

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Исмаила Мохамеда Эльсайед Эльсайед Али

**Морфологические и поведенческие различия между косатками
(*Orcinus orca*) рыбоядного и плотоядного экотипов Дальнего
Востока России
по специальности 1.5.12 Зоология**

Диссертация Исмаила Мохамеда Эльсайед Эльсайед Али посвящена биологии одного из наиболее многочисленных и широко распространённых видов морских млекопитающих – косатке (*Orcinus orca*). Этот вид, являющийся высшим звеном в океанских цепях питания, распространён в обоих полушариях преимущественно в умеренных и субполярных регионах. Многочисленные исследования этого вида в последние десятилетия, показали высокое разнообразие экологических типов косаток. Так в настоящее время в северном полушарии выделяют 5 экотипов косаток (из них в северной части Тихого океана 3 экотипа: резидентные, транзитные и оффшорные и 2 экотипа в Атлантике) и 4 экотипа в водах Антарктики. Такое разнообразие объясняется широтой экологических ниш, занимаемых косаткой, и отсутствием конкурентов в виде хищников сравнимого ранга в океанских экосистемах. В России исследования косаток были начаты в 1999 г. на Камчатке, и постепенно распространились на весь дальневосточный регион.

Для стороннего или неопытного наблюдателя косатки всегда будут выглядеть «на одно лицо», однако учитывая, что экологические ниши транзитных (плотоядных) и резидентных (рыбоядных) косаток коренным образом различаются, важным является и правильная оценка численности, распределения и в итоге распознавание этих экотипов в природе.

Появилась реальная потребность в четких критериях выделения экотипов косаток в дальневосточных морях России на основании внешних различий, поскольку оба экотипа косаток могут одновременно встречаться в одних и тех же районах. Современная ситуация осложняется еще и тем, что транзитные косатки или Т-тип, занесены в Красную книгу РФ, а резидентные (R-тип) косатки остаются потенциально промысловым видом, для изъятия которого не требуется согласования с МПР России, а квоты на добывание этого вида выдает ВНИРО. Таким образом, вполне возможно изъятие краснокнижных Т-типа косаток вместо многочисленных косаток R-типа.

Симпатрические популяции дальневосточных косаток занимают разные экологические ниши, и доказательство различий и возможности точной идентификации косаток, принадлежащих к различным экотипам, были одной из основных задач представленной диссертации. Кроме того, проведенное автором сравнение социальных структур рыбоядных и плотоядных экотипов косаток в северо-западной части Тихого океана имеет ключевое значение для понимания их уникальных экологических ролей, поведения, использования

пищевых ресурсов и соответственно разработке необходимых мер охраны и управления популяциями.

Использованное автором сравнение социальных структур двух экотипов косаток, и современных методов, таких как искусственные нейронные сети для морфологической идентификации этих экотипов, помогут объяснить влияние каждого из них на окружающую среду что, в свою очередь, важно для разработки эффективных стратегий управления и сохранения популяций косаток, и способствует устойчивости морских экосистем в целом.

Таким образом, актуальность выбранной автором темы очевидна, и без сомнения она имеет научную и практическую значимость.

В диссертации Мохамеда Исмаила изложены результаты многолетних исследований косаток, проводимых в дальневосточных морях России, в которых автор принимал непосредственное участие. Подчеркну самые важные, на мой взгляд, характеристики и достижения данного исследования.

1. Диссертантом впервые использовал нейронные сети и методы машинного обучения, включая автоматическое машинное обучение (AutoML), для дифференциации экотипов косаток (R-тип и T-тип) на основе их морфологических признаков, таких как форма спинного плавника и седловидного пятна.
2. Полученные результаты направлены на сокращение разрыва между наукой об охране природы и машинным обучением, а также будут способствовать использованию подобных подходов для изучения других видов.
3. Впервые была детально изучена социальная структура двух экотипов в российских водах, продемонстрированы основные характеристики их социальных сетей, а также выявлены различия в рационе питания,

Структура и содержание диссертации. Структура и объём диссертации.

Текст диссертации изложен на 139 страницах и состоит из следующих разделов: введение, обзор литературы, материалы и методы, три главы (в каждой представлены результаты и их обсуждение), а также заключение, выводы, благодарности, список литературы и приложения. В тексте диссертации представлено 9 таблиц и 22 рисунков. Список литературы включает 146 источников, из которых 15 — на русском языке.

В главе **ВВЕДЕНИЕ**, Мохамед Исмаил обосновывает актуальность выбранной темы, оценивает состояние изученности проблемы и степень новизны проводимых им исследований. В этой же главе диссертант формулирует цели и задачи, которые он поставил перед собой в процессе работы над диссертацией, и в конце главы, обосновывает теоретическое и практическое значение результатов работы.

Глава 1. **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**, В обзоре литературы достаточно полно описаны имеющиеся данные по биологии и рассмотрены основные аспекты экологии косаток (*Orcinus orca*), включая различия в их экотипах,

морфологии, поведении и социальной структуре. Оценено текущее состояние изученности рыбацкого и плотоядного экотипов косаток, включая их экологические особенности, репродуктивную изоляцию и адаптации к среде обитания. Рассмотрены современные подходы к изучению косаток с использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта.

Глава 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА. В этой главе диссертант описывает сроки и районы исследований, а также методы сбора материала, которые включали опросы населения, учеты китообразных с судов, проведенных вдоль побережья Восточной Камчатки, Курильских и Командорских островов, острова Сахалин, Чукотки и в Охотском море, наблюдений из базовых лагерей с выходами в море в летние месяцы в Авачинском заливе, на Командорских островах и Чукотке.

В своем анализе диссертант использовал 1084 фотографии (по 542 для каждого экотипа). На фотографиях рыбацких косаток (R-тип) было представлено 250 особей, а на фотографиях плотоядных косаток (T-тип) — 197 особей.

Модель **Машинного обучения (ML)** для Анализа выбранных фотографий была реализована с использованием двух платформ машинного обучения: Edge Impulse и Google Cloud AutoML. Edge Impulse. Были приняты стандартные настройки разделения набора данных: 80% фотографий каждого экотипа использовались для обучения, 10% — для валидации, а остальные 10% — для тестирования модели.

Для изучения социального поведения автор использовал частоту контактов для каждой диады и оценивал с использованием стандартного индекса связи Simple Ratio Index (SRI). Значения индекса SRI варьируют от 0 до 1. Значения индекса SRI были рассчитаны с помощью программы SOCPROG 2.9 (Whitehead, 2009), которая широко используется в исследованиях социальной организации китообразных и других млекопитающих.

Кроме того, в диссертационной работе автор анализировал различия в питании двух экотипов косаток основываясь как на визуальной регистрации фактов охоты косаток, так и на генетическом анализе останков жертв, собранных в местах кормления и определении видов рыб по чешуе.

В 3-й главе **«РАЗЛИЧИЕ ЭКОТИПОВ ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ»** диссертант анализирует результаты, полученные с помощью искусственной нейросети. Модель на платформе Edge Impulse была обучена с использованием 80% (434) фотографий для каждого экотипа, оставшиеся 20% (108) были специально выделены для тестирования. После этапа обучения модель достигла точности в 90,8%. В ходе тестирования она успешно идентифицировала 91,7% фотографий косаток R-типа и точно распознала 94,4% фотографий косаток T-типа. В целом, модель достигла точности в 93,06%.

На платформе Google Cloud модель достигла средней точности 98,17%, что гарантирует, что фотография, классифицированная как R-тип (или T-тип), действительно является R-типом или T-типом).

Настоящее исследование поддерживает дифференциацию этих экотипов, подтверждая стабильные морфологические различия между ними. Очевидно, что различие между рыбадными (R-тип) и плотоядными (T-тип) косатками следует учитывать при проведении исследований численности, оценке влияния человека или изучении других биологических аспектов.

Четвертая глава диссертации называется **«РАЗЛИЧИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЯХ МЕЖДУ РЫБАДНЫМИ И ПЛОТОЯДНЫМИ ЭКОТИПАМИ КОСАТОК»**, и посвящена выяснению особенностей ассоциации между косатками R и T- экотипов.

В анализ социальных связей рыбадных косаток была включена 398 особь, и только 27 особей плотоядных косаток из Авачинского залива, что вполне соответствует более низкой численности этого экотипа у восточной Камчатки. С использованием программы SOCPROG 2.9 и индекса ассоциации Simple Ratio Index (SRI) были рассчитаны значения индексов ассоциации между особями. Среднее максимальное значение индекса ассоциации составило 0,82 ($SD = 0,24$). Кластерный анализ, проведенный с использованием модульности сообществ этого экотипа, разделил популяцию на 39 социальных кластеров разного размера и полового состава. Размер каждого кластера варьировался от 1 до 27 косаток, со средним значением 10.21 ($SD = 6.76$) косаток.

Анализ ассоциаций между экотипами косаток показал, что большую часть времени они проводят в группах. Однако рыбадные и плотоядные косатки значительно различаются по размерам кластеров. Такие длительные ассоциации характерны как для транзитных (плотоядных), так и для резидентных (рыбадных) косаток северо-восточной части Тихого океана.

При сравнении структуры ассоциаций между рыбадными и плотоядными косатками удалось выявить различия по индексу ассоциации между особями который у плотоядных косаток показывает более низкое максимальное значение 0,77 ($SD = 0,32$) по сравнению с рыбадными 0,82 ($SD = 0,24$). Но у обоих экотипов индекс ассоциации внутри кластеров составляет более 0,5, что говорит о высокой степени ассоциации внутри кластеров.

В главе 5 **«РАЗЛИЧИЯ В ПИТАНИИ МЕЖДУ РЫБАДНЫМИ И ПЛОТОЯДНЫМИ КОСАТКАМИ»** автор рассматривает различия в использовании экологических ниш рыбадных и плотоядных косаток и указывает, что дифференциация экологической ниши приводит к снижению конкуренции между экотипами. Кроме того, специализация на определенном типе добычи позволяет охотиться на нее более эффективно, так как для охоты на морских млекопитающих и рыбу требуются противоположные морфологические и поведенческие адаптации.

Интересна описанная автором возможность, определённой экологической диверсификации внутри экотипов косаток. Например, группа косаток, охотившихся на гренландских китов в Ульбанском заливе, имела уникальный гаплотип OST, не зафиксированный в северо-восточной части Тихого океана. Этот гаплотип был впервые описан в исследовании по географическому

распределению гаплотипов полных митохондриальных геномов косаток Тихого океана. Склонность косаток с этим гаплотипом к охоте на китов, скорее всего передавалась по материнской линии через социальное обучение.

Завершает работу Мохамеда Исмаила **«ЗАКЛЮЧЕНИЕ»** в котором диссертант подводит итоги исследования различий между двумя экотипами косаток в северо-западной части Тихого океана, подтверждающее их морфологические, социальные и пищевые особенности.

В данной диссертации впервые применены методы машинного обучения, включая автоматическое машинное обучение (AutoML), для дифференциации экотипов косаток (R-тип и T-тип) на основе их морфологических признаков: формы спинного плавника и седловидного пятна. Освоенные автором методики и полученные результаты позволят сократить разрыв между наукой об охране природы и технологиями машинного обучения, а также будут способствовать использованию подобных подходов для изучения других видов. Кроме того, впервые была детально изучена социальная структура двух экотипов косаток в российских водах, продемонстрированы основные характеристики их социальных сетей, а также выявлены различия в рационе питания. Анализ ассоциаций в популяциях разных экотипов выявил существенные различия в их социальной организации, что отражает адаптацию к различным экологическим условиям и типам питания. Рыбоядные косатки имеют большее разнообразие социальных связей, в то время как плотоядные косатки демонстрируют высокие значения индекса связи, что свидетельствует о частых контактах с одними и теми же особями, хотя эти контакты не отличаются от случайных. Исследование особенностей питания рыбоядных и плотоядных косаток показало, что косатки, обитающие в дальневосточных морях России, различаются по своей пищевой специализации, что коррелирует с определёнными гаплотипами митохондриальной ДНК.

Кроме того, в ходе исследования не было зарегистрировано ни одного случая, когда одни и те же косатки охотились бы и на рыбу, и на морских млекопитающих, что свидетельствует о строгом разделении пищевых ниш между экотипами. Данное исследование иллюстрирует важность культурных традиций и социального обучения в дифференциации экологических ниш у китообразных. Передающаяся от матери к детенышам специализация к охоте на определенную добычу позволяет косаткам разных экотипов избегать пищевой конкуренции и приобретать морфологические и поведенческие адаптации, облегчающие охоту на конкретный тип жертвы.

На основании вышеизложенного автор предлагает, что наличие пищевой специализации у косаток дальневосточных морей России следует учитывать при разработке мер охраны и устойчивого использования их популяций, а также при расчете потребляемой ими биомассы разных типов добычи в моделях морских трофических сетей.

В заключение хочу подчеркнуть, исследование Мохамед Исмаила выполнено в трудных полевых условиях, что, несомненно, вызывает уважение

к автору как полевому исследователю и заслуживают высокой оценки. В целом, диссертация представляет собой завершённый научный труд и несмотря на то, что русский язык является неродным для диссертанта, работа написана простым, выразительным языком. Я не обнаружил никаких спорных утверждений или ошибок, на которых стоило бы заострить внимание. Замеченные мною мелкие недостатки рукописи носят в основном редакционный характер. Тем не менее, эти замечания, конечно, не снижают высокой оценки данной работы.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.5.12 Зоология (по биологическим наукам), а также критериям, определённым п.п. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова». Диссертационная работа оформлена согласно требованиям «Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова».

Таким образом, соискатель Исмаил Мохамед Эльсайед Эльсайед Али заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.12 Зоология.

Официальный оппонент:

Доктор биологических наук,

Ведущий научный сотрудник лаборатории гидробиологии

КФ ТИГ ДВО РАН

БУРДИН Александр Михайлович

тел.: +

e-mail:

« 25 » января 2025 г.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
03.02.08 – Экология. Биология (Биологические науки)

Адрес места работы:

Россия, 683000, Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6

Камчатский филиал федерального

государственного бюджетного учреждения науки

Тихоокеанского института географии

Дальневосточного отделения Российской академии наук

(КФ ТИГ ДВО РАН)

Телефон

E-mail: