

ПОДВОДНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ МОРСКОГО ЗАЙЦА (*Erignatus barbatus*) В БЕЛОМ МОРЕ

© 2018 г. А. В. Агафонов^{1,*}, А. Д. Чернецкий^{1,**}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: agafonov.57@mail.ru

**e-mail: adcher@ocean.ru

Поступила в редакцию 29.03.2017 г.

После доработки 06.07.2017 г.

Принята к публикации 08.02.2018 г.

Морской заяц распространен практически во всех арктических морях. Для данного вида характерна интенсивная подводная акустическая активность в весенний период (время щенки и спаривания); за рубежомными исследованиями 60-х годов XX века было установлено, что продуцентами сигналов являются половозрелые самцы. Авторами осуществлен всесторонний анализ записей акустических сигналов морских зайцев, собранных в разных районах Белого моря в период с 1984 по 2017 гг. Выделены основные типы сигналов; описаны их физические характеристики, проведена оценка территориальной и временной изменчивости сигналов. Показано, что в целом система подводной акустической сигнализации морского зайца характеризуется высокой стабильностью. На основании полученных результатов предложены методы акустического учета особей, присутствующих на исследуемой акватории.

DOI: 10.1134/S0030157418070018

ВВЕДЕНИЕ

Морской заяц, или лахтак (*Erignatus barbatus* Erxleben, 1777) — один из наиболее крупных представителей подсемейства настоящих тюленей. Распространен практически во всех арктических морях, считается относительно оседлым, ведет одиночный образ жизни. Является типичным бентофагом, основные объекты питания — моллюски, черви, в меньшем количестве — различные виды рыб [2]. Сведения о ледовом периоде жизни морского зайца достаточно противоречивы. Большинство авторов считают его обитателем только дрейфующих льдов [7], хотя имеются сведения и о нахождении животных в зоне устойчивого припая [5, 6, 9]. Зарубежные исследования 60-х годов XX века показали, что для представителей данного вида характерна интенсивная подводная акустическая активность в весенний период (время щенки и спаривания), причем было установлено, что продуцентами сигналов являются половозрелые самцы [10]. В дальнейшем было обнаружено, что число основных типов сигналов невелико, сами сигналы достаточно стереотипны и стабильны на протяжении, по крайней мере, нескольких лет; в то же время были отмечены некоторые диалектные отличия в вокальном репертуаре у представителей разных популяций [11, 12].

В нашей стране исследования акустической сигнализации морского зайца впервые проводились лабораторией морской биоакустики ИО АН СССР в феврале–апреле 1984–1985 и 1987 гг. в Конюховой губе Белого моря (Онежский залив) [1, 8]. Из-за

сплошного льда в районе работ визуальные наблюдения за животными были исключены, идентификация сигналов стала возможной благодаря сравнению результатов с исследованиями Рея и Уоткинса [10], проведенными в конце 60-х годов в Беринговом море. Собранный акустический материал был подвергнут сплошному аудиторному и выборочному спектральному анализу на имеющейся в то время аппаратуре, далее была осуществлена приблизительная классификация сигналов [1, 8]. Более детальный анализ в то время был невозможен по техническим причинам. Весной 1995 г. записи сигналов морских зайцев были сделаны авторами в нескольких точках в районе Соловецкого архипелага (примерно в 60 км от района работ 1984–1987 гг.).

В последнее время работы по исследованию подводной акустической активности данного вида были возобновлены: в марте 2014 г. сбор материалов осуществлялся в Конюховой губе (там же, где проводились записи 1984–1987 гг.) и в районе Летней Золотицы; в феврале–марте 2017 г. в Унской губе (Двинский залив Белого моря). Основными задачами исследований были:

— проведение аудиозаписей сигналов исследуемого вида в течение длительных периодов времени с целью определения суточной динамики акустической активности;

— приблизительная оценка численности и пространственного распределения особей на исследуемой акватории;

– сравнение записей 2014 и 2017 гг. с записями прошлых лет с целью выявления возможных временных изменений в сигналах;

– выявление возможных территориальных отличий в репертуаре, а также индивидуальных особенностей продуцирования сигналов разными особями.

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Для прослушивания исследуемой акватории и записи акустических сигналов использовались гидроакустические комплексы, состоящие из сферического гидрофона с предварительным усилителем, кабеля, наземного коммутирующего устройства с питанием и динамиком, а также звукозаписывающего устройства (рекордера). Сбор акустического материала осуществлялся со льда; гидрофон погружался в пробуренное отверстие на глубину 2–4 м, после чего производилось прослушивание акватории и, в случае обнаружения сигнализации, звукозапись. Дальность восприятия акустических сигналов морских млекопитающих используемой системой составляет (по примерной оценке, сделанной в летний период работ) до двух километров. В 1984–1987 и 1995 гг. в качестве рекордеров использовались бытовые кассетные магнитофоны “Весна–202”. Диапазон записи – 0.1 – 12.5 кГц, что для исследуемого вида является вполне адекватным, т.к. диапазон частот продуцируемых морскими зайцами сигналов находится в пределах 0.2 – 7 кГц. В 2014 и 2017 гг. записи осуществлялись на цифровые рекордеры “Ritmix RR 900” (частота дискретизации 44.1 кГц, диапазон звукозаписи 0.1–22 кГц). При проведении работ в 2014 и 2017 гг. технические возможности аппаратуры позволяли значительно увеличить объем собираемого материала (вплоть до проведения круглосуточных записей). Кроме того, в эти сезоны при помощи спутниковых навигаторов определялись точные координаты точек сбора данных.

Обработка и анализ записей (как и оцифрованного материала прошлых лет) производились при помощи программы “AdobeAudition 1.5”, статистический анализ – в программе “Statistica 6.0”. Спектрограмма типичного сигнала (и, соответственно, термины, используемые при описании сигналов) показаны на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ПЕРВИЧНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Результаты работ 1984–1985, 1987 и 1995 гг. В 1984–1987 гг. в Конюховой губе (Онежский залив Белого моря) было собрано примерно по 15 ч акустических записей в каждый из сезонов работ; в 1995 г. в районе Соловецкого архипелага у побережья островов Соловецкий и Большая Муксалма сделано около 4-х часов звукозаписей. В 2004 г. весь сохранившийся на аудиокассетах материал был оцифрован при помощи программы “Adobe-

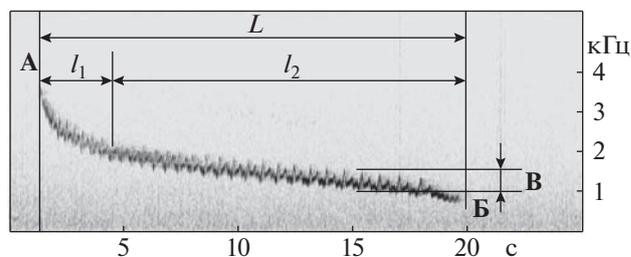


Рис. 1. Спектрограмма типичного сигнала морского зайца. А – начальная точка сигнала, Б – конечная точка сигнала, В – пределы колебаний частоты основного тона, L – общая длительность сигнала, l_1 – участок нелинейного понижения частоты основного тона, l_2 – участок линейного понижения частоты основного тона.

Audition 1.5”, что в дальнейшем позволило провести детальный анализ и типологизацию зарегистрированных сигналов; при этом было выделено семь основных типов (рис. 2).

Тип 1. Продолжительный сигнал, состоящий из двух фаз: нелинейного и линейного понижения частоты основного тона. Сама основная частота испытывает периодические колебания в пределах 300–500 Гц, которые становятся более редкими к концу сигнала. Частотный диапазон от 5 (начальная точка) до 0.5 (конечная точка) кГц. Внутри типа можно выделить два достаточно устойчивых варианта (подтипа), различающихся по длительности: “короткий” (5–15 с) и “длинный” (15–30 с).

Тип 2. Сигнал с понижением частоты основного тона, испытывающей периодические колебания. Напоминает завершающую фазу сигнала типа 2. Длительность сигнала 10–20 с, частотный диапазон от 2.5 (начальная точка) до 0.5 (конечная точка) кГц.

Тип 3. Сигнал, состоящий из двух фаз: повышение частоты основного тона до “пиковой точки” и последующего понижения. Колебаний частоты основного тона не происходит. Длительность сигнала от 3 до 6 с, частотный диапазон от 1.5 (пиковая точка) до 0.2 (начальная и конечная точки) кГц.

Тип 4. Сигнал с плавным нелинейным понижением частоты основного тона. Ее колебания незначительны или отсутствуют. Довольно часто в начале сигнала отмечаются гармоники. Длительность сигнала от 4 до 8 с, частотный диапазон от 3 (начальная точка) до 0.2 (конечная точка) кГц.

Тип 5. Сигнал с резким нелинейным понижением частоты основного тона. Ее колебания отсутствуют. В конце сигнала иногда отмечается небольшое повышение частоты. Обычно следуют сериями по 3–5 сигналов в серии. Длительность сигнала от 1 до 3 с, частотный диапазон от 2.5 (начальная точка) до 0.2 (конечная точка) кГц.

Тип 6. Низкочастотный сигнал, похожий на вой или стон. Понижение частоты очень незначительное, или вообще не происходит. Длительность сигнала от 3 до 6 с, частотный диапазон примерно 0.4–0.2 кГц.

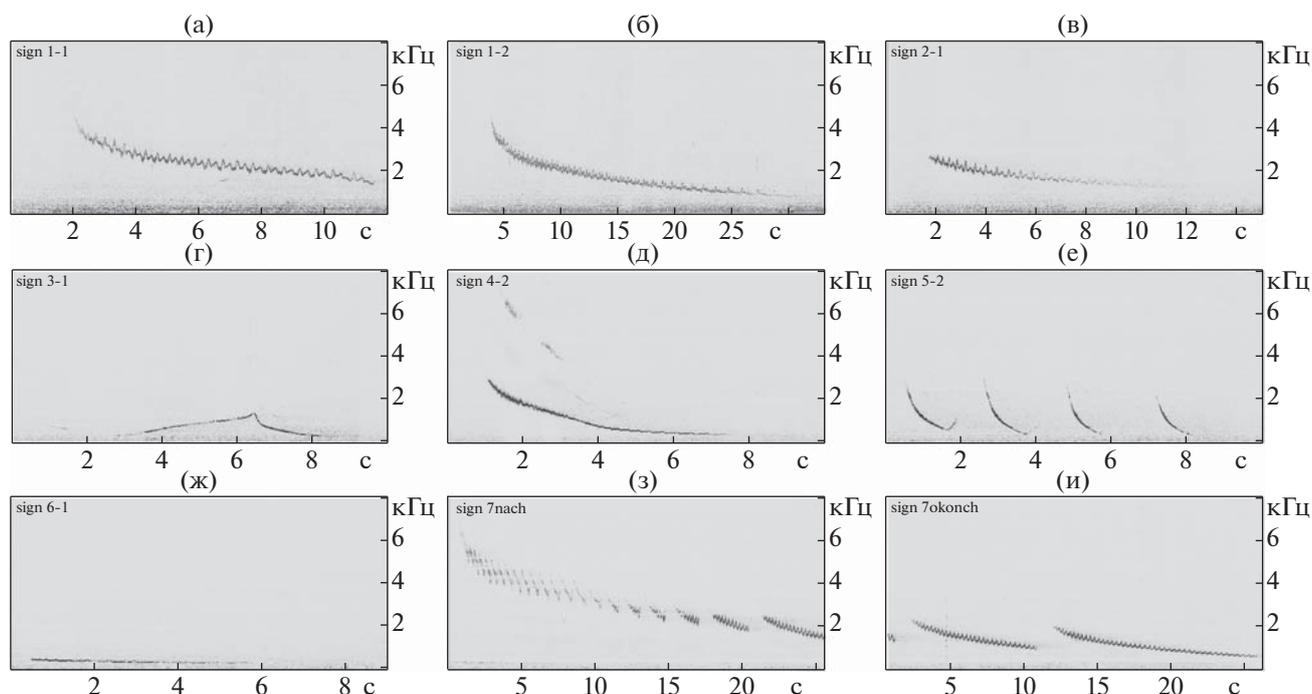


Рис. 2. Выделенные типы сигналов: (а) – “тип 1” (короткий вариант), (б) – “тип 1” (длинный вариант), (в) – “тип 2”, (г) – “тип 3”, (д) – “тип 4”, (е) – “тип 5” (серия), (ж) – “тип 6”, (з) – “тип 7” (начало сигнала), (и) – “тип 7” (окончание сигнала).

Тип 7. Наиболее сложный по структуре из всех выделенных типов. Состоит из нескольких сегментов. Вначале следует фаза нелинейного понижения частоты основного тона с периодическими колебаниями. По мере понижения частоты амплитуда колебаний и расстояния между их пиками начинают увеличиваться; сигнал приобретает “пилообразную” форму. Затем происходит формирование “трелей” – участков с понижающейся и колеблющейся частотой основного тона, связанных между собой участками повышения частоты. Общая тенденция – понижение частоты основного тона. Наконец, происходит разделение непрерывного сигнала на отдельные трели. Частота основного тона каждой трели понижается, но начало следующей трели всегда выше, чем окончание предыдущей. Длительность трелей увеличивается, а амплитуда колебаний частоты основного тона в последних трелях серии уменьшается. Окончание последней трели обычно приобретает характер воя. Длительность сигнала в целом может превышать 1 мин, частотный диапазон составляет от 7 (начальная точка) до 0.2 (конечная точка последней трели) кГц.

Число сигналов разных типов по каждому из сезонов работ приведено в табл. 1. Все выделенные типы сигналов представляются взаимосвязанными между собой, образующими некоторую единую структуру, элементы разных типов могут иметь много общего. Как уже отмечено выше, сигналы второго типа похожи на линейные участки сигналов первого типа, заключительные трели седьмого типа напоминают сигналы второго типа. Схожи между собой начальные фазы сигналов первого и седьмого типов,

свистовые сигналы четвертого и пятого типов имеют промежуточные формы. Иногда окончание продолжительного сигнала второго типа переходит непосредственно в сигнал третьего типа. Довольно часто вслед за коротким сигналом первого типа следует серия из трех-пяти сигналов пятого типа (рис. 3).

Было обнаружено достаточно частое наложение во времени одних сигналов на другие, что свидетельствует об одновременном продуцировании звуков несколькими особями в зоне приёма гидрофона. Характерную картину этого явления можно видеть на спектрограмме (рис. 4). Цифрами 1–5 обозначены сигналы, продуцируемые разными особями: 1 – серия сигналов 5-го типа; 2 – сигнал 2-го типа, оканчивающийся сигналом 3-го типа; 3 – последовательные трели сигнала 7-го типа; 4 – отдельный сигнал 3-го типа; 5 – короткий сигнал 1-го типа со следующей за ним серией сигналов 5-го типа (достаточно часто встречающаяся устойчивая комбинация сигналов).

Результаты работ 2014 и 2017 гг. В 2014 г. работы проводились с 11 по 24 марта, большая часть данных была собрана в акватории Конюховой губы. Район работ в период проведения исследований представлял собой сплошное ледяное поле толщиной до одного метра. По степени торосистости его можно было разделить на три зоны: ровное ледяное поле, зона редких невысоких торосов и поля торосов высотой более полуметра. В качестве основного места сбора данных была выбрана точка, равноудаленная от берегов на расстояние около трех километров (координаты

Таблица 1. Относительные доли (%) разных типов сигналов в записях 1984–1995 гг.

Район и год работы	Количество сигналов	Типы сигналов						
		1	2	3	4	5	6	7
Конюхово 1984 г.	2051	8.5%	20.1%	10.4%	7.3%	39.5%	5.3%	8.9%
Конюхово 1985 г.	2415	6.3%	25%	5.3%	9.5%	40.9%	1.2%	8.9%
Конюхово 1987 г.	1288	12.8%	23.4%	5.9%	9.4%	31.4%	6.4%	10.6%
Соловки 1995 г.	333	11.1%	19.8%	9.3%	6.1%	36.3%	9.3%	8.1%

ты $64^{\circ}55'12''$ с.ш., $36^{\circ}36'18''$ в.д.), где было сделано большинство записей. Кроме того, периодически проводились записи в точках, удаленных от основной на расстояние 1.5–2 км. Координаты дополнительных точек: $64^{\circ}54'47''$ с.ш., $36^{\circ}34'39''$ в.д.; $64^{\circ}55'51''$ с.ш., $36^{\circ}38'19''$ в.д.; $64^{\circ}54'34''$ с.ш., $36^{\circ}37'59''$ в.д. 23 марта 2014 г. были проведены записи в районе Летней Золотицы в точках с координатами: $64^{\circ}57'19''$ с.ш., $36^{\circ}46'47''$ в.д. и $64^{\circ}57'06''$ с.ш., $36^{\circ}45'20''$ в.д. Общий объем собранного материала (по всем точкам) составляет 33 часа аудиозаписей.

Подводная акустическая активность морских зайцев в описываемый период была весьма высока (интенсивность сигнализации до 10 сигн./мин), сигналы продуцировались круглосуточно, причем интенсивность сигнализации практически не отличалась в разное время суток. На спектрограммах видно, что сигналы часто накладываются друг на друга, т.е. их продуцирование осуществляется несколькими (до пяти) особями одновременно; одни и те же типы сигналов могут продуцироваться разными особями. Общая типология сигналов та же, что и в записях, сделанных в 80–90-х гг.

С 27 февраля по 6 марта 2017 г. работы осуществлялись в районе Унской губы (Двинский залив Белого моря). Их проведение, в соответствии с поставленными задачами, складывалось из нескольких этапов. 27 февраля 2017 г. с базы в п. Луда был сделан маршрут вдоль северного побережья Унской губы, в ходе которого на шести точках производилось прослушивание акватории. Координаты точек: № 1 – $64^{\circ}40'30''$ с.ш., $38^{\circ}07'43''$ в.д.; № 2 – $64^{\circ}44'35''$ с.ш., $38^{\circ}11'57''$ в.д.; № 3 – $64^{\circ}45'10''$ с.ш., $38^{\circ}16'49''$ в.д.; № 4 – $64^{\circ}45'43''$ с.ш., $38^{\circ}21'14''$ в.д.; № 5 – $64^{\circ}47'30''$ с.ш., $38^{\circ}21'13''$ в.д.; № 6 – $64^{\circ}48'52''$ с.ш., $38^{\circ}21'04''$ в.д.

В ходе акустического прослушивания акватории в точках 1–4 сигналов морских зайцев обна-

ружено не было. Впервые они были зарегистрированы только в точке 5, при этом интенсивность продуцирования сигналов за время записи составило 0.83 сигн./мин. В записях, проведенных на точке 6, было обнаружено значительно большее количество сигналов (2.57 сигн./мин) при ошутимо возросшем уровне их громкости.

Поскольку сигнализации морских зайцев в самой Унской губе обнаружено не было, было решено переместить базу отряда в п. Пертоминск (район пролива, соединяющего Унскую губу с Белым морем). 2 марта 2017 г. были проведены работы по обследованию прибрежной акватории собственно Белого моря (Двинской залив) западнее м. Красногорский Рог. Прослушивание акватории осуществлялось в точках с координатами $64^{\circ}46'39''$ с.ш., $38^{\circ}32'53''$ в.д. и $64^{\circ}47'34''$ с.ш., $38^{\circ}29'30''$ в.д. В данном районе сигналов морских зайцев обнаружено не было; по рассказам местных жителей, лед в этих местах был принесен к берегу всего за несколько дней до начала работ.

Также 2 марта 2017 г. прослушивание акватории производилось в районе Пертоминского причала в точке с координатами $64^{\circ}47'01''$ с.ш., $38^{\circ}24'42''$ в.д. (сигналов морских зайцев не обнаружено) и в точке с координатами $64^{\circ}48'37''$ с.ш., $38^{\circ}23'10''$ в.д. В данной точке сигнализация оказалась достаточно интенсивной, как по количеству сигналов (в последующих записях до 3.86 сигн/мин), так и по их уровню громкости, вследствие чего она была определена в качестве основной для сбора акустического материала в течение 3–4 марта 2017 г. 6 марта 2017 г. было проведено контрольное прослушивание акватории в районе Пертоминского причала в точке с координатами $64^{\circ}47'38''$ с.ш., $38^{\circ}23'54''$ в.д. При этом были обнаружены сигналы морских зайцев и проведены акустические записи (интенсивность сигнализации 1.92 сигн/мин).

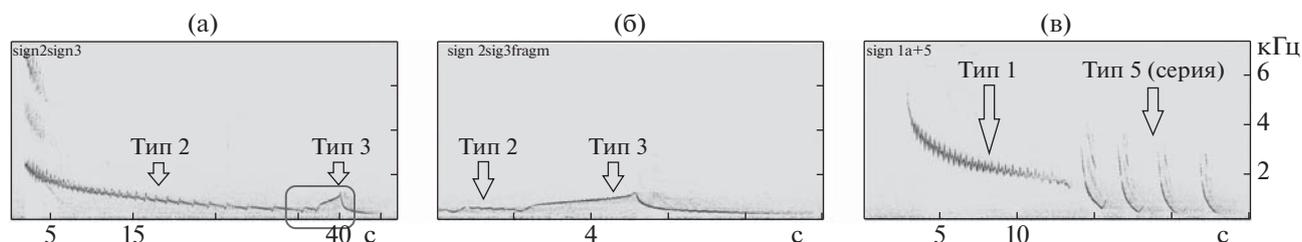


Рис. 3. Соединения и устойчивые комбинации сигналов. (а) – “тип 2” непосредственно переходит в “тип 3”, (б) – то же в более крупном масштабе по времени, (в) – серия сигналов “тип 5” следует за сигналом “тип 1”.

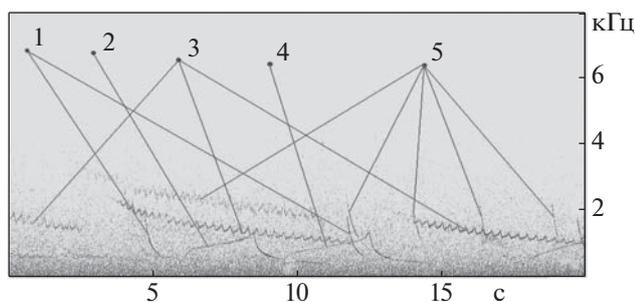


Рис. 4. Наложение по времени сигналов, продуцируемых пятью особями (объяснение в тексте).

Всего за время проведения работ в Унской губе на всех точках собрано около 10 часов аудиозаписей. На основании первичного анализа собранного материала основные результаты работ можно охарактеризовать следующим образом:

1. В период проведения работ было установлено, что в исследуемом районе морской заяц сосредотачивается в проливе между мысами Яреньгский Рог и Красногорский Рог. По результатам акустического прослушивания, животные отсутствуют как в самой Унской Губе, так и в море южнее Красногорского рога.

2. Количество животных в данном районе (по сравнению, например, с районом Конюховой губы) невелико. Это следует как из интенсивности продуцирования сигналов (максимум – 3.86 сигн/мин; в Конюховой губе – до 10 сигн/мин), так и по количеству наложений сигналов разных типов на спектрограммах. Так, довольно регулярно встречались наложения двух сигналов, и только в единичных случаях – трех (рис. 5). Определена примерная граница проникновения животных в акваторию Унской губы.

3. Общая типология сигналов та же, что и в записях предыдущих лет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных на протяжении более 30-ти лет исследований собран достаточно обширный материал по подводной акустической сигнализации морского зайца Белого моря в районах, удаленных друг от друга на расстояние от нескольких десятков до нескольких сотен километров. Таким образом, в настоящее время стало

возможным проведение сравнительного анализа записанных сигналов с целью выявления их временной изменчивости, а также территориальных и индивидуальных различий.

Результаты анализа показывают, что типология продуцируемых сигналов в целом очень мало отличается в записях, сделанных как в разные сезоны, так и в разных районах работ. Везде можно обнаружить семь основных типов сигналов (рис. 2), а также их устойчивые комбинации (рис. 3). В то же время, в акустических записях 2014 г. и 2017 г. обнаружен новый тип сигнала (не внесенный пока в общую типологию ввиду его немногочисленности). Он представляет собой элемент длительностью 2.5–3 с, с линейным повышением частоты основного тона в пределах от 0.6 до 1.5 кГц; при этом в большинстве зарегистрированных сигналов отмечены периодические всплески частоты (рис. 6, 7). В записях 2017 г. он всегда сопровождается низкочастотным воем, являясь, таким образом, элементом устойчивой комбинации сигналов. Кроме того, в записях 2017 г. была зарегистрирована серия однотипных сигналов, не встречавшихся ни в одной из записей, сделанных ранее (рис. 8). В связи с единичностью сигнала трудно сделать выводы о его продуценте; по ряду структурных характеристик он имеет некоторое сходство с сигналами морских зайцев.

Аналогичные работы проводились группой зарубежных исследователей на протяжении нескольких десятилетий на Аляске, в западном и северном секторах Канадской Арктики, а также на Шпицбергене (Свальбарде) [11]. Авторы отмечают как сходство ряда типов сигналов, записанных в разных районах (причем удаленных друг от друга на расстояние нескольких тысяч километров), так и стабильность сигналов на протяжении нескольких лет. Представленные в статье спектрограммы сигналов позволяют сравнить их с нашими результатами. Так, сигнал 1 (Шпицберген) соответствует “типу 7”, сигналы 2 (Аляска) и 3 (северный сектор Канадской Арктики) – “типу 1” по нашей классификации. Сигналы 5 (Шпицберген), 6 (Аляска), 7 (северный сектор Канадской Арктики) и 8 (западный сектор Канадской Арктики) соответствуют “типу 6”. Сигнал 12 (северный сектор Канадской Арктики) имеет сходство с некоторыми вариантами “типа 4”. В то же время, ряд типов сигналов никогда не встречался в запи-

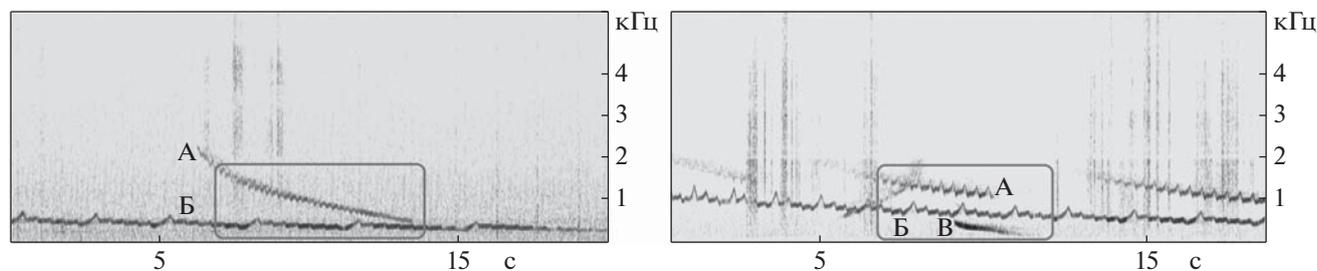


Рис. 5. Наложение сигналов, продуцируемых двумя (слева) и тремя (справа) особями (по записям 2017 г.).

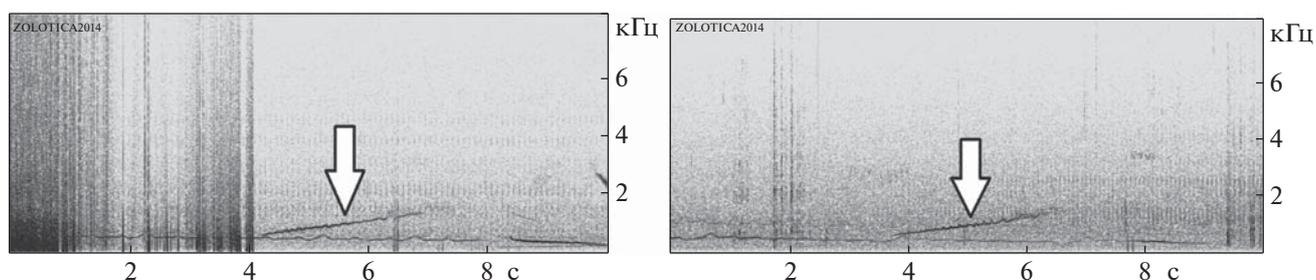


Рис. 6. Новый тип сигнала, обнаруженный в записях 2014 г. (отмечен стрелкой).

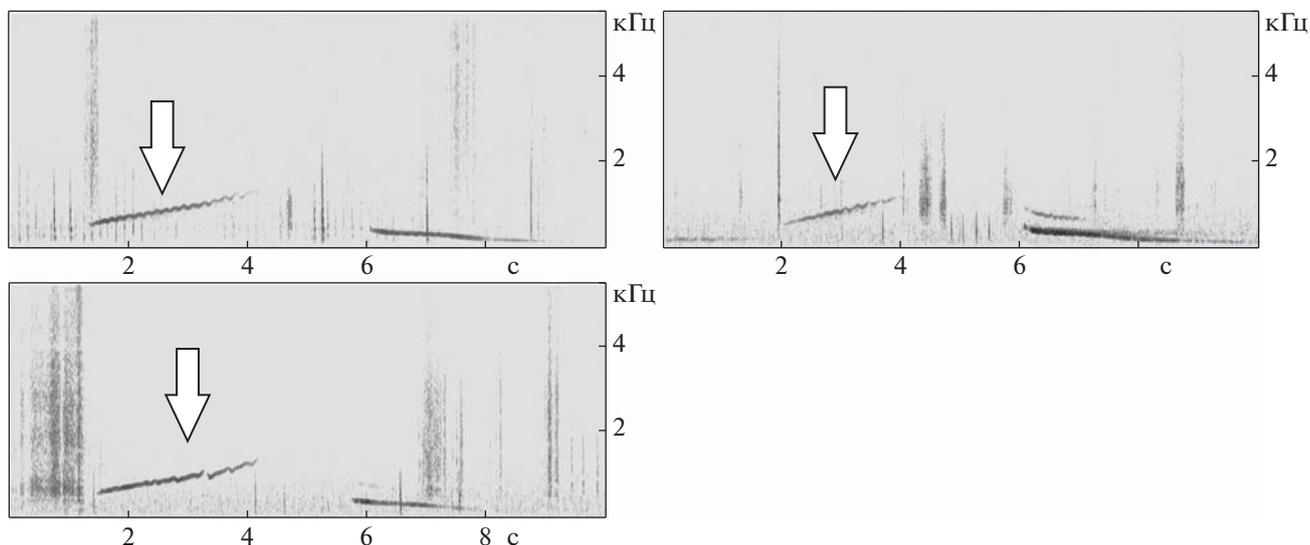


Рис. 7. Новый тип сигнала, обнаруженный в записях 2017 г. (отмечен стрелкой).

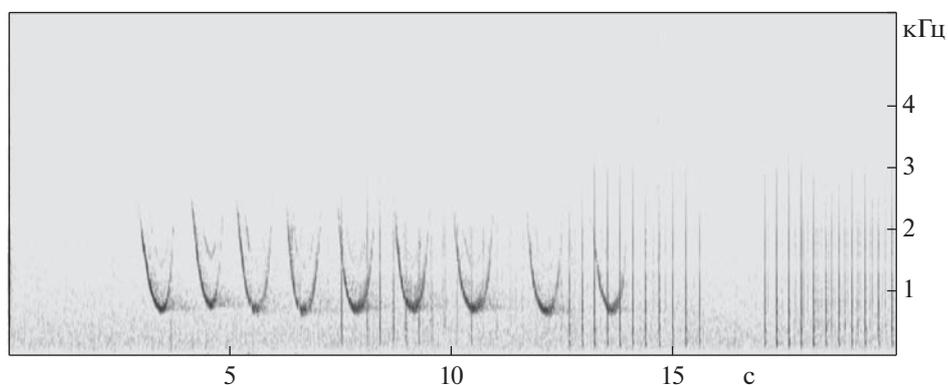


Рис. 8. Сигнал, ранее нигде не отмечавшийся (запись 2017 г.).

сях, сделанных на Белом море: 4 и 10 (западный сектор Канадской Арктики), 9 (Аляска), 11 (Шпицберген). В целом, сравнивая результаты наших и зарубежных исследований, можно заключить, что размеры Белого моря недостаточны для формирования существенных географических отличий в вокальном репертуаре исследуемого вида.

Был проведен сравнительный анализ однотипных сигналов с целью выявления их индивидуальных частотных характеристик (на примере сигналов 1-го типа). Как показано выше, данному типу свой-

ственно понижение основной частоты, включающее две фазы: нелинейное понижение и линейный участок. Сама основная частота испытывает периодические всплески, которые становятся более редкими к концу сигнала. Весь сигнал состоит из отдельных циклов, длительностью 0.3–0.5 с (рис. 9); всего таких циклов в сигнале может быть до 25. Это позволяет осуществить некую формализацию, обобщение описываемых сигналов с тем, чтобы в дальнейшем стала возможной их статистическая обработка. Внутри каждого из циклов были выделе-

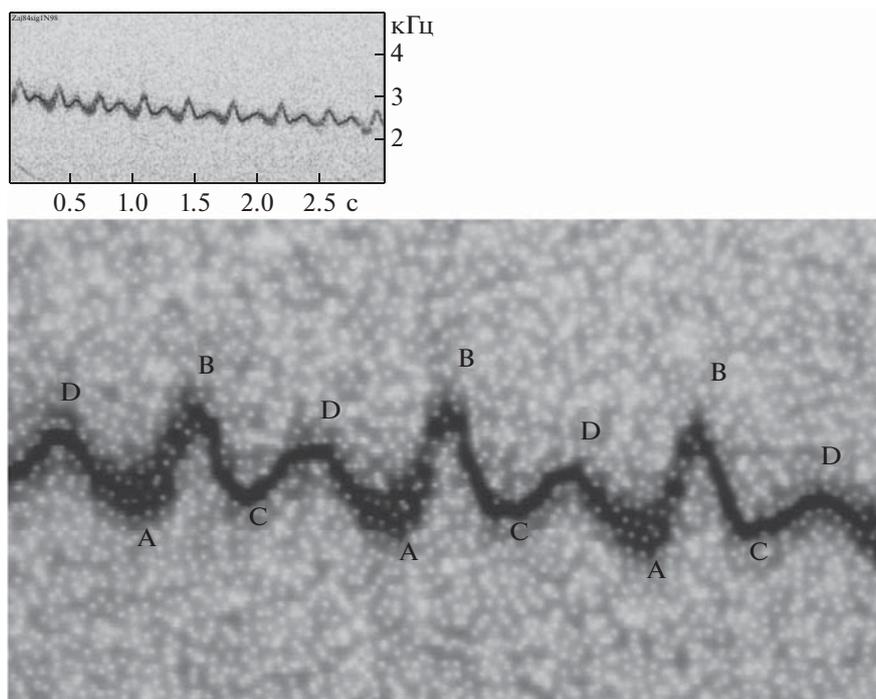


Рис. 9. Структура сигнала “тип 1”. А, В, С, D – “ключевые точки”, в которых производились замеры частоты (объяснение в тексте).

ны четыре характерных “ключевых” точки, обозначенные на рисунке буквами А, В, С и D. Предварительный анализ показал, что изменение частоты этих точек от цикла к циклу на протяжении одного сигнала происходит по одному и тому же закону, поэтому для сравнения разных сигналов достаточно производить замер одной из них. Выбрана была точка D, как наиболее четко выделяемая в цикле. Таким образом, сигналы стало возможным изобразить в виде последовательностей номеров циклов и соответствующих им частотных характеристик каждого цикла, что позволило произвести математическую обработку данных в программе “Statistica 6.0”.

Используя описываемую методику, было проанализировано 10 сигналов. Замеры частоты точки D проводились только для хорошо сформированных циклов (начиная с пятого-шестого цикла сигнала). Результаты измерений показаны в табл. 2 (номера сигналов означают их порядок следования в журнале обработки записей).

Далее, с помощью программы “Statistica 6.0” была построена двумерная гистограмма распределения частотных характеристик исследуемых сигналов (рис. 10). Анализируя полученный график, можно заметить, что обработанные сигналы разделились на три группы. К первой, наиболее “низкочастотной” относятся сигналы № 12, 13, 16, 51 и 88. Ко второй принадлежат сигналы № 36, 43, 71, 78. Наконец, сигнал № 99 – наиболее высокочастотный, представляет третью группу. Внутри каждой группы частотные показатели одних и тех же циклов очень близки (иногда практически идентичны в пределах погреш-

ности замеров). В то же время группы достаточно отличаются друг от друга (на 150–200 Гц для одинаковых циклов). Можно также отметить, что наиболее стабильными являются участки сигналов в пределах от 10-го до 20-го циклов. Таким образом, исходя из полученного результата, можно с известной долей осторожности предположить, что эти десять сигналов были произведены тремя разными особями.

Регистрация акустических сигналов морского зайца и их последующий анализ позволяют производить примерную оценку численности животных в исследуемом районе на основании учета интенсивности продуцирования сигналов в единицу времени, подсчета числа сигналов, продуцируемых одновременно, а также – сравнения записей, проведенных одновременно в разных точках, удаленных друг от друга на несколько километров. Таким методом были проанализированы записи 2014 г., сделанные синхронно с разных точек. Напомним, что интенсивность продуцирования сигналов достигала 10 сигн./мин; на спектрограммах достаточно часто отмечались наложения сигналов, продуцируемых пятью особями одновременно. В записях, сделанных одновременно в точках, разделенных тремя-четырьмя километрами, картина продуцирования сигналов различается (т.е. – регистрируются сигналы разных продуцентов). На основании этих данных можно предположить, что число животных, продуцирующих сигналы (половозрелых самцов), составляет на всем исследованном пространстве Конюховой губы (~ 15 км²) порядка десяти – двенадцати особей.

Таблица 2. Частотные характеристики (Гц) “ключевых точек” сигналов, по которым производились измерения

№ циклов сигнала	№ обработанных сигналов									
	12	13	16	36	43	51	71	78	88	99
5							3398			
6	3123					3065	3281	3302		
7	2968	2960				3035	3119	3195		3406
8	2833	2852				2894	3002	3078	2774	3326
9	2766	2771		3029		2786	2885		2720	3271
10	2664	2704	2688	2957	2903	2706	2831	2899	2604	3074
11	2644	2636	2625	2831	2787	2607	2733	2801	2550	3002
12	2563	2542	2562	2760	2742	2535	2678	2694	2487	2921
13	2502	2508	2454	2643		2481	2616	2649	2461	2804
14	2428	2427	2409	2625	2580	2409	2544	2541	2389	2769
15	2374	2367	2364	2571		2346	2508	2497	2336	2706
16	2354	2319	2346	2418	2454	2301	2445	2470	2309	2580
17	2239	2265	2238	2391	2391	2274	2400	2416	2210	2544
18	2206	2198	2229	2328	2355	2166	2301	2353	2166	2481
19	2098	2137	2139	2301	2283	2103	2301	2291	2112	2418
20	2058	2070	2067	2238	2238	2076	2238	2246		2337
21	2037	2002	2049	2148	2175		2175	2192		2337
22	1943	1942	1978	2067	2121	1942	2121	2139		2283
23	1754	1881			2067	1861	2040	2067		2202
24					2076		2022	1996		2103
25					1924		1933	1924		2049
26										1978
27										1465

В районе Унской губы зона присутствия морских зайцев занимает значительно меньшую площадь (порядка 5 км²), при этом удалось достаточно точно установить предел их проникновения вглубь залива. Напомним, что максимальная зафиксированная интенсивность продуцирования сигналов составляла 3.86 сигн./мин; отмечалось регулярное одновременное продуцирование сигналов двумя

особями, в единичных случаях — тремя. Таким образом, можно заключить, что в данной акватории могли присутствовать три—четыре особи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в целом подводная акустическая сигнализация морского зайца представляется достаточно стабильной (в пространственно-временном смыс-

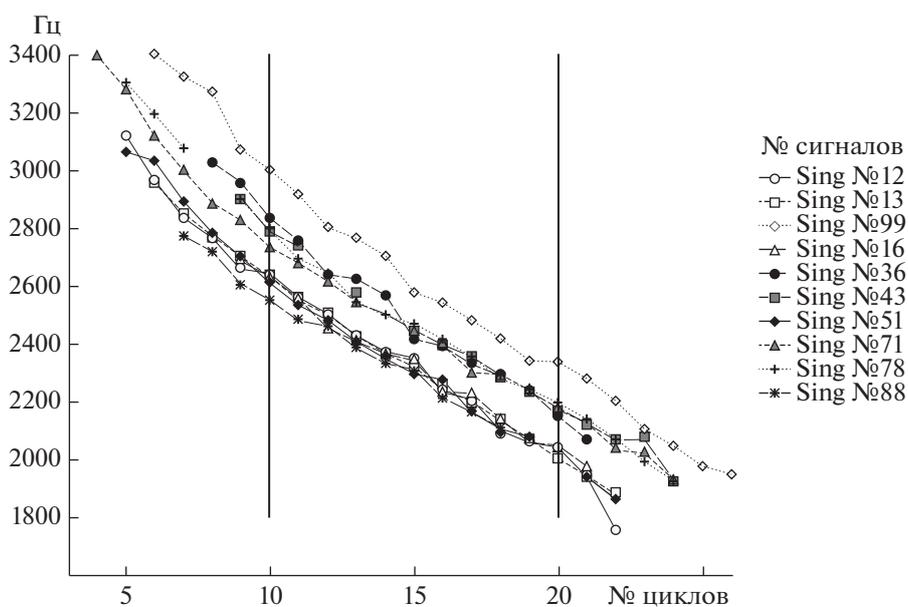


Рис. 10. Распределение десяти сигналов “типа 1” на три группы по частотным характеристикам (объяснение в тексте).

ле) и даже консервативной системой. Общее число выделенных типов сигналов (по всему ареалу, учитывая зарубежные данные) составляет не более десяти, причем многие из типов встречаются на всем пространстве ареала вида. Следует помнить, что продуцирование сигналов жестко связано с определенным поведенческим контекстом — периодом размножения; в записях, сделанных нами в летние сезоны, они практически отсутствуют. Учитывая то, что период молочного кормления составляет порядка одного месяца, после чего детеныш переходит к “самостоятельной жизни”, сам процесс продуцирования сигналов обусловлен, по всей видимости, генетическими механизмами. С другой стороны, поскольку в целом период щенки и спаривания продолжается несколько месяцев, детеныши с самого рождения попадают в своеобразную акустическую среду, которая в дальнейшем повторяется ежегодно и, следовательно, в каком-то смысле, является обучающим фактором. Этот фактор можно рассматривать в рамках концепции “биологического сигнального поля”, разработанной в 70-е годы XX века Наумовым [4]. Биологическое сигнальное поле представляет собой некое пространство, на котором в виде следов жизнедеятельности организмов (в том числе — и акустических) отражены сами процессы. В дальнейшем эти идеи были развиты в виде более широких представлений об “информационно-знаковом поле”, как “...информационно-коммуникативном процессе взаимодействия млекопитающих с окружающей средой” [3]. В таком случае, практически постоянное продуцирование морскими зайцами акустических сигналов в определенный период их жизнедеятельности является основной составляющей информационно-знакового поля. А оно, в свою очередь, становится важным регулирующим механизмом жизнедеятельности популяции в репродуктивный период.

Исследования 2014 г. были осуществлены благодаря финансовой и организационно-технической поддержке национального парка “Онежское Поморье”.

Исследования 2017 г. Выполнены при финансовой и организационно-технической поддержке национального парка “Кенозерский”.

Авторы благодарят А.Б. Волкова, Е.В. Волкову, В.Ю. Кузьмина, К.С. Кривополенова, Ю.Н. Маслатородова, В.И. Пахомова, И.С. Подгорнова, Д.А. Пономарева, О.Л. Продана, Е.Ф. Шатковскую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белькович В.М., Щекотов М.Н.* Поведение и биоакустика ластоногих в естественной среде. М.: ИО АН СССР, 1990. 156 с.
2. *Земский В.А.* (ред.). Атлас морских млекопитающих СССР. М.: Пищевая промышленность, 1980. 184 с.
3. *Мозговой Д.П.* Установки, перспективы и теории информационно-знакового поля млекопитающих // Изв. Самарского научного центра РАН. 2004. № 2. С. 341–349.
4. *Наумов Н.П.* Сигнальные биологические поля и их значение для животных // Журнал общей биологии. 1973. Т. 34. № 6. С. 808–817.
5. *Попов П.Н.* Промысловые млекопитающие восточного побережья Таймырского полуострова. // Тр. НИИ Полярного земледелия, животноводства и промыслового хозяйства. 1939. Вып. 8. С. 87–123.
6. *Федосеев Г.А.* Распространение и численность тюленей на детных и линных залежках в Охотском море // Тр. АтлантНИРО. 1971. Вып. 39. С. 87–99.
7. *Чанский К.К., Арсеньев В.А., Соколов В.Е.* Млекопитающие СССР. Т. 2, ч. 3 / Ред. Гептнер В.Г. М.: Высшая школа, 1976. 718 с.
8. *Щекотов М.Н., Агафонов А.В.* Характеристика акустической активности, распределения и численности морского зайца и кольчатой нерпы Конюховой губы Белого моря // Проблемы современной океанологии. М.: ИО АН СССР, 1988. С. 106–108.
9. *Kingsley M.S., Stirling J., Calvert W.* The distribution and abundance of seals in the Canadian High Arctic, 1980–1982 // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1985. V. 42. P. 1189–1210.
10. *Ray C.G., Watkins W.A., Burns J.J.* The underwater song of *Erignathus* (Bearded seal) // Zoologica. 1969. V. 54. № 2. P. 79–83.
11. *Rish D., Clark C.W., Corkeron P.J. et al.* Vocalisation of male Bearded Seals, *Erignathus barbatus*: Classification and geographical variation. // Animal Behaviour. 2007. V. 73 (5). P. 747–762.
12. *Van Parijs S.M., Kovacs K.M., Lindersen Ch.* Spatial and temporal distribution of vocalizing male bearded seals — implications for male mating strategies // Norv. Pol. Inst. Acc. 2001. № 19 – VI. P. 905–922.

The Underwater Acoustic Signalization of Bearded Seals (*Erignathus barbatus*) in the White Sea

A. V. Agafonov and A. D. Chernetsky

The bearded seal (*Erignathus barbatus*) is widespread practically in all Arctic seas. Intensive underwater acoustic activity is characteristic of this species in the spring (the reproduction season). Foreign researches in the sixtieth of the 20th century showed that sounds were produced by adult males. We have carried out the comprehensive analysis of records of acoustic signals of bearded seals, collected in different regions of the White Sea during the period from 1984 to 2017. The main types of signals have been allocated, their physical characteristics have been described and also the assessment of territorial and temporal variability of sounds has been carried out. It is shown that in general the system of underwater acoustic sounds of bearded seals is characterized by high stability. On the basis of the received results are offered methods of the acoustic accounting of the individuals present at the explored area.