© Беликов Р. А., Краснова В. В., Шатравин А. В., Панова Е. М., Чернецкий А. Д., Беликова Е. А., Крюкова Н. В., Таганова М. М., Гебрук А. В., 2025, Океанологические исследования, 2025, Том 53, № 1, С. 87–118

УДК 591.5; 534.836.2; 551.463.21 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛУХ *DELPHINAPTERUS LEUCAS* В ВОДАХ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА И ОЦЕНКА ЗВУКОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ИХ МЕСТООБИТАНИЙ В ЛЕТНЕМ СЕЗОНЕ 2024 г.

Р. А. Беликов[1], В. В. Краснова[1], А. В. Шатравин[1,2], Е. М. Панова[1], А. Д. Чернецкий[1], Е. А. Беликова[1], Н. В. Крюкова[1, 3], М. М. Таганова[1], А. В. Гебрук[1]

[1] Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: mirounga76@mail.ru;
[2] Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН,
Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38,
e-mail: ashatravin@ocean.ru;
[3] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН,
Россия, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 33,
e-mail: sea-walrus@list.ru

В связи с планируемым строительством в п. Соловецкий технологического причала, летом 2024 г. проведены комплексные исследования беломорских белух, обитающих в водах Соловецкого архипелага, и описаны звуковые ландшафты их местообитаний в Соловецком заливе. Изучение соловецкого летнего репродуктивного скопления белух выявило сходство общей картины его функционирования и структуры летом 2024 г. с таковой в предыдущие годы. Из-за неконтролируемого экотуризма и усиления морского трафика, соловецкое репродуктивное скопление, являясь критическим местообитанием и зоной высокой плотности белух, продолжает подвергаться интенсивной антропогенной нагрузке. Судовые учеты и пассивный акустический мониторинг (ПАМ) подтвердили встречаемость белух в акватории Соловецкого залива; его северная часть рассматривается в настоящий момент как основная зона потенциального влияния подводного строительного шума на белух при проведении сваебойных работ. Звуковые ландшафты Соловецкого залива и бухты Благополучия сильно зашумлены; основной вклад в акустическое загрязнение исследованных участков, вероятно, вносят шумы ближнего судоходства. Дефицит данных об использовании белухами акватории за пределами репродуктивного скопления, наряду с вероятностью дальнего распространения сваебойного шума, требуют дальнейшего продолжения исследований с целью минимизации негативного влияния строительства на белух.

Ключевые слова: белуха *Delphinapterus leucas*, Белое море, соловецкое репродуктивное скопление, строительный шум, погружение свай, шумы судоходства, звуковые ландшафты, антропогенное воздействие

Введение

Активное освоение Арктики, связанное во многом с глобальным потеплением и уменьшением площади ледового покрова, ведет к увеличению уровня антропогенного шумового загрязнения в этом регионе (PAME, 2019). Антропогенный шум может оказывать негативное воздействие на морских млекопитающих (Richardson et al., 1995; NAS, 2017; Halliday et., 2020; Southall et al., 2023), влияя на их способность слышать и использовать звук, вызывая изменения в поведении и характере использования местообитаний (Wartzok and Ketten, 1999; Richardson et al., 1995; Haver et al., 2018), а также при длительном воздействии становясь причиной хронического стресса (Wright et al., 2007; Rolland et al., 2012).

Освоение арктических и субарктических регионов Российской Федерации сопровождается активным развитием береговой инфраструктуры (Соловей и др., 2012; Таровик и др., 2022). Строительство гидротехнических сооружений сопряжено с потенциальным воздействием на морских млекопитающих различных неблагоприятных факторов, среди которых наиболее значимую роль часто играет загрязнение техногенным шумом (Richardson et al., 1995; Соловей и др., 2012; Dahl et al., 2015; Таровик и др., 2022). Особое внимание при этом уделяется влиянию подводного строительного шума, возникающего при проведении сваебойных работ (Nedwell and Howell, 2004; Dahl et al., 2015; Herbert-Read et al., 2017; Branstetter et al., 2018; Guan and Miner, 2020; Huang L-F et al., 2023). Данный фактор часто рассматривается как основной по влиянию на китообразных при реализации строительных проектов (Ketten et al., 1993; Richardson et al., 2013; Díaz and Soares, 2020; Huang L-F et al., 2023).

Прибрежный арктический вид – белуха *Delphinapterus leucas* отличается высокой поведенческой и экологической пластичностью (Caron and Smith, 1990; Scharffenberg et al., 2020, Smith et al., 2017). Она демонстрирует широкий диапазон реакций на антропогенный шум (Richardson et al., 1995; Finneran et al., 2000; Schlundt et al., 2000), включая в ряде случаев крайне высокую чувствительность к его воздействию (Finley et al., 1990; Cosens and Dueck, 1993; Martin et al., 2023). Степень влияния и реакция белух зависят от локальных условий конкретных местообитаний и особенностей каждой отдельной популяции (Richardson et al., 1995). Вместе с тем ярко выраженная филопатрия у белух, то есть сезонная привязанность к определенным участкам обитания (O'Corry-Crowe, 2018), делает их потенциально крайне уязвимыми к влиянию негативных факторов (Caron and Smith, 1990; Kingsley, 1998; Rugh et al., 2000; Krasnova et al., 2020).

Соловецкое летнее прибрежное репродуктивное скопление (РС) белух, ежегодно формирующееся у м. Белужий о. Соловецкий в Белом море, – уникальный природный объект и крайне значимый феномен для стабильного функционирования беломорской популяции (Белькович и др., 2002; Белькович, 2004; Чернецкий, Краснова, 2018; Krasnova et al., 2020; Чернецкий, 2021). Привязанность белух к этому сезонному критическому местообитанию делает их потенциально уязвимыми в случае сильного антропогенного воздействия. В связи с планируемым строительством технологического

причала в пос. Соловецкий оценка его возможного влияния на обитающих здесь белух становится важной задачей.

Накопленный на протяжении 30 лет опыт комплексных исследований соловецкого РС белух представляет уникальную возможность для проведения модельной оценки потенциального влияния строительства гидротехнических сооружений на зубатых китообразных, обитающих в прибрежной зоне. При этом в настоящее время отсутствуют данные о звуковых ландшафтах в водах Соловецкого архипелага, а сведения о встречаемости и поведении белух за пределами РС у м. Белужий скудны и фрагментарны (Чернецкий, 2021). Для корректной оценки возможного влияния крайне важно изучить состояние белух и их местообитаний до начала строительства. Целью работы была актуальная оценка современного состояния беломорских белух, обитающих в водах Соловецкого архипелага, и характеристика звуковых ландшафтов зон потенциального воздействия подводного строительного шума на белух в летнем сезоне 2024 г.

Материал и методы

Район работ. Основная часть исследований белух проведена на акватории регулярного летнего репродуктивного скопления у м. Белужий о. Соловецкий (65° 04,47′ N, 35° 30,75′ E). Здесь выделяют четыре идущих вдоль берега участка (рисунок 1), предпочитаемых белухами, где ежедневно собираются и контактируют друг с другом группы численностью до нескольких десятков особей. Время посещения животными акватории у м. Белужий прежде всего зависит от приливно-отливного режима (Белькович и др., 2002; Чернецкий и др., 2011; Краснова и др., 2012). Чаще всего первые группы белух появляются в середине отлива; наибольшее количество животных отмечается на максимальном отливе – начале прилива (малая вода). Находясь на акватории у м. Белужий, белухи регулярно перемещаются с одного участка скопления на другой.

Постановки донных стационарных средств регистрации окружающих шумов и сигналов белух произведены на трех участках Соловецкого залива: «Филипповский» (бухта Благополучия), «Варлаама» (к западу от о-вов Варлаама и Песья Луда) и «Игуменский» (к югу от о-вов Игуменский и Песья Луда) (рисунок 1). Участки характеризуются малыми (меньше 10–30 м) и очень малыми (меньше 1–3 м) глубинами, имеют сложную батиметрию. Амплитуда приливов и отливов достигала 0.9 м. Дно песчаное с включением гравийного и галечного материала, а также ила с прослоями глины. Береговая линия представлена песком, крупной и мелкой галькой, а также валунами.

Биологические исследования

Сбор данных. Стационарные визуальные наблюдения проводились ежедневно в период с 9 июля по 4 августа 2024 г. Наблюдения велись с пятиметровой вышки,

установленной непосредственно перед центральным (А) участком скопления на границе литорали (рисунок 1), во время отлива при максимальной численности животных на акватории.

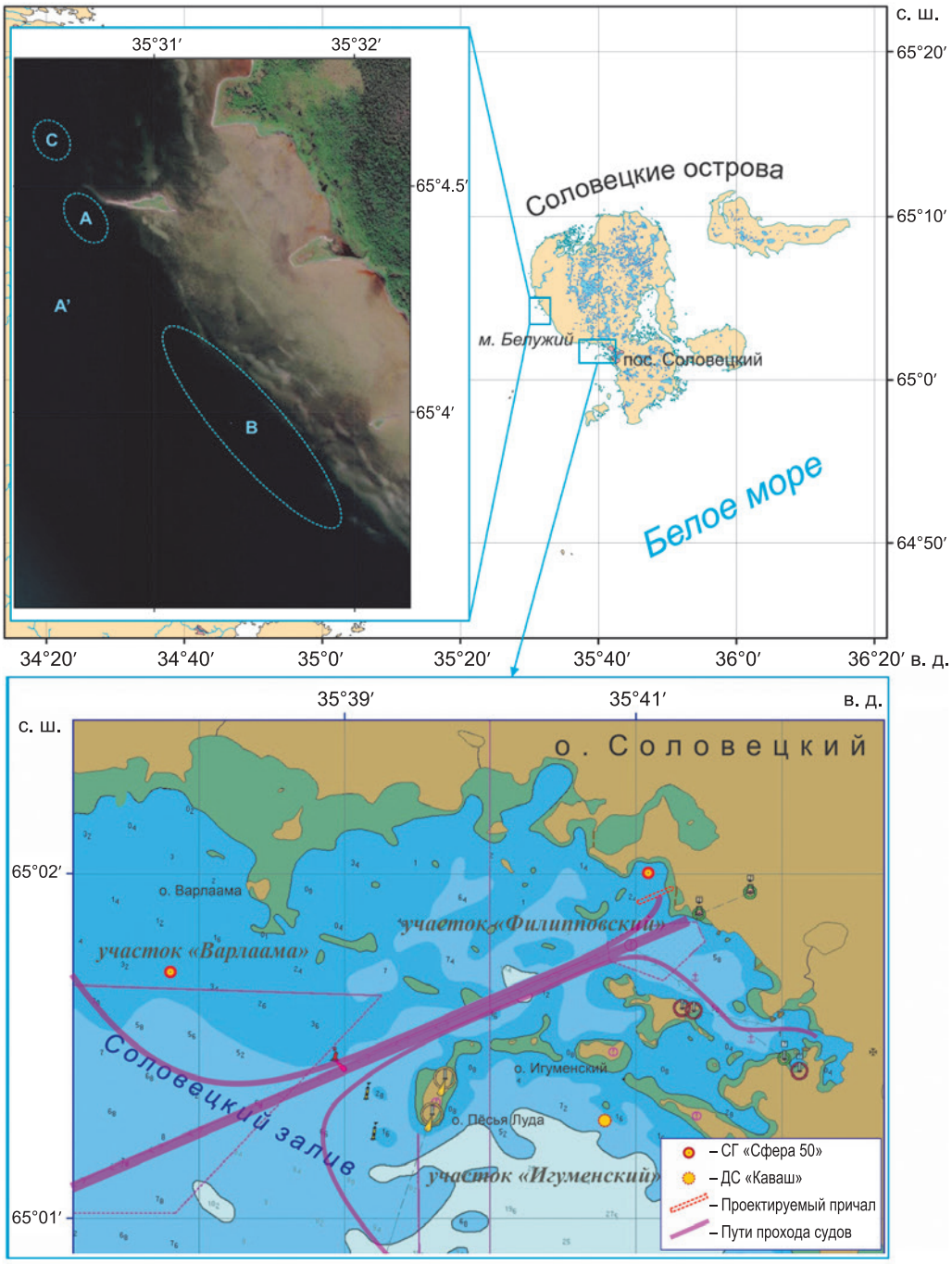

Рис. 1 – Район исследований со схемой соловецкого репродуктивного скопления белух у м. Белужий о. Соловецкий с предпочитаемыми участками (А, А’, В, С), точками постановок стационарных гидрофонов в Соловецком заливе и основными направлениями трафика судов

Использовались традиционные методы визуальных наблюдений: сканирование и сплошное протоколирование. Каждое сканирование проводили через 15 мин, во время которого фиксировали количество, возрастно-половой состав, поведенческую активность и перемещения белух на исследуемой акватории, а также количество туристических судов на каждом участке скопления. Для исключения ошибки возрастно-половой состав животных представлен данными только по участку А как наиболее близкому к наблюдателю. Возрастную категорию определяли по сочетанию размера тела и окраски животных: половозрелые (белые и светло-серые особи от пяти лет и старше), неполовозрелые (от трех до пяти лет) и детеныши (до трех лет). За весь период визуальных наблюдений проведено 319 срезов. Сплошное протоколирование применяли при появлении в районе м. Белужий факторов антропогенного беспокойства (дайверы; плавсредства; коптеры), что позволило непрерывно регистрировать реакции белух на воздействие со стороны человека. Общее время визуальных наблюдений в этом сезоне составило 75 ч.

Для изучения индивидуального состава скопления параллельно с визуальными наблюдениями проводили фотоидентификацию белух. Животных фотографировали на центральном участке А с берега или наблюдательной вышки при помощи цифровой фотокамеры Nikon D850 с длиннофокусным объективом Sigma 150–600 mm. Получено около 10 000 снимков, на которых при обработке выделяли белух с уникальными маркерами (дефектами на теле или следами кожных поражений), позволяющими идентифицировать животных в дальнейшем.

Судовые учеты включали регулярные специально организованные маршруты на акватории Соловецкого залива, а также попутные наблюдения во время перемещений на судах за пределами Соловецкого залива. За период с 8 июля по 29 августа было проведено 37 судовых учетов белух общей протяженностью 290 морских миль (таблица 1). По ходу движения судна наблюдатель осматривал акваторию впереди, с правого и левого бортов; в случае встречи белух отмечал их количество и координаты.

Табл. 1 – Судовые учеты белух в июле – августе 2024 г.

Маршрут	**Вид судна**	**Протяженность маршрута, морских миль**	**Количество и сроки учетов**
м. Белужий – бухта Благополучия	Моторная лодка	6	26 (08.07.24–15.08.24)
Губа Долгая	Моторная лодка	4	4 (06.08.24–26.08.24)
Бухта Благополучия – порт Рабочеостровск	Судно «Василий Косяков»	22	2 (02.08.24, 09.08.24)
Губа Долгая – о. Анзер	Катер	10	2 (10.08.24)
Бухта Благополучия – м. Белужий – о-в Топ – бухта Благополучия	Моторная лодка	17	2 (13.08.24, 19.08.24)
Бухта Благополучия – м. Белужий – о-в Топ – Заяцкие о-ва – о-ва Сенные Луды – Бухта Благополучия	Моторная лодка	20	1 (29.08.24)

Гидроакустические и биоакустические исследования

Сбор данных. Акустические исследования вели 35 суток с 4 июля по 7 августа 2024 г. Были произведены две постановки двух стационарных кабельных гидрофонов (участки «Филипповский» и «Варлаама»), соединенных с обслуживаемыми береговыми станциями, и две постановки одного опытного образца автономного регистратора шумов и сигналов белух «Каваш» (участок «Игуменский») (рисунок 1, таблица 2). В качестве чувствительных элементов использовались ненаправленные сферические пьезокерамические гидрофоны, оснащенные встроенными предусилителями. Калибровка гидрофонов совместно с кабелями, соединяющими гидрофоны с рекордерами, была проведена в АО «Акустический институт им. акад. Н. Н. Андреева» методом сравнения с эталонным приемником в заглушенном бассейне. Номинальная чувствительность гидрофонов на частоте 1 кГц составляла от –174.4 дБ до –171.7 дБ, ширина диапазона изменчивости чувствительности в диапазоне от 100 Гц до 10 кГц составляла от 3.4 дБ до 8.3 дБ. В качестве регистрирующей аппаратуры в береговых станциях использовались полевые цифровые рекордеры Tascam DR-40X, в погружном автономном регистраторе – рекордер Tascam DR-05X. Частота дискретизации составляла 96 кГц, разрядность записи – 16 либо 24 бит. Калибровка рекордеров была выполнена для всех использованных в работах значениях коэффициента усиления методом подачи на аудиовход набора тональных сигналов контролируемой амплитуды. Калибровочные зависимости чувствительности гидрофонов и рекордеров от частоты и значений коэффициентов усиления рекордеров учитывались в процессе предобработки аудиозаписей для приведения цифровых отсчетов к размерности звукового давления. Перед началом каждой сессии записей фиксировались значения коэффициентов усиления, частоты дискретизации и разрядности. Общая длительность подводной акустической записи составила 1320 ч 27 мин.

В ходе анализа оценивали текущие фоновые уровни окружающего природного шума и степень загрязнения акватории судовыми и техногенными шумами, а также уровень акустического присутствия белух на исследуемой акватории. Обработка акустического материала проведена с помощью специально созданных алгоритмов в среде Matlab. Предварительные результаты биоакустического анализа получены в программе Adobe Audition.

Табл. 2 – Характеристики установки и использования стационарных гидрофонов

Участок и даты постановки гидрофона	Диаметр гидрофона, мм	Тип платформы для установки	Глубина в точке, м	Высота гидрофона от дна, м	Удаление от берега, м	Количество сеансов автоматической записи
Филипповский (04.07–07.08.2024)	50	Донная малая	3	0.45	70	10
Варлаама (18.07–07.08.2024)	40	Донная большая	2.5	1	510	4
Игуменский (28.07–07.08.2024)	50	Растяжка на фале	11	1.5	260	2

Результаты

Стационарные наблюдения в месте соловецкого РС белух

Максимальное количество белух, зарегистрированных единовременно на всех участках соловецкого РС в каждый из дней наблюдений, в среднем за сезон составило 26±17 особей. Максимальная численность была зарегистрирована 11 июля – 67 особей (рисунок 2).

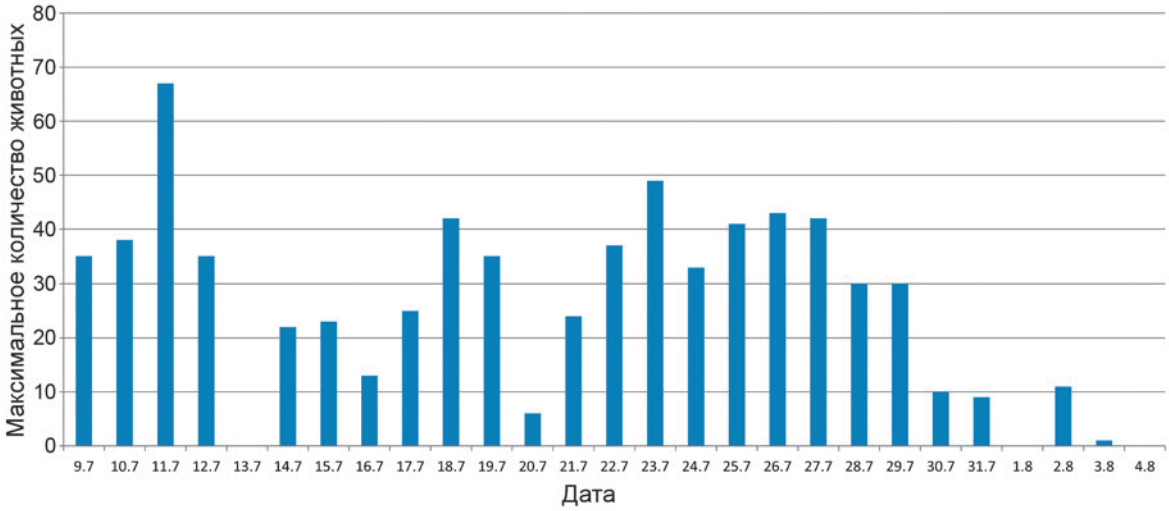

Рис. 2 – Динамика максимального количества белух, зарегистрированных единовременно на акватории соловецкого РС в каждый из дней наблюдений в июле – августе 2024 г.

Распределение белух на акватории скопления было неравномерным. Наибольшее число животных было зарегистрировано на участках А и В как самых благоприятных для них (прогретое мелководье) (таблица 3).

Табл. 3 – Максимальное количество белух за день, зарегистрированных на различных участках соловецкого РС в июле – августе 2024 г. Представлены среднее значение и стандартное отклонение (M±SD), минимальное и максимальное значения (Min–Max)

Участки соловецкого РС	**Количество белух (*N* дней наблюдений = 27)**	
	M±SD	**Min–Max**
A	11.6±9.2	0–30
B	14.2±13.5	0–35
C	7.7±5.6	0–20
A’	5.5±3.5	0–12

К началу периода наблюдений в скоплении преобладали социально активные белые половозрелые и серые неполовозрелые белухи (рисунок 3). Среди половозрелых белух были отмечены самцы, которые регулярно взаимодействовали

друг с другом и самками. Высокая социо-половая активность белух наблюдалась до 26 июля включительно. Число детенышей, единовременно находившихся на участке А, не превышало пяти особей. Первый новорожденный в скоплении был замечен 23 июля; всего было зарегистрировано три новорожденных. В начале августа после небольшого перерыва у соловецких белух ожидался второй пик социо-половой активности, однако отмечалось снижение численности животных, кратковременное нахождение или полное их отсутствие на акватории скопления (рисунки 2, 3).

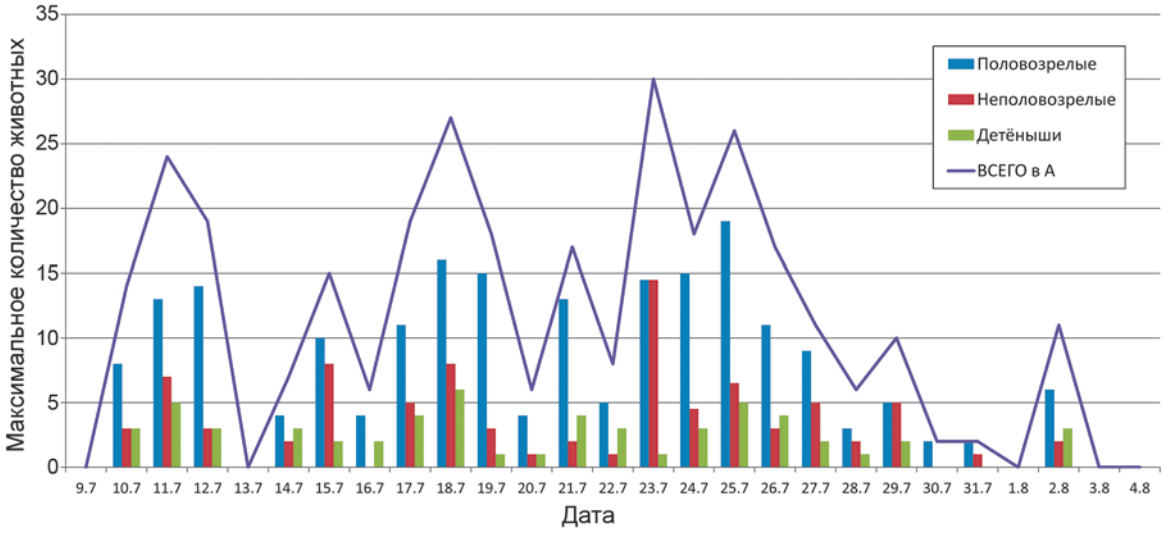

Рис. 3 – Максимальная численность белух разных возрастных групп на участке А соловецкого РС в июле – августе 2024 г.

Туристические суда разного класса (моторные лодки, катера, яхты, байдарки) посещали акваторию скопления практически ежедневно и круглосуточно. За весь период наблюдений зарегистрировано 138 судов, за сутки – до 14 судов. 11 июля единовременно наблюдалось их максимальное количество – 9 лодок, причем все они располагались на одном участке скопления (участок В). Неоднократно наблюдались преследования белух на лодках, приводящие к уходу животных из акватории скопления.

Первичная обработка полученных фотоснимков белух позволила идентифицировать 76 особей: 49 половозрелых, 15 неполовозрелых и 12 детенышей. Среди половозрелых животных выявлено предположительно 18 самок и 11 самцов; у 20 особей пол определить не удалось. Для каждого идентифицированного животного составлен календарь посещения акватории скопления. Некоторые особи наблюдались у м. Белужий однократно, другие встречались весь период экспедиционных работ. Одиннадцать белух были идентифицированы в предыдущие летние сезоны (рисунки 4, 5).

Рис. 4 – Неполовозрелая особь, идентифицированная в скоплении в 2022–2024 гг.
(**а** – 2023 г., **б** – 2024 г.)

Рис. 5 – Самка белухи, идентифицированная в скоплении в 2021–2024 гг.
(**а** – 2021 г., **б** – 2024 г.)

Судовые учеты белух

Во время судовых учетов было зарегистрировано 5 встреч белух на акватории Соловецкого залива и 3 встречи за его пределами (рисунок 6).

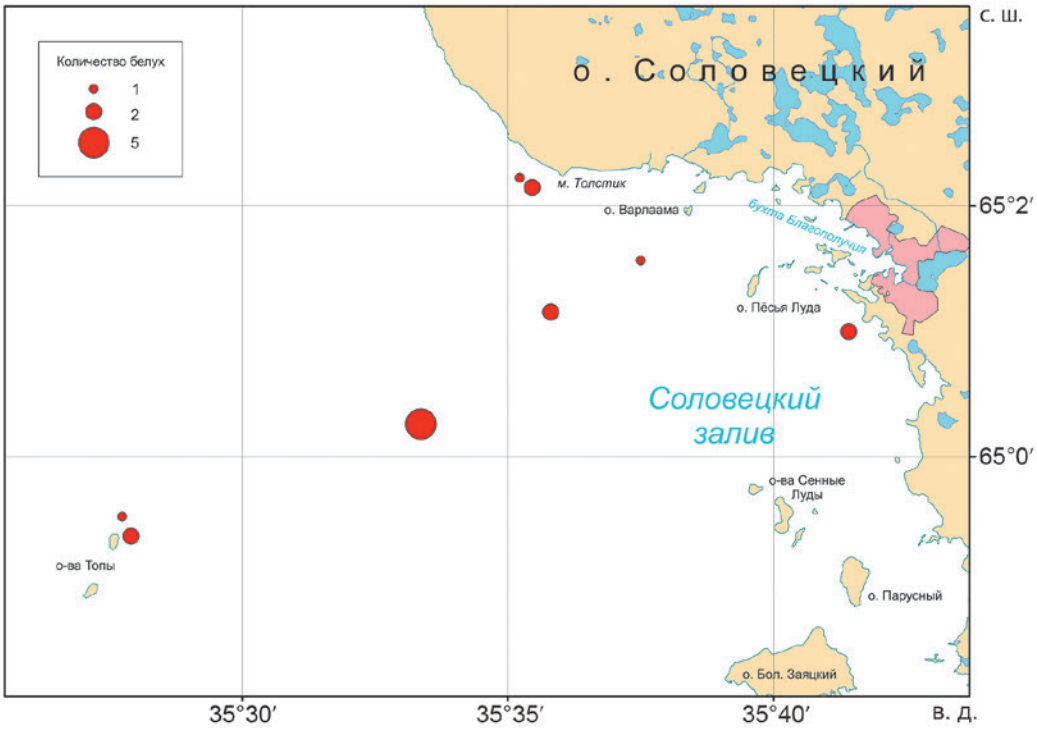

Рис. 6 – Встречи белух во время судовых учетов в июле – августе 2024 г.

Физические и биоакустические исследования

Для корректной оценки возможного влияния подводного строительного шума на белух важно до начала работ изучить фоновое состояние звуковых ландшафтов их местообитаний. «Звуковой ландшафт» понимали как совокупность биологических, геофизических и антропогенных звуков, характеризующих определенный ландшафт или местообитание и изменяющихся в пространстве и времени, отражая важные природные процессы и деятельность человека.

На участке «Филипповский», внутри которого находится место планируемого строительства технологического причала, получен наиболее обширный материал – 636 ч 32 мин. Участок, закрытый с нескольких направлений и имеющий небольшую площадь и глубины, характеризуется высоким уровнем акустического загрязнения судовым шумом и шумами портовых машин и механизмов. При прохождении судов по судовому ходу наблюдались ярко выраженные эффекты экранирования шума островами и отмелями. Этот участок отличается наибольшим максимальным значением уровня среднего за 10 мин звукового давления (SPL, от англ. Sound Pressure Level) и сравнимым с наименьшим для трех участков минимальным значением SPL (таблица 4), что, вероятно, связано с небольшими размерами и закрытостью этой акватории.

По усредненным тенденциям участок Филипповский занимает промежуточное положение. Отметим, что средне- и крупнотоннажные суда обычно проходят его, снижая скорость или двигаясь на малом ходу. С другой стороны, на этом участке регулярно осуществляются швартовки средне- и крупнотоннажных судов, во время которых их силовые установки и двигатели могут работать с достаточно высокой мощностью.

Табл. 4 – Статистические характеристики распределений уровней среднего звукового давления (SPL, дБ отн. 1 мкПа) в диапазоне 100 Гц – 10 кГц, рассчитанных для 10-минутных аудиозаписей (число аудиозаписей $N = 2456$, $N = 851$ и $N = 3842$ для участков «Варлаама», «Игуменский» и «Филипповский», соответственно). Для оценок среднего и медианы в скобках приведены границы 95 % доверительного интервала, полученные методом непараметрического бутстрэпа

Участок	SPL макс	SPL мин	SPL медиана	SPL среднее
«Варлаама»	136.5	104.1	111.1 (110.9–111.4)	112.3 (112.1–112.5)
«Игуменский»	123.1	86.1	92.2 (91.1–93.1)	95.3 (94.8–95.7)
«Филипповский»	143.5	88.2	103.4 (102.9–103.7)	103.9 (103.6–104.1)

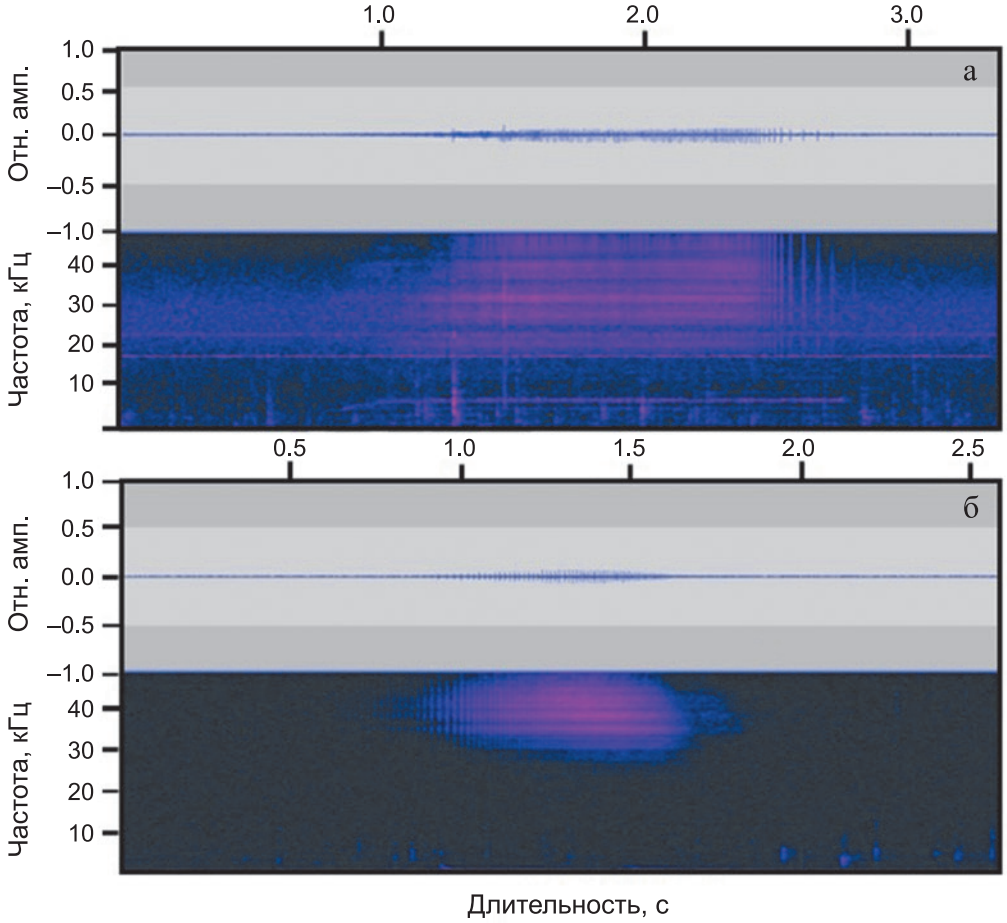

Рис. 7 – Сигналы белух, зарегистрированные в ходе ПАМ на участках «Варлаама» 02.08.24 (**а**) и «Игуменском» 30.07.24 (**б**). На верхних панелях приведены осциллограммы, на нижних – спектрограммы звуков

На участке «Варлаама» получено 426 ч 24 мин записей. Это наиболее зашумленный участок. Он характеризуется самым высоким средним значением SPL, из-за регулярных проходов судов по фарватеру (таблица 4). Однако из-за больших размеров участка и редкости подходов судов близко к гидрофону, максимальные значения SPL на нем ниже, чем на «Филипповском». При этом минимальное значение SPL на участке «Варлаама» является самым высоким (таблица 4): вероятно, из-за его сильной открытости, мелководности и подверженности воздействию шумов дальнего судоходства. Участок представляет собой обширное поле водорослей с глубинами 2–4 м в его прибрежной части, что, однако, слабо препятствовало распространению судового шума из более мористых районов. При установке стационарного гидрофона ночью 18 июля за о. Варлаама визуально зарегистрирована взрослая особь белухи, а также в ходе предварительной обработки записей, сделанных на данном участке, были обнаружены акустические сигналы белух (рисунок 7а). Это указывает на его посещаемость белухами в настоящее время и, возможно, на достаточно высокую значимость для животных.

На участке «Игуменский» получено 257 ч 31 мин записей. Данная акватория акустически экранирована от участка строительства цепью островов и мелей. Характеризуется большими глубинами – более 10 м и меньшим уровнем звукового загрязнения, так как расположена в стороне от основного потока морского трафика. Это наиболее тихий (таблица 4) из исследованных участков (проходов судов меньше; близко к гидрофону они обычно не приближаются). В ходе предварительной обработки записей, сделанных на участке «Игуменский», обнаружены эхолокационные и коммуникативные сигналы белух (рисунок 7б), свидетельствующие о достаточно длительных периодах присутствия их в данном районе. Особенности эхолокационной активности могут свидетельствовать о поисково-охотничьем поведении белух на данном участке.

На рисунке 8 представлены долговременные спектрограммы (LTSA от англ. Long Term Spectral Average) для периода с 1 по 7 августа 2024 г. в низкочастотном (до 2 кГц) и широком (50 Гц – 15 кГц) диапазонах. Временные отсчеты на спектрограммах соответствуют 10-минутным аудиозаписям, для которых производилось осреднение спектров мощности шума, полученных с использованием оконной функции Хэмминга длиной 1 с без перекрытия.

На всех трех участках исследования проявляется высокая временная изменчивость спектральных характеристик подводного шума (рисунок 8). Периоды повышения спектральной плотности мощности на низких частотах практически всегда совпадают с повышением плотности мощности на высоких частотах, что на графиках проявляется в виде вертикальных полос.

Примечательно наличие продолжительных периодов с присутствием явно выраженных квазигармонических сигналов, существенно превышающих по мощности фоновые шумы (периоды 4–6 августа на участке «Игуменском» и 1–4 августа на участке «Филипповском», рисунок 8). Подобные шумы могут иметь только антропогенное, а именно техногенное происхождение. По всей видимости, они

представляют собой шумы машин и механизмов, генерируемые техническими средствами и судами рядом с грузовым причалом на участке «Филипповский» и, вероятно, шум силовых установок или генераторов стоящих на якорной стоянке судов на участке «Игуменский».

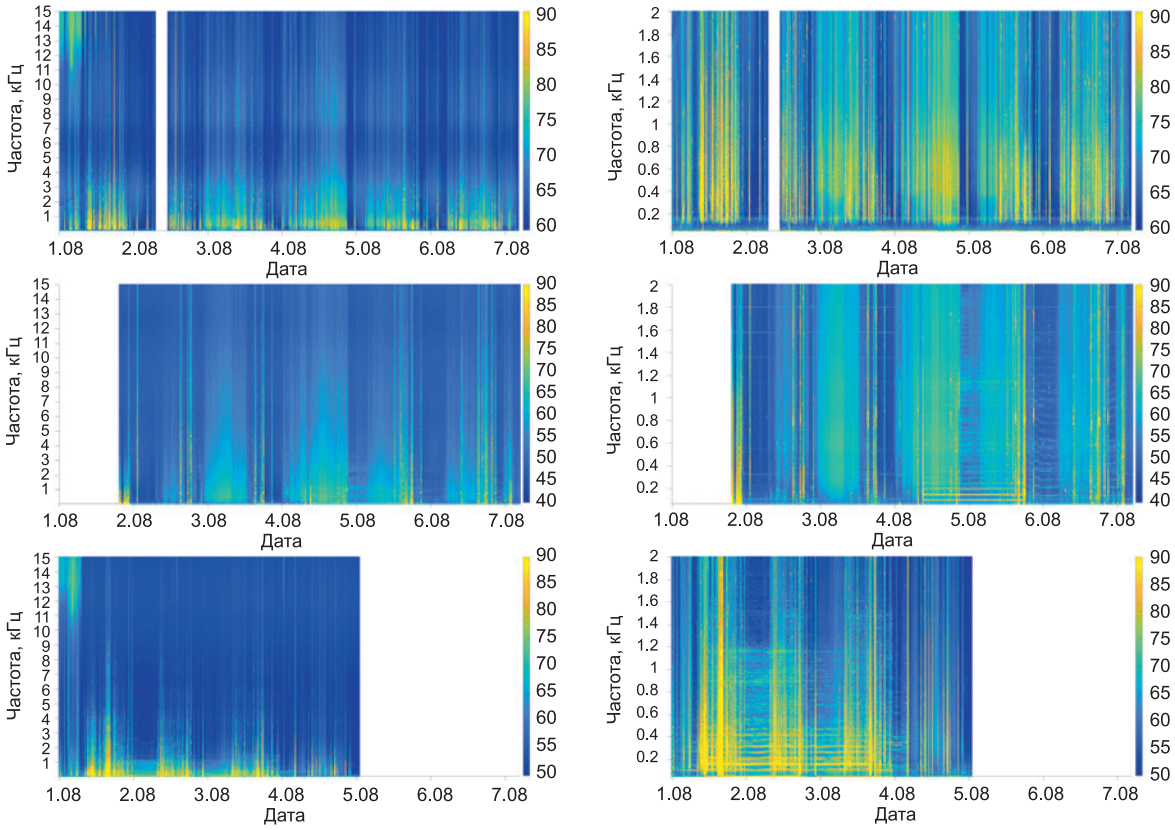

Рис. 8 – Долговременные спектрограммы для трех участков за период 1–7 августа. Верхний ряд – участок «Варлаама», средний ряд – участок «Игуменский», нижний ряд – участок «Филипповский». Слева – частотный диапазон от 50 Гц до 15 кГц, справа – частотный диапазон от 50 Гц до 2 кГц. На горизонтальной оси отметки дат соответствуют времени 00 ч 00 мин. Уровень спектральной плотности мощности (в дБ отн. 1 мкПа2/Гц) показан цветом

На всех трех участках проявляется следующая закономерность: в периоды повышения широкополосного уровня звукового давления (рисунок 9, диапазон 100 Гц – 10 000 кГц) значения низкочастотного SPL (100–1000 Гц) практически совпадают с широкополосными, а в периоды «затишья» низкочастотные SPL существенно (часто более, чем на 10 дБ) ниже широкополосных. Таким образом, основной вклад в периоды повышения уровня шума вносится низкочастотной компонентой, которая, по всей видимости, представлена шумами ближнего судоходства.

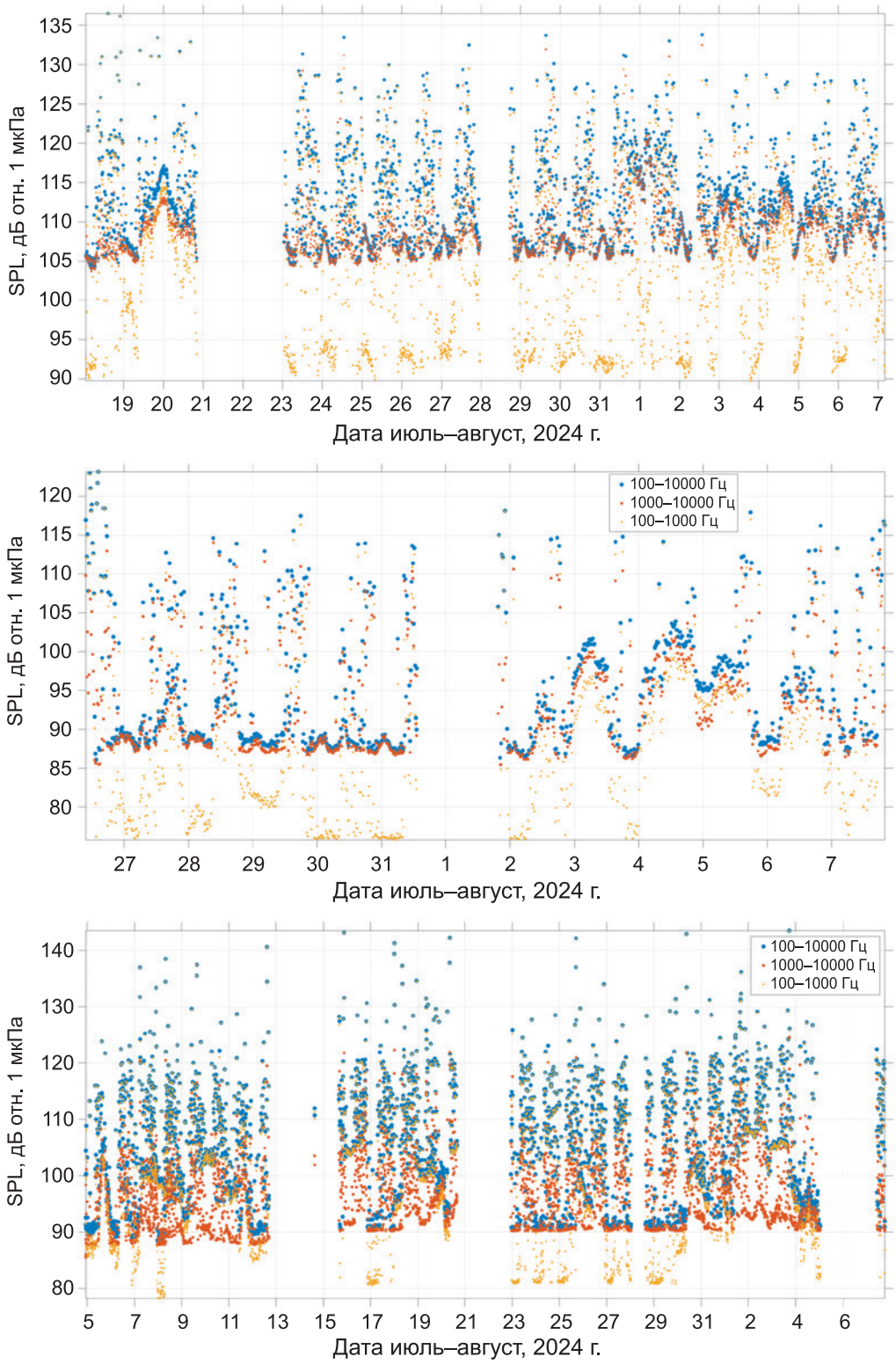

Рис. 9 – Временная зависимость уровня среднего звукового давления (SPL) для трех участков. Верхняя панель – участок «Варлаама», средняя панель – участок «Игуменский», нижняя панель – участок «Филипповский». Синие точки – частотный диапазон от 100 Гц до 10 кГц, красные точки – частотный диапазон от 1 кГц до 10 кГц, желтые точки – частотный диапазон от 100 Гц до 1 кГц. Каждая точка соответствует одному файлу длиной от 10 до 20 мин. На горизонтальной оси отметки дат соответствуют времени 00 ч 00 мин

Наблюдается суточный ход уровня шума на всех трех участках: в основном, повышение значений SPL происходит в периоды от 08 до 20 часов, когда при благоприятных погодных условиях усиливается морской трафик. Для оценки среднего суточного хода (рисунок 10, сплошные линии) было проведено осреднение широкополосных SPL для 10-минутных записей, полученных в периоды от 00 ч до 01 ч, от 01 до 02 ч, и т. д., независимо от даты. Разность между максимальным и минимальным значением (в среднем, наиболее «громким» и наиболее «тихим» часами суток) составила 10.4 дБ, 13.7 дБ и 16.3 дБ для участков «Варлаама», «Игуменского» и «Филипповского» соответственно.

Если при аналогичном построении суточного хода для каждого 10-минутного файла вместо уровня среднего за всю 10-минутную запись звукового давления использовать уровень среднего звукового давления по выборке односекундных сегментов с «мгновенным» односекундным SPL ниже медианного значения 1-секундных SPL для анализируемой 10-минутной записи (медианная фильтрация, прерывистые линии на рисунке 10), то суточный ход становится существенно менее выраженным: для всех трех участков разность между такой оценкой SPL в наиболее «громкие» и наиболее «тихие» часы не превосходит 5.4 дБ. На основании этого анализа можно сделать вывод о том, что в период проведения исследований существенный вклад в общий шумовой ландшафт вносили источники высокой интенсивности с характерным временем воздействия, не превосходящим десятки минут.

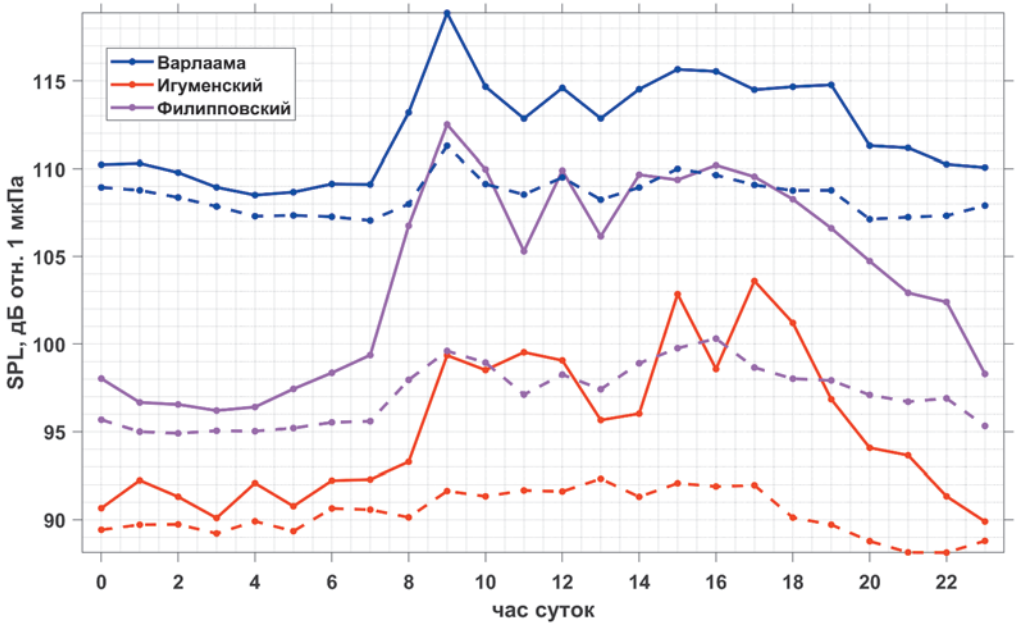

Рис. 10 – Зависимость средних значений SPL в диапазоне от 100 Гц до 10 кГц от времени суток для трех участков исследования. Использованы записи за периоды, соответствующие рис. 9. Сплошные кривые – осреднение по всем записям, прерывистые кривые – осреднение по 50% односекундных участков с наименьшим SPL за период каждой записи. Синий цвет – участок «Варлаама», красный цвет – участок «Игуменский», розово-фиолетовый цвет – участок «Филипповский»

Обсуждение

В результате комплексных исследований летом 2024 г. получена актуальная оценка современного состояния беломорских белух, обитающих в водах Соловецкого архипелага, и характеристики базовых параметров звуковых ландшафтов Соловецкого залива.

Состояние летнего соловецкого РС белух

Наблюдения, проведенные в летнем сезоне 2024 г., подтвердили регулярный статус соловецкого репродуктивного скопления белух с четко локализованным районом обитания в прибрежной акватории к западу от о. Соловецкий у м. Белужий (Белькович и др., 2002; Чернецкий, Краснова, 2018; Krasnova et al., 2020; Чернецкий, 2021). Встречи белух за пределами соловецкого РС свидетельствуют об относительно частом посещении животными Соловецкого залива и акватории, прилегающей к о-вам Соловецкого архипелага, которая является районами не только их перемещений, но и, предположительно, нагула (Белькович и др., 2002; Чернецкий, 2021).

Как и в предыдущие годы (Белькович, 2004; Краснова и др., 2012; Чернецкий и др., 2018; Чернецкий, 2021), животные у м. Белужий наблюдались практически ежедневно, однако их общее количество так же, как и число новорожденных, было ниже, чем в среднем за прошлые годы (максимальная численность в 2024 г. – 67 особей, в 1999–2023 гг. – 74±12 особей; количество новорожденных 2024 г. – 3, в 1999–2023 гг. – 7). Тем не менее, полученные данные вполне соответствуют нашим представлениям о четырех – пятилетних колебаниях численности белух в соловецком РС. Возможно, такая цикличность является проявлением естественной флуктуации числа белух на акватории Соловецкого архипелага (Краснова и др., 2012; Чернецкий, 2021), которая может быть обусловлена кормовой базой и климатическими условиями.

Общая картина функционирования и структуры скопления летом 2024 г. была сходна с таковой в предыдущие годы исследований: июль является самым активным месяцем существования соловецкого РС, когда в нем преобладают половозрелые особи с ярко выраженным социо-половым поведением (Белькович и др., 2002; Краснова и др., 2012). Однако исследования этого года выявили и ряд изменений, которые затронули характер использования отдельных участков скопления и поведение белух. Так, ранее наиболее посещаемым местом скопления был центральный участок А, тогда как этим летом белухи предпочитали находиться на участке В, причем на самой мелководной и каменистой его части. Кроме этого, в период наблюдений 2024 г. у белух отсутствовал второй пик спаривания, который обычно наблюдался у них в первой декаде августа.

Предварительные результаты фотоидентификации белух этого сезона подтвердили выявленную ранее (Чернецкий и др., 2011; Чернецкий, Краснова, 2018) некоторую долгосрочную стабильность индивидуального состава скопления. Многократные

встречи одних и тех же особей как в течение одного летнего сезона, так и в разные годы, свидетельствует о привязанности животных к акватории соловецкого РС и ее важной роли для жизнедеятельности соловецких белух.

По-прежнему вызывает беспокойство ежедневное присутствие туристических лодок на акватории скопления, число которых продолжает драматически увеличиваться. К настоящему времени белухи выработали некоторую толерантность к лодкам, останавливающимся на участках скопления (Krasnova et al., 2020). Однако прямое воздействие лодок, такое как целенаправленное преследование белух, вызывает у животных устойчивую реакцию избегания и вынуждает их покинуть акваторию скопления.

Встречаемость белух за пределами РС

Судовые учеты подтвердили представления об относительно регулярной встречаемости белух в Соловецком заливе (Чернецкий, 2021). Животные регистрировались как в его южной, так и в северной части – к западу от о. Варлаама – основной зоне потенциального влияния строительного шума на белух. Эту акваторию белухи посещали летом 2024 г. неоднократно, о чем свидетельствуют данные визуального судового учета, результаты предварительной обработки записей пассивного акустического мониторинга, а также опрос местных жителей. В июле 2023 г. в Соловецком заливе к юго-востоку от м. Толстик во время попутных судовых наблюдений была зарегистрирована группа из 7–10 особей, длительное время находящаяся на одном месте (Беликов, собственные наблюдения). Интенсивность использования данной акватории белухами, возможно, существенно недооценена, как и ее роль в функционировании РС.

Звуковые ландшафты Соловецкого залива на исследованных участках

Все три исследованных участка в Соловецком заливе характеризовались высоким уровнем загрязнения антропогенным шумом. На участках «Варлаама» и «Филипповский» регулярно наблюдалось превышение порога SPL для неимпульсных звуков в 120 дБ отн. 1 мкПа, что может вызывать изменения в поведении животных (Southall et al., 2019). По наиболее вероятному экспертному сценарию, участок «Варлаама» может стать основной зоной потенциального воздействия подводного строительного шума на белух, то есть областью перекрытия участков обитания белух и зоны распространения строительного шума. Бухта Благополучия (участок «Филипповский»), по имеющимся данным, белухами не посещается, а вероятность выхода строительного шума в южную часть Соловецкого залива (участок «Игуменский») оценивается как минимальная из-за его сильной акустической изоляции от участка строительства причала плотной цепью островов и мелей.

Участок «Варлаама» характеризуется достаточно высокими уровнями природных фоновых шумов (ветровых и волнения) из-за мелководности и близости береговой линии островов (Бардышев, 2008), что в случае ветров южных и западных

румбов обеспечивает появление и усиление шума прибоя. Однако основной вклад в зашумленность вносит антропогенный шум, представленный в настоящее время шумами судоходства (см. Gervaise et al., 2012; Halliday et al., 2017; Castellote et al., 2019). По участку проходит главная транспортная линия (судовой ход), ведущая в п. Соловецкий. Судовой трафик очень интенсивный, в период «белых ночей» практически круглосуточный.

Основной вклад в шумовое загрязнение на участке «Варлаама» вносят шумы ближнего судоходства. Его источники высоко мобильны, что делает картину распространения шума по акватории очень динамичной. Продолжительность интенсивного шума при близком проходе судна мимо приемника, как и в других работах (см. Castellote et al., 2019), весьма кратковременна. Однако частота проходов судов довольно высока, нередко шумы нескольких источников сливаются, а интервалы тишины сокращаются. В периоды отсутствия судов на акватории участка слышны шумы дальнего судоходства, что делает шумовое потенциальное воздействие на белух практически непрерывным, хроническим. Шум далеко идущих судов имеет низкую интенсивность и частоту, отличаясь при этом большой длительностью (Richardson et al., 1995; Castellote et al., 2019).

Чувствительность соловецких белух к антропогенному шуму

Соловецкие белухи, вероятно, относительно хорошо адаптированы к судовому шуму (Краснова и др., 2017; Таганова, 2019; Krasnova et al., 2020). Их неоднократно наблюдали на маршрутах движения регулярного парома «Василий Косяков» в районе архипелагов Топы и Кузова. Животные не проявляли заметной реакции на проходящие мимо суда, что, по-видимому, свидетельствует об их меньшей чувствительности к антропогенному шуму за пределами особо важных, критических местообитаний. Вместе с тем исследования в РС показывают, что реакция на судовой шум и присутствие судов сохраняется (Таганова, 2019; Krasnova et al., 2020). Он является одним из основных факторов негативного воздействия на белух в РС, несмотря на то, что большинство туроператоров стремятся выполнять рекомендации по скоростному режиму движения туристических судов на акватории соловецкого РС. Возможно, это связано с общим увеличением частоты посещений акватории РС судами, их практически круглосуточным присутствием, особенно в пик летнего сезона, а также с параллельным увеличением транзитного трафика мимо м. Белужий.

Испытывая крайнюю степень привязанности к конкретным, четко локализованным участкам на акватории соловецкого РС (Чернецкий, Краснова, 2018; Krasnova et al., 2020), белухи ограничены в возможности снижения уровня шумового воздействия на них за счет реакций избегания и покидания акватории. В Соловецком заливе белухи, напротив, более мобильны и, вероятно, гораздо менее привязаны к конкретным участкам акватории, что может в некоторой степени снизить влияние на них шума проходящих мимо судов. Вместе с тем известны случаи крайней чувствительности белух к антропогенному шуму, включая реакцию на суда, проходящие на

удалении десятков километров от животных (Finley et al., 1990; Cosens and Dueck, 1993; Martin et al., 2023). Учитывая столь широкий диапазон возможных реакций белух на акустическое загрязнение среды обитания (Richardson et al., 1995), сложно предсказать степень влияния на них подводного строительного шума, который, вероятно, является для соловецких животных новым (по крайней мере, в данном районе), непривычным фактором воздействия.

Влияние строительного подводного шума на белух

Строительный шум считается мощным фактором негативного воздействия на морскую биоту, включая морских млекопитающих (Ketten et al., 1993; Richardson et al., 1995; Huang L-F et al., 2023). В заливе Кука на Аляске были выявлены значимые изменения в акустической активности белух (Kendall et al., 2013), их поведении и характере использовании акватории (Kendall and Cornick, 2015) при воздействии совокупного подводного строительного шума (сваебойного и связанного с дноуглублением) в процессе модернизации морского терминала. Наибольшую опасность во время строительства причала в п. Соловецкий может представлять подводный шум при проведении сваебойных работ при возведении свайного поля. Строительный шум, в отличии от судового, производится практически стационарным источником, при этом сеансы его излучения могут быть очень продолжительными, охватывая весь рабочий день (Kendall and Cornick, 2015). На достаточно больших дальностях от источника строительный шум имеет характер поля (см. Комиссарова, 2004), то есть относительно равномерно покрывает большие площади, что не позволяет животным легко от него дистанцироваться, переместившись на небольшое расстояние. В случае частого использования сваебойного молота уровень звукового воздействия шума при погружении свай может достигать значительных величин даже на большом удалении от источника (Huang L-F et al., 2023).

Оценка распространения шума, возникающего при погружении свай, по мелководью со сложным рельефом дна и гидрологическими условиями является нетривиальной задачей (Urick, 1983). Возможно распространение звука через грунт и его выход в водную толщу на значительном удалении (Гриценко и др., 2015). В случае достаточной интенсивности шум, достигший участка «Варлаама», может оказывать на находящихся на нем белух отрицательное воздействие, однако выраженность их реакции трудно предсказать.

При оценке зон безопасности на основе физиологических, особенно связанных с изменением слуха и повреждением органов и тканей, реакций у животных обычно приводят относительно небольшие радиусы безопасности от первых десятков до нескольких сотен метров (Richardson et al., 1995; Huang L-F et al., 2023). Шум, возникающий в ходе вибропогружения свай, является самым слабым и обычно затухает до уровня фоновых природных шумов через несколько десятков метров. Однако при погружении свай в сложных условиях часто используют вспомогательные методы: лидерное бурение и забивку молотом. Данные методы, особенно забивка свай

гидравлическим молотом, отличаются намного более высокими уровнями шума (Castellote et al., 2019; Huang L-F et al., 2023). Примечательно, что в ряде работ сообщается о достаточно высоких уровнях звукового давления импульсов, генерируемых гидравлическим молотом, зарегистрированных на больших дистанциях от источника – более 1 км (Greene and Davis, 1999; Johnson et al., 1986; Castellote et al., 2019), причем в некоторых исследованиях забивка свай и вибропогружение осуществлялась не в море, а на берегу (Johnson et al., 1986; Blackwell et al., 2004; Рутенко и др., 2010; Гриценко и др., 2015; Рутенко и др., 2016). Распространение низкочастотных волн в море с озвучиванием водного слоя, вероятно, происходило в этих случаях преимущественно через морское дно.

Шумы сваебойного молота способны распространяться на значительные расстояния, вызывая у животных различные поведенческие и физиологические реакции, что требует устанавливать зоны безопасности большего радиуса (Richardson et al., 1995; Castellote et al., 2019; Huang L-F et al., 2023). Согласно данным из залива Кука, строительные работы значительно ухудшают подводную акустическую обстановку (Blackwell, 2005), охватывая при этом многочасовые периоды времени за сутки (Kendall et al., 2013; Kendall and Cornick, 2015) при общей продолжительности сваебойных работ в несколько месяцев в течение года. Строительные проекты при этом могут быть многолетними (Castellote et al., 2019). Белухи реагировали на совокупный строительный шум снижением эхолокационной активности, не издавали коммуникативных звуков (Kendall et al., 2013) и не приближались к порту ближе 1 км, вероятно, стремясь гораздо быстрее, чем до воздействия, пройти участок, подверженный шумовому загрязнению (Kendall and Cornick, 2015; Cornick et al., 2011). В проведенной недавно в открытом, но мелководном, морском районе работе по исследованию влияния шума на морских свиней, относящихся к группе китообразных с ультравысокочастотным слухом, радиус безопасности был определен в 1.9 км (Huang L-F et al., 2023). Белухи обладают средне- и высокочастотным слухом (Southall et al., 2019) с максимальной чувствительностью в диапазоне от 30 до 80 кГц (Mooney et al., 2018), однако при этом их слух охватывает и низкие частоты ниже 100 Гц (Awbrey et al., 1988; Johnson et al., 1989). Учитывая чувствительность белух к звукам низкой частоты, их отрицательную реакцию на строительный шум на Аляске (Kendall et al., 2013; Kendall and Cornick, 2015), а также случаи высокой чувствительности к антропогенным звукам слабой интенсивности (Finley et al., 1990; Cosens and Dueck, 1993; Martin et al., 2023), вероятность потенциального воздействия сваебойного шума на белух в Соловецком заливе, даже при благоприятном сценарии распространения шума, достаточна высока. Принимая во внимание возможность распространения шума через дно (Рутенко и др., 2010; Гриценко и др., 2015; Рутенко и др., 2016), при отсутствии в настоящее время данных моделирования, целесообразным является установить зону потенциального влияния на поведение белух в радиусе как минимум 3–4 км от источника, то есть с охватом северной и, возможно, южной части Соловецкого залива.

Вызывает особую озабоченность сложность проведения моделирования распространения шума по акватории, прилегающей к району строительства причала в

пос. Соловецкий. По опыту аналогичных работ в заливе Кука на Аляске, расчетный радиус потенциального воздействия на белух шума от забивки свай, при одинаковых оценках уровней шума сваебойного молота в точке излучения, варьировал от 2910 м до 37.5 км при пороговом уровне воздействия на поведение белух в 125 дБ (Širovic and Kendall, 2009). На практике шум забивания свай регистрировался на расстоянии 6 км и 18 км от районов строительства (Castellote et al., 2019). В первом случае максимальные уровни достигали 134.7 дБ peak (пиковое значение), 111.5 дБ rms (среднеквадратичное значение, от англ. root-mean-square), и 141.1 дБ SEL (уровень звуковой экспозиции, от англ. Sound Exposure Level). Сваебойный шум в 18 км имел максимальные уровни 131.4 дБ peak, 117.2 дБ rms, и 140.8 дБ SEL. Даже если большая часть акустической энергии, излучаемой ударами свай, была на низких частотах (ниже 1000 Гц), полученные спектральные уровни для обеих операций по забивке свай превысили пороговые значения слуха белух в диапазоне от 4 кГц и выше (Castellote et al., 2019).

При большой дальности распространения шума его воздействие охватит обширный регион обитания соловецких белух (Чернецкий, 2021). Даже в случае отсутствия прямого воздействия на РС у м. Белужий, которое акустически экранировано береговой линией острова и находится на расстоянии более 10 км от источников строительного шума, воздействие на столь значительную акваторию, расположенную неподалеку от РС, может оказать серьезное влияние на его функционирование.

Заключение

Несмотря на сильное акустическое загрязнение Соловецкого залива шумами судов, они, вероятно, при достаточно высоких интенсивностях строительного шума не смогут акустически маскировать (Erbe et al., 2016) последний, ввиду разных пространственно-временных характеристик этих двух видов антропогенного шума. Исходя из осторожного подхода, с учетом слабой изученности встречаемости белух в акватории Соловецкого залива и возможной недооценки важности данных местообитаний для функционирования соловецкого РС, а также учитывая вероятность распространения шума на более дальние расстояния – за пределы Соловецкого залива, целесообразно продолжить комплексное изучение жизнедеятельности белух Соловецкого архипелага в ходе строительства технологического причала. Необходимо проведение долгосрочного пассивного акустического мониторинга (ПАМ) звуковых ландшафтов местообитаний белух, моделирование распространения строительного шума по акватории и его прямые измерения в натурных условиях.

Не менее важно продолжить изучение функционирования соловецкого РС белух, прежде всего, влияния на него экотуризма (Krasnova et al., 2020). Исследование соловецкого РС белух выявило сходство общей картины его функционирования и структуры летом 2024 г. с таковой в предыдущие годы, что говорит об его относительно стабильном состоянии на этапе, предшествующем строительству причала.

Для сохранения этого уникального природного, научного и туристического объекта остро необходимы регламентация и регулирование его посещения, основанные на научном базисе.

Одновременное, совокупное воздействие на соловецких белух двух таких мощных факторов, как экотуризм – в критическом местообитании – и подводный строительный шум – за его пределами: на путях перемещения и кормовых участках – может привести к долгосрочному снижению благополучия белух, как на индивидуальном, так и на популяционном уровне. В сложившейся ситуации экологический мониторинг антропогенного шума, экотуризма и белух должен позволить свести к минимуму или, по крайней мере, существенно снизить неизбежно возникающие риски, вызванные осуществляемой на Соловецком архипелаге хозяйственной деятельностью.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства образования и науки России № FMWE 2024-0031.

Список литературы

1. *Бардышев В. И.* Подводные шумы прибоя у морских побережий разных типов // Акустический журнал. 2008. Т. 54. № 6. С. 939–948.
2. *Белькович В. М., Чернецкий А. Д., Кириллова О. И.* Биология белух *(Delphinapterus leucas)* южной части Белого моря // Морские млекопитающие (результаты исследований, проведенных в 1995–1998 гг.). М., 2002. С. 53–78.
3. *Белькович В. М.* Белуха европейского Севера: новейшие исследования // Рыбное хозяйство. 2004. № 2. С. 32–34.
4. *Гриценко В. А., Рутенко А. Н., Соснин В. А., Ущиповский В. Г.* Акустико-гидрофизические исследования на северо-восточном шельфе о. Сахалин в 2015 г. // Отчет. Подготовлено для «Эксон Нефтегаз Лимитед» и «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани» – Владивосток, ТОИ ДВО РАН, 2015. 121 с.
5. *Комиссарова Н. Н.* Анизотропия поля поверхностных источников шума в прибрежной области с произвольной формой дна и профиля скорости звука // Акуст. журн. 2003. Т. 49. № 4. С. 519–528.
6. *Краснова В. В., Чернецкий А. Д., Кириллова О. И., Белькович В. М.* Динамика численности, возрастного и полового состава белухи *(Delphinapterus leucas)* соловецкого репродуктивного скопления (Онежский залив, Белое море) // Биология моря. 2012. Т. 38. С. 203–209.
7. *Краснова В. В., Прасолова Е. А., Беликов Р. А., Чернецкий А. Д.* Влияние лодочного экотуризма на поведение белух *(Delphinapterus leucas)* на акватории летнего соловецкого скопления (1999–2015 гг.) // Вклад ООПТ Архангельской области в сохранение природного и культурного наследия: Межрегион. науч. конф., посв. 100-летию запов. сист. России. Архангельск: Федер. иссл. центр компл. изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова РАН, 2017. С. 175– 181.
8. *Рутенко А. Н., Гриценко В. А.* Мониторинг антропогенных акустических шумов на шельфе о. Сахалин // Акустический журнал. 2010. Т. 56. № 1. С. 77–81.
9. *Рутенко А. Н., Гаврилевский А. В., Путов В. Ф., Соловьев А. А., Манульчев Д. С.* Мониторинг антропогенных шумов на шельфе о. Сахалин во время сейсморазведочных исследований // Акустический журнал. 2016. Т. 62. №. 3. С. 348–362.

10. *Соловей Н. А., Жигульский В. А., Княженко Е. В.* Экологические аспекты оценки и нормирования шума при проектировании портов // Современные проблемы науки и образования. 2012. №. 1. С. 152–152.
11. *Таганова М. М., Шатравин А. В., Прасолова Е. А., Беликов Р. А.* Воздействие шума туристических лодок на акустическую активность белух *(Delphinapterus leucas)* соловецкого репродуктивного скопления // Морские исследования и образование (MARESEDU-2019). М.: ООО «ПолиПРЕСС», 2019. С. 143–146.
12. *Таровик В. И., Савченко О. В., Кутаева Н. Г.* Техногенный подводный шум как фактор экологической безопасности морской транспортной и промышленной деятельности в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12. № 1. С. 99–110. https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-1-99-110.
13. *Чернецкий А. Д., Краснова В. В., Белькович В. М.* Изучение структуры Соловецкого репродуктивного скопления белух *(Delphinapterus leucas)* в Белом море методом фотоидентификации // Океанология. 2011. Т. 51. С. 286–292.
14. *Чернецкий А. Д., Краснова В. В.* Структура репродуктивного скопления белухи *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) у острова Соловецкий (Белое море) по результатам фотоидентификации 2007–2013 гг. // Биология моря. 2018. Т. 44. С. 337–346.
15. *Чернецкий А. Д.* Соловецкое репродуктивное скопление как структурная единица беломорской популяции белухи *(Delphinapterus leucas)*: Диссертация на соискание ученой степени канд. биолог. наук: 1.5.16. М.: ИО РАН, 2021. 137 с.
16. *Awbrey F. T., Thomas J. A., Kastelein R. A.* Low-frequency underwater hearing sensitivity in belugas, *Delphinapterus leucas* // The Journal of the Acoustical Society of America. 1988. Vol. 84. P. 2273–2275. https://doi.org/10.1121/1.397022.
17. *Blackwell S. B., Lawson J. W., Williams M. T.* Tolerance by ringed seals *(Phoca hispida)* to impact pipe-driving and construction sounds at an oil production island // The Journal of the Acoustical Society of America. 2004. Vol. 115. Iss. 5. P. 2346–2357. https://doi.org/10.1121/1.1701899.
18. *Blackwell S. B.* Underwater measurements of pile-driving sounds during the Port MacKenzie dock modifications // Rep. from Greeneridge Sciences, Inc., Goleta, CA, and LGL Alaska Research Associates, Inc., Anchorage, AK, in association with HDR Alaska, Inc., Anchorage, AK, for Knik Arm Bridge and Toll Authority, Anchorage, AK, Department of Transportation and Public Facilities, Anchorage, AK, and Federal Highway Administration, Juneau, AK. 2005. 33 p.
19. *Branstetter B. K., Bowman V. F., Houser D. S., Tormey M., Banks P., Finneran J. J., Jenkins K.* Effects of vibratory pile driver noise on echolocation and vigilance in bottlenose dolphins *(Tursiops truncatus)* // The Journal of the Acoustical Society of America. 2018. Vol. 143. Iss. 1. P. 429–439. https://doi.org/10.1121/1.5021555.
20. *Caron L. M. J., Smith T. G.* Philopatry and site tenacity of beluga, *Delphinapterus leucas*, hunted by the Inuit at the Nastapoka estuary, eastern Hudson Bay // In: T. G. Smith, D. J. St. Aubin & J. R. Geraci (Eds.) Advances in research on the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. Canadian Bulletin of Fisheries Aquatic Science. 1990. Vol. 224. P. 69–79.
21. *Castellote M., Thayre B., Mahoney M., Mondragon J., Lammers M. O., Small R. J.* Anthropogenic noise and the endangered Cook Inlet beluga whale, *Delphinapterus leucas*: Acoustic considerations for management // Mar. Fish. Rev. 2019. Vol. 80. P. 63–88. https://doi.org/10.7755/MFR.80.3.3.
22. *Cornick L., Love S., Pinney L., Smith C., Zartler Z.* 2011. Distribution, habitat use and behavior of Cook Inlet beluga whales and other marine mammals at the Port of Anchorage marine terminal redevelopment project, June–November 2011 // Sci. Mar. Mammal Monitoring Prog. 2011. Annual Rep. Alaska Pacific Univ., Dep. Environ. Sci., 55 p. (Avail. online at https://alaskafisheries.noaa.gov/sites/default/files/2011poammannualrpt.pdf).

23. *Cosens S. E., Dueck L. P.* Icebreaker noise in Lancaster Sound, NWT, Canada: Implications for marine mammal behavior // Marine Mammal Science. 1993. Vol. 9. Iss. 3. P. 285–300.
24. *Dahl P. H., de Jong C. A. F., Popper A. N.* The underwater sound field from impact pile driving and its potential effects on marine life // Acous. Today. 2015. Vol. 11. Iss. 2. P. 18–25. https://doi.org/10.1121/1.4877620.
25. *Erbe C., Reichmuth C., Cunningham K., Lucke K., Dooling R.* Communication masking in marine mammals: A review and research strategy // Mar. Pollut. Bull. 2016. Vol. 103. P. 15–38. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007.
26. *Finley K. J.* Reactions of beluga *(Delphinapterus leucas)* and narwhals *(Monodon monoceros)* to ice-breaking ships in the Canadian High Artic // Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences. 1990. Vol. 224. P. 97–117.
27. *Finneran J. J., Schlundt C. E., Carder D. A., Clark J. A., Young J. A., Gaspin J. B., Ridgway S. H.* Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins *(Tursiops truncatus)* and a beluga whale *(Delphinapterus leucas)* to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions // The Journal of the Acoustical Society of America. 2000. Vol. 108. Iss. 1. P. 417–431. https://doi.org/10.1121/1.429475.
28. *Gervaise C., Simard Y., Roy N., Kinda B., Menard N.* Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub // The Journal of the Acoustical Society of America. 2012. Vol. 132. Iss. 1. P. 76–89. https://doi.org/10.1121/1.4728190.
29. *Greene C. R., Jr., Davis R. A.* Pile-driving and vessel sound measurements during installation of a gas production platform near Sable Island, Nova Scotia, during March and April, 1998 // Rep. 205-2. Report by Greeneridge Sciences Inc., Santa Barbara, CA and LGL Ltd., environmental research associates, King City, Ont., for Sable Offshore Energy Project, Halifax, NS. Available from ExxonMobil Canada, PO Box 517, Halifax, NS, B3J 2R7 Canada, 1999.
30. *Guan S., Miner R.* Underwater noise characterization of down-the-hole pile driving activities off biorka island, Alaska // Marine Pollution Bulletin. 2020. Vol. 160. Iss. 4. P. 111664. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111664.
31. *Halliday W. D., Insley S. J., Hilliard R. C., Tyler de Jong, Pine M. K.* Potential impacts of shipping noise on marine mammals in the western Canadian Arctic // Marine Pollution Bulletin. 2017. Vol. 123. Iss. 1–2. P. 73–82. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.027.
32. *Halliday W. D., Pine M. K., Insley S. J.* Underwater noise and Arctic marine mammals: Review and policy recommendations // Environmental Reviews. 2020. Vol. 28. Iss. 4. P. 438–448. https://doi.org/10.1139/er-2019-0033.
33. *Haver S. M., Gedamke J., Hatch L. T., Dziak, R. P., Van Parijs S., McKenna M. F., Barlow J., Berchok C., DiDonato E., Hanson B., Haxel J., Holt M., Lipski D., Matsumoto H., Meinig C., Mellinger D. K., Moore S. E., Oleson E. M., Soldevilla M. S., Klinck H.* Monitoring long-term soundscape trends in US waters: the NMFS/NPS ocean noise reference station network // Marine Policy. 2018. Vol. 90. P. 6–13. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023.
34. *Herbert-Read J. E., Kremer L., Bruintjes R., Radford A. N., Ioannou C. C.* Anthropogenic noise pollution from pile-driving disrupts the structure and dynamics of fish shoals // Proc. R. Soc B. 2017. Vol. 284. Iss. 1863. P. 20171627. https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1627.
35. *Huang L-F., Xu X-M., Yang L-L., Huang S-Q., Zhang X-H., Zhou Y-L.* Underwater noise characteristics of offshore exploratory drilling and its impact on marine mammals // Front. Mar. Sci. 2023. Vol. 10. P. 1097701. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1097701.
36. *Johnson S. R., Greene C. R., Jr., Davis R. A., Richardsonet W. J.* Bowhead whales and underwater noise near the Sandpiper Island drillsite, Alaskan Beaufort Sea, autumn 1985 // Rep. from LGL

Ltd., King City, Ont., and Greeneridge Sciences Inc., Santa Barbara, CA, for Shell Western E & P Inc., Anchorage, AK. 1986. 130 p.

37. *Johnson C. S., McManus M. W., Skaar D.* Masked tonal hearing thresholds in the beluga whale // The Journal of the Acoustical Society of America. 1989. Vol. 85. Iss. 6. P. 2651–2654.
38. *Kendall L. S., Cornick L. A.* Behavior and distribution of Cook Inlet beluga whales, *Delphinapterus leucas*, before and during pile driving activity // Marine Fisheries Review. 2015. P. 106–114. https://doi.org/dx.doi.org/10.7755/MFR.77.2.6.
39. *Kendall L. S., Širovic A., Roth E. H.* Effects of construction noise on the Cook Inlet beluga whale *(Delphinapterus leucas)* vocal behavior // Can. Acoust. 2013. Vol. 41. Iss. 3. P. 1–13.
40. *Ketten D., Lien J., Todd S.* Blast injury in humpback whale ears: Evidence and implications // J. Acoust. Soc. Am. 1993. Vol. 94. P. 1849–1850. https://doi.org/10.1121/1.407688.
41. *Kingsley M. C. S.* Population index estimates for the St. Lawrence belugas, 1973–1995 // Marine Mammal Science. 1998. Vol. 14. P. 508–530. https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1998.tb00739.x.
42. *Krasnova V. V., Prasolova E. A., Belikov R. A., Chernetsky A. D., Panova E. M.* Influence of boat tourism on the behaviour of Solovetskiy beluga whales *(Delphinapterus leucas)* in Onega Bay, the White Sea // Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 2020. Vol. 30. Iss. 10. P. 1922–1933. https://doi.org/10.1002/aqc.3369.
43. *Martin M. J., Halliday W. D., Storrie L., Citta J. J., Dawson J., Hussey N. E., Juanes F., Loseto L. L., MacPhee S. A., Moore L., Nicoll A., O'Corry-Crowe G., Insley S. J.* Exposure and behavioral responses of tagged beluga whales *(Delphinapterus leucas)* to ships in the Pacific Arctic // Marine Mammal Science. 2023. Vol. 39. Iss. 2. P. 387–421. https://doi.org/10.1111/mms.12978.
44. *Mooney T. A., Castellote M., Quakenbush L., Hobbs R., Gaglione E., Goertz C.* Variation in hearing within a wild population of beluga whales *(Delphinapterus leucas)* // Journal of Experimental Biology. 2018. Vol. 221. Iss. 9. P. jeb171959. https://doi.org/10.1242/jeb.171959.
45. *NAS (National Academy of Sciences).* Approaches to understanding the cumulative effects of stressors on marine mammals. 2017. Washington, DC: The National Academies Press.doi: https://doi.org/10.17226/23479.
46. *Nedwell J., Howell D.* A review of offshore windfarm related underwater noise sources // Cowrie Rep. 2004. Vol. 544. P. 1–57.
47. *O'Corry-Crowe G., Suydam R., Quakenbush L. Ferrer T., Citta J., Burkanov V., Frost K. and Mahoney B.* Migratory culture, population structure and stock identity in North Pacific beluga whales *(Delphinapterus leucas)* // PLOS ONE. 2018. Vol. **13** (3). P. e0194201.
48. *PAME.* Underwater Noise in the Arctic: A State of Knowledge Report, Roveniemi, May 2019. Protection of the Arctic Marine Environment (PAME) Secretariat, Akureyri. 2019. 59 p.
49. *Richardson W. J., Greene C. R., Malme Jr. C. I., Thomson D. H.* (eds). Marine Mammals and Noise. San Diego: Academic Press, 1995. 576 p.
50. *Rolland R. M., Parks S. E., Hunt K. E., Castellote M., Corkeron P. J., Nowacek D. P., Wasser S. K., Kraus S. D.* Evidence that ship noise increases stress in right whales // Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences. 2012. Vol. 279. Iss. 1737. P. 2363–2368. https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2429.
51. *Rugh D. J., Shelden K. E. W., Mahoney B. A.* Distribution of belugas, *Delphinapterus leucas*, in Cook Inlet, Alaska, during June/July, 1993–2000 // Marine Fisheries Review. 2000. Vol. 62. Iss. 3. P. 6–21.
52. *Scharffenberg K., Whalen D., MacPhee Sh., Marcoux M., Iacozza J., Davoren G., Loseto L. L.* Oceanographic, ecological, and socio-economic impacts of an unusual summer storm in the Mackenzie Estuary // Arctic Science. 2020. Vol. 6. Iss. 2. P. 62–76. https://doi.org/10.1139/as-2018-0029.

53. *Schlundt C. E., Finneran J. J., Carder D. A., Ridgeway S. H.* Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones // The Journal of the Acoustical Society of America. 2000. Vol. 107. Iss. 6. P. 3496–3508. https://doi.org/10.1121/1.2032087.
54. *Širovic A., Kendall L. S.* Passive acoustic monitoring of Cook Inlet beluga whales // Analysis report. Prep. by AK Pacific University for Port of Anchorage. Dec. 2009. 73 p. (avail. online at www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/permits/poa_acoustic_report.pdf).
55. *Smith A. J., Higdon J. W., Richard P., Orr J., Bernhardt W., Ferguson S. H.* Beluga whale summer habitat associations in the Nelson River estuary, western Hudson Bay, Canada // PLoS ONE. 2017. Vol. 12 Iss. 8. P. e0181045. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181045.
56. *Southall B. L., Finneran J. J., Reichmuth C., Nachtigall P. E., Ketten D. R., Bowles A. E., Ellison W. T., Nowacek D. P., Tyack P. L.* Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects // Aquatic Mammals. 2019. Vol. 45. Iss. 2. P. 125–232. https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125.
57. *Southall B. L., Tollit D., Amaral J., Clark C. W., Ellison W. T.* Managing human activity and marine mammals: A biologically based, relativistic risk assessment framework // Frontiers in Marine Science. 2023. Vol. 10. P. 1090132. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1090132.
58. *Urick R. J.* Principles of underwater sound. 3rd edition. Peninsula Publising Los Atlos, California. 1983. 423 p.
59. *Wartzok D., Ketten D. R.* “Marine mammal sensory systems,” in Biology of marine mammals / Eds. J. E. Reynolds II and S. A. Rommel. Washington, DC: Smithsonian Institute Press, 1999. P. 117–175.
60. *Wright A. J., Soto N., Baldwin A., Bateson M., Beale C., Clark C., Deak T., Edwards E., Fernandez A., Godinho A., Hatch L., Kakuschke A., Lusseau D., Martineau D., Romero M., Weilgart L., Wintle B., Notarbartolo-di-Sciara G., Martin V.* Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise? // International Journal of Comparative Psychology. 2007. Vol. 20. Iss. 2. P. 274–316. https://doi.org/10.46867/ijcp.2007.20.02.01.

Статья поступила в редакцию 03.10.2024, одобрена к печати 27.02.2025.

Для цитирования: *Беликов Р. А., Краснова В. В., Шатравин А. В., Панова Е. М., Чернецкий А. Д., Беликова Е. А., Крюкова Н. В., Таганова М. М., Гебрук А. В.* Результаты исследований белух *Delphinapterus leucas* в водах Соловецкого архипелага и оценка звуковых ландшафтов их местообитаний в летнем сезоне 2024 г. // Океанологические исследования. 2025. № 53 (1). С. 87–118. https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).5.

ISSN (online): 2587-9634 / ISSN (print): 1564-2291
Океанологические исследования. 2025. Том 53. № 1. С. 87–118

RESULTS OF STUDIES OF BELUGA WHALES, *DELPHINAPTERUS LEUCAS*, IN THE WATERS OF THE SOLOVETSKY ARCHIPELAGO AND ASSESSMENT OF SOUNDSCAPES OF THEIR HABITATS IN SUMMER 2024

R. A. Belikov[1], V. V. Krasnova[1], A. V. Shatravin[1,2], E. M. Panova[1], A. D. Chernetsky[1], E. A. Belikova[1], N. V. Kryukova[1,3], M. M. Taganova[1], A. V. Gebruk[1]

[1] Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: mirounga76@mail.ru;
[2]Prokhorov Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences,
38, Vavilova ulitza, Moscow, 119991, Russia,
e-mail: ashatravin@ocean.ru;
[3] Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences,
33, Leninskiy prospekt, Moscow, 119071, Russia,
e-mail: sea-walrus@list.ru

Planned construction of a technological berth in Solovetsky village became a reason of a complex study in summer 2024 of the White Sea beluga whales in waters of Solovetskiy Archipelago including documentation of beluga habitat soundscapes in Solovetsky Bay. The study of the Solovetsky summer reproductive aggregation of belugas revealed the general similarity of its structure and functioning in summer 2024 with that in previous years of research. The Solovetsky reproductive aggregation is a critical habitat and a high-density area of belugas. Due to uncontrolled ecotourism and increased marine traffic, beluga aggregation appeared under intensive anthropogenic pressure. Ship-based surveys and passive acoustic monitoring (PAM) confirmed the occurrence of belugas in the Solovetskiy Bay. Its northern part is currently considered as the main area of potential impact of underwater construction noise on belugas during pile-driving operations. The soundscapes in Solovetskiy and Blagopolychiya Bays are highly noisy. The near-shore marine traffic is likely a main contributor to acoustic pollution in these areas. The lack of data on the use by belugas of water areas outside the reproductive aggregation, along with high probability of a long-range propagation of pile-driving noise, requires further studies to minimize the negative impact of construction on belugas.

Keywords: beluga whale, *Delphinapterus leucas*, White Sea, Solovetsky reproductive aggregation, construction noise, pile driving, shipping noise, soundscapes, anthropogenic impact

Acknowledgement: The work was carried out within the framework of State Assignment of Minobrnauki of Russia No. FMWE 2024-0031.

References

1. Awbrey, F. T., J. A. Thomas, and R. A. Kastelein, 1988: Low-frequency underwater hearing sensitivity in belugas, *Delphinapterus leucas*. *The Journal of the Acoustical Society of America,* **84**, 2273–2275, https://doi.org/10.1121/1.397022.
2. Bardyshev, V. I., 2008: Podvodnoye shumy priboya u morya poberezhiy raznykh tipov (Underwater surf noises off different types of sea coasts). *Akusticheskiy zhurnal*, **54** (6), 939–948.

3. Bel'kovich, V. M., A. D. Chernetskiy, and O. I. Kirillova, 2002: Biologiya belukh (*Delphinapterus leucas*) yuzhnoy chasti Belogo moray (Biology of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in the southern part of the White Sea. *Morskiye mlekopitayushchiye (rezul'taty issledovaniy, provedennykh v 1995 – 1998 gg.)*, Moscow, 53–78.
4. Bel'kovich, V. M., 2004: Belukha yevropeyskogo Severa: noveyshiye issledovaniya (Belukha whale of the European North: the latest research). *Rybnoye khozyaystvo,* **2**, 32–34.
5. Blackwell, S. B., J. W. Lawson, and M. T. Williams, 2004: Tolerance by ringed seals *(Phoca hispida)* to impact pipe-driving and construction sounds at an oil production island. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **115** (5), 2346–2357, https://doi.org/10.1121/1.1701899.
6. Blackwell, S. B., 2005: *Underwater measurements of pile-driving sounds during the Port MacKenzie dock modifications.* Rep. from Greeneridge Sciences, Inc., Goleta, CA, and LGL Alaska Research Associates, Inc., Anchorage, AK, in association with HDR Alaska, Inc., Anchorage, AK, for Knik Arm Bridge and Toll Authority, Anchorage, AK, Department of Transportation and Public Facilities, Anchorage, AK, and Federal Highway Administration, Juneau, AK. 33 p.
7. Branstetter, B. K., V. F. Bowman, D. S. Houser, M. Tormey, P. Banks, J. J. Finneran, and K. Jenkins, 2018: Effects of vibratory pile driver noise on echolocation and vigilance in bottlenose dolphins *(Tursiops truncatus). The Journal of the Acoustical Society of America*, **143** (1), 429–439, https://doi.org/10.1121/1.5021555.
8. Caron, L. M. J. and T. G. Smith, 1990: Philopatry and site tenacity of beluga, *Delphinapterus leucas*, hunted by the Inuit at the Nastapoka estuary, eastern Hudson Bay. In: T. G. Smith, D. J. St. Aubin & J. R. Geraci (Eds.) Advances in research on the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. *Canadian Bulletin of Fisheries Aquatic Science,* **224**, 69–79.
9. Castellote, M., B. Thayre, M. Mahoney, J. Mondragon, M. O. Lammers, and R. J. Small, 2019: Anthropogenic noise and the endangered Cook Inlet beluga whale, *Delphinapterus leucas*: Acoustic considerations for management. *Mar. Fish. Rev.*, **80**, 63–88, https://doi.org/10.7755/MFR.80.3.3.
10. Chernetskiy, A. D., V. V. Krasnova, and V. M. Bel'kovich, 2011: Izucheniye struktury Solovetskogo reproduktivnogo skopleniya belukh (*Delphinapterus leucas*) v Belom more metodom fotoidentifikatsii (Study of the structure of the Solovetsky reproductive aggregation of beluga whales (Delphinapterus leucas) in the White Sea by photo-identification method). *Oceanology*, **51**, 286–292.
11. Chernetskiy, A. D. and V. V. Krasnova, 2018: Struktura reproduktivnogo skopleniya belukhi *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) u ostrova Solovetskiy (Beloye more) po rezul'tatam fotoidentifikatsii 2007–2013 gg. (The structure of the reproductive aggregation of the beluga whale *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) near Solovetsky Island (White Sea) based on the results of photo identification 2007–2013). *Biologiya moray*, **44**, 337–346.
12. Chernetskiy, A. D., 2021: *Solovetskoye reproduktivnoye skopleniye kak struktura yedinitsa belomorskoy populyatsii belukhi (Delphinapterus leucas) (Solovetsky reproductive aggregation as a structure unit of the White Sea population of beluga whales* (*Delphinapterus leucas*)): Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kand. biolog. nauk: 1.5.16. Moscow, IO RAN, 137 s.
13. Cornick, L., S. Love, L. Pinney, C. Smith, and Z. Zartler, 2011: Distribution, habitat use and behavior of Cook Inlet beluga whales and other marine mammals at the Port of Anchorage marine terminal redevelopment project, June–November 2011. *Sci. Mar. Mammal Monitoring Prog.* 2011. Annual Rep. Alaska Pacific Univ., Dep. Environ. Sci., 55 p. (Avail. online at https://alaskafisheries.noaa.gov/sites/default/files/2011poammannualrpt.pdf).
14. Cosens, S. E. and L. P. Dueck, 1993: Icebreaker noise in Lancaster Sound, NWT, Canada: Implications for marine mammal behavior. *Marine Mammal Science*, **9** (3), 285–300.

15. Dahl, P. H., C. A. F. de Jong, and A. N. Popper, 2015: The underwater sound field from impact pile driving and its potential effects on marine life. *Acous. Today*, **11** (2), 18–25, https://doi.org/10.1121/1.4877620.
16. Erbe, C., C. Reichmuth, K. Cunningham, K. Lucke, and R. Dooling, 2016: Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Mar. Pollut. Bull.*, **103**, 15–38, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007.
17. Finley, K. J., 1990: Reactions of beluga *(Delphinapterus leucas)* and narwhals *(Monodon monoceros)* to ice-breaking ships in the Canadian High Artic. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*, **224**, 97–117.
18. Finneran, J. J., C. E. Schlundt, D. A. Carder, J. A. Clark, J. A. Young, J. B. Gaspin, and S. H. Ridgway, 2000: Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins *(Tursiops truncatus)* and a beluga whale *(Delphinapterus leucas)* to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **108** (1), 417–431, https://doi.org/10.1121/1.429475.
19. Gervaise, C., Y. Simard, N. Roy, B. Kinda, and N. Menard, 2012: Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **132** (1), 76–89, https://doi.org/10.1121/1.4728190.
20. Greene, C. R., Jr. and R. A. Davis, 1999: *Pile-driving and vessel sound measurements during installation of a gas production platform near Sable Island, Nova Scotia, during March and April, 1998*. Rep. 205–2. Report by Greeneridge Sciences Inc., Santa Barbara, CA and LGL Ltd., environmental research associates, King City, Ont., for Sable Offshore Energy Project, Halifax, NS. Available from ExxonMobil Canada, PO Box 517, Halifax, NS, B3J 2R7 Canada.
21. Gritsenko, V. A., A. N. Rutenko, V. A. Sosnin, and V. G. Ushchipovskiy, 2015: Akustiko-gidrofizicheskiye issledovaniya na severo-vostochnom shel'fe o. Sakhalin v 2015 g. (Acoustic-hydrophysical studies on the northeastern shelf of the Sakhalin Island in 2015). *Otchet Podgotovleno dlya "Ekson Neftegaz Limited" i "Cakhalin Enerdzhi Investment Kompani"* – Vladivostok, TOI DVO RAN, 121 s.
22. Guan, S. and R. Miner, 2020: Underwater noise characterization of down-the-hole pile driving activities off biorka island, Alaska. *Marine Pollution Bulletin*, **160** (4), 111664, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111664.
23. Halliday, W. D., S. J. Insley, R. C. Hilliard, Tyler de Jong, amd M. K. Pine, 2017: Potential impacts of shipping noise on marine mammals in the western Canadian Arctic. *Marine Pollution Bulletin*, **123** (1–2), 73–82, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.027.
24. Halliday, W. D., M. K. Pine, and S. J. Insley, 2020: Underwater noise and Arctic marine mammals: Review and policy recommendations. *Environmental Reviews*, **28** (4), 438–448, https://doi.org/10.1139/er-2019-0033.
25. Haver, S. M., J. Gedamke, L. T. Hatch, R. P. Dziak, S. Van Parijs, M. F. McKenna, J. Barlow, C. Berchok, E. DiDonato, B. Hanson, J. Haxel, M. Holt, D. Lipski, H. Matsumoto, C. Meinig, D. K. Mellinger, S. E. Moore, E. M. Oleson, M. S. Soldevilla, and H. Klinck, 2018: Monitoring long-term soundscape trends in US waters: the NMFS/NPS ocean noise reference station network. *Marine Policy*, **90**, 6–13, https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023.
26. Herbert-Read, J. E., L. Kremer, R. Bruintjes, A. N. Radford, C. C. Ioannou, 2017: *Anthropogenic noise pollution from pile-driving disrupts the structure and dynamics of fish shoals. Proc. R. Soc B,* **284** (1863), 20171627, https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1627.
27. Huang, L-F., X-M. Xu, L-L. Yang, S-Q. Huang, X-H. Zhang, and Y-L. Zhou, 2023: Underwater noise characteristics of offshore exploratory drilling and its impact on marine mammals. *Front. Mar. Sci.*, **10**, 1097701, https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1097701.

28. Johnson, S. R., C. R. Greene, Jr., R. A. Davis, and W. J. Richardsonet, 1986: *Bowhead whales and underwater noise near the Sandpiper Island drillsite, Alaskan Beaufort Sea, autumn 1985.* Rep. from LGL Ltd., King City, Ont., and Greeneridge Sciences Inc., Santa Barbara, CA, for Shell Western E & P Inc., Anchorage, AK. 130 p.
29. Johnson, C. S., M. W. McManus, and D. Skaar, 1989: Masked tonal hearing thresholds in the beluga whale. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **85** (6), 2651–2654.
30. Kendall, L. S. and L. A. Cornick, 2015: Behavior and distribution of Cook Inlet beluga whales, *Delphinapterus leucas*, before and during pile driving activity. *Marine Fisheries Review*, 106–114, https://doi.org/dx.doi.org/10.7755/MFR.77.2.6.
31. Kendall, L. S., A. Širovic, and E. H. Roth, 2013: Effects of construction noise on the Cook Inlet beluga whale *(Delphinapterus leucas)* vocal behavior. *Can. Acoust*., **41** (3), 1–13.
32. Ketten, D., J. Lien, and S. Todd, 1993: Blast injury in humpback whale ears: Evidence and implications. *J. Acoust. Soc. Am*., **94**, 1849–1850, https://doi.org/10.1121/1.407688.
33. Kingsley, M. C. S., 1998: Population index estimates for the St. Lawrence belugas, 1973–1995. *Marine Mammal Science*, **14**, 508–530, https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1998.tb00739.x.
34. Komissarova, N. N., 2003: Anizotropiya polya poverkhnostnykh istochnikov shuma v pribrezhnoy oblasti s proizvol'noy formoy dna i profilya skorosti zvuka (Anisotropy of the field of surface noise sources in a coastal area with an arbitrary bottom shape and sound speed profile). *Akust. zhurn*., **49** (4), 519–528.
35. Krasnova, V. V., A. D. Chernetskiy, O. I. Kirillova, and V. M. Bel'kovich, 2012: Dinamika chislennosti, vozrastnogo i polovogo sostava belukhi (Delphinapterus leucas) solovetskogo reproduktivnogo skopleniya (Onezhskiy zaliv, Beloye more) (Dynamics of the number, age and sex composition of the beluga whale (*Delphinapterus leucas*) of the Solovetsky reproductive aggregation (Onega Bay, White Sea)). *Biologiya moray*, **38**, 203–209.
36. Krasnova, V. V., Ye. A. Prasolova, R. A. Belikov, and A. D. Chernetskiy, 2017: Vliyaniye lodochnogo ekoturizma na povedeniye belukh (*Delphinapterus leucas*) na akvatorii letnego solovetskogo skopleniya (1999–2015 gg.) (The influence of boat ecotourism on the behavior of belugas (Delphinapterus leucas) in the waters of the summer Solovetsky aggregation (1999–2015)). *Vklad OOPT Arkhangel'skoy oblasti v sokhraneniye prirodnogo i kul'turnogo naslediya: Mezhregion. nauch. konf., posv. 100-letiyu zapov. sist. Rossii*. Arkhangel'sk: Feder. issl. tsentr kompl. izucheniya Arktiki im. akad. N. P. Laverova RAN, 175–181.
37. Krasnova, V. V., E. A. Prasolova, R. A. Belikov, A. D. Chernetsky, and E. M. Panova, 2020: Influence of boat tourism on the behaviour of Solovetskiy beluga whales *(Delphinapterus leucas)* in Onega Bay, the White Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **30** (10), 1922–1933, https://doi.org/10.1002/aqc.3369.
38. Martin, M. J., W. D. Halliday, L. Storrie, J. J. Citta, J. Dawson, N. E. Hussey, F. Juanes, L. L. Loseto, S. A. MacPhee, L. Moore, A. Nicoll, G. O'Corry-Crowe, and S. J. Insley, 2023: Exposure and behavioral responses of tagged beluga whales *(Delphinapterus leucas)* to ships in the Pacific Arctic. *Marine Mammal Science*, **39** (2), 387–421, https://doi.org/10.1111/mms.1297.
39. Mooney, T. A., M. Castellote, L. Quakenbush, R. Hobbs, E. Gaglione, and C. Goertz, 2018: Variation in hearing within a wild population of beluga whales *(Delphinapterus leucas). Journal of Experimental Biology*, **221** (9), jeb171959, https://doi.org/10.1242/jeb.171959.
40. *NAS (National Academy of Sciences).* Approaches to understanding the cumulative effects of stressors on marine mammals. 2017. Washington, DC: The National Academies, https://doi.org/10.17226/23479.
41. Nedwell, J. and D. Howell, 2004: A review of offshore windfarm related underwater noise sources. *Cowrie Rep*., **544**, 1–57.

42. O'Corry-Crowe, G., R. Suydam, L. Quakenbush, T. Ferrer, J. Citta, V. Burkanov, K. Frost and B. Mahoney, 2018: Migratory culture, population structure and stock identity in North Pacific beluga whales *(Delphinapterus leucas)*. *PLOS ONE*, **13** (3), e0194201.
43. *PAME.* Underwater Noise in the Arctic: A State of Knowledge Report, Roveniemi, May 2019. Protection of the Arctic Marine Environment (PAME) Secretariat, Akureyri. 2019. 59 p.
44. Richardson, W. J., C. R. Greene, Jr. C. I. Malme, and D. H. Thomson (eds)., 1995: *Marine Mammals and Noise*. San Diego: Academic Press, 576 p.
45. Rolland, R. M., S. E. Parks, K. E. Hunt, M. Castellote, P. J. Corkeron, D. P. Nowacek, S. K. Wasser, and S. D. Kraus, 2012: Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **279**, 1737, 2363–2368, https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2429.
46. Rugh, D. J., K. E. W. Shelden, and B. A. Mahoney, 2000: Distribution of belugas, *Delphinapterus leucas*, in Cook Inlet, Alaska, during June/July, 1993–2000. *Marine Fisheries Review*, **62** (3), 6–21.
47. Rutenko, A. N. and V. A. Gritsenko, 2010: Monitoring antropogennykh akusticheskikh shumov na shel'fe o. Sakhalin (Monitoring of anthropogenic acoustic noise on the shelf of the Sakhalin Island). *Akusticheskiy zhurnal*, **56** (1), 77–81.
48. Rutenko, A. N., A. V. Gavrilevskiy, V. F. Putov, A. A. Solov'yev, and D. S. Manul'chev, 2016: Monitoring antropogennykh shumov na shel'fe o. Sakhalin vo vremya seysmorazvedochnykh issledovaniy (Monitoring of anthropogenic noise on the shelf of the island. Sakhalin during seismic exploration). *Akusticheskiy zhurnal*, **62** (3), 348–362.
49. Scharffenberg, K., D. Whalen, Sh. MacPhee, M. Marcoux, J. Iacozza, G. Davoren, and L. L. Loseto, 2020: Oceanographic, ecological, and socio-economic impacts of an unusual summer storm in the Mackenzie Estuary. *Arctic Science*, **6** (2), 62–76, https://doi.org/10.1139/as-2018-0029.
50. Schlundt, C. E., J. J. Finneran, D. A. Carder, and S. H. Ridgeway, 2000: Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **107** (6), 3496–3508, https://doi.org/10.1121/1.2032087.
51. Širovic, A. and L. S. Kendall, 2009: *Passive acoustic monitoring of Cook Inlet beluga whales*. Analysis report. Prep. by AK Pacific University for Port of Anchorage. Dec. 73 p. (avail. online at www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/permits/poa_acoustic_report.pdf).
52. Smith, A. J., J. W. Higdon, P. Richard, J. Orr, W. Bernhardt, and S. H. Ferguson, 2017: Beluga whale summer habitat associations in the Nelson River estuary, western Hudson Bay, Canada. *PLoS ONE,* **12** (8), e0181045, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181045.
53. Southall, B. L., J. J. Finneran, C. Reichmuth, P. E. Nachtigall, D. R. Ketten, A. E. Bowles, W. T. Ellison, D. P. Nowacek, and P. L. Tyack, 2019: Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals*, **45** (2), 125–232, https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125.
54. Solovey, N. A., V. A. Zhigul'skiy, and Ye. V. Knyazhenko, 2012: Ekologicheskiye aspekty otsenki i normirovaniya shuma pri proyektirovanii portov (Environmental aspects of noise assessment and regulation when designing ports). *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, **1**, 152–152.
55. Southall, B. L., D. Tollit, J. Amaral, C. W. Clark, and W. T. Ellison, 2023: Managing human activity and marine mammals: A biologically based, relativistic risk assessment framework. *Frontiers in Marine Science*, **10**, 1090132, https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1090132.
56. Taganova, M. M., A. V. Shatravin, Ye. A. Prasolova, and R. A. Belikov, 2019: Vozdeystviye shuma turisticheskikh lodok na akusticheskuyu aktivnost' belukh (*Delphinapterus leucas*) solovetskogo reproduktivnogo skopleniya (Impact of noise from tourist boats on the acoustic

activity of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) of the Solovetsky reproductive aggregation). *Morskiye issledovaniya i obrazovaniye (MARESEDU-2019)*. Moscow, OOO ”oliPRESS”, 143–146.

57. Tarovik, V. I., O. V. Savchenko, and N. G. Kutayeva, 2022: Tekhnogennyy podvodnyy shum kak faktor ekologicheskoy bezopasnosti morskoy transportnoy i promyshlennoy deyatel’nosti v Arktike (Man-made underwater noise as a factor of environmental safety of marine transport and industrial activities in the Arctic). *Arktika: ekologiya i ekonomika*, **12** (1), 99–110, https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-1-99-110.
58. Urick, R. J., 1983: Principles of underwater sound. 3rd edition. Peninsula Publising Los Atlos, California. 423 p.
59. Wartzok, D. and D. R. Ketten, 1999: *“Marine mammal sensory systems,” in Biology of marine mammals*. Eds. J. E. Reynolds II and S. A. Rommel. Washington, DC: Smithsonian Institute Press, 117–175.
60. Wright, A. J., N. Soto, A. Baldwin, M. Bateson, C. Beale, C. Clark, T. Deak, E. Edwards, A. Fernandez, A. Godinho, L. Hatch, A. Kakuschke, D. Lusseau, D. Martineau, M. Romero, L. Weilgart, B. Wintle, G. Notarbartolo-di-Sciara, and V. Martin, 2007: Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise? *International Journal of Comparative Psychology*, **20** (2), 274–316, https://doi.org/10.46867/ijcp.2007.20.02.01.

Submitted 03.10.2024, accepted 27.02.2025.

For citation: Belikov, R. A., V. V. Krasnova, A. V. Shatravin, E. M. Panova, A. D. Chernetsky, E. A. Belikova, N. V. Kryukova, M. M. Taganova, and A. V. Gebruk, 2025: Results of studies of beluga whales, *Delphinapterus leucas*, in the waters of the Solovetsky Archipelago and assessment of soundscapes of their habitats in summer 2024. *Journal of Oceanological Research*, **53** (1), 87–118, https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(1).5.