

5. Коллективное сознание или рефлекс выживания (М.П. Иванов)



Становится возможным построение бионических систем передачи информации на всех уровнях и особенно в подводной связи. Филогенетические реконструкции трудно проверить в эксперименте, но можно наблюдать акты выживания биологических систем в экстремальных условиях от насекомых до высших млекопитающих, использующих различные формы передачи информации в межвидовой коммуникации.

Ключевые слова: бионика, коммуникации между китообразными, эксперименты с дельфинами.

В самом общем виде моделирование самоорганизации в живой природе развивалась в рамках технической кибернетики, что в конечном итоге оказало сильное влияние на теорию и технику распознавания образов. Сегодня степень технической оснащённости особенно в нанотехнологиях позволяет создавать бионические аналоги на уровне анализа и систем управления.

Рассматривая поведение биологических объектов от саранчовых до китообразных, мы учимся у природы многообразию использования большого количества рецепторов и управляющих систем различного назначения. Знание механизмов поведения животных, обитающих в сложной обстановке, демонстрирует перспективы и возможности программировать поведение автономных автоматов таким образом, чтобы их функционирование стало максимально гибким, адаптивным и предельно целесообразным [1]. Изучение поведения от насекомых до высших животных, использующие язык общения в различных информационных каналах внутри вида или между видами создает благоприятную среду для более углубленного изучения и построения бионических систем передачи и обработки информации.

5.1. «... и не осталось никакой зелени ни на деревьях, ни на траве полевой во всей земле Египетской...»

Это довольно точное описание опустошительного нашествия саранчи (Рис. 5.1). Рой пустынной саранчи может достигать 80 млрд особей и более. Дальность полета до 3000 км, высота полета до 2 км. В зависимости от плотности групп личинок они равиваются либо в стадные (плотность личинок несколько сотен на 1 м²), либо в одиночные формы [2].



Рис. 5.1. Рой пустынной саранчи.

<https://www.youtube.com/watch?v=МТОgUjMcQWk> Мадагаскар борется с худшей за 60 лет чумой саранчи

Процесс развития стадной формы личинок обусловлен интенсивным выделением серотонина (гормон счастья) в центральной нервной системе саранчи. Нарушение функции секреции серотонина приводит к повышенной возбудимости, ускорению обмена веществ. Наиболее частым симптомом серотонинового синдрома является тревожность, беспокойство, чрезмерное возбуждение, а защитной реакцией выживания организма — воз-

никновение рефлексов, направленных на поддержание группового образа жизни [3]. Групповое поведение саранчи зависит от метеоусловий и в большей части перемещение воздушных масс способствует изменению скорости полета роя. Развитие исследований гормонального нарушения и механизмов, их запускающих, создает основу принципиально новых препаратов борьбы с этими насекомыми. Причем особенно важно, что появилась перспектива использования антагонистов серотонина в качестве препаратов, с помощью которых можно было бы контролировать вспышку численности саранчовых.

5.2. Мракобесие или цена научных ошибок

В ходе экспериментов энтомологов на свет появились африканизированные пчелы (гибрид европейской и африканской пчелы). Желание создать суперпчел с более продуктивным медоносным поведением привело к трагическим последствиям (Рис. 5.2).



Рис. 5.2. Агрессивное поведение африканизированных пчел.
<https://www.youtube.com/watch?v=3UcQMqbGqbc&t=293s> 5 самых жутких нашествий насекомых в истории

Продуктивность гибридного вида действительно оказалась лучше, чем у предшественников, но при этом у нового поколения появилась такая склонность к агрессивному поведению, что освободить соты от меда стало невозможным. Неосторожное обращение с новым видом пчел привело энтомологов к случайной потере гибридного роя, а повышенная агрессивность вида для всего живого окружения стала настолько опасна, что привела к гибели нескольких сот людей и животных. Полчища пчел-убийц атаковали настолько плотно, что даже применение огнеметов не спасало от смертельных атак.

По-видимому у нового вида произошло нарушение баланса выработки нейромедиаторов серотонина и дофамина, что и привело к ослаблению адаптивных механизмов противостоять стрессовым ситуациям. При этом выстоять от мнимой угрозы гибридным пчелам помогало только агрессивное поведение. Неосмотрительное вмешательство в эволюцию и создание генетических гибридов, которые могли бы действительно создать экономически выгодные биологические сообщества полезные человеку, могут быть не только бесполезным занятием, но и опасным для человеческого общества в целом. 20-ти дневные особи («стражи улья») являются самыми опасными. Стражи улья атакуют мгновенно любую движущуюся мишень в пределах 5 метров и могут преследовать жертву до нескольких километров [4].

5.3. Биологические сенсоры магнитного поля Земли

Миграционные стаи птиц начинаются тренировочными палетами для обучения молодняка поведению в стае при перелетах на большие расстояния. Возможное объяснение этому феномену, и вполне тривиальное, рефлекторное поведение направленное на дезориентацию хищников (Рис. 5.3). Некоторые птицы мигрируя на большие расстояния преодолевают до 500 км в сутки, летят очень высоко и в разряженном пространстве. Молодняк учится с момента появления на свет. Учится правильному поведению в гнезде, формированию двигательных актов при покидании гнезда, первым полетам и поведению во время полета внутри стаи.



Рис. 5.3. Тренировочные полеты птиц перед миграцией.
<https://www.youtube.com/watch?v=RbbPsuHGtRw> «Танец скворцов» -
зрелищный феномен

Изменение локальной плотности стаи во время тренировочных полетов обусловлено стремлением молодняка скрыться от возможного нападения хищных птиц внутри стаи. В результате облачная структура стаи находится в непрерывном движении. Перелетные птицы менее приспособлены или вовсе не приспособлены к наступающим в осенне-зимний период изменениям условий жизни. Поэтому они дальше улетают от своих мест размножения и в подавляющем большинстве зимуют в более теплых климатических зонах, чем кочующие. У настоящих перелетных птиц, составляющих большинство мигрантов, никогда не наблюдается частичных миграций и частичного зимования в районе размножения. Все они улетают на зиму в теплые климатические зоны. Связано это с тем, что преобладающее большинство настоящих перелетных птиц приобрело приспособленность к жизни только в условиях теплых сезонов года и не может переносить резких изменений среды, наступающих в осенне-зимний период. Перелет в другие части ареала — почти единственное приспособление у настоящих перелетных птиц, которое помогает им избежать отрицательного воздействия неблагоприятных кормовых, температурных и других условий жизни,

наступающих в гнездовой области в зимнее время. Но самой большой загадкой миграционного поведения является механизм ориентации птиц и других животных.

Учитывая все возможные варианты использования набора сенсорных систем, многие исследователи приходят к выводу о существовании магнитных сенсоров. В настоящее время наиболее вероятным сенсором магнитного поля является белок криптохрома, который находится в глазу птиц и других животных. Под воздействием света, белки криптохрома переходят из одной формы в другую, которые отличаются положением неспаренного электрона. Под влиянием магнитного поля меняется ориентация белков криптохрома, что влияет на соотношение этих двух форм [5]. Обнаруженный механизм магнитной ориентации у птиц возможно имеет место и других животных мигрирующие на большие расстояния.

5.4. Миграция, ориентация и коммуникация на море

Миграция сардин одно из самых поразительных явлений на планете (Рис.5.4). Косяк рыбы может достигать фантастических размеров с протяженностью 14 км, шириной в 3 км и в глубину до 30 метров. Плотность в центре настолько высока, что некоторые особи погибают от такого тесного скопления. Каждое лето миллионы сардин мигрируют на нерест. Логика инстинкта проста: путешествие обеспечило данному поколению сардин успешную репродукцию, значит, оно обеспечит ее и их потомкам, и потомкам потомков. Северные акватории, находящиеся вдали от океанических течений, благоприятно влияют на выживание потомства. Именно поэтому уровень репродукции покрывает потери, понесенные от высокой смертности во время миграции.

В процессе исследования этих миграций до сих пор нет однозначного ответа на вопросы навигации, т. е. какой механизм обеспечивает поиск места нереста и механизм ориентации при возврате мальков.



Рис. 5.4. Миграционное поле сардин.

<https://www.youtube.com/watch?v=67Yhut4bCwo&t=13set> Массовая миграция сардины привлекла хищников и дайверов

Конечно это механизмы, обеспечивающие непрерывную хеморецепцию воды и измерение ее температуры, но этого недостаточно при таких огромных расстояниях и колоссальных размерах косяка.

Основные сенсорные каналы анализа среды такие же, как и у большинства животных — это зрение, слух, обоняние, осязание, вкус. Но устроены эти детекторы у рыб иначе, чем у теплокровных животных. Есть у рыб и уникальные рецепторы, которые отсутствуют у наземных животных — это боковая линия, а у некоторых представителей ихтиофауны и сенсоры электрического поля.

Акустическая сенсорная система рыб состоит из лабиринта (внутреннее ухо), представленного тремя полукружными каналами, заполненными жидкостью. В них имеются белые камешки (отолиты), которые вибрируют при воздействии акустических волн. Плавательный пузырь является дополнительным резонатором, а боковая линия позволяет воспринимать недоступные для нашего слуха низкочастотные колебания, т. е. фактически сейсмодетектор. У некоторых рыб эти рецепторы располагаются не только на боковой линии, но и на голове. По-видимому, эти сенсоры и реагируют на градиент изменения давления, что и позволяет рыбам не сталкиваться между собой при движении внутри косяка.

С помощью уникального обоняния рыбы способны анализировать химический состав воды, степень ее насыщенности кислородом и прочие химические параметры. Множество рецепторов чувствительны к изменению давления и температурным колебаниям. Именно эта избыточность различных рецепторов и позволяет выживать многим видам рыб во время миграции. Траектория миграции закладывается в процессе различных факторов эволюции и определяется, прежде всего, климатом на планете, который меняется медленно.

Огромные косяки рыбы не остаются незамеченными и к траектории миграции сардины устремляются птицы, более крупные рыбы, чем мигрирующие, и морские млекопитающие – это китообразные. Зубатые киты устремляются к месту охоты стадом, достигающим до пяти тысяч особей. Иерархия поведения дельфинов во время преследования очень точная, т. к. скорость движения стаи доходит до 35–40 км/час, при этом столкновения невозможны несмотря на непрерывное изменение эшелона для выдоха и вдоха воздуха (Рис. 5.5).



Рис. 5.5. Миграционные скопления зубатых китов с перспективой охоты на сардину. <https://www.youtube.com/watch?v=w7uvVj3Ajq8> ДЕЛЬФИНЫ. Дельфины на охоте поедают сардин. DOLPHINS!

Отсутствие ольфакторного органа (обоняния) у китообразных и плохая освещенность водной толщи привели к развитию нового ор-

гана, обеспечивающего обнаружение и распознавание подводных объектов, а также ориентацию в трехмерном пространстве с помощью акустических сигналов.

Для освещения пространства и решения задач обнаружения и распознавания подводных объектов дельфины излучают сверхширокополосные биполярные ультракороткие импульсы (УКИ) или пакеты УКИ с кодированной времяимпульсной модуляцией (ВИМ). Импульсы имеют частотную полосу, достигающую 200 кГц, при этом спектрально-временные параметры нестационарные и зависят от угла наблюдения. Сонар, использующий УКИ с ВИМ позволяет формировать такие сигналы, которые проходят сквозь слоистые среды (движение в плотной стае в воде насыщенной пузырьками воздуха) с минимальными потерями и повышают помехозащищенность эхолокационной системы от преднамеренных сосредоточенных помех (излучение от соседей сигналов с похожими спектрально временными параметрами).

Ориентация в ближней зоне предположительно происходит с помощью длинных частотно-модулированных (ЧМ) импульсов в диапазоне частот от 2 кГц до 50 кГц (экспериментальных доказательств нет). Предполагается, что такие длинные сигналы с ЧМ дельфины используют во время обмена информацией внутри вида или между видами (прямого экспериментального доказательства не существует).

Преследуя такой огромный косяк рыбы, дельфины используют некие стратегии отлова с помощью организованного поведения всей стаи. От плотного косяка рыбы дельфины отделяют косяк поменьше, окружают его с помощью сети из пузырьков воздуха выпускаемых группой дельфинов и по очереди врезаются в образовавшийся сферический косяк для захвата рыбы. И здесь дельфины используют УКИ с ВИМ для успешной работы в газонасыщенной среде. Дельфины во время этой охоты координируют свои движения так, чтобы косяк рыбы не расходился и был как можно плотнее и ближе к поверхности воды. Координация происходит с помощью вербальной коммуникации и создания таких сигналов, которые дельфины используют для выражения эмоций и передачи информации друг другу.



Рис.5.6. Коллективная охота усатых китов.

<https://www.youtube.com/watch?v=XrjdyT8leI> Невероятные прыжки китов

Стратегия поведения дельфинов касаток и усатых китов отличается от стратегии мелких дельфинов, т.к. размеры этих животных значительно превышают добычу. Рыба превосходит по скорости движения и реакции своих хищников на коротких расстояниях [6]. Поэтому тактика создания сетей из пузырей воздуха и разделение большого косяка рыбы на косяк меньшего размера остается, но на завершающей стадии касатка глушит рыбы мощнейшими ударами хвоста и подбирает уже оглушенную рыбу. Усатые киты глушат мелкую рыбу выпрыгивая из воды и падая на воду так, чтобы удар тела о поверхность воды создавал максимально мощную волну давления, причем прыжок совершают одновременно все участники охоты (Рис. 5.6).

В летнее время когда рыбы рассеяны дельфинам приходится добывать себе пищу в одиночку, разыскивая с помощью эхолокационной системы отдельные экземпляры рыб, ищущих корм или нерестящихся на мелководье (Рис. 5.7).



Рис. 5.7. Охота в одиночку за единичными экземплярами.
<https://www.youtube.com/watch?v=51eJ9O4dLeo&t=48s> Охота дельфина

Биологический сонар дельфинов успешно справляется с задачей поиска и распознавания подводных объектов в сложнейших условиях повышенной реверберации, поверхностного, объемного и придонного реверберационного фона.



Рис. 5.8. Коллективная охота афалин в прибрежной зоне
<https://www.youtube.com/watch?v=LmmeduVsVYk> Умные дельфины охотятся вместе

Более продуктивная охота происходит небольшими стаями с необходимой организацией совместной охоты и синхронного

движения в сторону берега вплоть до выбросов на мелководье (Рис. 5.8) или на пологий берег, подхватывая рыбу на лету или подбирая ее на берегу. И тут эхолокационная система дельфинов работает в условиях повышенных акустических помех, но совместно с зрительной системой.

При охоте стаи дельфинов на мелководье с толстым иловым слоем и рыбой, скрывающейся в иле, стратегия поиска строится на создании «сети» из взмученной илом слоем воды. «Сеть» по окружности полностью замкнута, что и сдерживает рыбу от возможности вырваться из нее (Рис. 5.9).



Рис. 5.9. Коллективная охота в иловых отложениях.

<https://www.youtube.com/watch?v=oYk0jTK56Zg> Как дельфины ловят рыбу

Стратегия такой охоты весьма успешная, так как рыба стремится выйти к поверхности на большой скорости и практически выпрыгивая из воды, что и нужно поджидающим дельфинам. Здесь тоже координация охоты — один или два дельфина создают «сеть», а остальные члены стаи ожидают или подхватывают выпрыгивающую из воды добычу.

Межвидовые игровые сюжеты (Рис. 5.11) очень редкие явления для исследователей [11]. Такие наблюдения, а тем более фотографии демонстрируют и доказывают необычное поведение животных в естественных условиях обитания. Дельфин катается на усатом ките и при этом усатый кит доволен происходящим.

Подставляет собственную голову для дельфина (а); осторожно поднимает голову вместе с дельфином (б), поднимает над водой не только голову, но и тело (в), и поднявшись максимально над водой позволяет дельфину скатиться по собственному длинному телу (г). Дельфин весит 200–300 кг, а усатый кит не менее 20–30 тонн, и тем не менее дружба состоялась. По-видимому, какой то договор о взаимной дружбе и возможно в вербальном виде состоялся.

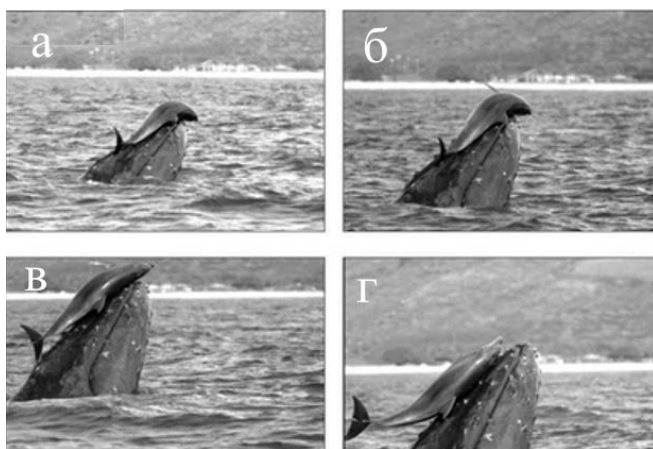


Рис. 5.11. Игровой сюжет межвидовой игры между дельфинами и усатым китом

Ежегодные долговременные наблюдения за репродуктивным скоплением белух у мыса Белужий (Белое море о. Соловецкий) с помощью подводной камеры, проведенные сотрудниками института Океанологии им. П.П. Ширшова показали совершенно неожиданные поведенческие акты, связанные с взаимоотношениями взрослых животных и подрастающего поколения внутри стада (Рис. 5.12).

Подрастающее поколение обучается социальным контактам, актам ухаживания и ритуальным действиям, происходящим во время встреч самцов, которые пришли к мысу Белужий из Арктическо-

го побережья России и самок, которые, как правило, не покидают бассейна Белого моря.



Рис. 5.12. Белое море м. Белужий. Любопытная белуха интересуется видеокамерой

Во время встречи дельфины кружат вокруг совершенно определенного места радиусом 10 метров и поочередно, заныривая трупя головой о песчаное дно. Место касания головы дна во время ритуала из года в год остается постоянным. Конечно, именно отсутствие в Белом море естественных врагов позволило белухам организовать практически единственный «роддомом» для всех белух европейской части Арктики [8]. Аналогичные места обнаружены и других местах скопления репродуктивных стад белух, например, у берегов Канады. За акустическое разнообразие эхолокационного и вербального поведения, белуху прозвали «морской канарейкой».

О коммуникации дельфинов написано много работ, и сейчас никто не сомневается в способностях дельфинов к вербальному взаимодействию между собой, однако за более чем 50-летний период исследований нет четких представлений о том, как организована система их акустического взаимодействия. Трудность состоит в отсутствии широкополосной многоканальной регистрации сигналов (с частотной полосой более 200 кГц) и в отсутствии сценариев лабораторного прямого эксперимента акустического взаимодействия жи-

вотных во время передачи информации друг другу. И прежде чем строить лингвистические модели языка дельфинов необходимо научиться регистрировать качественные биоакустические цифровые записи, точно связанные с передачей информации между животными.

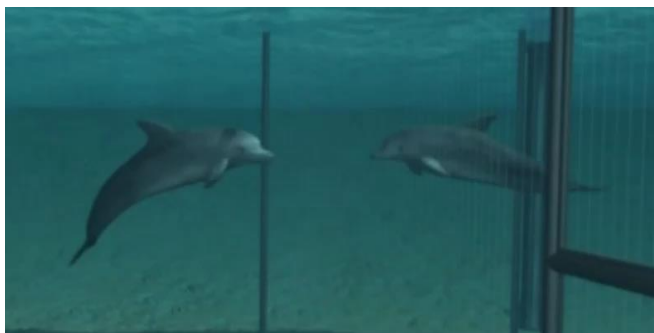


Рис. 5.13. Демонстрация агонистического поведения дельфинов

Очень многие исследователи наблюдали демонстрацию агонистического поведения дельфинов, когда «облаивание» друг друга великолепно слышно на воздухе, а агрессивное поведение отчетливо читается в двигательных действиях нападающих (Рис. 5.13). В данном случае это социальное поведение, связанное с демонстрацией боевых действий между особями. Однако, ситуация вполне невинна, одно животное находится в большей воде (например, арена в цирке), другое в стесненных условиях вольера или отсека, отгороженного сетью. Такие яркие агонистические взаимодействия, как правило, происходят спонтанно и зарегистрировать зачинщика не так легко и не смотря на весьма агрессивные намерения процесс этот вполне дружественный, что подтверждается поведением при открытии калитки и возможностью коснуться друг друга после акустической и двигательной демонстрации ненависти друг к другу. При этом агрессивное двигательное поведение исчезает, как исчезает и акустический контакт. Полученные записи расшифровываются как агрессивное поведение с территориальными претензиями, а не как игровое. Казалось бы, отчетливая ситуация вербального взаи-

модействия, но идентификация сигналов, расшифровка и интерпретация результатов не соответствует наблюдаемому акту. Понятно, что наблюдаемые сигналы это акустические эмоциональные сигналы. Являются ли эти сигналы проявлением шуточного невинного игрового поведения можно узнать, если будут созданы эксперименты с однозначной идентификацией акустического сигнала и двигательного поведения. Необходимо проведение серии экспериментов с накопленной базой данных эмоциональных сигналов, например, с большим зеркалом (реакция на соперника) и демонстрацией изображения на подводном мониторе, полученного с веб-камеры (реакция на неизвестного детеныша) [10], или использование других методик, но с четкой идентификацией двигательного и акустического поведения.

С одной стороны, мы наблюдаем гетерогенность, неоднородность и неоднозначных социальных взаимодействий, а с другой стороны жестко выделенные места репродукции. С одной стороны, нет единого шаблона поведения, кроме ритуального взаимодействия, с другой стороны, социальная структура и обособленность локальных материнских стад обеспечивают гетерогенность всей популяции, что является важнейшим механизмом ее стабильности и механизмом поддержания биоразнообразия региональной экосистемы.

Описанные в этой статье поведенческие акты от насекомых до высших животных далеко не единственные. Инстинкт сохранения вида в целом превращает многих животных в мигрантов, а понимание природы миграции животных, для некоторых государств является ключом к решению важнейших экономических региональных вопросов.

Если феромоны — средства коммуникации насекомых и большинства наземных млекопитающих, то для водных млекопитающих средство коммуникации — это вербальное взаимодействие, т. к. остальные каналы передачи информации либо медленные, либо работают на коротких дистанциях. Доминирующее средство коммуникации определяет язык взаимодействия, но является ли это средством построения речевых конструкций предстоит еще выяснить. Речевые конструкции — это кодированное сообщение, которое требует развитой системы дешифровки. Система дешифровки познает-

ся в процессе воспитания в социуме и конечно каждый социум имеет свою уникальную систему кодирования, но имеющую общие черты для данного видового разнообразия, что и подтверждается дружественными отношениями в игровом поведении усатых и зубатых китов (исключение составляют плотоядные касатки).

У млекопитающих социальная агрессия определяется балансом адреналина и половых гормонов, а у некоторых контролируется корой больших полушарий. У дельфинов белух половозрелые самцы мигрируют вдоль всего северного побережья. Период гона определяется по месту репродуктивного скопления, когда стадо самцов соединяется со стадами самок. Место встречи определяется ежегодными встречами в известных дельфинами местах репродукции с соблюдением необходимого ритуала, который поддерживается старшими (самками). Если самец внедряется в стадо без необходимого в таких случаях ритуального поведения, то такое невежество строго наказывается (у белух и афалин). Неуклюжее знакомство наказывается самцами (случайные наблюдения), драка не на жизнь, а на смерть.

Миграция дельфинов в Черном и Белом морях предполагает существование дельфиньего языка «эсперанто», что особенно важно при длительных сезонных изменениях размеров стаи. И такой язык предполагает и знание языка тела, и особенно важно знание вербального взаимодействия. То, что сейчас наблюдается в экспериментах и предположительно эти эксперименты имеют свойство повторяться, то при качественной регистрации акустических сигналов, в наблюдаемых «речевых» конструкциях будут присутствовать структуры, стоящие из пакетов УКИ с длительность от десятков до сотен миллисекунд с ВИМ с переменным количеством импульсов и переменным законом модуляции в полосе частот от 1 кГц до 600 кГц [10].

В некоторых пакетах встроены частотно-модулированные сигналы, со слабо выраженной частотной модуляцией с дискретной несущей приблизительно 2, 3, 4 и 5 кГц. Назначение этого слабо частотно-модулированного импульса (СЧМИ) внутри пакета предположительно является адресом получателя. Так как адресом может быть несколько особей, то СЧМИ маркированное сообщение, с

идентификацией, что это сигнал коммуникации, так как пакет с ВИМ может быть и эхолокационный пакет. В сигналах, которые регистрируются в условиях лабораторного коммуникационного эксперимента присутствуют пакеты, в которых встроены настоящие частотно-модулированные импульсы (НЧМИ), т. е. с сильно выраженной ЧМ от 10 до 50 кГц. Предположительно такие импульсы извещают коммуникантов от кого исходит сообщение, т. е. являются адресом отправителя. Или на языке этологов — имя.

Изложенная схема построения сигнального сообщения вполне оправдана, т. к. коммуниканты не всегда способны зрительно наблюдать друг друга, особенно это касается моментов поведения во время охоты и особенностей двигательного поведения в условиях полярной ночи. А, если учесть, зависимость спектрально-временных параметров УКИ от угла наблюдения, то инвариантным к изменению угла наблюдения будет именно ВИМ. Т.е. помехозащищённость канала связи между особями в целом обеспечивается многообразием структур с ВИМ и ЧМ с СЧМИ и НЧМИ [11]. Если дополнить это ряд эмоциональными сигналами, то получается вполне законченная вербальная конструкция, которая может быть проверена экспериментально, а с использованием известного закона Зипфа попытаться найти в последовательности вербальных сигналов лингвистическую (информационную) составляющую.

Основная часть экспериментов по исследованию информационной составляющей в вербальных сигналах дельфина основана на ЧМ сигналах [12], игнорируя составные сложные пакеты УКИ с ВИМ с СЧМИ и НЧМИ. И тем не менее, сложные последовательности импульсов с ЧМ в полосе частот от 4 до 20 кГц исследовались на самоподобие информационной последовательности (Дж. Зипф; 1949). Предполагается что, все основные законы научной коммуникации, такие как законы Парето, Лотки, Бредфорда, Зипфа, могут быть обобщены в рамках теории стохастических фракталов [13].

Трудно представить появление работ по классификации эхолокационных сигналов китообразных. Однако, таких работ становиться все больше и больше [14] особенно на основе метода сверточных нейронных сетей [15]. Главная трудность классификации сигналов дельфинов состоит в изменчивости пространственно частотно-временных параметров эхолокационных импульсов в зависимости от

угла наблюдения и изменчивости параметров импульса в процессе адаптивной подстройки сигнала под акустические условия среды и параметров объекта поиска или распознавания. Авторы работы по классификации сигналов с использованием сверточных нейронных сетей разделяют сигналы по видам животных в режиме пассивного мониторинга.

Список литературы

1. *Сачивко В.П.* Очерки бионики моря. Ленинград. Судостроение 1968. 276 с.

2. *Крыжановский О.Л.* Сэр Борис П. Уваров. Полководец противосаранчовых армий // *Природа*. 2001. № 3. С. 61–66.

3. *Michael L. Anstey, Stephen M. Rogers, Swidbert R. Ott, Malcolm Burrows, Stephen J. Simpson.* Serotonin mediates behavioral gregarization underlying swarm formation in desert locusts // *Science*. 2009. V. 323, pp. 627–630.

4. *Ellis, J., and A. Ellis.* 2008. African honeybee, Africanized honeybee, or killer bee, *Apis mellifera scutellata* Lepelletier (Hymenoptera: Apidae). In: J.L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of Entomology* (Vol. 4, pp. 59-66).

5. *Manuela Zapka, Dominik Heyers, Christine M. Hein, Svenja Engels, Nils-Lasse Schneider, Jörg Hans, Simon Weiler, David Dreyer, Dmitry Kishkinev, J. Martin Wild & Henrik Mouritsen.* Visual but not trigeminal mediation of magnetic compass information in a migratory bird // *Nature*. 461, pp. 1274–1277 (29 October 2009). doi:10.1038/nature08528.

6. *Шулейкин В. В.* Энергетика и скорости миграции рыб, дельфинов, китов // *Труды В НИРО [Сборник, посвященный И. И. Месяцеву]*, 1966, 60, 27.[с.1066]. Физика моря. Изд.4 (1968). С.18.

7. *Deakos, M. H., B. K. Branstetter, L. Mazzuca, D. Fertl, and J. R. Mobley, Jr.* 2010. Two unusual interactions between a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in Hawaiian waters // *Aquatic Mammals* 36:121-128.

8. *Белькович В.М.* Белуха. Поведение и биоакустика в природе // В.М. Белькович, М.Н. Щекотов; АН СССР, Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. М: ВНИИСЭНТИ, 1990. 183 с.
9. *Иванов М.П., Бутов С.Н., Леонова Л.Е., Романовская Е.В., Стефанов В.Е.* Апробация лабораторного макета регистрации сигналов дельфинов с расширенной полосой частот сквозного тракта // *Акустический журнал*. 2019. Том 65. № 5. С. 699–707.
10. *Иванов М.П., Толмачев Ю.А., Тулуб А.А., Леонова Л.Е., Романовская Е.В.* Изучение когнитивных функций дельфина (*Delphinapterus leucas*) // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2018. Т. 54. № 3. С. 2017–2019.
11. *Иванов М.П., Бибиков Н.Г., Данилов Н.А., Соколов П.А., Романов Б.В., Красницкий Б.Ю., Стефанов В.Е.* Сравнительная оценка эхолокационных и коммуникационных сигналов дельфинов. // *Ученые записки физического факультета МГУ*, 2020, № 1, 2010903.
12. *McCowan, B. Hanser, S.F. and Doyle, L.R.* Quantitative tools for comparing animal communication systems: information theory applied to bottlenose dolphin whistle repertoires // *Animal Behaviour*, 57:409–419, 1999.
13. *Иванов С.А.* Стохастические фракталы в Информатике // *Научно-техническая информация. Сер. 2*. 2002. № 8. С. 7–18.
14. *Doyle, L.R., McCowan, B., Johnston, S. and Hanser, S.F.* Information theory, animal communication, and the search for extra terrestrial intelligence // *Acta Astronautica*, 68: 406–417, 2011.
15. *Wuyi Yang, Wenyu Luo and Yu Zhang.* Classification of odontocete echolocation clicks using convolutional neural network. // *The Journal of the Acoustical Society of America* 147, 49 (2020); <https://doi.org/10.1121/10.0000514>.