

Промысловые виды и их биология / Commercial species and their biology

Численность и распределение ладожской кольчатой нерпы в аномально тёплую зиму 2020 года: оценка по результатам авиаучёта с использованием БПЛА

Бизиков В.А.¹, Сабиров М.А.², Сидоров Л.К.¹, Лукина Ю.Н.²

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

² Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), наб. Макарова, 26, г. Санкт-Петербург, 199053

E-mail: bizikov@vniro.ru

Цель работы – исследование распределения и численности ладожской кольчатой нерпы на акватории Ладожского озера в условиях аномально тёплой зимы 2020 г.

Основным методом исследования был авиационный учёт животных в их естественной среде обитания с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В условиях полного отсутствия льда на Ладожском озере в период исследований (апрель–май 2020 г.), для оценки численности популяции нерпы был применён оригинальный метод экстраполяции по береговой линии, с использованием барьерной модели в среде статистического моделирования R.

В результате исследований обнаружены линные залёжки нерпы непосредственно на береговой линии удалённых островов и труднодоступных шхер в северной части Ладожского озера. На основании данных по численности фактически учтённых особей выполнена оценка численности нерпы в северной части Ладоги. Установлено, что в отсутствии ледового покрова в зимне–весенний период ладожская нерпа образует залёжки на труднодоступных участках побережья.

Заключение: Выявлено, что в условиях мягких безлёдных зим северные шхерные районы Ладоги становятся своеобразным убежищем для ладожской кольчатой нерпы благодаря наличию множества узких, полузакрытых заливов, где условия способствуют относительно быстрому образованию ледового припая. В условиях аномально тёплого зимнего периода 2019–2020 гг. животные при формировании весенних залёжек тяготеют к пологим каменистым берегам и скоплениям плоских камней. Численность популяции ладожской нерпы, по данным учёта в 2020 г. в северной части Ладожского озера составила 5 680 особей, что близко к оценке, полученной для всей акватории Ладоги в 2012 г. с применением стандартного площадного метода учёта животных на ледовых залёжках – 6,5 тыс. особей. Таким образом, данные авиаучёта 2020 г. позволяют сделать предварительный вывод о том, что за последние 8 лет численность популяции ладожской нерпы существенно не изменилась.

Ключевые слова: ладожская кольчатая нерпа *Pusa hispida ladogensis*, авиаучёт, численность, распределение, тёплый зимне–весенний период.

Abundance and distribution of the Ladoga ringed seals in anomaly warm winter 2020: results of the aerial survey using drones

Vyacheslav A. Bizikov¹, Marat A. Sabirov², Lev K. Sidorov¹, Julia N. Lukina²

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

² St. Petersburg branch of «ВНИРО» (L.S. Berg «ГосНИОРХ»), emb. Makarova, 26, St. Petersburg, Russia, 199053

The aim of this research was to assess the abundance and distribution of the Ladoga ringed seals during anomaly warm winter 2020.

The main method of the research was aerial survey of the seals using drones. Taking into account complete absence of ice on the surface of the Ladoga Lake at the time of the survey (April–May, 2020) a new method for assessing the seals abundance was used that was based on the extrapolation of the seals density along the coast line using barrier model in R Statistic Software.

As a result of the research, it was shown that during anomaly warm winter, in the absence of ice fields on the Ladoga Lake, the seals formed rookeries directly on the coast line of remote islands and hardly accessible rocky inlets in the northern part of the Ladoga Lake. Total number of the seal population, estimated basing on the aerial survey data was 5,680 individuals.

Conclusion: The study showed that the islands, skerries and rocky inlets in the northern part of the Ladoga Lake act as a kind of refuge for the Ladoga ringed seal during anomaly warm ice-free winters. These environments provide the seals proper substrate suitable for bedding and shelter. Basing on the survey data, the population of the Ladoga seal in the northern part of the Ladoga Lake was amounted to 5,680 individuals which is close to the estimates obtained for the entire Ladoga Lake in 2012–6.5 thousand individuals. Thus, the data of the 2020 air survey allow us to make a preliminary conclusion that the population of the Ladoga seal has not changed significantly over the past 8 years.

Keywords: Ladoga ringed seal *Pusa hispida ladogensis*, aerial survey, drones, abundance, distribution, anomaly warm ice-free winter.

ВВЕДЕНИЕ

Ладожская кольчатая нерпа (*Pusa hispida ladogensis* Nordquist, 1899) – подвид кольчатой нерпы, наиболее распространённый в северном полушарии вид настоящих тюленей (сем. *Phocidae*). Ареал подвида ограничен континентальным водоёмом Ладожское озеро, которое в конце последнего ледникового периода (около 12,5 тыс. лет назад) имело связь с бассейном Северного Ледовитого океана. По-видимому, именно в это время нерпа проникла в Ладожское озеро и Балтийское море [Филатов, 1990]. В настоящее время вид имеет охранный статус в Красной Книге Российской Федерации [Красная Книга..., 2021]: 1 категория, «находящиеся под угрозой исчезновения»; в Красной книге Ленинградской области [Носков, Гагинская, 2002]: 3 категория, «Подвид, требующий внимания»; в Красном Списке Международного Союза Охраны Природы (IUCN) [Hilton-Taylor, 2000]: (VU, «уязвимый»).

Занимая вершину трофической структуры Ладожского озера, нерпа является важным компонентом озёрной экосистемы, обеспечивающим её стабильность и сбалансированность. Ряд особенностей экологии ладожской нерпы – ограниченность ареала, невысокая численность популяции, пагофильность (приуроченность размножения к ледовым полям, формирующимися в зимний период в открытой части Ладожского озера) и критическая зависимость от состояния кормовой базы озера – делают этот подвид чрезвычайно уязвимым к меняющимся природным и антропогенным факторам [Медведев и др., 2010]. К основным современным угрозам для популяции ладожской нерпы можно отнести: снижение успешности размножения в связи с потеплением климата и связанным с этим изменением ледовых условий в Ладожском озере, антропогенное беспокойство на залёжках и в местах размножения, гибель нерпы в орудиях рыбного лова и из-за браконьерства, загрязнение акватории озера.

Во второй половине XX века в связи с глобальным изменением климата общая продолжительность периода ледостава на Ладожском озере сократилась на 13,7% [Труханова, 2013]. Климатические изменения привели к ухудшению условий размножения ладожской нерпы: снизилась вероятность наступления зимы со стопроцентным ледовым покрытием и уменьшилась толщина сугробов, в которых располагаются родильные логова нерпы [Медведев, Сипиля, 2010]. В условиях многолетнего ухудшения ледовых условий и сокращения площади участков, подходящих для размножения, возрастает риск падения эффективности естественного воспроизводства ладожской нерпы [Агафонова и др., 2007].

Ещё одним фактором уязвимости популяции ладожской нерпы является состояние кормовой базы озера. Основу питания нерпы составляют мелкие рыбы: корюшка, ряпушка, ёрш, плотва, уклейка, сырт и др. [Антонюк, 1976¹; Филатов, 1990; Kunnasranta et al., 1999]. Однако возможность лёгкой добычи привлекает нерпу в рыболовецкие сети, где она с удовольствием поедает более крупные и ценные виды рыб: сига, судака, окуня, щуку и др. Возникающую таким образом конкуренцию между нерпой и рыболовством отмечали исследователи на протяжении всего периода изучения тюленей в Ладожском озере [Чапский, 1932; Соколов, 1958 а; Зубов, 1965; Веревкин и др., 2006; Труханова, 2013; Труханова и др., 2012]. В конкуренции, а по сути, конфликте между ладожской нерпой и рыбными промыслами страдают обе стороны: с одной стороны, сотни нерп ежегодно гибнут в рыболовных сетях, преимущественно в летний период в южной части озера; с другой – рыболовство на Ладожском озере терпит значительный урон от прямой потери уловов и порчи сетей [Веревкин и др., 2010 а, б].

До середины 1970-х гг. ладожская кольчатая нерпа являлась объектом промысла. В начале XX века (1909–1918 гг.) ежегодная добыча нерпы составляла около 700 голов; после 1924 г. она выросла до 1000 голов, при этом в отдельные годы в российской и финской акватории Ладожского озера суммарно добывали более 1500 голов [Чапский, 1932]. В послевоенный период, с 1950 г. по 1961 гг., ежегодная добыча нерпы, по данным Севзапрыбвода, варьировала от 50 до 650 голов [Зубов, 1965]; с 1961 г. по 1974 г., добыча нерпы варьировала от 33 голов до 478 голов, в среднем 240 особей в год [Тормосов, Филатов, 1984]. В 1950–1960 гг. в снижении запасов ценных промысловых видов рыб в Ладожском озере «обвинили» нерпу, и была развернута кампания по снижению численности этого вида. Начавшаяся вслед за этим активная охота на тюленя, наряду с сокращением кормовой базы, привела к резкому сокращению популяции нерпы, и с 1975 г. охота на ладожскую кольчатую нерпу была полностью запрещена [Филатов, 1990].

В 1930-е годы исследователи ладожской нерпы полагали, «основываясь в вычислениях отчасти на данных финской статистики, что запас вряд ли превышает 20 тыс. голов» [Чапский, 1932]. И хотя в работе К.К. Чапского, равно как и в других публикациях того времени, отсутствуют какие-либо расчёты, обосновывающие численность популяции ладожской нерпы, оценка в 20 тыс. голов стала отправной точкой для последующих исследований, она цитируется во многих

¹ Антонюк А.А. 1976. К вопросу о питании ладожской нерпы // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоёмов. № 17. С. 92–97.

публикациях вплоть до настоящего времени [Антонюк, 1975; Филатов, 1990; Агафонова и др., 2010; Веревкин, Высоцкий, 2013; Глазов и др., 2019]. В середине 1960-х годов, по данным ГосНИОРХ, численность ладожской нерпы оценивалась в интервале от 5 тысяч до 10 тысяч особей [Зубов, 1965].

С начала 1970-х годов для оценки численности ладожской нерпы стали применять авиационные учёты [Жеглов, Чапский, 1971; Антонюк, 1975]. Авиаучёты проводили в марте-апреле, в период линьки, когда основная часть животных залегала на льду. Методика авиаучёта включала несколько этапов. На этапе планирования выполняли рекогносцировочный облёт, в ходе которого определяли протяжённость ледовых полей, пригодных для образования залёжек ладожской нерпы, и определяли распределение и площадь полей с различным типом льда. В пределах полей для каждого типа льда выделяли учётные полигоны, и на этапе самого авиаучёта самолёт-лаборатория, оборудованный фотоаппаратурой, облетал учётные полигоны линейными трансектами (галсами), учитывая всех животных, встреченных на пути. Сплошная аэрофотосъёмка не применялась, основным источником данных были аэровизуальные учёты. По этим данным рассчитывали плотность залегания животных на учётных полигонах с последующей экстраполяцией на всю площадь ледовых полей, с учётом плотности распределения животных на льдах различного типа, для оценки общей численности популяции.

Авиаучёты численности ладожской нерпы, проводившиеся в 1970-е годы двумя командами исследователей, дали различные результаты. Согласно данным А.А. Антонюка [1975], в 1973 г. численность популяции нерпы была оценена в 3,5–4,7 тыс. голов (расчётное среднее число тюленей, находящихся на льду в момент учёта, составило 1 870 голов). На основании этого было сделано заключение, что численность ладожского тюленя сократилась вдвое по сравнению с 1940–1950-ми годами [Антонюк, 1975]. Иные оценки численности ладожской нерпы даёт И.Е. Филатов [Тормосов, Филатов, 1977]. Согласно его работам, численность нерпы в 1971 и 1972 гг. составляла 10–12 тыс. голов; в 1974 г. – около 10 тыс. голов; в 1978 г. – 11,8–13,8 тыс. голов; в 1979 г. – 10–12 тыс. голов [Филатов, 1984]. Сходные оценки численности нерпы были получены И.Е. Филатовым и в 1980-е годы: 10,2–12,5 тыс. голов в 1982 г.; 11,5–12,7 голов в 1985 г. [Филатов, 1990; Земский, Филатов, 1986]. В апреле 1994 г. на льду было учтено 2 тыс. нерп, на основании этого размер популяции был оценён в 5 тыс. особей [Sipilä et al., 2002]. Сходные оценки численности ладожской нерпы были получены Веревкиным в начале XXI века [Веревкин, 2002].

Последний авиационный учёт ладожской нерпы был проведён в 2012 г. Следует отметить, что для подтверждения и уточнения аэровизуальных наблюдений групп тюленей были сделаны цифровые фотографии. По результатам этого авиаучёта численность тюленей на льду была оценена в 5 068–5 211 особей [Trukhanova et al., 2013], а общая численность популяции – в 6 500 особей [Веревкин, Высоцкий, 2013].

Исследования распределения ладожской кольчатой нерпы в зимне-весенний период в конце XX века и в первом десятилетии XXI века показали, что основной район её размножения находится в центральной, наиболее широкой и мелководной части Ладожского озера, где условия способствуют формированию относительно стабильных льдов (рис. 1). Здесь ежегодно размножалось до 80% популяции нерпы [Филатов, 1990; Медведев, Сипиля, 2010]. Второй по значимости район размножения был выявлен в северо-западной «шхерной» части Ладожского озера, где размножа-

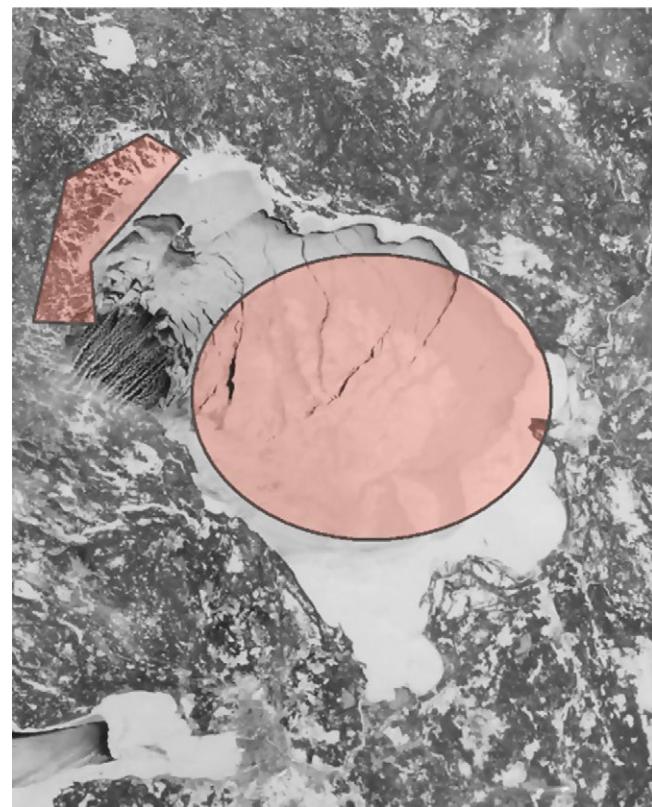


Рис. 1. Основные районы размножения кольчатой нерпы на льдах Ладожского озера: район в центральной части озера (выделен овалом) и шхерный район в северо-западной части озера (выделен многоугольником) (из: Медведев, Сипиля, 2010)

Fig. 1. The main breeding areas of the Ladoga ringed seal on the ice of the Ladoga Lake: the area in the central part of the lake (highlighted by an oval) and the skerry/inlets area in the northwestern part of the lake (highlighted by a polygon) (from: Medvedev, Sipilya, 2010)

лось до 20% популяции нерпы [Kunnasranta et al., 2001; Медведев и др., 2006; Sipilä et al., 2002].

Участившиеся в последнее десятилетие аномально тёплые зимы оказывают существенное влияние на воспроизводство ладожской популяции кольчатой нерпы. Наиболее ярким примером в этом отношении стала зима 2019–2020 гг., когда ледовый покров на акватории Ладожского озера не сформировался вовсе. Незначительный по площади и непродолжительный по времени береговой припай был отмечен в феврале-марте лишь в шхерном районе и в Свирской губе. По данным Гидрометцентра России, зима 2019–2020 гг. стала самой тёплой за всю 130-летнюю историю инструментальных наблюдений на территории Российской Федерации². Аномально тёплая зима 2019–2020 гг. поставила ряд новых вопросов перед исследователями ладожской нерпы. Где будет размножаться нерпа в условиях, когда практически вся акватория Ладожского озера свободна от льда? Насколько эффективно будет воспроизводство нерпы в этих условиях? Как проводить количественный учёт нерпы, когда традиционный метод авиаучёта ледовых залёжек с пересчётом на площадь ледовых полей неприменим из-за отсутствия ледового покрова?

Перечисленные вопросы определили цель настоящей работы: исследование распределения и численности ладожской кольчатой нерпы в условиях аномально тёплой зимы и разработка методики авиационного учёта численности нерпы в зимне-весенний период при отсутствии ледового покрова на Ладожском озере. Результаты данного исследования были представлены и обсуждены на XI Съезде Териологического общества при РАН, прошедшем в Москве 14–18 марта 2022 г. на площадке Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН [Бизиков и др., 2022].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Авиаучётные работы на Ладожском озере проводили в период с 16 апреля по 2 мая 2020 г., соответствующий периоду формирования нерпой зимне-весенних линных залёжек [Kunnasranta et al., 2001]. Для проведения авиаучётных работ были использованы два беспилотных летательных аппарата (БПЛА) Supercam S350 с максимальной дальностью полёта не менее 240 км. Каждый БПЛА был оборудован фотокамерой SONY A6000 с разрешением 24 Мп на фиксированной платформе с двумя сменными широкоугольными объективами с постоянным фокусным расстоянием на 20 мм и на 35 мм. Облёты проводили на высоте от

² Небывало тёплая зима в России. <https://meteoinfo.ru/novosti/16824-nebyvalo-teplaya-zima-v-rossii>

150 до 300 м. При нахождении крупных залёжек особой облёты проводили повторно для более точного учёта всех особей. В ходе проведения авиаучёта работ были выполнены 8 полётов общей продолжительностью 10 часов 15 минут, суммарная протяжённость маршрутов полётов составила 907 км. Координаты точек, соответствующих местам наблюдения животных, представлены в системе координат WGS84.

По итогам выполнения авиаучёты получено 20 426 фотографий. Для каждой фотографии определены координаты, время, высота, тангаж, курс и скорость полёта.

Особенностью авиаучёта 2020 г. стало то, что в отсутствие ледового покрова на акватории Ладожского озера все нерпы, зарегистрированные в ходе авиационных облётов, были приурочены к северо-западной (шхерной) части озера (береговой линии, островам, отдельным камням, отмелям, пологим плитам), и ни одного животного не было обнаружено на открытой воде. По этой причине традиционная методика авиаучёта [Платонов и др., 2013; Бизиков и др., 2021], предусматривающая подсчёт нерп на трансектах над ледовыми полями с последующей экстраполяцией на всю площадь ледового покрова, оказалась неприменима. В связи с этим была разработана экспериментальная методика авиаучёта, предусматривающая обследование береговой линии, в том числе традиционных мест береговых залёжек, известных по литературным данным, а также участков береговой линии с подходящим субстратом (крупные камни, луды, пологие плиты в северной части акватории), потенциально пригодных для залёжек нерпы.

Камеральную обработку фотоматериала проводили двумя методами. Первый метод включал вспомогательную автоматизированную обработку материалов авиаучёты при помощи программы «Система автоматизированной обработки материалов авиаучёты водных биологических ресурсов и формирования отчётов исследований» (САОМА ВБР), которая помогает в автоматическом режиме (на основе нейронной сети) обработать массив данных, определив наличие объектов поиска (нерпа) и отфильтровав «пустые» массивы [Бизиков и др., 2021]. На подготовительном этапе были отобраны фотографии с целью создания обучающей выборки для нейронной сети. Для этого выбирали фотоматериалы с визуально различимыми объектами (нерпами). После обучения нейронной сети с использованием размеченных фотоматериалов обучающей выборки проводили обработку всего массива фотоматериалов. Результаты автоматической идентификации, представленные с различной точностью определения нерпы, верифицировали вручную путём

тотального просмотра всех фотографий с участками береговой линии.

После обработки и верификации полученных результатов по итогам автоматизированной обработки (рис. 2) для каждой идентифицированной особи были получены координаты нахождения, время фотофиксации и источник (фотография), на котором особь была идентифицирована. На этом этапе исключались повторные учёты отдельных особей на перекрывающихся участках смежных фотографий (из-за перекрывания зон фотофиксации), а также, в некоторых случаях, перекрывающихся кадров соседних трансект маршрута БПЛА.

Использование автоматизированной компьютерной системы «САОМА ВБР» обеспечило сохранение всех первичных данных авиаучёта (фото- и видеоматериалов), а также результатов их обработки (идентификации) в базе данных авиационных учётов ФГБНУ «ВНИРО», где они доступны для повторного анализа и исследования в будущем.

При подсчёте вторым методом, вначале проводили отбор из общего массива фотоданных с участками береговой линии, представляющими интерес для дальнейшего анализа. Подсчёт животных на фотографиях производился визуально, независимо двумя

учётчиками. При обнаружении объекта, похожего на животное, каждый учётчик фиксировал своё мнение в отношении этого объекта (животное ли это? – «да» или «нет»). По полученным оценкам рассчитывалась метрика «каппа Коэна» (наличие/отсутствие животных на изображении) [McHugh, 2012]. Данная метрика характеризует согласие в оценках двух экспертов для категориальных признаков с учётом фактора случайного согласия. В дальнейшем проводилась кросс-валидация результатов: все изображения, на которых, по мнению хотя бы одного из учётчиков, присутствовали животные, пересматривались повторно, наличие животных подтверждалось или опровергалось. Общая численность непосредственно учтённых животных подсчитывалась с учётом частичного перекрытия смежных кадров, а также перекрывающихся кадров соседних трансект маршрута БПЛА.

Результаты подсчёта обоими методами сравнивались между собой для каждого полёта БПЛА; случаи расхождения в оценках анализировались дополнительно для выяснения причин и выработки консенсусной оценки трёх учётчиков. В спорных моментах принимались минимальные значения количества идентифицированных особей.



Рис. 2. Пример фотографии прибрежной зоны, обработанной системой САОМА ВБР. Участок побережья, на котором присутствуют нерпы, маркирован в левой части фотографии красным контуром. Стрелка указывает на его увеличенное изображение (в правой части фотографии). Распознанные объекты (нерпы) помечены прямоугольниками с присвоенными индивидуальными кодами

Fig. 2. An example of a photo of the coastal zone processed by a computer neural network system “SAOMA VBR”. The section of the coast where seals are present is marked in the left part of the photo with a red rectangle. The arrow points to its enlarged image (on the right side of the photo). Recognized objects (seals) are marked with rectangles with assigned individual codes

Данные по численности непосредственной учтённых животных в ходе авиаучёта были использованы для создания статистической модели распределения животных по участкам береговой линии северной части Ладожского озера. Основные допущения применяемой модели были следующими:

1. Экстраполяция проводилась только в пределах северной части Ладожского озера (шхерный район). В расчёте была использована общая протяжённость береговой линии от г. Приозерск (створ р. Вуокса) на западном берегу до нижней оконечности о. Лункулансаари на восточном, включая все острова. Из расчётов были исключена южная часть Ладожского озера, поскольку в ходе облётов в этом районе не было обнаружено ни одного животного. Экстраполяция плотности распределения нерпы на береговую линию южной части озера не проводилась.

2. На протяжении береговой линии шхерного района не все формы берегового рельефа были пригодны для формирования залёжек. Например, скалистые обрывистые берега шхер для залегания нерпы не подходят, и по этой причине эти участки побережья были исключены из расчётов.

3. Апроксимация длины береговой линии, обследованной по фотоматериалам 2020 г., проводилась путём суммирования длин последовательных снимков (с учётом перекрытия снимков и высоты полёта БПЛА для каждого снимка), содержащих участки береговой линии. За единицу выборки статистической модели принимали 1 км маршрута БПЛА, проходящего вдоль береговой линии.

4. Поскольку часть особей нерпы во время авиаучёмы находилась под водой и была недоступна для наблюдения, для её учёта общее количество учтённых нерп было увеличено на 30%, с использованием коэффициента, ранее определённого для ладожской нерпы [Антонюк, 1975].

Расчёт общей длины береговой линии северной части Ладожского озера проводили с использованием открытого картографического сервиса OpenStreetMap (<https://openstreetmap.ru>). По цифровым картографическим изображениям с помощью алгоритмов оконтуривания библиотеки OpenCV (<https://opencv.org/>) была получена серия последовательных контуров береговой линии; общая длина береговой линии была определена как сумма всех полученных контуров.

Для расчёта длины береговой линии, обследованной в ходе авиаучёта, использовались данные телеметрии БПЛА (координаты, дата и время, высота для каждого снимка), а также значения углов обзора применяемых фотообъективов (20 мм – 70,7°, 35 мм –

40,1°). По углу обзора и высоте для каждого снимка вычислялась длина кадра на поверхности земли. Из полученных значений длин для каждой пары последовательных снимков вычиталась величина, соответствующая зоне их перекрытия (рассчитывалась по расстоянию между координатами центров снимков), и полученная величина соответствовала «чистой» длине маршрута БПЛА.

Для построения статистической модели, значение «чистой» длины обследованной береговой линии разбивалось на стандартные отрезки длиной 1 км, соответствующие элементам выборки. Подсчитывалось число животных в пределах каждого стандартного отрезка, отрезкам без тюленей присваивались нулевые значения.

Построение и подбор параметров модели распределения животных по береговой линии, а также оценка доверительных интервалов полученной оценки численности животных проводились в среде статистического моделирования R (<https://cran.r-project.org/>).

Для визуализации пространственного распределения групп животных различного размера в ГИС системе QGIS 3.10 (<https://qgis.org/en/site/>) использовались базы данных Excel, созданные на основе данных по телеметрии БПЛА. В них была добавлена информация по числу животных на каждом снимке. По каждому полёту были построены карты с визуализацией групп различного размера, находящихся на «нитке» маршрута БПЛА.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полёты БПЛА для учёта нерпы на акватории Ладожского озера проводили 16, 18, 27, 28, 30 апреля и 2 мая 2020 г. Перерыв в полётах с 19 по 26 апреля был вызван метеоусловиями и организационными проблемами, связанными с ковидными ограничениями, действовавшими весной 2020 г. на территории Ленинградской области. В общей сложности были выполнены полёты по 8 маршрутам. На всех маршрутах, за исключением последнего, № 8, выполненного 2 мая 2020 г. над побережьем Волховской губы в южной части озера, были встречены нерпы. Количество животных, учтённых в ходе одного вылета, варьировало от 75 до 785 особей (табл. 1). Все встреченные в ходе облётов нерпы находились вблизи береговой линии и на невысоких камнях, отдельно стоящих на мелководье.

Первые два полёта авиаучёмы (полёты № 1 и № 2) были выполнены в районах островов Западного архипелага, островов Валаамского архипелага, острова Мантинсаари, в границах Питкярнинского района Республики Карелия (рис. 3).

Таблица. 1 Количество нерп, обнаруженных в ходе авиаучётной съёмки Ладожского озера в период с 16 апреля по 2 мая 2020 г.

Table 1. Number of the Ladoga ringed seals detected during arial survey of the Ladoga Lake from April 16 till May 2, 2020

Номер маршрута (полёта)	Дата	Общее количество нерп; экз.	Количество групп; шт.	Количество особей в группе; экз.		
				Среднее	Min	Max
1	16.04.2020	314	9	34,9	1	133
2	18.04.2020	785	9	87,2	1	392
3	27.04.2020	175	9	19,4	1	97
4	27.04.2020	210	8	26,3	1	87
5	28.04.2020	320	14	22,9	1	127
6	28.04.2020	75	6	12,5	1	34
7	30.04.2020	474	26	18,2	1	103
8	02.05.2020	0	0	0	0	0
Итого		2 353	81	29,0	1	392

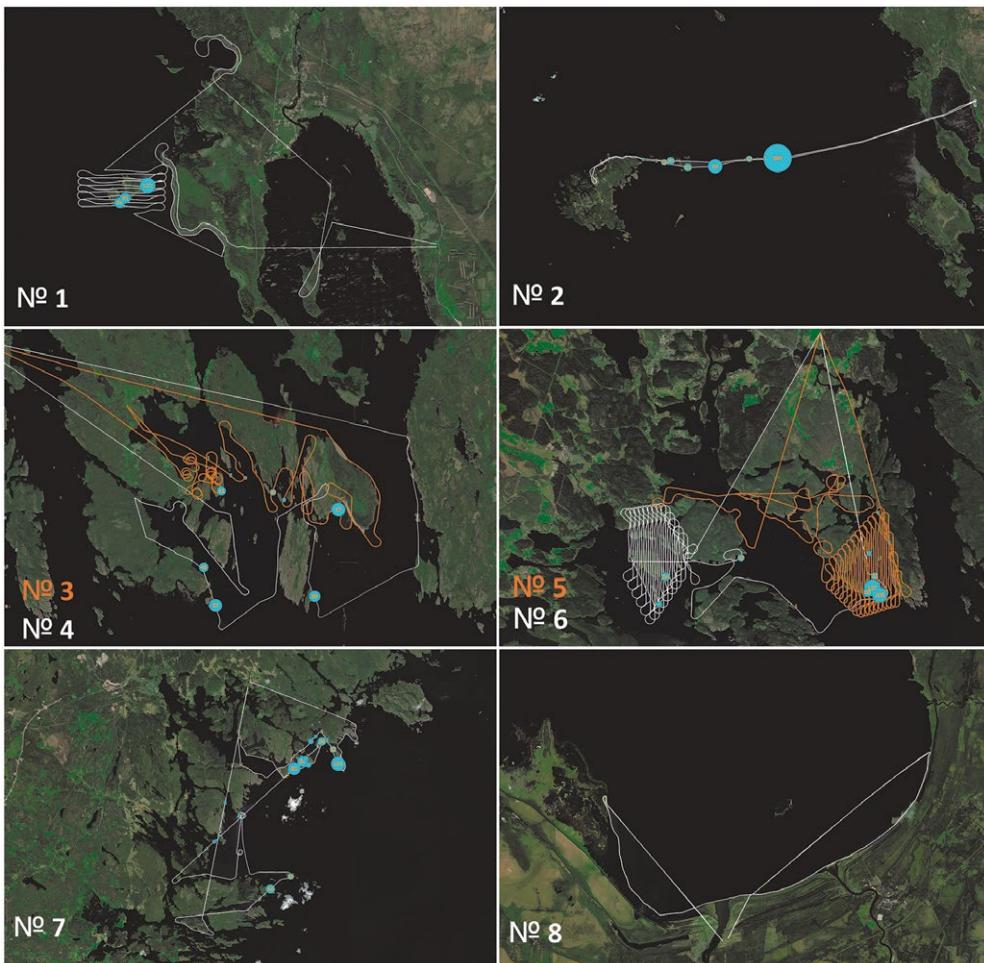


Рис. 3. Маршруты облётов в ходе авиаучётной съёмки в период с 16 апреля по 2 мая 2020 г. и расположение учтённых залёжек ладожской нерпы на маршрутах облётов. Голубые кружки отмечают места регистрации залёжек нерпы. Номера на фотографиях соответствуют порядковому номеру полёта в ходе авиаучётной съёмки (табл. 1); цвет номера маршрута соответствует цвету маршрута полёта на карте

Fig. 3. Flight routes of the aerial survey in the period from April 16 to May 2, 2020 and the location of the recorded groups of the Ladoga seals. Light blue circles mark the places of registration of seal groups. The numbers in the photos correspond to the flight sequence number during the aerial survey (Table 1); the color of the flight number corresponds to the color of the flight route on the map

В полете № 1 отмечены 9 групп, которые располагались на островах Варапасарет. Общее количество тюленей составило 314 особей (табл. 1).

На маршруте полёта № 2 (Валаамский архипелаг) были отмечены 9 групп тюленей. Наиболее многочисленная группа (392 особей) была обнаружена на одном из Крестовых островов, вторая по численности группа – 99 особей – была встречена на острове Сосновый. Несколько групп зафиксировано на Байевых островах. Общее количество нерп по данному маршруту было максимальным для съёмки и составило 785 особи.

Полёты № 3–7 были выполнены на участках в районе шхер Ладожского озера от острова Сависалонсаари до п. Питкяранта в границах Лахденпохского, Сортавальского и Питкярнинского районов Республики Карелия.

На маршрутах полётов № 3 и № 4 было отмечено 9 и 8 групп нерп, соответственно. Крупные залёжки нерп обнаружены в районе южных оконечностей островов, Пеллотсаари (97 шт.), Райпатсаари (69 шт.), Оръятсаари (49 шт.), Терватсаари (87). Общее количество по двум маршрутам составило 385 особей (табл. 1).

На маршрутах полётов № 5 и № 6 было отмечено 14 и 6 групп нерп, соответственно. Максимальное количество нерп было встречено в районе южной оконечности острова Сури-Хепосаари (297 шт.). Небольшие группы обнаружены на побережье островов (Хавус 23 шт.) и Палосаари (34 шт.). Общее количество по двум маршрутам исследований составило 395 особей.

На маршруте полёта № 7 было встречено 26 групп нерп. Крупные залёжки нерп отмечены в рай-

оне островов Свиной (103 шт.), Маталасари (82 шт.), Ромпенсари (58 шт.), Калто (38 шт.), Питиясари (44 шт.), Кильписаари (23 шт.). Общее количество животных на маршруте полёта составило 474 особи.

Полёт № 8 был выполнен в южной части Ладожского озера от о. Птинов до п. Вороново, включая острова Волховской губы, в границах Волховского района Ленинградской области (рис. 3). Этот облёт показал полное отсутствие нерп в южной части Ладожского озера в период учёта.

В общей сложности в ходе авиаучёта была зафиксирована 81 группа животных, не считая одиночных особей. Различия в численности групп весьма значительны: так, наиболее многочисленная группа насчитывала 392 особи, а средняя численность групп нерп, встреченных в ходе съёмки, составила 29 особей.

Суммарное число нерп, непосредственно зафиксированных в ходе авиаучёта в северо-западной части Ладожского озера в апреле-мае 2020 г., составило 2 353 особи (табл. 1).

Суммарная длина контуров береговой линии на фотоснимках исследованного района, приведённая к реальному географическому масштабу, составила 1 676 км, однако, с учётом значительного перекрытия смежных снимков, величина которого варьировалась в пределах 70–80%, «чистая» длина береговой линии и прибрежной зоны, обследованной БПЛА, составила лишь 313 км.

На следующем этапе была сформирована выборка для пространственно-статистической модели, позволившая проанализировать распределение нерп в прибрежной зоне обследованного района (рис. 4).

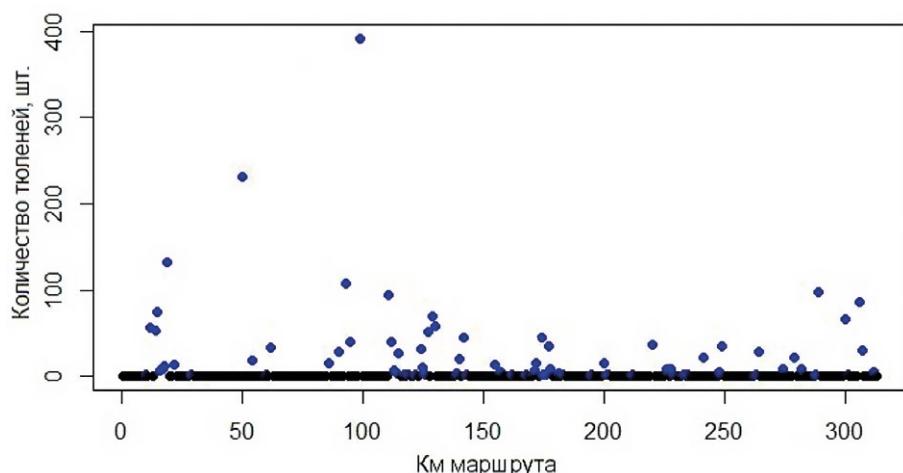


Рис. 4. Распределение числа животных по длине маршрута (суммарные значения в пределах стандартных отрезков длиной 1 км)

Fig. 4. Distribution of the number of seals along the survey routes (summary numbers within the standard 1-km segments of the flight routes)

Из 313 учётных километровых отрезков хотя бы одно животное присутствовало на 76, остальные отмечены как «пустые».

Средняя численность нерпы на пригодных для её залегания участках побережья, по данным съёмки, составила 12,18 экз. на 1 км береговой линии, при разбросе значений от 0 до 292 экз./км. Очевидно, что при таком большом разбросе простая экстраполяция средней плотности распределения нерп на общую длину побережья северной Ладоги, пригодную для образования её залёжек, была бы некорректной. В этих условиях был выбран подход статистического моделирования по методу т. н. «барьерной модели» [hurdle model, Cragg, 1971]. Это двухкомпонентная модель, где один из компонентов отвечает за оценку среднего числа животных на отрезках, а второй – за вероятность появления «пустых» отрезков при экстраполяции на общую длину побережья.

Эксперименты с «барьерной моделью» в среде статистического моделирования R (<https://www.r-project.org>) показали, что вероятность того, что участок побережья, пригодный для залегания нерпы, окажется не «пустым», по наблюдаемым данным составляет 0,32. В пересчёте на общую протяжённость береговой линии северной части озера это соответствует

ожидаемому наличию животных на $1676 \text{ км} \times 0,32 = 536,32 \text{ км}$ береговой линии.

Для определения значений нижней и верхней границ 95%-ного доверительного интервала оценки общей численности нерпы был применён метод «бутстрепа» (bootstrap method) [Efron, 1979]. В результате получено распределение численности животных в 1000 сгенерированных псевдовыборках (рис. 5).

Средняя оценка численности нерпы при экстраполяции на всю длину береговой линии северной части Ладожского озера, рассчитанная методом бутстрепа, составила 3 976 особей; нижняя и верхняя границы 95%-ного доверительного интервала, составили 2 257 и 5 762 особи, соответственно. С поправкой на количество животных (30%), которые на момент учёта могли находиться в воде [Антонюк, 1975], общая численность популяции ладожской нерпы, по данным учётной съёмки в апреле-мае 2020 г., составила 5 680 особей; нижняя и верхняя границы 95%-ного доверительного интервала оценки – 3 224 особей и 8 232 особей, соответственно.

Пространственное распределение залёжек нерпы, встреченных в ходе авиаисыёмки в апреле-мае 2020 г. в северной части Ладожского озера, было проанализировано с использованием ГИС системы QGIS 3.10; результаты анализа представлены на рис. 6.

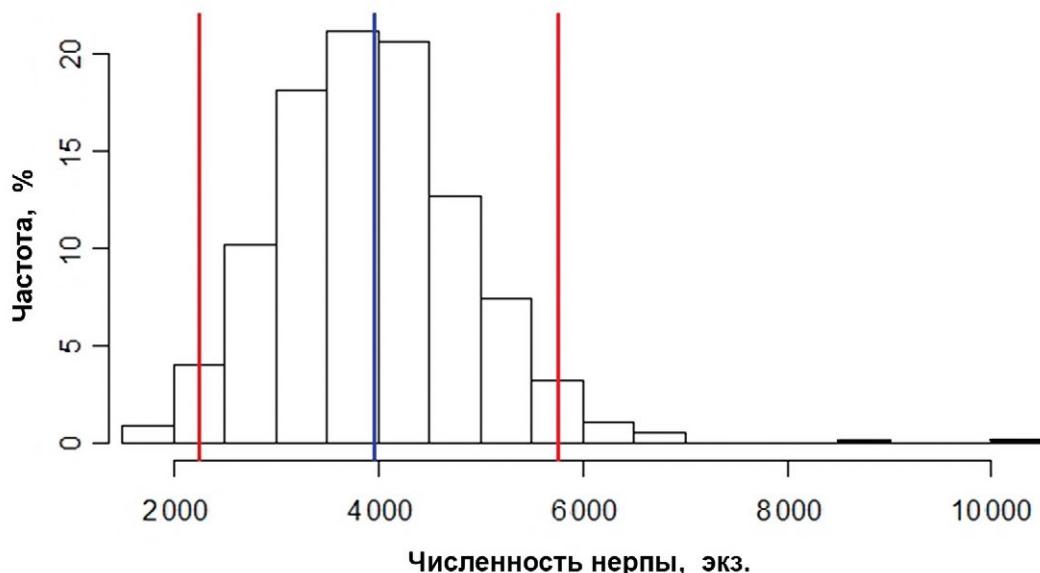


Рис. 5. Распределение оценок численности нерпы (по оси абсцисс) в 1000 псевдовыборках, сгенерированных методом бутстрепа по оригинальной выборке. По оси ординат – частота реализаций оценок. Синяя линия – среднее значение численности животных для всех псевдовыборок (3 976 экз.), красные линии – нижняя и верхняя границы 95% доверительного интервала: 2 257 экз. и 5 762 экз., соответственно

Fig. 5. Distribution of the number of seals estimates (along the abscissa axis) in 1000 pseudo-samples generated by the bootstrap method for the original sample. On the ordinate axis is the frequency of realizations of the estimates. The blue line marks the average number of animals for all pseudo-samples (3,976 specimens), the red lines are the lower and upper limits of the 95% confidence interval: 2,257 and 5,762 specimens, respectively

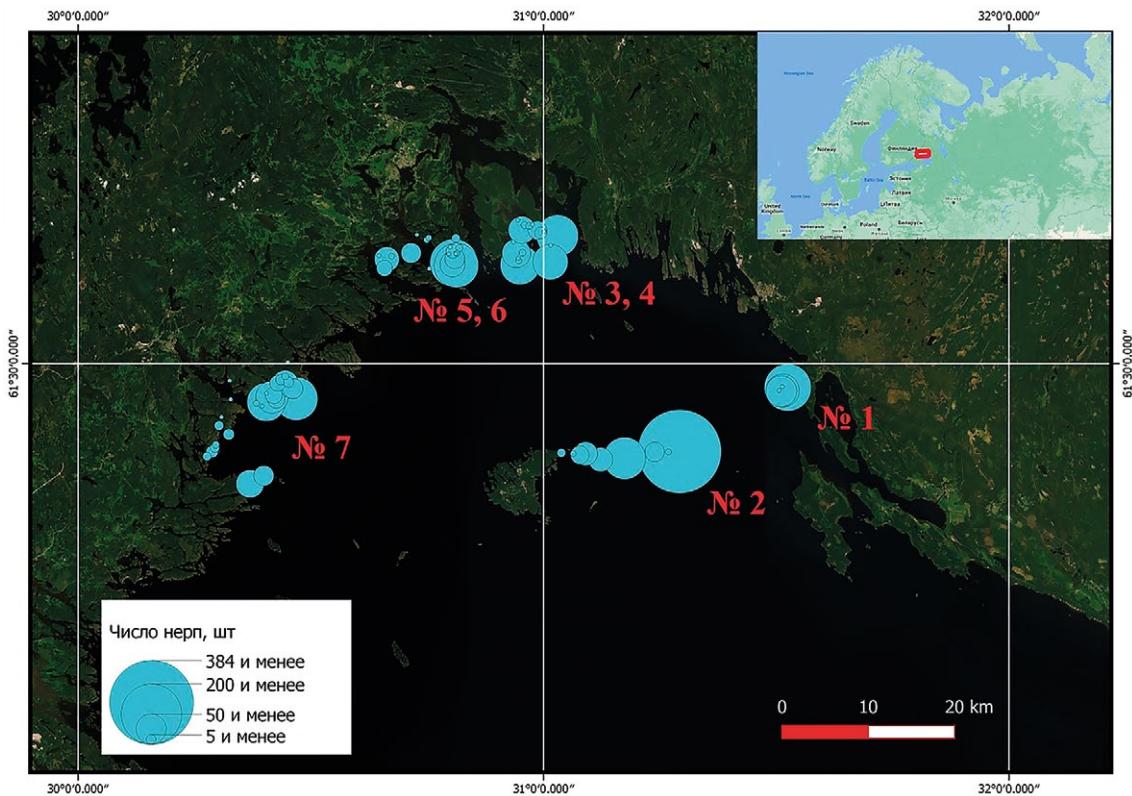


Рис. 6. Распределение и размеры залёжек ладожской кольчатой нерпы (голубые круги) в северо-западном районе Ладожского озера, по данным авиаучёта 16.04.2020 г.– 02.05.2020 г. Красным шрифтом отмечены номера полётов учётной авиаасьёмы

Fig. 6. Distribution and size of the Ladoga ringed seal groups (blue circles) in the north-western region of Lake Ladoga. The flight numbers of the aerial survey are marked in red

Самая крупная залёжка (392 особи) была обнаружена в ходе полёта 2 в районе Валаамского архипелага, на берегах Крестовых островов и острова Восточный Сосновый. У северо-восточного побережья Ладоги, в районе островов Вапасаарет, в ходе полёта № 1 была встречена крупная залёжка нерпы (122 особи) и две более мелкие – 61 и 54 особи. Наибольшее количество залёжек было встречено на акватории национального парка «Ладожские шхеры» (полёты №№ 3–7). Здесь были отмечены мелкие (менее 20 особей), средние (от 20 до 80 особей) и крупные (свыше 80 особей) залёжки нерпы. Так, в зал. Танка-саренселья, на побережье о. Селькясаари во время полёта 6 были встречены две крупные залёжки (108 и 127 особей), две средние залёжки (27 и 35 особей) и несколько одиночных животных. В зал. Халинселья, в ходе полётов 3 и 4, на островах Пеллотсаари, Терватсаари, Лусиккайнлуото и Лапосаари были встречены крупные и средние залёжки с численностью, соответственно 97, 87, 69 и 41 экз. В Якимварском заливе, в ходе полёта № 7 наиболее крупная группа нерп была встречена на побережье о. Свиной (103 особи).

На островах Якимварского залива (береговая линия в р-не п. Лахденпохья), а также на мелких островах в районе г. Сортавала (Хонкасало, Орьятсаари, Тамханка и др.) встречено много мелких групп животных, численностью от 1 до 50 особей. Характеризуя распределение нерпы в целом, следует отметить, что её наибольшие скопления встречены в наиболее труднодоступных районах в северной части Ладожского озера: на удалённых небольших островах и шхерах национального парка.

ОБСУЖДЕНИЕ

Метод авиационных учётов ластоногих начали использовать с 1970-х гг. XX века. В основе авиационных учётов лежит метод линейных трансект, при этом тюлени учтываются в период линьки в марте-апреле, когда значительная часть особей залегает на льду. Методика учёта ладожской нерпы представляла собой выделение пробных площадей на акватории Ладожского озера, закладывание самолётом нескольких трансект (галсов) и дальнейший расчёт плотности залегания нерп с пересчётом на общую численность на основании данных

с пробной площадки. По итогам первого авиаучёта численность ладожской нерпы оценивалась в 2 200 особей, что, предположительно, являлось заниженным результатом. Реальный размер популяции, исходя из количества лунок, составлял более 5 100 особей [Жеглов, Чапский, 1971].

Авиаучёты численности ладожской нерпы, проводившиеся независимо двумя группами исследователей, дали различные результаты. Согласно данным А.А. Антонюка [1975], в 1973 г. численность популяции составила 3 500–4 700 особей (расчётное среднее число тюленей, находящихся на льду в момент учёта, составило 1 870 особей). По мнению автора [Антонюк, 1975], численность ладожского тюленя сократилась вдвое по сравнению с 1940–1950 гг. XX века. По данным И.Е. Филатова [1984], численность нерпы в 1971–1972 гг. составляла 10 000–12 000 особей, в 1974 г. – около 10 000 особей., в 1978 г.– 11 800–13 800 особей., в 1979 г.– 10 000–12 000 особей. На том же уровне численности оценивалась популяция ладожской нерпы и в 1980-е гг.: в 1982 г.– 10 200–12 500 особей; в 1985 г.– 11 500–12 500 особей [Филатов, 1990]. Авиаучёт, проведённый на Ладожском озере в апреле 1994 г., показал почти двукратное сокращение численности нерпы: на льду было учтено 2 000 нерп, а общая численность популяции нерпы была оценена в 5 000 особей [Sipilä et al., 2002].

Последний по времени авиационный учёт ладожской нерпы был проведён в 2012 г. По результатам этого авиаучёта, численность тюленей на льду была оценена в 5 068–5 211 особей [Trukhanova et al., 2013], а общая численность популяции – 6 500 особей [Веревкин, Высоцкий, 2013].

В летне-осенний период открытой воды в различные годы наиболее многочисленные залёжки нерпы фиксировались в районе Валаамского архипелага: на восточном берегу о. Валаам и особенно на цепи островов и луд, идущих к востоку от о. Валаам (табл. 2). Ладожская кольчатая нерпа нередко отмечалась на открытых, удалённых от западного берега островах у шхерного района. В исследованиях прошлых лет в южной части акватории Ладоги группы тюленей меньшей численности отмечались только на о. Сало и о. Птинов.

Весной 2020 г. для авиаучёта нерпы на Ладожском озере были впервые применены БПЛА. В целом, они показали свою высокую эффективность и ряд преимуществ по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами: самолётами и вертолётами. Летящие на высоте свыше 150 м БПЛА были практически бесшумными и невидимыми для нерп; животные не обращали на них никакого внимания и вели себя совершенно естественно. Использование БПЛА в будущих съёмках позволит значительно увеличить зону непосредственного учёта,

что существенно повысит достоверность и точность оценок общей численности популяции этого вида. По данным учёта 2020 г., наибольшие скопления ладожской нерпы зарегистрированы на островах Валаамского архипелага и на удалённых небольших островах и шхерах национального парка «Ладожские шхеры».

При сопоставлении результатов авиаучёта 2020 г. с данными предыдущих лет следует отметить различие в сроках учётов, а также важную особенность природных условий, в которых проводился учёт животных в 2020 г. Так, учёт был проведён в зимне-весенний период, тогда как предыдущие учёты проводились в весенне-летний период. При этом, общим условием для всех четырёх исследований было то, что Ладожское озеро было почти полностью свободно от льда, хотя в последнем случае это соответствовало нетипичным условиям мягкой зимы.

Распределение нерпы в ледовый период, согласно литературным данным [Антонюк, 1975; Филатов, 1978; Медведев и др., 2006; Trukhanova et al., 2013], равномерно по всей акватории озера, но её всегда больше в южных или юго-восточных районах, где ледостав начинался раньше, а лёд был менее подвержен разрушению и дольше держался [Филатов, 1978]. Наши данные показывают, что в мягкие тёплые зимы недостаток льда на Ладоге обуславливает концентрацию тюленей в северной шхерной части озера. По мнению ряда авторов [Kunnasranta et al., 2001; Медведев, Сипиля, 2010], до 20% популяции нерпы может зимовать и размножаться в шхерах Северной Ладоги (Лахденпохском и Сортавальском районах).

Важной особенностью распределения ладожской нерпы в апреле-мае 2020 г. стало то, что, в условиях аномально тёплой зимы и отсутствии на озере ледяного покрова вся нерпа располагалась на береговой линии и отдельно стоящих камнях, в результате чего традиционные площадные методы оценки её численности были неприменимы. Применение методов статистического моделирования показало возможность оценивать численность популяции нерпы и в отсутствие ледового покрова, путём аппроксимации по береговой линии с учётом участков берега, пригодных для залегания ладожской нерпы. Полученная в нашей работе оценка численности ладожской кольчатой нерпы, выполненная для прибрежной зоны северной части акватории Ладожского озера в условиях отсутствия ледового покрова составила 5 680 особей, что близко к оценке, полученной для всей акватории Ладоги в 2012 г. с применением стандартного площадного метода учёта животных на ледовых залёжках – 6,5 тыс. особей [Веревкин, Высоцкий, 2013; Trukhanova et al., 2013]. Таким образом, данные авиа-

Таблица 2. Распределение залёжек ладожской кольчатой нерпы в период открытой воды по результатам судовых учётов в ХХ в. [по Труханова, 2013]

Table 2. Distribution and number of the Ladoga ringed seal groups during the open – water period according to the results of ship records in the XX century [according to Trukhanova, 2013]

Район исследования	Общая численность ладожской кольчатой нерпы по учётам на береговых залёжках, сроки проведения учётов				
	Июнь-сентябрь 1949–1952 гг. (Соколов, 1958а)	Июнь-август 1978 г. (Филатов, 1990)	Май-сентябрь 1994 (Медведев и др., 2000)	11 июня-17 июля 2000 (Агафонова и др., 2006)	16 апреля-2 мая 2020 г.
Северные районы Ладоги	▲	▲	▲	▲	2353* (всего)
Валаамский архипелаг	▲	300	300	10–300	400–500*
о. Вассинсаари	80	100–200		10–80	–
о. Мюккерике	–	50–100	10–100	10–30	–
о. Ялансаари	–	50–100		30–60	–
о. Веркосаари	▲	–	–	–	–
о. Коневец	–	–	▲	20	–
о. Сури	▲	–	–	–	–
о. Парго	–	50–100	–	–	–
о-ва Варпасаарет	–	–	–	–	150*
о. Мантинсаари	–	–	▲	Менее 10	–
о. Кухка	–	–	–	Менее 10	30–50*
о. Кильписарет	–	–	–	Менее 10	10–20*
Береговая линия, о-ва Якимварского залива (берег в р-не п. Лахденпохья)	–	–	–	–	200–300*
О-ва в р-не г. Сортавала (Хонкасало, Орьятсаари, Тамханка и др.)	–	–	–	–	400–500*
Южные районы Ладоги	▲	–	–	0	400** (всего)
о.Сало		–	–	–	–
о.Гатчий	до 100	–	–	–	–
о.Маячий		–	–	–	–
о.Птинов	10–20	–	–	–	–
Сев. ч. Свирской губы (створ рек Ситика и Пельчужия)	–	–	–	–	ок. 400**

Примечание: * собственные данные по материалам аэрофотосъёмки 2020 г.; ** по данным ФБГУ «Нижне-Свирский государственный природный заповедник». Условные обозначения: ▲ – ладожская кольчатая нерпа отмечена в районе исследования, однако её численность не указывается; «–» – нет данных.

учёта 2020 г. позволяют сделать предварительный вывод о том, что за последние 8 лет численность популяции ладожской нерпы существенно не изменилась.

В соответствии с выбранной методологией оценки численность животных на условном стандартном отрезке обследованного побережья рассматривалась как случайная величина. Принимая во внимание тот факт, что по полученным данным на большинстве отрезков береговой линии животных не наблюдалось («нулевые» отрезки), для адекватного статистического моделирования распределения данной величины была выбрана двухкомпонентная модель.

Биологический смысл такой двухкомпонентной модели можно интерпретировать следующим образом: в условиях неодинаковой ценности прибрежных биотопов для формирования залёжек, «нулевые» отрезки соответствуют непригодным для залегания биотопам. Тюлени способны активно выбирать участки побережья для залёжек.

Очевидно, не следует делать выводы о пригодности или непригодности тех или иных биотопов побережья северной Ладоги для береговых залёжек нерпы только лишь на основании полученных результатов моделирования. Целью построения описанной

двуухкомпонентной модели является оценка численности нерпы в северной части акватории, тогда как неодинаковая ценность биотопов – одно из допущений модели.

Также необходимо отметить, что описанная методика оценки численности ладожской кольчатой нерпы является экспериментальной, требует проверки посредством сравнения с результатами, полученными с применением других методов учёта.

Суммарное число нерп, непосредственно зафиксированных в ходе авиаучёта в северо-западной части Ладожского озера в апреле-мае 2020 г., составило 2 353 особи, что значительно больше количества нерп, непосредственно учтённых в ходе авиаучётных съёмок прошлых лет: 682 особи в 1973 г. [Антонюк, 1975], или 807 особей в 2012 г. [Веревкин, Высоцкий, 2013]. По-видимому, в условиях аномально тёплой безлёдной зимы облёт прибрежной зоны с использованием БПЛА позволяет зафиксировать максимальное число особей в массовых скоплениях, которые при наличии льдов были бы распределены по площади гораздо более разреженно и равномерно. В северных районах озера тюлени используют для залегания скалистые побережья островов или полузатопленные луды, удалённые от берега на несколько сотен метров; в южных районах – отдельные камни или скопления валунов [Соколов, 1958б]. Такая концентрация животных, предположительно, в северных шхерных районах и островах в условиях практически полного отсутствия льда может объясняться доступностью твёрдого субстрата (пологие луды, прибрежные валуны), подходящего для залёжек. Кроме того, в полузакрытых шхерах, в относительно затишных условиях легче идёт образование припайного льда, т. е. минимальной площади субстрата, к которому нерпы адаптированы и строго приурочены в период размножения. По-видимому, в безлёдных условиях мягкой зимы 2020 г. доступность подходящих мест для залёжек, спаривания и размножения в зимне-весенний период может играть роль лимитирующего фактора для популяции ладожской кольчатой нерпы.

Таким образом, северные шхерные районы Ладоги могут представлять своеобразное убежище для ладожской кольчатой нерпы в условиях мягких малолёдных зим благодаря распространённости твёрдого субстрата, подходящего для залегания, а также наличию множества узких, полузакрытых заливов, где условия способствуют относительно быстрому образованию ледового припая.

В заключение стоит отметить, что по данным ФБГУ «Нижне-Свирский государственный природный заповедник» (М.А. Антипин), крупная залётка

животных, насчитывающая около 400 особей, была зафиксирована 13 апреля 2020 г. на припайном льду в северной части Свирской губы, на полосе прибрежного льда от 0,1 до 2,8 км от берега и около 6 км в длину. Однако уже к 18 апреля лёд в этом районе исчез полностью, а вместе с ним исчезли и нерпы. Во время авиаучёта в апреле-мае 2020 г. побережье в районе Свирской губы обследовано не было. Могла ли часть этих животных переместиться в северные районы Ладоги, где проводился авиаучёт – сказать затруднительно.

Предложенный экспериментальный метод учёта ладожской кольчатой нерпы по береговой линии может быть использован в отсутствии ледового покрова для объективной оценки численности популяции ладожской нерпы при условии, что будут проводиться регулярные в долгосрочной перспективе авиаучёты на основных целевых участках с одинаковыми условиями проведения наблюдений. При этом необходимо покрывать облётами больше районов, в т. ч. в южной части акватории, захватывая припайные льды, а также участки береговой линии с различным субстратом. Детально методология полётов, сбора материала и технические подробности методов камеральной обработки изложены в научном отчёте ФГБНУ «ВНИРО» за 2021 г.³

Актуальные данные по численности, распределению и поведению ладожского подвида кольчатой нерпы обеспечат научно-обоснованный подход к разработке мероприятий, направленных на охрану водных биологических ресурсов, занесённых в Красную книгу Российской Федерации.

Благодарности

Авторы сердечно благодарят И.С. Труханову за обсуждение, ценные замечания и рекомендации, сделанные в ходе подготовки настоящей работы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Госзадания ФГБНУ «ВНИРО».

³ Отчет о НИР в рамках исполнения государственного задания № 076-00002-21-01 на 2021 г. «Проведение прикладных научных исследований. Заключительный». ФГБНУ «ВНИРО». 2021. 825 с.

ЛИТЕРАТУРА

Агафонова Е.В., Веревкин М.В., Медведев Н.В., Сипиля Т., Соколовская М.В., Шахназарова В.Ю. 2006. Характер размещения релаксационных залёжек ладожской кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) и численность животных на них в летний период на островах Валаамского архипелага // Мат. IV межд. симп. «Динамика популяций охотничих животных северной Европы», г. Петрозаводск, 18–22 сентября 2006 г. Петрозаводск: ИБ КарНЦ РАН. С. 5–9.

Агафонова Е.В., Веревкин М.В., Сагитов Р.А., Сипиля Т., Соколовская М.В., Шахназарова В.Ю. 2007. Кольчатая нерпа в Ладожском озере и на островах Валаамского архипелага. *Vammalan Kirjapaino* Oy, 61 с.

Агафонова Е.В., Веревкин М.В., Сипиля Т., Соколовская М.В., Шахназарова В.Ю. 2010. Мониторинг численности ладожской кольчатой нерпы на релаксационных залёжках на островах Валаамского архипелага: выбор оптимальной стратегии // Состояние популяции, проблемы и пути сохранения ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*). Мат. межд. совещания (24–25 марта 2009 г., г. С. Петербург, Россия) СПб. С. 3–12.

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., Петерфельд В.А., Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Петров Е.А., Бобков А.И., Ткачев В.В., Сидоров Л.К., Болтнев Е.А. 2021. Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыболово-промышленном бассейне. М.: Изд-во ВНИРО. С. 56.

Бизиков В.А., Лукина Ю.Н., Сидоров Л.К., Сабиров М.А., Труханова И.С. 2022. Численность и распределение ладожской нерпы в аномально тёплую зиму 2020 года: оценка по результатам авиаучёта // Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии (XI Съезд Териологического общества при РАН). Мат. конф. с международным участием, 14–18 марта 2022 г. Москва, ИПЭЭ РАН. М.: Тов-во научных изданий КМК. С. 38.

Веревкин М.В. 2003. Результаты авиаучёта кольчатой нерпы на Ладожском озере // Мат. III межд. симп. «Динамика популяций охотничих животных северной Европы», г. Сортавала, 16–20 июня 2002 г. Петрозаводск: ИБ КарНЦ РАН. С. 202–204.

Веревкин М.В., Высоцкий В.Г. 2013. Современное состояние популяции ладожской кольчатой нерпы // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Вып. 4. С. 14–25.

Веревкин М.В., Медведев Н.В., Сипиля Т. 2006. Гибель ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) в приловах // Млекопитающие Голарктики. Мат. 4-ой международной конф. СПб.: С. 130–133.

Веревкин М.В., Труханова И.С., Сипиля Т. 2010 а. Взаимоотношения ладожской кольчатой нерпы (*Pusa hispida ladogensis* Nordquist, 1899) и рыбного промысла на Ладожском озере // Состояние популяции, проблемы и пути сохранения ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*). Мат. межд. совещания (24–25 марта 2009 г., г. С. Петербург, Россия) СПб. С. 37–41.

Веревкин М.В., Сагитов Р.А., Сипиля Т. 2010 б. Кольчатая нерпа (*Pusa hispida ladogensis* Nordquist, 1899) Ладожского озера // Состояние популяции, проблемы и пути сохра-

нения ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*). Мат. межд. совещания (24–25 марта 2009 г., г. С. Петербург, Россия) СПб. С. 32–36.

Глазов Д.М., Кузнецова Д.М., Соловьев М.А., Уличев В.И., Рожнов В.В. 2019. Использование ладожской кольчатой нерпы *Pusa hispida ladogensis* акватории Ладожского озера в осенне-зимний период по данным спутниковой телеметрии // Зоологический журнал. Т. 98. Вып. 6. С. 1371–1377.

Жеглов В.А., Чапский К.К. 1971. Опыт авиаучёта кольчатой нерпы, серого тюленя и их лунок в заливах Балтийского моря и на Ладожском озере // Труды Атлантического научного института. Вып. 39. С. 323–342.

Земский В.А., Филатов И.Е. 1986. Численность ладожской нерпы по данным авиаучёта весной 1985 года // Мат. Совещания «Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих». Архангельск: ОБЛСТАТ. С. 154–156.

Зубов А.И. 1965. Мероприятия по организации промысла нерпы в Ладожском озере и Финском заливе // Рыбное хозяйство. № 5. С. 22–24.

Красная книга Российской Федерации. 2021. Т. «Животные». 2-е издание. М.: ВНИИ Экология. 1128 с.

Медведев Н.В., Сипиля Т., Куннасранта М., Хюваринен Х. 2000. Ладожская нерпа // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и Северного Приладожья (оперативно-информационные материалы). Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 325–332.

Медведев Н.В., Веревкин М.В., Сипиля Т. 2006. Характер распределения ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) по акватории озера в ледовый сезон // Млекопитающие Голарктики. Сб. науч. тр. по материалам 4-ой международной конф. СПб.: СПбГУ. С. 358–360.

Медведев Н.В., Сипиля Т., Веревкин М.В. 2010. Состояние популяции ладожской кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*), основные угрозы её благополучию и рекомендуемые меры охраны // «Состояние популяции, проблемы и пути сохранения ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*)». Мат. межд. совещания (24–25 марта 2009 г., г. С. Петербург, Россия) СПб. С. 51–58.

Медведев Н.В., Сипиля Т. 2010. Особенности зимовки и размножения кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) в северной части Ладожского озера // Труды КарНЦ РАН. № 1. С. 86–94.

Носков Г.А., Гагинская А.Р. 2002. Красная книга природы Ленинградской области. Животные. Том 3. СПб.: ООО «CICON». 480 с.

Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Н., Рожнов В.В. 2013. О возможности использования спутниковых изображений высокого разрешения для обнаружения морских млекопитающих // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 217–226.

Соколов А.С. 1958 а. О питании ладожского тюленя и целесообразности его промысла // Рыбное хозяйство. № 10. С. 25–27.

Соколов А.С. 1958 б. Материалы по биологии ладожского тюленя // Учёные записки ГПИ им. Герцена. Т. 179. Л.: ЛГПИ им. А.И. Герцена. С. 97–112.

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.

Тормосов Д.Д., Филатов И.Е. 1984. Современное состояние популяций тюленей Балтийского моря и Ладожского озера // Морские млекопитающие. М.: Наука. С. 276–284.

Труханова И.С., Сагитов Р.А., Веревкин М.В., Алексеев В.А., Андриевская Е.М. 2012. Ладожская кольчатая нерпа и рыбный промысел: почему возник конфликт? // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). № 2. С. 232–238.

Труханова И.С. 2013. Состояние популяции ладожской кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) в контексте многолетних и сезонных изменений экологических факторов. Автореф. ... канд. биол. наук. СПб.: СПбГУ. 17 с.

Филатов, И.Е. 1978. Сезонное распределение нерпы Ладожского озера // Морские млекопитающие. Тез. докл. 7-го Всесоюзного Совещания. М.: ЦНИИТЭИРХ. С. 342–343.

Филатов И.Е. 1984 Биология и хозяйственное значение ладожской кольчатой нерпы: Автореф. ... канд. биол. наук. Киев.: ИЗ АН УССР. 20 с.

Филатов, И.Е. 1990. Ладожская кольчатая нерпа // Редкие и исчезающие виды млекопитающих СССР. М.: Наука. С. 57–64.

Чапский, К.К. 1932. Ладожский тюлень и возможности его промысла // Известия Ленинградского Научно-исследовательского Ихтиологического института. Т. 13 Вып.2. С. 147–157.

Hilton-Taylor, C. (compiler). 2000. 2000 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 61 p.

Kunnasranta M., Hyvärinen H., Sipilä T., Koskela J. 1999. The diet of the Saimaa ringed seal *Phoca hispida saimensis* // Acta Theriologica. V. 44(4). P. 443–450.

Kunnasranta M., Hüvarinen H., Sipilä T., Medvedev N. 2001. Breeding habitat and lair structure of the ringed seal in northern Lake Ladoga in Russia. // Polar Biology. V. 24. P. 171–174.

McHugh M.L. 2012. Interrater reliability: The kappa statistic // Biochimia Medica. V. 22 (3): P. 276–282. doi:10.11613/bm.2012.031

Sipilä T., Medvedev N., Kunnasranta M., Bogdanov V., Hyvärinen H. Species. 2002. Present status and recommended conservation actions for the Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis*) population // WWF Suomen Report. N.15. Helsinki. 30 p. DOI:10.13140/RG.2.2.36446.38723

Trukhanova I.S., Gurarie E., Sagitov R.A. 2013. Distribution of hauled-out Ladoga ringed seals (*Pusa hispida ladogensis*) in spring 2012 // Arctic. V. 66 (4). P. 417–428.

Efron B. 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife // Annals of Statistics. V. 7, no. 1. P. 1–26.

John G. Cragg. 1971 Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Application to the Demand for Durable Goods // Econometrica. V. 39, No.5. P. 829–844

Agafonova E. V., Verevkin M. V., Medvedev N. V., Sipila T., Sokolovskaya M. V., Shakhnazarova V. Ju. 2006. Distribution of haul-out sites of Ladoga ringed seals (*Phoca hispida ladogensis*) and their abundance on the islands of the Valaam Archipelago (Lake Ladoga) in summer // «Dynamics of game animals populations in northern Europe Proceedings». The 4th Intern. symp. 18–22 Sept., 2006, Petrozavodsk, Karelia, Russia Petrozavodsk: KarRC RAS, P. 5–9 (In Russ.)

Agafonova E. V., Verevkin M. V., Sagitov M. V., Sipila T., Sokolovskaya M. V., Shakhnazarova V. Ju. 2007. The Ringed seal in Lake Ladoga and the Valaam Archipelago. Vammalan Kirjapaino Oy. 61 p. (In Russ.)

Agafonova E. V., Verevkin M. V., Sipila Tl., Sokolovskaya M. V., Shakhnazarova V. Ju. 2010 Monitoring of the Ladoga ringed seal (*Pusa hispida ladogensis* Nordq. 1899) population on haul-outs at the islands of the Valaamo archipelago // Population status and conservation of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*): Proceedings (March, 24–25, 2009, St. Petersburg, Russia) St. Petersburg: P. 3–12. (In Russ.)

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., 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. Methodological recommendations for the accounting of the Baikal seal (*Pusa sibirica*) offspring using unmanned aerial vehicles in the Baikal fishery basin. Moscow: VNIRO Publish. P. 56. (In Russ.)

Bizikov V.A., Lukina Ju. N., Sidorov L. K., Sabirov M. A., Trukhanova I.S. 2022. Abundance and distribution of the Ladoga seal in anomalous warm winter 2020: estimate based on the results of the aerial survey // Proceedings XI Congress of the Theriological Society at the RAS (14–18 March 2022, Moscow, Russia IPEE RAS). KMK Scientific Press Ltd.. p. 38. (In Russ.)

Verevkin M. V. 2002. Results of the aerial survey of the ringed seals in the Ladoga Lake // «Dynamics of game animals populations in northern Europe» Proceedings The 3rd Intern. symp. 16–20 June, 2002 г., Sortavala) Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS. P. 202–204. (In Russ.)

Verevkin M. V., Vysotskiy V. G. 2013. Current status of the Ladoga ringed seal *Pusa hispida ladogensis* (Nordquist, 1899) // Vestnik SPSU. Ser. 3. Iss. 4. P. 14–25. (In Russ.)

Verevkin M. V., Medvedev N. V., Silila T. 2006. By-catch mortality of the Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis*) population // Marine mammals of the Holarctic. Collect. papers VI Intern. Conf. Saint-Petersburg. September 10–14. P. 130–133. (In Russ.)

Verevkin M. V., Trukhanova B. C., Sipila T. 2010 a. The Ladoga ringed seal (*Pusa hispida ladogensis* Nordquist, 1899) – fisheries interactions on Lake Ladoga // Population status and conservation of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*): Proceedings (March, 24–25, 2009, St. Petersburg, Russia). St. Petersburg: P. 37–41. (In Russ.)

Verevkin M. V., Sagitov R. A., Sipila T. 2010 b. The Ladoga seal (*Pusa hispida ladogensis* Nordquist, 1899) of the Lake Ladoga // Population status and conservation of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*): Proceedings (March, 24–25, 2009, St. Petersburg, Russia). St. Petersburg, P. 32–36. (In Russ.)

REFERENCE

Agafonova E. V., Verevkin M. V., Medvedev N. V., Sipila T., Sokolovskaya M. V., Shakhnazarova V. Ju. 2006. Distribution of haul-out sites of Ladoga ringed seals (*Phoca hispida*

Glazov D.M., Kuznetsova D.M., Soloviova M.A., Ulichev V.I., Rozhnov V.V. 2019. Use of the Lake Ladoga area by the Ladoga seal (*Pusa hispida ladogensis*) in the autumn-winter period, based on satellite telemetry data // Russian Journal of Zoology. V. 98 (6). P. 1371–1377. (In Russ.)

Zheglov V.A., Chapskiy K.K. 1971. Experience of aerial survey of ringed seal, grey seal and their lairs in the bays of the Baltic Sea and the Ladoga Lake // Marine Mammal Research. Kaliningrad: AtlantNIRO Pudlsh. Iss. 39. P. 323–342. (In Russ.)

Zemskiy V.A., Filatov I.E. 1986. Population abundance of the Ladoga seal according to the aerial survey in the spring, 1985 // «Research on the conservation and rational use of marine mammals». Proceedings. Arkhangelsk. 1986. P. 154–156.

Zubov A.I. 1965. Activities on seal harvest establishment on Ladoga Lake and in the Gulf of Finland // Fisheries: № 5. P. 22–24. (In Russ.)

Red Data Book of the Russian Federation. 2021. V. Animals. 2-nd edition. Moscow: VNII Ecologia. 1128 p. (In Russ.)

Medvedev N.V., Sipila T., Verevkin M.V. 2010 The status of the Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis*) Population, main threats and recommended conservation actions // Population status and conservation of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*): Proceedings (March, 24–25, 2009, St. Petersburg, Russia). St. Petersburg. P. 51–58. (In Russ.)

Medvedev N.V., Sipila T., Kunnasranta M., Hyuvarinewn H. 2000. Ladoga seal // Biodiversity inventories and studies in Zaonezhski peninsula and northern shore of Lake Ladoga (express information materials). Petrozavodsk, Karelia. P. 325–332. (In Russ.)

Medvedev N.V., Sipila T. 2010. Wintering and breeding peculiarities of ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*) in the northern part of Lake Ladoga // Transactions of Karelian Research Centre of RAS. № 1. P. 86–94. (In Russ.)

Medvedev N.M., Sipila T., Verevkin M.V. 2006. Peculiarities of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*) distribution across the lake water area in the ice-covered period // Marine mammals of the Holarctic. Collec. papers VI Intern. Conf. Saint-Petersburg. September 10–14, 2006. P. 358–360. (In Russ.)

Noskov G.A., Gaginskaya A.R. 2002. Red Data Book of the Leningrad region. V. 3. Animals. Sankt-Peterburg: 480 p. (In Russ.)

Platonov N.G., Mordvintsev I.N., Rozhnov V.V. 2013. The possibility of using high resolution satellite images for detection of marine mammals // Izvestiya RAS. Biology Bull. № 2. P. 217–226. (In Russ.)

Sokolov A.S. 1958 a. On the feeding of the Ladoga seal and its potential for hunting // Fisheries. № 10. P. 25–27. (In Russ.)

Sokolov A.S. 1958 6. Some data on the biology of the Ladoga seal // Uchenye zapiski A.I. Herzen SPI. V. 179. Leningrad: A.I. Herzen LGPI Publish. P. 97–112.

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.)

Tormosov D.D., Filatov I.E. 1984. Modern status of seals populations ion the Baltic Sea and the Ladoga Lake // Marine mammals. Moscow: Nauka. P. 276–284. (In Russ.)

Trukhanova I.S., Sagitov R.A., Verevkin M.V., Alekseev V.A., Andrievskaya E.M., 2012. Ladoga ringed seal and fishery: why did the conflict arise? // Society. Environment. Development (Terra Humana). № 2. P. 232–238. (In Russ.)

Trukhanova I.S. 2013. The state of the population of the Ladoga ringed seal (*Pusa hispida botnica*) in the context of long-term and seasonal changes in environmental factors. PhD theses. Sankt Peterburg: SPbSU. 17 p. (In Russ.)

Filatov I.E. 1978. Seasonal distribution of the seal in the Ladoga Lake // Proceedings of the VII ALL-Union Meeting of Marine mammals. Moscow: P. 342–343. (In Russ.)

Filatov I.E. 1984. Biology and commercial value of Ladoga ringed seal. PhD theses. Kiev, 20 p. (In Russ.)

Filatov I.E. 1990. The Ladoga ringed seal // Rare and Endangered Mammal Species of USSR. Moscow: Nauka, P. 57–64. (In Russ.)

Chapskiy K.K. 1932. The Ladoga seal and its commercial potential // Bulletin of the Institute of Ichthyology. Leningrad, V. XIII, fasc. 2. P. 147–157. (In Russ.)

Hilton-Taylor, C. (compiler). 2000. 2000 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 61 p.

Kunnasranta M., Hyvärinen H., Sipilä T., Koskela J. 1999. The diet of the Saimaa ringed seal *Phoca hispida saimensis* // Acta Theriologica. V. 44(4). P. 443–450.

Kunnasranta M., Hüvarinen H., Sipilä T., Medvedev N. 2001. Breeding habitat and lair structure of the ringed seal in northern Lake Ladoga in Russia. // Polar Biology. V. 24. P. 171–174.

McHugh M.L. 2012. Interrater reliability: The kappa statistic // Biochimia Medica. V. 22 (3): P. 276–282. doi:10.11613/bm.2012.031

Sipilä T., Medvedev N., Kunnasranta M., Bogdanov V., Hyvärinen H. Species. 2002. Present status and recommended conservation actions for the Ladoga seal (*Phoca hispida ladogensis*) population // WWF Suomen Report. N.15. Helsinki. 30 p.

Trukhanova I.S., Gurarie E., Sagitov R.A. 2013. Distribution of hauled-out Ladoga ringed seals (*Pusa hispida ladogensis*) in spring 2012 // Arctic. V. 66(4). P. 417–428.

Efron B. 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife // Annals of Statistics. V. 7, no. 1. P. 1–26.

John G. Cragg. 1971 Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Application to the Demand for Durable Goods // Econometrica. V. 39, No.5. P. 829–844

Поступила в редакцию 09.11.2022 г.
Принята после рецензии 28.11.2022 г.