

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Стратаненко Екатерины Алексеевны «Биоразнообразие, биогеография и роль офиур (*Echinodermata, Ophiuroidea*) в донных сообществах морей российской Арктики», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16. – Гидробиология

Актуальность темы диссертации

Российская Федерация имеет самую протяженную береговую линию вдоль арктических морей, северные берега нашей страны омывают Белое, Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря.

Необходимость фаунистических исследований в арктических морях на сегодняшний день более чем актуальна, поскольку в наземных и подводных недрах современной Арктики локализованы колоссальные по своим запасам месторождения углеводородов. Шельфовая зона арктических морей интенсивно осваивается, здесь проводятся крупномасштабные геологоразведочные работы и добыча полезных ископаемых. Северные моря давно уже служат одним из важнейших источников морепродуктов: млекопитающие, рыбы, беспозвоночные (ракообразные моллюски, голотурии, морские ежи, офиуры и т.д.), водоросли и т.д. Одним из весьма обычных и широко распространённых организмов зообентоса являются офиуры или змеевостки (*Ophiuroidea*), которые относятся к типу иглокожих (*Echinodermata*).

Уже давно известно, что иглокожие очень чувствительны к изменениям солёности, температуры и щелочности воды, а также к влиянию приливных течений, и поэтому, распределение офиур, их количественная представленность и видовое разнообразие несомненно коррелирует с вариациями гидрологических показателей их местообитаний. Обнаружение офиур в составе пищевых комков демерсальных рыб и крабов позволяет предполагать, что они и сами по себе могут быть важным кормовым объектом для ряда представителей ихтиофауны и ракообразных. Кроме того, офиуры, морские ежи и другие известные содержащие животные и их отложения имеют важное значение в стратиграфии, позволяющей обнаруживать нефтяные и газовые месторождения.

Таким образом, изучение фауны офиур представляется сейчас крайне необходимым для познания донной фауны и экосистем морей российской Арктики в целом.

Предмет исследования

Видовой состав, биоразнообразие, биогеография, распространение и условия обитания офиур в морях российской Арктики, темпы роста и продукционные характеристики змеевосток.

Положения, выносимые на защиту

1. Биоразнообразие офиур в морях российской Арктики формируется преимущественно за счёт бореально-арктических видов, и заметно уменьшается при продвижении с запада на восток.
2. Наибольший вклад в общую биомассу донных сообществ также вносят в основном бореально-арктические виды, наиболее часто регистрируемые в рационах бентосоядных рыб.
3. Для офиур, обитающих в арктических морях России свойственна большая (до 30 лет) продолжительность жизни, невысокие темпы роста и близкая к другим высокоширотным представителям зообентоса скорость оборота биомассы (около $0,3 \text{ год}^{-1}$).

Цель и задачи исследования

Основной целью работы Е.А. Стратаненко являлось описание и анализ биоразнообразия, биогеографического состава и роли офиур в донных сообществах морей российской Арктики.

Для достижения поставленных целей ею решались следующие задачи: 1) выявление видового состава фауны офиур северных морей России; 2) анализ распространения и условий обитания каждого вида офиур в пределах российской Арктики; 3) определение биогеографической принадлежности обнаруженных в Арктике видов офиур; 4) расчёт показателей биоразнообразия и таксономического своеобразия класса Ophiuroidae в исследуемых морях; 5) оценка темпов роста и продолжительности жизни массовых видов змеевосток в отдельных районах Арктики; 6) Оценка вклада офиур в суммарную биомассу зообентоса, их продукционные характеристики и значимость в питании бентосоядных рыб.

Выводы

1. Фауна змеевосток исследуемых морей Российской Арктики насчитывает 26 видов, которые, по современной классификации, относятся к 6 отрядам, 11 семействам и 16 родам. Наибольшим разнообразием и таксономической представленностью офиур характеризуется Баренцево море, наименьшим – Белое.

2. В пределах исследуемого района Арктики закономерно выделяются две группы фаун – западная (моря Белое, Баренцево, Карское и Лаптевых) и восточная (Восточно-Сибирское и Чукотское моря). Наибольшее сходство на видовом уровне наблюдается между Карским морем и морем Лаптевых. Фауна Белого моря является обеднённой фауной Баренцева моря и значительно отличается от нее вследствие своего ограниченного сообщения с последним.

3. Змеевостки в северных морях России представлены 11 биогеографическими группами, из которых наиболее обычны и повсеместно встречаются преимущественно бореально-арктические формы. Виды с атлантическим типом ареала, включая бореальные, локализованы преимущественно в западном секторе Арктики. Тихоокеанские бореальные виды, западнее Восточно-Сибирского моря (пролив Лонга) не встречаются. Единственный элемент арктической группы (*Ophiostratus striatus*) характерен только для глубоководных районов моря Лаптевых.

4. Наиболее высокие биомассы в рассматриваемых морях формируют следующие виды: *Gorgonocephalus arcticus*, *G. eucnemis*, *Ophioscolex glacialis*, *Ophiacantha bidentata*, *Ophiotholis aculeata*, *Ophioceten sericeum*, *Ophiura robusta*, *O. sarsii*, *Ophioleura borealis* и *Stegophiura nodosa*.

5. Для линейного роста исследованных офиур характерна ускоряющаяся фаза, длящаяся на протяжении первых 6-8 лет с последующим замедлением. Наиболее быстрый рост и наименьшая продолжительность жизни отмечена для популяций, которые обитают в зонах наиболее сильного влияния тёплых атлантических вод.

6. Использование уравнения Гомперца более предпочтительно для моделирования роста изученных офиур по сравнению с уравнением Берталанфи. Вычисления параметров последнего часто дают неадекватные результаты в виде завышенных значений теоретически предельных размеров, что делает невозможной оценку максимальной продолжительности жизни по величинам второй производной. Примерно 10 % исходных для вычислений измерений не поддаются анализу по рекуррентным зависимостям методом Форда-Валфорда.

7. Биоресурсы офиур в Баренцевом море воспроизводятся примерно с такой же

скоростью, что и биоресурсы всех остальных гидробионтов, потребляемых бентосоядными рыбами. Величины P/B -соотношения, полученные для популяций из Баренцева моря, показывают, что змеевостки продают органическое вещество в количествах, равных среднегодовой биомассе, примерно за три года. Значимость офиур как кормового ресурса для донных рыб может определяться их массовой представленностью в зообентосе при отсутствии других объектов питания.

Структура и основное содержание работы

Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов, списка литературы (включает 206 наименований, из которых 76 на иностранных языках) и приложения (26 рисунков). Текст работы изложен на 191 машинописной странице, содержит 67 рисунков и 16 таблиц.

В **Первой** главе «**Состояние изученности фауны офиур морей российской Арктики**» на основе литературных данных приводятся морфологические характеристики и систематическая структура класса Ophiuroidae. Проанализированы опубликованные отечественные и зарубежные источники, посвящённые, в том числе, видовому составу, распространению и биогеографии офиур, встречающихся в пределах морей российской Арктики. Рассмотрены основные публикации по количественному распределению бентоса в арктических морях России с целью выявления наиболее значимых в донных сообществах видов офиур.

Вторая глава «**Физико-географическая характеристика района исследования**» состоит из пяти подразделов, в которых на основе литературных данных и опубликованных результатов гидрологических исследований приводится информация о рельфе дна рассматриваемых морей, донных осадках, течениях, а также о распределении основных водных масс, придонных температуры и солёности.

В **третьей** главе «**Материалы и методы**» приведён объём объектов исследования, методы камеральной обработки и статистического анализа.

В **четвёртой** главе «**Фауна офиур в морях российской Арктики**» приводятся данные о 26 видах офиур российской Арктики, относящихся по современной классификации к 6 отрядам, 11 семействам и 16 родам. Было установлено, что из 26 видов офиур, представленных в фауне исследуемых морей, 12 являются редкими, поскольку их находки обнаружены только в Баренцевом море (*Gorgonocephalus lamarckii*, *Ophiocomina nigra*, *Ophiothrix fragilis*, *Amphipholis squamata*, *A. torelli*, *A. turmanica*, *Amphiura borealis*, *Ophiocten gracilis*, *O. affinis* и *Ophiura albida*), Чукотском море (*Amphiophiura pachyplax*) и море Лаптевых (*Ophiostriatius striatus*). Оставшиеся 14 видов обитают сразу в нескольких морях.

В пятой главе «**Биоразнообразие офиур и биогеографические категории**» приведён список видов офиур, встречающихся в каждом из исследуемых морей. Наибольшее число видов характерно для Баренцева моря – 22, наименьшее – для Белого (5 видов). В Карском море обитает 12 видов змеевосток, в море Лаптевых – 13, в Восточно-Сибирском и Чукотском морях – по 10.

Наибольшее число родственных видов и родов в семействах и отрядах наблюдается в Чукотском море, значение индекса таксономического своеобразия для него было наименьшим. В Белом море каждый из отрядов, семейств и родов представлен только одним видом, отсутствие родственных связей на всех таксономических уровнях позволяет рассматривать его фауну как наиболее своеобразную, отличную от других по таксономической структуре.

В главе приведены данные, которые в дальнейшем позволят определить центры

происхождения офиур. Расчётные значения видовой насыщенности указывают на то, что фауну Баренцева и Чукотского морей на видовом уровне определяют преимущественно автохтонные (аборигенные) виды. В Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях аллохтонные тенденции (вселение видов из соседних морей с более богатой фауной) практически уравнивают автохтонные. В Белом море однозначно преобладают аллохтонные тенденции формирования фауны, что подтверждают и соотношения общего числа видов и родов (самый низкий показатель РК). Высокие значения родового коэффициента, полученные для Баренцева и Чукотского морей, в противоположность остальным, скорее всего, обусловлены близостью этих водоёмов к атлантическому и тихоокеанскому центрам видеообразования, соответственно.

Доказано, что элементы бореальной фауны локализованы в Баренцевом (атлантические виды) и Чукотском морях (тихоокеанские виды), тихоокеанские бореальные формы также встречаются в Восточно-Сибирском море (пролив Лонга). Тропическо-бореальные и субтропическо-бореальные виды в наши моря проникают из Атлантики и отмечаются только в западных районах Баренцева моря, где наиболее сильно проявляется влияние тёплых атлантических вод.

По конфигурации видовых ареалов фауна змеевосток морей российской Арктики разделяется на 11 биогеографических групп. Основную долю офиур (28%) формируют широко распространённые бореально-арктические виды. Высокобореально-арктические, бореальные и субтропическо-бореальные виды представлены в равном соотношении (по 20%), на долю арктических, субтропическо-арктических и тропическо-бореальных видов приходится по 4% всего видового списка змеевосток. Виды с атлантическим типом ареала составляют 40% общего количества видов, тогда как доля тихоокеанских элементов не превышает 12%.

В шестой главе «Рост массовых видов офиур в морях российской Арктики» приводятся результаты вычислений параметров роста и максимальной продолжительности жизни для пяти массовых видов змеевосток, обитающих в арктических морях.

По результатам исследования было обнаружено, что в пределах Баренцева моря разные виды в популяциях змеевосток в среднем живут около 10 лет. В сибирских морях – Лаптевых и Восточно-Сибирском – продолжительность жизни офиур составляет более 15.

Темпы роста в значительной степени отличаются как в разных морях, так и между видами. При этом практически для всех видов характерна быстрая фаза роста в течение первых 6-8 лет, после чего их рост замедляется.

В седьмой главе «Структурно-функциональная роль офиур в донных сообществах» показано, что наиболее высокая доля биомассы офиур в сообществах характерна для участков дна, расположенных вблизи юго-восточных берегов архипелага Шпицберген (от 40 до 85%). Локально высокие биомассы змеевосток отмечаются в северо-восточной части Баренцева моря (около 60%), в Карском море – в пределах желоба Святой Анны (более 80%) и Новоземельского желоба (40-50%), к северо-востоку от архипелага Северная Земля (до 100%).

Офиуры зачастую встречаются в рационе бентосоядных рыб. Безусловно, для всех северных морей, где нет промысловых ихтиоресурсов, практическая, да и теоретическая значимость данного факта представляется несущественной. Однако для Баренцева моря, которое является одним из самых рыбопродуктивных морей в северо-восточной Атлантике, внимание к этому вопросу должно быть повышенным, особенно после всеобщего признания негативного влияния рыбопромысловых траплей на донные

сообщества.

По литературным данным зависимости доли офиур в рационах дальневосточных камбал от летней температуры воды на глубине 50 м показывают, что этот показатель на 70-75% обусловлен вариациями температуры воды. Исходя из этого, предварительно можно заключить, что в более тёплых водах камбалы потребляют офиур в меньших количествах, а в холодных – в больших. И причиной этого может быть повышенная потребность рыб как холоднокровных животных в карбонате кальция, который быстро растворяется в холодных водах, и медленно – в тёплых. В холодных водах именно офиуры могут служить бентосоядным рыбам безопасным (многие известковые губки ядовиты), легкодоступным и широко распространённым источником карбоната кальция.

В ходе исследования было обнаружено, что скорость оборота биомассы офиур в Баренцевом море в среднем составляет 0,297. Данное значение, особенно с учётом статистических ошибок, достаточно близко к Р/В-соотношению, полученному для всего зообентоса Баренцева моря в целом, и свидетельствует о том, что биоресурсы офиур в водоёме воспроизводятся примерно с такой же скоростью, как и биоресурсы всех остальных гидробионтов, потребляемых бентосоядными рыбами. Таким образом, можно предположить, что змеевостки являются не случайным компонентом в рационе питания рыб. Поэтому в дальнейшем следует уделять большее внимание оценкам количественной и видовой представленности офиур в донных сообществах при рыбохозяйственных и общеэкологических мониторинговых исследованиях.

Научная новизна результатов диссертационной работы

На основе имеющегося коллекционного материала (фонды Зоологического института Российской академии наук), собственных экспедиционных сборов и литературных данных уточнён и детально изучен видовой состав офиур морей российской Арктики, построены карты распределения находок каждого вида, рассмотрены и изучены закономерности распределения змеевосток в зависимости от условий обитания и биogeографической принадлежности. Впервые проведена разноплановая оценка биоразнообразия офиур для исследуемого региона, установлены аллохтонные и автохтонные тенденции в формировании фауны змеевосток северных морей России. Рассчитаны параметры и темпы роста нескольких массовых видов. Выявлена тенденция увеличения продолжительности жизни и замедления темпов роста при переходе из субарктических районов (Баренцево море) в арктические (Лаптевых и Восточно-Сибирское моря). Выявлены виды, вносящие существенный вклад в биомассу донных сообществ. На основе рассчитанных параметров роста получены величины Р/В-соотношений (отношение продукции к биомассе) для популяций офиур из Баренцева моря как наиболее рыбопродуктивного водоёма российской Арктики.

Личный вклад диссертанта

Е.А. Стратаненко принимала активное участие во всех этапах выполнения диссертационного исследования: анализ литературы; работа с коллекционным материалом; сбор фактического материала в экспедициях; таксономическая идентификация собранных коллекций; анализ полученных данных и обобщение результатов; подготовка текстов публикаций; презентация устных и стендовых докладов; формулирование выводов и основных положений, выносимых на защиту; написание текста, редактирование и макетирование тома диссертации.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Район исследования включал в себя шесть морей российской Арктики: Белое, Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Видовые списки офиур,

обитающих в северных морях России, составлены по результатам анализа коллекционных сборов офиур, хранящихся в лаборатории Морских исследований ЗИН РАН. Для работы также привлекался материал, собранный и обработанный лично автором (экспедиции 2017 и 2019 гг.). При составлении окончательного списка видов для рассматриваемых морей учитывались данные отчётов Института Аляски США по Чукотскому морю. Вследствие того, что в северную часть моря Лаптевых вклинивается глубоководный желоб Садко (глубины более 3000 м), был также частично использован материал из сопредельных глубоководных районов Арктики. Общий объём использованного в работе материала охватывает период исследования Арктики с 1870 г. по настоящее время (более 100 лет). Работа базируется на многолетних исследованиях с 1870 г. по настоящее время, в том числе и при непосредственном участии автора (2017 и 2019 гг.), и в сумме составляет около 2700 станций отбора бентосных проб.

Для изучения роста и продолжительности жизни *Ophiacantha bidentata*, *Ophiora robusta*, *O. sarsi* и *Ophiocten sericeum* использовался коллекционный материал Зоологического института Российской академии наук (ЗИН РАН). Для анализа роста было проанализировано 192 экземпляра, из которых 57 – *O. bidentata* (26 из Баренцева моря и 31 из Лаптевых), 27 – *O. robusta*, 29 – *O. sarsi* (9 из Баренцева моря, 10 из моря Лаптевых и 10 из Восточно-Сибирского моря), 26 – *O. sericeum* и 53 – *S. nodosa*.

Материалы настоящего исследования были изложены на 10 конференциях, в том числе и международных

По теме диссертации автор опубликовал 12 работ (7 статей и 5 тезисов), из которых 4 статьи – в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus и рекомендованных ВАК.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Результаты, полученные в ходе исследования, существенно расширяют современные знания о формировании биоразнообразия, закономерностях распределения и структурно-функциональной роли офиур (вклад в общую биомассу сообществ и производственные характеристики) в экосистемах северных морей России. Представленные в работе сведения могут быть использованы при мониторинговых исследованиях функционирования экосистем арктических морей и будут полезны студентам вузов и колледжей при изучении курсов по зоологии, гидробиологии и экологии

Замечания по диссертационной работе

1. Статистические методы оценки роста удовлетворяют современным требованиям, но, к сожалению, на мой взгляд, объём анализируемых данных не репрезентативен (мало данных). И почему то для анализа роста использовались змеевхвостки с разными размерами диска? Если это касается разных видов, то понятно; а, если одного, то для большей достоверности нужно сравнивать особи с равными параметрами диска.

2. Оппонентом указано на незначительные стилистические ошибки.

Заключение (выводы о работе)

Данные по морфологии, систематике и экологии офиур Арктических морей РФ могут дополнить учебные курсы морской экологии и гидробиологии и быть использованы в учебном процессе при подготовке аспирантов и студентов по соответствующим профилям специальностей.

Цель и задачи работы сформулированы четко и ясно. Выносимые на защиту положения отражены в поставленной цели и решаемых задачах. Объем обработанного материала и методы, с помощью которых автор получил данные, вынесенные им на защиту, не оставляют сомнения в достоверности представляемых на защиту положений.

Автореферат оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями, хорошо структурирован и дает представление о диссертации как о законченном научном продукте, в котором цель и задачи исследования хорошо стыкуются с выводами. При решении всех вопросов автор проявил знание современных методов исследований, широту кругозора по избранной теме и показал способность к обобщению разнопланового фактического материала. Диссертация Е.А. Стратаненко актуальна, интересна как с научной, так и с практической стороны и соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16. – Гидробиология.

Официальный оппонент:

Кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории гидробиологии
Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Тихоокеанский институт географии Дальневосточное отделение Российской академии наук

Вадим Георгиевич Степанов

07.02.2022 г.

Почтовый адрес: 683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

Тел.: +7 (914) 786 65-90

E-mail: vgstepanov@inbox.ru

Подпись В.Г. Степанова заверяю.

Вед.спец. по кадрам КФ ТИГ ДВО РАН

А.Р. Мизинина

