

Логоминова И.В.¹, Агафонов А.В.²

Пространственно-временная динамика локальной популяции черноморской афалины (*Tursiops truncatus*) в акватории Новый Свет – Судак

1. Крымский Федеральный Университет им. В. И. Вернадского» (ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»), Симферополь, Россия; студентка

2. Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Logominova I.V.¹, Agafonov A.V.²

Dynamics of the local population of Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) in the water area Novyi Svet – Sudak (Black Sea, Crimea)

1. V.I. Vernadsky Crimea Federal University, Simferopol, Russia.

2. P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia

Введение. Подводная акустическая сигнализация китообразных привлекает внимание исследователей из различных стран на протяжении уже более полувека. Детальное изучение звуковых сигналов этих животных началось с афалин (*Tursiops truncatus*), именно у них впервые была открыта способность к эхолокации (Kellogg et al., 1953; Norris, 1966). Вопросы о степени сложности акустической коммуникативной системы этих дельфинов, о ее семантических возможностях, и даже – о гипотетическом существовании у афалин системы общения речевого уровня, вызывают споры исследователей с момента выхода книги Джона Лилли «Человек и дельфин» (Lilly, 1961). Однако до настоящего времени однозначного ответа на эти вопросы (ни в методологическом, ни в экспериментальном планах) так и не было получено.

Согласно результатам исследований Д. и М. Колдуэллов, звуковые сигналы афалин можно разделить на три категории: 1) серии широкополосных импульсов (щелчки); 2) тональные сигналы (свисты) с различной формой контура частоты основного тона; 3) импульсно-тональные сигналы, представляющие собой серии импульсов с высокой частотой следования (150 – 700 имп./с.). Данная классификация остается актуальной до настоящего времени; при этом считается, что первая категория сигналов используется дельфинами преимущественно для эхолокации, две остальные – для коммуникации (Lilly, Miller, 1961).

Одним из ключевых моментов в изучении звуковых сигналов, свойственных данному виду, стало открытие Д. и М. Колдуэллами в середине 60-х годов XX века «свистов-автографов» («signature whistles») (Caldwell,

Introduction. Underwater acoustic signals of cetaceans have been studied by researchers from different countries for over half a century. These studies started with bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), whose ability of echo location was first discovered by Kellogg et al. (1953) and Norris (1966). Issues pertaining to the level of complexity of the acoustic communicative system, semantic abilities, and even the hypothetical existence of a speech communicative system among bottlenose dolphins has been disputed among researchers since the publication “Man and Dolphin” (Lilly, 1961). However, until now there has been no clarification to these questions in terms of methodology or experimentation.

D. Caldwell and M. Caldwell found that sound signals of bottlenose dolphins can be divided into three categories: 1) series of broad-band pulses (clicks); 2) tone signals (whistles) with various forms of pitch-period contour; and 3) pulse-tone signals that are a series of high-frequency pulses (150 – 700 p/s). This classification is still valid and it is generally accepted that the first category is used by dolphins mainly for echolocation, and the other two for communication (Lilly, Miller, 1961).

One of the key aspects in studying sound signals typical for this species has been the discovery of “signature whistles” by the Caldwells in the middle of the 1960s. “Signature” is defined as a whistle signal with a unique pitch-period contour dominating in the repertoire of a species for every individual.

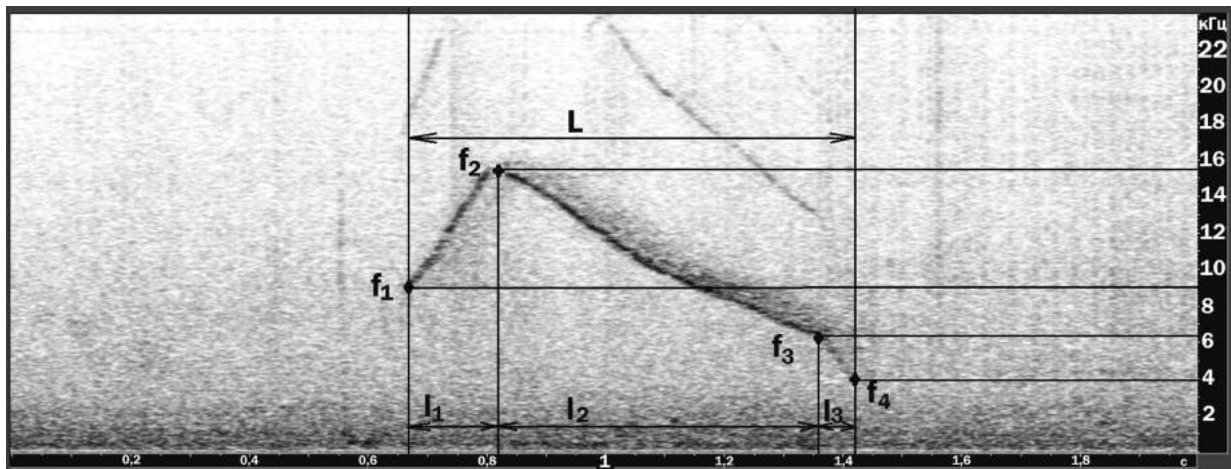


Рис. 1. Структура типичного «свиста-автографа»: L – общая длительность сигнала; l1 - l3 – длительность отдельных элементов, f1 - f4 – частоты «ключевых точек» сигнала

Fig. 1. Structure of the typical “signature whistle”: L – general duration of a signal, l1 - l3 – duration of fragments of a signal, f1 - f4 – frequencies of “key points” of a signal

Caldwell, 1965). «Автограф» определяется как свистовой сигнал с уникальной для каждого животного формой частотного контура, являющийся доминирующим в репертуаре особи. Работы последних лет (Агафонов, Панова, 2012; Агафонов и др., 2016) показывают, что тональные сигналы афалин можно рассматривать как некую систему «персонифицированных» (т.е. продуцируемых только конкретными особями) сигналов. «Автограф» представляет собой «ядро» этой системы, и в таком аспекте его можно рассматривать как своеобразный «акустический маркер» особи. Для дальнейшего анализа тональных (свистовых) сигналов афалин с целью их систематизации и составления каталогов «свистов-автографов» как маркеров отдельных особей в популяциях необходимо уделить должное внимание исследованию подводной акустической сигнализации этих дельфинов в естественных условиях обитания. Осуществление подобного исследования представляется весьма актуальным, учитывая тот факт, что в нашей стране работы по данной тематике не проводились с конца 70-х годов прошлого века (Белькович и др., 1978, 1987).

Материал и методы. Комплексные исследования локальной популяции афалин, включающие запись их подводной акустической сигнализации, были начаты в мае 2014 года на юго-восточном побережье Крыма, в акватории Новосветских бухт (п. Новый Свет – г. Судак). Работы проводятся каждый месяц при оптимальных погодных условиях и продолжают в данный момент.

Recent studies (Agafonov, Panova, 2012; Agafonov et al. 2016) demonstrate that tone signals of bottlenose dolphins may be considered as a system of “personified” signals (i.e. produced only by specific animals). “Signature” is a “core” of this system, and in this respect, it can be considered as a unique “acoustic marker” of an individual.

The present study aims to characterize the underwater acoustic signaling of these dolphins in their natural environment. Further analysis of tone (whistle) signals of bottlenose dolphins will be studied in order to systematize them and to produce catalogues of “signature whistles” as markers of individuals in populations. Carrying out such research is important considering that in our country there have been no studies on this topic since the end of the 1970s (Belkovich et al., 1978, 1887).

Material and methods. The study of local population of bottlenose dolphins, including records of their underwater acoustic signals commenced in May 2014 at the south-eastern coast of Crimea in the water area of Novyi Svet harbor (Novyi Svet settlement, city of Sudak). The studies were conducted every month under optimal weather conditions and are on-going.

To collect acoustic data a standard hydroacoustic system consisting of a hydrophone, a preamplifier, cable and a land amplifier switch was used. Acoustic

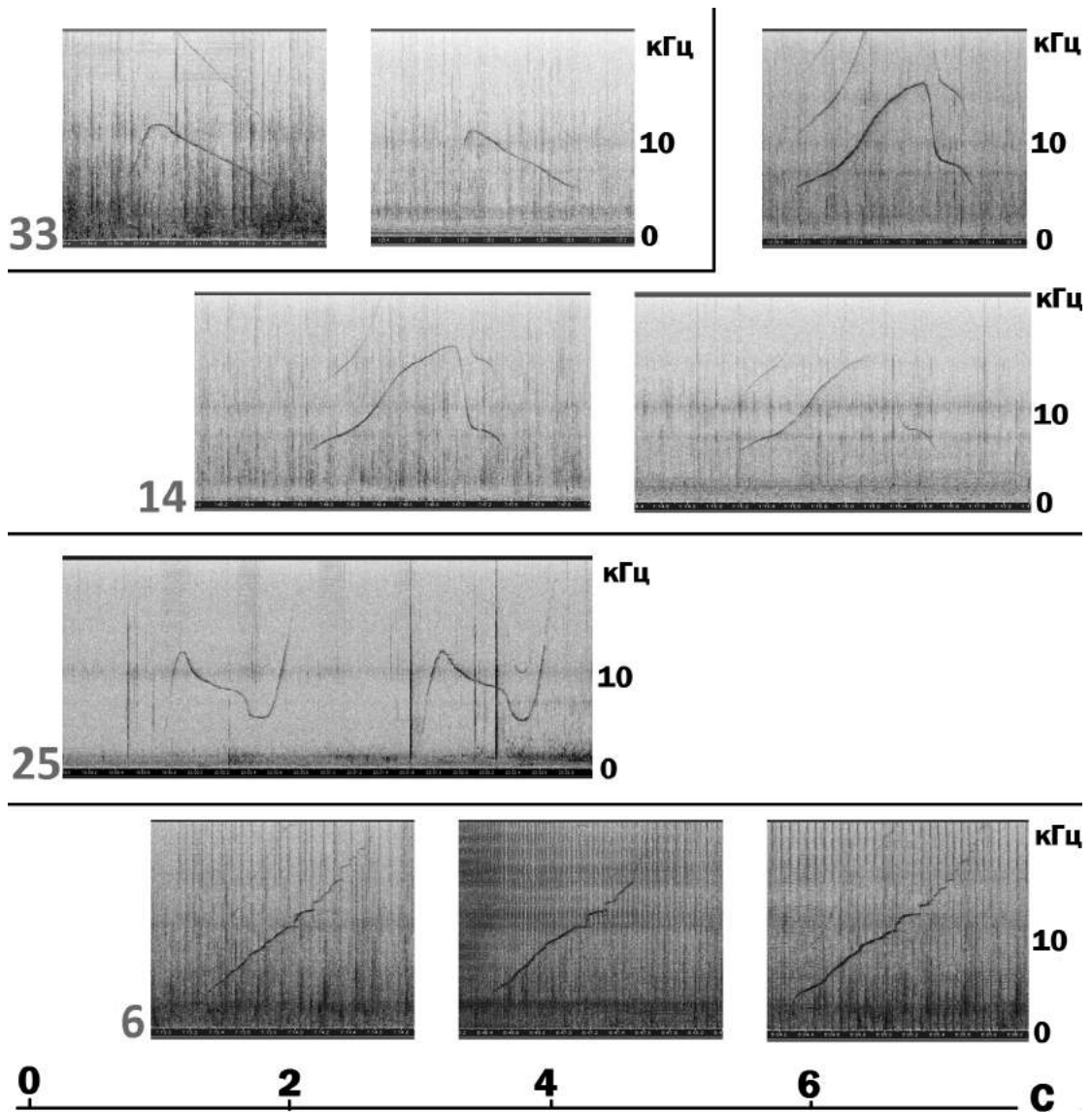


Рис. 2. Примеры «свистов-автографов», зарегистрированных в исследуемой популяции

Fig. 2. Examples of “signature whistles” recorded in the studied population

Для сбора акустических данных использовался стандартный гидроакустический тракт, состоящий из гидрофона, предварительного усилителя, кабеля и наземного усилителя-коммутатора; акустические записи проводились в монофоническом (одноканальном) режиме. В качестве регистрирующего устройства применялся цифровой рекордер ZOOM H1, формат записи PCM (WAV), 16 бит, частота дискретизации 44,2 кГц (диапазон записи – 0,1 - 22,1 кГц). Акустические записи велись как стаци-

records were made in monophonic (one-channel) mode.

ZOOM H1 digital recorder with PCM (WAV) record format, 16 bit, 44.2 khz sampling frequency (recording range – 0.1-22.1 khz) was used as a recording device. Acoustic records were carried out on a permanent basis, from shore as well as from sea using a motor boat and recreational pedal catamarans. The data on

онарно, с берега, так и с моря, с использованием катера и прогулочных педальных катамаранов. В журнал наблюдений по стандартной схеме заносились данные о перемещении дельфинов по акватории, наблюдаемом численном и возрастном составе групп (новорожденные, подростки, взрослые особи), характере поведенческой активности (игра, отдых, охота).

Обработка акустических сигналов проводилась при помощи программы Adobe Audition 1.5 при следующих установочных параметрах: размер блока быстрого преобразования Фурье 256 – 1024 точек, весовая функция Хемминга. Программа позволяет визуализировать обрабатываемые сигналы в спектральном или волновом виде и производить точные замеры их частотно-временных параметров. При сравнении зарегистрированных свистов измерялись следующие параметры: длительность сигнала и его отдельных элементов, а также начальная, конечная, минимальная и максимальная частоты основного тона (рис. 1).

Результаты исследований. Всего с мая 2014 года по декабрь (включительно) 2015 года было проведено 206 дней наблюдений, из них в течение 135 дней велись акустические записи. Общий объем собранного акустического материала составляет 314 часов, всего зарегистрировано 26557 тональных (свистовых) сигналов, качество которых приемлемо для дальнейшей обработки. При анализе записей были определены 206 доминирующих типов свистов. Сходные сигналы, как правило, продуцировались дельфинами в виде последовательностей; общее количество свистов, отнесенных к одному типу (вариаций), могло составлять от нескольких десятков до нескольких сотен. Основываясь на данных, полученных в дельфинариях, можно предположить, что подобные сигналы являются «автографами» конкретных особей (или их «мимикрией», что встречается гораздо реже). (рис. 2).

Частота встречаемости тех или иных типов свистов в течение периода наблюдений могла значительно различаться; были, в частности, отмечены сигналы, зарегистрированные в больших количествах в течение одного дня наблюдений и обнаруженные повторно в записях, сделанных через несколько месяцев (вплоть до года). Для ряда типов была выявлена их устойчивая ассоциация друг с другом в виде групп разного размера.

Количество регистрируемых типов «свистов-автографов» примерно соответствовало числу особей, наблюдаемых в периоды проведения акустических записей.

dolphins moving around in the water, the observable number and age composition of groups (newborns, adolescents, and adults), the character of behavioral activity (play, rest, and hunt) was put into a logbook according to the standard method.

Processing of acoustic signals was carried out using Adobe Audition 1.5 with the following settings: the size of the fast Fourier transformation unit 256 – 1024 points, Hamming weight function. The program allows visualizing processed signals in the spectrum and wave rows and carrying out precise measurement of time-and-frequency parameters. The following parameters have been measured when comparing the recorded whistles: duration of signal and its separate elements as well as initial, end, minimal and maximal frequency of a fundamental tone. (Fig. 1)

Results. From May 2014 to December (inclusive) 2015 there have been 206 days of observations; acoustic recording were made on 135 of those days. Total volume of the collected acoustic materials is 314 hours with a total of 26,557 tone (whistle) signals recorded, the quality of which is acceptable for the following processing. When analyzing records, there were 206 dominating types of whistles determined. As a rule, similar signals were produced by dolphins in the form of consequences, total number of whistles referred to one type (variations) may be from a few tens to a few hundreds. Basing on the data obtained at aquaria, it is fair to assume that such signals are “signatures” of particular individuals (or their mimicry, which is much less often) (Fig. 2).

Frequency of some types of whistles varied wildly during the observation period. There were some signals recorded in large numbers within one day of observations and detected again in the records made several months later (up to one year). For a number of signal types a tolerant association was detected with each other in the form of groups of different sizes.

The number of the recorded types of “signature whistles” approximately corresponded to the number of animals observed during the recording periods.

The largest number of dolphins recorded was during April – June and November – December, likely corresponding to seasonal movements of fish. In July, August and September the number of observed bottlenose dolphins groups and their total number declined. However, during these months there are fishing seine boats present in the waters near the

Наибольшее количество дельфинов отмечалось в периоды апрель - июнь и ноябрь - декабрь, что, возможно, связано с сезонным прохождением рыбы. В июле, августе и сентябре количество наблюдаемых групп афалин и их численность снижаются, однако в эти же месяцы в близлежащей акватории (за пределами Новосветских бухт) отмечается появление рыболовецких сейнеров, за которыми обычно следуют дельфины.

Как уже сказано выше, частота регистрации тех или иных типов «свистов-автографов» значительно различалась в течение сезона наблюдений. Так, 44 типа регистрировались регулярно на протяжении всего периода проведения работ. Можно предположить, что данные типы «автографов» принадлежат резидентным афалинам Новосветской локальной популяции.

Определены 102 типа «свистов-автографов», которые были зафиксированы в достаточных количествах на протяжении одного дня наблюдений, и обнаруженные в акустических записях, сделанных через относительно большой промежуток времени (от нескольких месяцев до года). Возможно, что появление в Новосветской акватории особей-продуцентов данных «свистов-автографов» связано с временным сезонным появлением рыбы, а также с социальной структурой стада.

Наконец, зафиксированы 60 типов «свистов-автографов», которые встречались в акустических записях на протяжении только одного из дней наблюдений. Возможно, что в дальнейшем, при увеличении объема акустического материала, типология подобных сигналов будет уточнена и расширена.

По результатам анализа акустических данных можно отметить некоторые сезонные особенности появления и формирования объединений афалин в Новосветской акватории. Так, в зимне-весенний период (с января по апрель) структуру исследуемой локальной популяции можно охарактеризовать как некое крупное объединение особей, состоящее из отдельных групп. Группы не постоянны, возможен переход особей из одних групп в другие и формирование новых подгрупп.

С мая по июль включительно сообщество рассредоточивается на более мелкие по численности группы.

В августе, сентябре, октябре в акватории отмечались нестабильные группы афалин от 2 до 8 особей.

С ноября по декабрь наблюдается тенденция к формированию более крупного объединения, появляются группы, которые регистрировались в прошлый зимне-весенний период (январь - апрель).

Novosvet harbors; typically these seine boats are followed by dolphins.

As is detailed above, the frequency of some types of “signature whistles” varied significantly during the observation season. Thus, 44 types were recorded regularly during the entire recording period. It is fair to assume that these types of “signatures” belong to the resident bottlenose dolphins of the local population.

There were 102 types of “signature-whistles” identified which were recorded in sufficient numbers during one day of observations, and also detected in the acoustic records made over a long period of time (from several months to one year). Occurrence of the animals producing these “signature whistles” may be associated with temporary seasonal occurrence of fish as well as with the social structure of the pods.

Finally, there were 60 types of “signature whistle” recorded during only one day of observations. We assume that subsequently, when increasing the volume of acoustic equipment, the typology of such signals will be defined more precisely and varied.

The recorded acoustic data indicates some seasonal occurrence and formation of bottlenose dolphin schools near Novosvet. Thus, during the winter-spring period (from January to April) the structure of the local dolphin population may be characterized as a kind of large community of animals consisting of separate groups. The groups are not stable; there is a possibility of individuals crossing-over from one group to another as well as formation of new subgroups.

The community disperses into smaller groups from May to July.

In August, September, October unstable groups of 2-8 bottlenose dolphins have been detected in the area.

From November to December a tendency to form a larger community has been observed, including groups that were recorded during the previous winter-spring period (January-April).

The borders of groups are not stable; transferring of pairs and separate animals from one group to another (regardless of season) is possible.

Discussion. When analyzing the acoustic recordings, it seems that the structure of the local population of bottlenose dolphins is complicated. It is fair to

Границы групп, как правило, непостоянны, возможен переход пар и отдельных особей из группы в группу (независимо от временного сезона).

Обсуждение. При анализе собранного акустического материала складывается представление о достаточно сложной пространственно-временной структуре исследуемой локальной популяции афалин. Можно предположить, что ее основой являются отдельные группы численностью 4–12 особей, которые, в свою очередь, могут создавать более крупные объединения.

Неоднократно наблюдалось появление в акватории групп самок афалин с детенышами; такие группы преимущественно состоят из 2–3 самок и 2–3 детенышей соответственно. Наблюдение подобных материнских групп происходит относительно регулярно, например, - во время массовых охот, т.е. при загоне рыбы в акваторию. В подобных случаях наблюдались достаточно крупные группы, включающие до 8 – 10 самок и их детенышей.

Как уже отмечалось выше, группы афалин достаточно динамичны, четко выраженная граница между ними не наблюдается. Возможен переход отдельных особей и пар из группы в группу, а также объединение нескольких групп в стадо численностью от 20 до 50 особей.

По результатам анализа полученного акустического материала на основании количественной встречаемости соответствующих «свистов-автографов» в акватории были выявлены две характерные группировки дельфинов. Можно предположить, что первая группировка, представленная 162 типами «свистов-автографов», регистрировавшимися в течение от 1-го до 4 дней, состоит из особей, которые посещают акваторию нерегулярно, т.е. являются «транзитными». Вторая же группировка (44 типа «свистов-автографов», регистрировавшихся на протяжении 5–12 дней) – это афалины, которые относительно регулярно заходят в акваторию Новый Свет – Судак независимо от временного сезона и являются «резидентными» особями. Их группы имеют свою территориальную привязку к местности, т.е. индивидуальные участки в акватории – «сердцевинные места», что подтверждает сложную социальную структуру популяции афалин (рис. 3).

Необходимо подчеркнуть, что акустическая регистрация сигналов и визуальные наблюдения велись с нескольких пунктов в границах бухт акватории, реальные же пределы ареала Новосветской локальной популяции афалин могут быть гораздо шире.

assume that its base consists of separate groups of 4-12 animals that may create larger groups.

Multiple occurrences of female bottlenose dolphins with calves have been observed in the area; such groups consist of 2-3 females and 2-3 calves respectively. Observation of such mother/calf groups is being carried out fairly regularly, for example, during mass hunt, i.e. when driving fish into the water area. Relatively large groups including 8-10 females and their calves have been observed in similar cases.

As mentioned above, groups of bottlenose dolphins are dynamic; there is no definite borderline between them. Separate animals may cross over from one group to another, as well as several groups may combine into a school of 20 to 50 animals.

Based on the analysis of the acoustic recording from this study, two distinctive groups of dolphins were identified. The first group is represented by 162 types of “signature whistles” recorded during 1-4 days, consists of animals that came to the area irregularly, i.e. they are “transit”. The second group consisted of 44 types of “signature whistles” recorded during 5-12 days. These are bottlenose dolphins that come to the Novyi Svet – Sudak water area regularly, regardless of season, and are “resident” animals. These groups are territorially bonded to the locality, i.e. they occur in separate parts of the water area which are “home range” places; that is proving complex social structure of population of bottlenose dolphins. (figure 3).

It should be emphasized that acoustic recordings of signals and visual observations have been carried out from several points at the borderlines of the harbors. However, actual borders of the Novosvet local dolphin population habitat may be significantly wider.

As is mentioned above, “signature whistles” are probably used by bottlenose dolphins for identification of individuals in case of separation or combination of groups to determine location of the signal producers, and to maintain unity of a group, etc., i.e. – perform individually recognition and social functions. Our studies prove these ideas. Thus, on August 31, 2015 observations were carried out from point No. 3 (southern side of Kapchik Cape), a group of bottlenose dolphins of 6-8 animals was in the area. Behavioral activity of dolphins was low (resting), type 1 “signature whistles” were recorded. In this case, pulse-tone signals prevailed over whistles, for example, in situations interpreted as “play behavior”.



Рис. 3. Распределение типов «свистов-автографов» по рангу встречаемости

Fig. 3. Distribution of types of “signature whistles” ranked by occurrence

Как отмечалось ранее, вероятнее всего «свисты-автографы» используются афалинами для идентификации особей при разделении и объединении групп, для определения местоположения продуцентов сигналов в море, для поддержания единства группы, и т.д., то есть - выполняют индивидуально-опознавательную и социальную функцию. Наши работы подтверждают подобные представления. Так, 31.08.2015 г. наблюдения велись с пункта №3 (южная сторона мыса Капчик), в акватории присутствовала группа афалин из 6–8 особей. Поведенческая активность дельфинов была низкой (отдых), в акустических записях зафиксирован 1 тип «свиста-автографа». Кроме того, преобладание импульсно-тональных сигналов над свистами отмечалось, например, в ситуациях, трактуемых нами как «игровое поведение».

Выводы. Во всём массиве зарегистрированных тональных сигналов афалин (около 30 тыс. сигналов) доминирующими являлись 206 типов свистов, представляющие собой, по всей видимости, «свисты-автографы» особей, находящихся в акватории в период проведения наблюдений.

Количество зарегистрированных типов «свистов-автографов» примерно соответствовало числу особей, наблюдаемых в периоды проведения акустических записей, что подтверждает основную функциональную роль этих сигналов как индивидуально-опознавательных

Conclusions. Among the whole collection of the recorded tone signals of bottlenose dolphins (about 30 thousand signals) 206 types of whistles dominated. These are apparently “signature whistles” of individuals that stayed in the area during observations,

The quantity of recorded “signature whistles” types approximately corresponded to the number of animals observed when making acoustic records, which proves the main functional role of these signals as individually recognition.

On the basis of estimation of the total number of recorded “signature whistle” types according to the frequency of occurrence and comparison of seasonal dynamics of occurrence of specific types of “signature whistles” two groups were identified.

The first group includes 162 types of “signatures” recorded during 1-4 days. Animals in this group visit the area irregularly, i.e. they are “transit”. The second group (44 types of “signatures” registered during 5-12 days) include animals that come to the Noviy Svet - Sudak area on a regular basis regardless of season, i.e. they are “resident”. “Resident” group of bottlenose dolphins, regularly showing in the Noviy Svet area, consists of separate groups of 4-12 animals that may unite into larger temporary groups.

На основании проведенной оценки общего количества зарегистрированных типов «свистов-автографов» по частоте их встречаемости и сопоставления сезонной динамики появления тех или иных типов «свистов-автографов» определены две пространственно-временные группировки их продуцентов. Первой из них соответствует 162 типа «автографов», зарегистрировавшихся в течение 1–4 дней. Особи, к ней относящиеся, посещают акваторию нерегулярно, т.е. являются «транзитными». Вторая группировка (44 типа «автографов», зарегистрировавшиеся в течение 5–12 дней) включает в себя особей, достаточно регулярно заходящих в акваторию Новый Свет – Судак независимо от временного сезона, т.е. «резидентных». «Резидентная» группировка афалин, регулярно появляющаяся в Новосветской акватории, состоит из отдельных групп численностью от 4 до 1 особей, которые, в свою очередь, могут создавать более крупные временные объединения.

В целом проведенные исследования показывают, что применение акустических методов идентификации афалин (в сочетании с визуальными методами наблюдений) значительно повышает эффективность и точность учета численности, миграций, а также описания пространственно-временной структуры популяций дельфинов данного вида.

The study showed that applying acoustic methods of identification of bottlenose dolphins (in combination with visual methods of observations) significantly increases efficiency and accuracy of determining abundance, migration as well as description of population structure of bottlenose dolphins.

Список использованных источников / References

- Агафонов А.В., Панова Е.М. Индивидуальный репертуар тональных (свистовых) сигналов афалин (*Tursiops truncatus*), содержащихся в дельфинарии в условиях относительной изоляции // Известия РАН Серия биологическая. № 5, 2012., С. 125-135.
- Агафонов А.В., Панова Е.М., Логоминова И.В. Типология тональных сигналов афалин (*Tursiops truncatus*). М.: РОО СММ, 2016., С. 143.
- Белькович В.М. (ред.) Поведение и биоакустика дельфинов М.: ИО АН СССР, 1978, С. 199.
- Белькович В.М. (ред.) Поведение и биоакустика китообразных. М.: ИО АН СССР, 1987. С. 218.
- Caldwell D.K., Caldwell M.C. Individualized whistle contours in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // Nature. V 207, 1965. P. 214-219.
- Caldwell M.C., Caldwell D.K., Tyack P.L. Review of the signature-whistle hypothesis for the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) //Leatherwood S, Reeves R.R. (eds) The Bottlenose Dolphin. Academic Press, San Diego, 1990. P. 199-234.
- Kellogg W.N., Kohler R., Morris N.H. Porpoise sounds as sonar signals //Science. V. 117, 1953. P. 239-243.
- Lilly J. C. Man and Dolphin: Adventures of a New Scientific Frontier. New York: Doubleday, 1961. P. 312.
- Lilly J.C., Miller A.M., 1961. Vocal exchanges between dolphins // Science. V. 134, P. 1873-1876.
- Norris K.S. Whales, dolphins and porpoises. Los Angeles, 1966. P. 432.