табл. 2

| № учетной трансекты | Высота полета, м | Ширина учетной полосы, м | Длина трансекты, км | Площадь учета на трансекте, км ² | Ширина расчетного сектора, км | Площадь расчетного сектора, км ² | Количество нерп | Численность нерп в расчетном секторе, экз. | Плотность распределения, нерп, экз./км ² |
|---|----------------------|--------------------------|----------------------|---|-------------------------------|---|----------------------|--|---|
| <i>j</i> | <i>h_j</i> | <i>W_j</i> | <i>L_j</i> | <i>q_j</i> | <i>F_j</i> | <i>Q_j</i> | <i>n_j</i> | <i>N_j</i> | <i>D_j</i> |
| 12 мая 2019 г. (нумерация трансект с востока на запад) | | | | | | | | | |
| 1 | 303 | 218 | 24,1 | 5,3 | 3,4 | 81,9 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 295 | 212 | 41,9 | 8,9 | 4,1 | 172,0 | 13 | 255 | 1,5 |
| 3 | 286 | 206 | 44,4 | 9,2 | 3,9 | 171,1 | 71 | 1 333 | 7,8 |
| 4 | 282 | 203 | 49,1 | 10,0 | 4,3 | 208,5 | 291 | 6 094 | 29,2 |
| 5 | 284 | 204 | 103,8 | 21,2 | 4,1 | 425,6 | 35 | 705 | 1,7 |
| 6 | 274 | 197 | 104,2 | 20,6 | 3,9 | 406,4 | 373 | 7 364 | 18,1 |
| 7 | 269 | 194 | 103,6 | 20,1 | 4,1 | 419,7 | 279 | 5 831 | 13,9 |
| 8 | 162 | 117 | 103,5 | 12,1 | 4,1 | 419,2 | 42 | 1 452 | 3,5 |
| 9 | 197 | 142 | 87,5 | 12,4 | 4,1 | 358,6 | 423 | 12 220 | 34,1 |
| 10 | 289 | 208 | 87,4 | 18,2 | 4,2 | 362,9 | 297 | 5 925 | 16,3 |
| 11 | 283 | 204 | 86,5 | 17,6 | 4,1 | 350,2 | 284 | 5 652 | 16,1 |
| 12 | 276 | 199 | 85,8 | 17,1 | 4,2 | 356,1 | 706 | 14 739 | 41,4 |
| 13 | 271 | 195 | 85,2 | 16,6 | 4,0 | 336,4 | 343 | 6 946 | 20,6 |
| 14 | 270 | 194 | 83,5 | 16,2 | 3,9 | 321,5 | 199 | 3 933 | 12,2 |
| 15 | 271 | 195 | 81,9 | 16,0 | 3,9 | 319,4 | 147 | 2 941 | 9,2 |
| 16 | 252 | 181 | 81,2 | 14,7 | 3,0 | 239,6 | 75 | 1 226 | 5,1 |
| ИТОГО | | 1 253,6 | 236,2 | 63,3 | 4 949,1 | 3 578 | 76 616 | $\bar{x} = 14,4$ | |
| 13 мая 2019 г. (нумерация трансект с юга на север) | | | | | | | | | |
| 1 | 315 | 227 | 13,7 | 3,1 | 4,2 | 57,0 | 4 | 81 | 1,4 |
| 2 | 319 | 230 | 29,1 | 6,7 | 4,2 | 120,9 | 26 | 473 | 3,9 |
| 3 | 317 | 228 | 41,7 | 9,5 | 4,2 | 173,2 | 3 | 62 | 0,4 |
| 4 | 319 | 230 | 40,9 | 9,4 | 4,2 | 169,9 | 18 | 330 | 1,9 |
| 5 | 319 | 230 | 39,9 | 9,2 | 4,0 | 159,7 | 7 | 120 | 0,7 |
| 6 | 319 | 230 | 39,0 | 9,0 | 4,0 | 155,9 | 13 | 219 | 1,4 |
| 7 | 320 | 230 | 38,5 | 8,9 | 4,0 | 153,9 | 17 | 298 | 1,9 |
| 8 | 315 | 227 | 37,5 | 8,5 | 4,1 | 153,8 | 11 | 207 | 1,3 |
| 9 | 303 | 218 | 32,0 | 7,0 | 4,1 | 131,3 | 3 | 64 | 0,5 |
| 10 | 306 | 220 | 29,9 | 6,6 | 4,0 | 117,9 | 6 | 102 | 0,9 |
| 11 | 302 | 217 | 31,0 | 6,7 | 4,0 | 123,8 | 13 | 231 | 1,9 |
| 12 | 293 | 211 | 30,4 | 6,4 | 4,1 | 122,9 | 5 | 88 | 0,7 |
| 13 | 298 | 215 | 29,2 | 6,3 | 4,0 | 117,0 | 5 | 86 | 0,7 |
| 14 | 297 | 214 | 28,6 | 6,1 | 4,0 | 114,2 | 2 | 43 | 0,4 |
| 15 | 300 | 216 | 28,1 | 6,1 | 4,0 | 112,4 | 0 | 0 | 0,0 |
| 16 | 302 | 217 | 29,9 | 6,5 | 4,0 | 119,7 | 3 | 63 | 0,5 |
| 17 | 301 | 217 | 29,4 | 6,4 | 4,1 | 119,2 | 0 | 0 | 0,0 |
| 18 | 302 | 217 | 30,3 | 6,6 | 4,1 | 122,5 | 0 | 0 | 0,0 |
| 19 | 306 | 220 | 29,8 | 6,6 | 4,0 | 119,3 | 5 | 82 | 0,7 |
| ИТОГО | | 608,9 | 135,6 | 77,3 | 2 464,5 | 141 | 2 549 | $\bar{x} = 1,0$ | |

отмечено положение всех результативных кадров (когда присутствует хотя бы одна нерпа), а диаметр точек пропорционален количеству нерп на кадре (рис. 8 А), и карта плотности распределения нерп (в экз./км²), построенная путём сплайн-аппроксимации точечных оценок плотности распределения, рассчитанных по отдельным кадрам (рис. 8 Б).

Как видно из обеих карт, наиболее плотные скопления нерпы (до 100 особей в одном кадре; выше 40 экз./км²) в период авиаучёта находились севернее Ушканов. Местами животные образовывали крупные залёжки (урганы) вдоль трещин или вокруг обширной полыни: на таких скоплениях количество нерп на одной фотографии доходило до 111 экз. В северной части оз. Байкал нерпы встречались единично и скоплений не образовывали, плотность распределения животных в среднем составляла 1 экз./км².

ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее материалы авиаучёта байкальской нерпы в мае 2019 г., используемые в настоящей статье, уже послужили для разработки методических рекомендаций по авиаучёту байкальской нерпы путём подсчёта её логовищ [Бизиков и др., 2021 а]. В основе этих рекомендаций лежала методика ледового учёта логовов В.Д. Пастухова [1993], адаптированная к условиям и техническим возможностям беспилотников. Однако методика оценки численности байкальской нерпы по её логовам имеет ряд неустранимых ограничений и недостатков. Одним из них является проблема учёта двойных логовищ, существующая и при наземном (ледовом) учёте логовов [Елагин и др., 1990]. Другой проблемой являлась необходимость иметь достоверную информацию о половом, возраст-

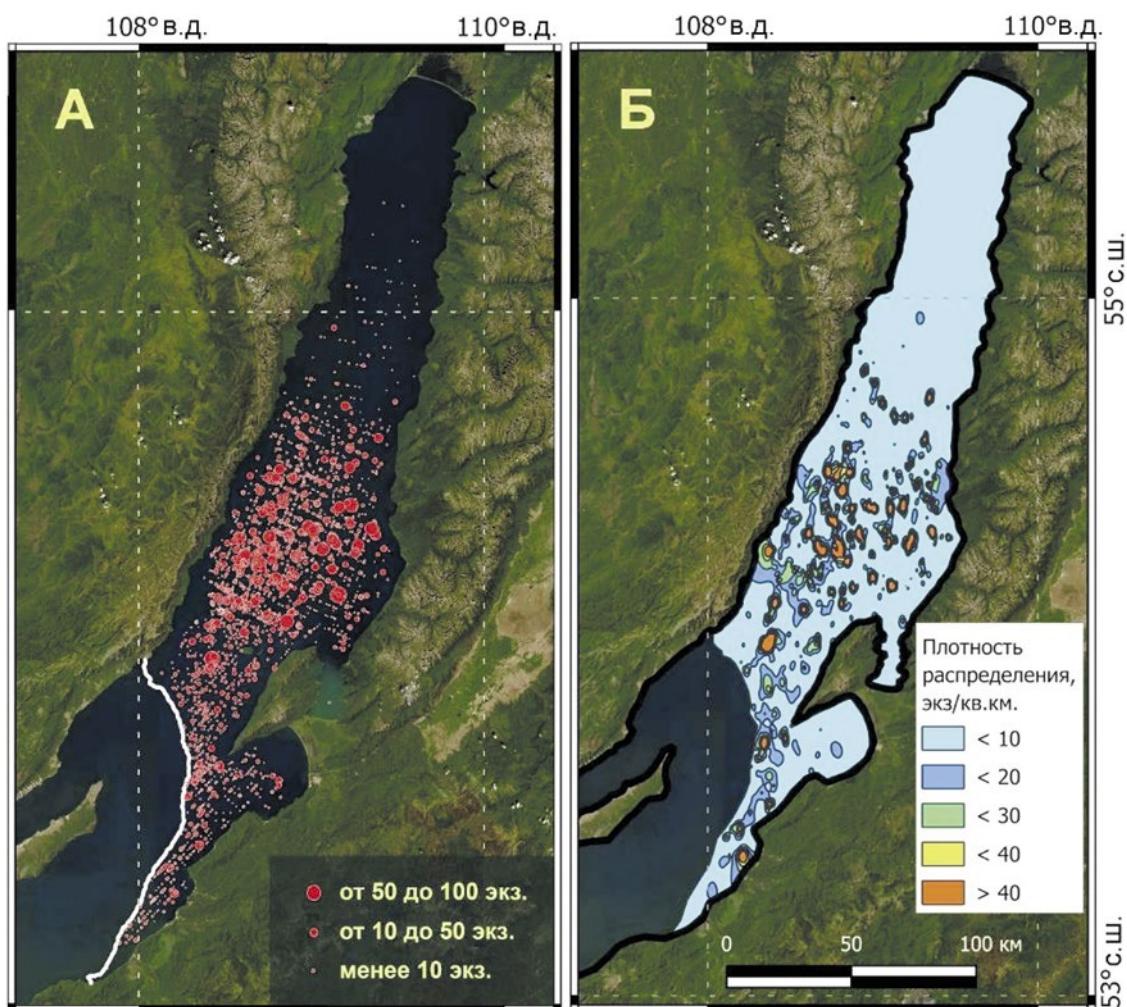


Рис. 8. Распределение байкальской нерпы в мае 2019 г.: А – встречаемость нерпы (количество особей, попавших на один кадр в ходе авиаучета); Б – плотность распределения, рассчитанная методом сплайн-аппроксимации.

Fig. 8. Distribution of Baikal seals in May 2019: A – seal occurrence (number of individuals caught in one frame during aerial survey); B – distribution density calculated using spline approximation

ном составе популяции, возрасте созревания и доле яловых самок в предшествующий год учёта (или ре-презентативные данные за несколько лет) для расчёта общей численности популяции нерпы. В период ведения промысла байкальской нерпы такие популяционные показатели оценивались по выборкам из промысловых побоек, которые были массовыми, что в современных условиях неприемлемо. В настоящее время эти параметры оцениваются по небольшим выборкам научных квот, и точность этих оценок ста-ла существенно ниже.

Другим источником неопределённости оценок по методике учёта логовов является многоэтапность применяемого алгоритма расчёта численности, при-чём на каждом этапе имеется статистическая ошибка, которая затем суммируется с ошибками других этапов. Так, уже на этапе оценки численности щенков по лого-вам статистическая ошибка может составлять до $\pm 30\%$ [Петров, 2007]. Накопление этих ошибок в процессе расчётов приводит к росту неопределённости итого-вой оценки численности популяции.

В настоящей работе на основание опыта прове-дённых авиаучётов в 2019 и 2021 гг. на оз. Байкал, а также наработок в процессе авиаучётов морских млекопитающих в других регионах России с исполь-зованием беспилотников [Бизиков и др., 2019, 2021 а, б, 2022 а, б; Сидоров и др., 2023, 2025] предлага-ется новый метод оценки численности байкальской нерпы, основанный на прямом подсчёте животных, находящихся непосредственно на льду. Преимуще-ством этого метода является относительная просто-та алгоритма расчёта, исключающая использование популяционных параметров на момент проведения учёта, достоверная оценка которых в настоящее вре-мя весьма проблематична. При применении беспилот-ников исключается человеческий фактор, а именно, соблазн изменить курс самолёта от запланированной трансекты, чтобы «подвернуть» в сторону обнаружен-ного скопления животных. В отличие от пилотируемо-го самолёта, беспилотник выполняет авиаучёт точно по намеченному маршруту, заложенному в програм-му полёта, и на установленной высоте. В результате устраняются вопросы относительно площади учёта и статистической достоверности.

Современные технические средства делают воз-можным выполнение непрерывной авиаасьёмки с беспилотника на протяжении всего маршрута. Получае-мые в результате большие объёмы первичных ма-териалов (фотографий), отснятых на протяжении не-скольких тысяч километров учётных полос (трансект), позволяют снизить погрешности и повысить точность оценок численности морских млекопитающих.

Для расчёта общей численности нерпы на льдах предложенный метод раздельной экстраполяции яв-ляется универсальным и может работать в тех случа-ях, когда длины трансект и интервалы между ними варьируют в пределах авиаучёта. Этот метод предла-гается применять для оценки количества логовов, как это было сделано в 2021 г. – количество учтённых ло-говов на площади $27\,210 \text{ км}^2$ составило $25\,988 \pm 1\,027$ шт., нерп на льду 107723 экз. [Бизиков и др., 2022 а].

Стоит отметить, что для расчёта общей численно-сти необходимо определить долю зверей, находящих-ся в момент учёта подо льдом. Этот вопрос сложный и практически неразрешим. В методике предложен алгоритм определения этой доли по оставленным проталинам зверей, который весьма спорный, но до насторожего времени никто другого способа не пред-ложил. По литературным данным значение этой доли для других пагофильных видов (ладожская нерпа, ка-спийский тюлень) при авиаучёте варьировало от 20% [Антонюк, 1975] до 90% [Тормосов, Филатов, 1977].

Предложенная методика даёт возможность оце-нить фактическую численность животных на льду в ис-следуемом районе, а не в целом. Однако эта величи-на является минимальной общей численностью вида и может служить отправной точкой при прогнозиро-вании.

К трудностям предлагаемого метода можно от-нести: проведение авиаучёта на большой площади ис-следования; согласование проведения авиаучёта с различными государственными ведомствами; обу-словленность от погодных условий, от которых в зна-чительной мере будет зависеть результативность авиаасьёмок. Указанные трудности можно преодолеть за счёт грамотного планирования, включающего на предварительном этапе отслеживание климатиче-ских условий и ледовой обстановки на оз. Байкал, чтобы соблюсти фенологическое время проведения учёта и начать работы с южной части озера с момен-та разрушения ледового покрова. В 2019 г. работы были выполнены не в оптимальный срок и, как след-ствие, не по всей акватории, поэтому возник вопрос, как полученные фактические результаты соотнести к общей численности вида? Однако эти работы дали представление о распределении животных на льдах и их количестве в середине мая, когда байкальская нерпа формирует массовые залёжки на плавающих льдах [Петров и др., 2025]. Авиаучёт в 2021 г. прове-дён в оптимальные сроки. Все трансекты выполнены последовательно с юга на север над ледовым покры-тием оз. Байкал. Следуя предложенной методике, об-щая численность байкальской нерпы оценена в 2021 г. на уровне 132 тыс. особей [Бизиков и др., 2022].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика оценки численности байкальской нерпы на основе прямого учёта животных на льдах с применением беспилотных авиационных систем даёт возможность оценивать минимальную (без учёта животных в воде) общую численность вида.

Важным достоинством предлагаемого метода учёта байкальской нерпы является автоматическая обработка цифровых фотоснимков с применением программных комплексов, использующих компьютерное зрение на основе технологий нейронных сетей искусственного интеллекта для распознавания различных видов образов на изображениях, включая морских млекопитающих. Многоступенчатая верификация сводит до минимума недоучёт животных.

Метод раздельной экстраполяции Н.Г. Челинцева на сегодня является единственным алгоритмом при обработке первичных данных авиаучёта, поскольку применим и в тех случаях, когда длины трансект и расстояния между ними варьируют в пределах авиаучёта. Стандартизированная обработка данных даёт возможность достоверно сравнивать результаты авиаучётов и служит основой получения объективной оценки динамики численности байкальской нерпы и разработки рекомендаций по её сохранению и рациональному использованию.

Целесообразно параллельно с учётом животных оценивать количество логовов с применением беспилотников. Эта информация даёт: во-первых – представление о численности приплода текущего года для построения популяционных моделей; во-вторых – при наличии достоверных данных (соотношение полов, возрастной состав, доля яловых самок), служит первичным материалом для оценки численности байкальской нерпы по логовам.

Благодарности

Авторы благодарят руководство и операторов беспилотных летательных аппаратов ООО «Современные информационные технологии» (ООО «СИТ») и АО «Юнайтед Телеком» (АО «ЮТК»), обеспечивших авиаучётные работы. Важную роль в подготовке статьи сыграли замечания и рекомендации анонимного рецензента, которому мы также очень благодарны.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

ЛИТЕРАТУРА

- Антонюк А.А. 1975. Оценка общей численности популяции тюленя *Pusa hispida ladogensis* Ладожского озера // Зоологический журнал. Т. 54. Вып. 9. С. 1371-1377.
- Бизиков В.А., Болтнев Е.А., Петров Е.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И. 2019. Экспериментальная авиаучётка байкальской нерпы с использованием БПЛА большой дальности // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 226-229.
- Бизиков В.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Петров Е.А., Бобков А.И. Ткачёв В.В., Сидоров Л.К., Болтнев Е.А. 2021 а. Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыболовственном бассейне. М.: Изд-во ВНИРО. С. 56.
- Бизиков В.А., Черноок В.И., Сидоров Л.К., Беляев В.А., Шипулин С.В., Кузнецов В.В., Скользкий В.А., Климов Ф.В., Марбаев Е.Н., Ербулев С.Т., Куанышев Е.К. 2021 б. 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., Сидоров Л.К., Петерфельд В.А., Болтнев Е.А. 2022 а. 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 Ариал. С. 108-113.
- Бизиков В.А., Сабиров М.А., Сидоров Л.К., Лукина Ю.Н. 2022 б. Численность и распределение ладожской кольчатой нерпы в аномально тёплую зиму 2020 года: оценка по результатам авиаучёта с использованием БПЛА // Труды ВНИРО. Т. 190. С. 79-94.
- Елагин О.К., Иванов М.К., Петров Е.А. 1990. Устройство, распределение и плотность логовищ щенков Байкальской нерпы // Морские млекопитающие. Тез. докл. X Всес. совещания по изучению, охране и рациональному использованию морских млекопитающих (г. Светлогорск Калининградской области, 2-5 октября 1990 г. С. 95-96.
- Морозов В.П. 1979. Курс сфериодической геодезии. М.: Недра. 296 с.
- Пастухов В.Д. 1965. К методике количественного учёта байкальского тюленя // Морские млекопитающие. М.: Наука. С. 100-104.
- Пастухов В.Д. 1971. Учёт приплода нерпы // Исследования морских млекопитающих. Калининград. С. 117-124.
- Пастухов В.Д. 1993. Нерпа Байкала. Новосибирск: Наука. 322 с.
- Петров Е.А. 2007. Проблемы эксплуатации популяции байкальской нерпы // Рыбное хозяйство. № 1. С. 74-77.
- Петров Е.А., Купчинский А.Б., Сыроватский А.А. 2025. Весенние ледовые залёжки и поведение байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gmelin, 1788, Phocidae) // Зоологический журнал. Т. 104. № . 3. С. 82-99.

- Свиридов Н.С. 1954. Опыт учёта численности и распределения нерпы на озере Байкал с помощью самолёта // Известия Иркутск. сельскохоз. ин-та. Вып. 6. С. 321-331.
- Сидоров Л.К. 2025. Опыт применения цифрового зрения при обработке фотоматериалов авиаучётов морских млекопитающих // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов. Мат. II междунар. науч.-практ. конф. Москва, ФГБНУ «ВНИРО», 18-22 ноября 2024 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 156-159.
- Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Рожнов В.В., Шипулин С.В., Кузнецова В.В., Белокобыльский И.Ф., Мягкий Н.А., Соловьева М.А., Глазов Д.М., Назаренко Е.А. 2023. Распределение и численность каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия в феврале-марте 2023 г. // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 82-100.
- Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Забавников В.Б., Егоров С.А. 2025. Оценка воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя в 2023 и 2024 гг. // Труды ВНИРО. Т. 199. С. 64-85.
- Тормосов Д.Д., Филатов И.Е. 1977. О статье А.А. Антонюка «Оценка общей численности популяции тюленя Ладожского озера» // Зоологический журнал. Т. 56. Вып. 9. С. 1425-1427.
- Хромов С.П., Мамонтова Л.И., 1974. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат. 569 с.
- Челинцев Н.Г. 2004. Алгоритмы экстраполяции при авиаучётах животных // Бюллетесть МОИП. Отд. биол. Т. 109. Вып. 2. С. 3-14.
- REFERENCES**
- Antoniuk A.A. 1975. Estimation of the total population density of the Lake Ladoga seal (*Pusa hispida ladogensis*) // Russian Journal of Zoology. V. 54(9). P. 1371-1377. (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., 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 a. 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., 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., Kuanyshov E. K. 2021 b. 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., Sidorov L.K., Peterfeld V.A., Boltnev E.A. 2022 a. 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.)
- Bizikov V.A., Sabirov M.A., Sidorov L.K., Lukina Ju.N. 2022 b. Abundance and distribution of the Ladoga ringed seals in anomaly warm winter 2020: results of the aerial survey using drones // Trudy VNIRO. V. 190. P. 79-94. (In Russ.)
- Elagin O.K., Ivanov M.K., Petrov E.A. 1990. Structure, distribution and density of lairs of pregnant female Baikal seals // Marine mammals. Abs. rep. of the X All-Union conf. on the study, protection and rational use of marine mammals (Svetlogorsk, Kaliningrad region, October 2-5, 1990). P. 95-96. (In Russ.)
- Morozov V.P. 1979. Course of spheroidal geodesy. Moscow: Nedra. 296 p. (In Russ.)
- Pastukhov V.D. 1965. On the methodology of quantitative accounting of the Baikal seal // Marine mammals. Moscow: Nauka. P. 100-104. (In Russ.)
- Pastukhov V.D. 1971. Accounting of seal offspring // Studies of marine mammals. Kaliningrad. P. 117-124. (In Russ.)
- Pastukhov V.D. 1993. Baikal seal. Novosibirsk: Nauka. 322 p. (In Russ.)
- Petrov E.A. 2007. Problems of exploitation of Baikal seal population // Rybnoe hozyajstvo. № 1. P. 74-77 (In Russ.)
- Petrov E.A., Kupchinsky A.B., Syrovatsky A.A. 2025 Spring ice haulouts and behavior of the baikal seal (*Pusa sibirica* Gmelin, 1788, Phocidae) // Russian Journal of Zoology. V. 104. № 3. P. 82-99. (In Russ.)
- Sviridov N.S. 1954. Experience of census of the number and distribution of seals on Lake Baikal using an airplane // News of the Irkutsk Agricultural Institute. Iss. 6. Pp. 321-331.
- Sidorov L.K. 2025. Experience of using digital vision in processing photographic materials of aerial surveys of marine mammals // Modern methods of assessment and rational use of aquatic biological resources: Abstr. of the intern. scient. and pract. Conf., Moscow, November 18-22, 2024. Moscow: VNIRO Publish. P. 156-159. (In Russ.)
- Sidorov L. K., Bizikov V. A., Rozhnov V. V., Shipulin S. V., Kuznetsov V.V., Belokobylyskiy I.F., Myagkiy N.A., Solov'yeva M.A., Glazov D. M., Nazarenko Y. A. 2023 Abundance and distribution of the Caspian seals on ice in the Russian part of the Northern Caspian in February – March 2023 // Trudy VNIRO. V. 193. P. 82-100. (In Russ.)
- Sidorov L. K., Bizikov V. A., Zabavnikov V. B., Egorov S. A. 2025 Assessment pup production in the harp seal population of the of the White Sea in 2023 and 2024 // Trudy VNIRO. V. 199. P. 64-85. (In Russ.)
- Tormosov D.D., Filatov I.E. 1977. On the article «Estimation of the total population density of the Lake Ladoga seal» by A. A. Antoniuk // Russian Journal of Zoology. V. 56 (9). P. 1425-1427. (In Russ.)
- Khromov S.P., Mamontova L.I., 1974. Meteorological Dictionary. Leningrad: Gidrometeoizdat. 569 p.
- Chelintsev N. G. 2004. Extrapolation algorithms for aerial surveys of animals // Bul. MOIP. Dep. biol. V.109. Iss. 2. P. 3-14. (In Russ.)

Поступила в редакцию 28.07.2025 г.
Принята после рецензий 13.09.2025 г.