

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ
Кафедра зоологии и эволюционной экологии животных

Заведующий кафедрой
д-р. биол. наук, профессор
С.Н. Гашев

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистра

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОЙ
СРЕДЫ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ НА ЖАБЕРНЫЙ
АППАРАТ, ПЕЧЕНЬ И РЕПРОДУКТИВНУЮ СИСТЕМУ МОРСКОГО
ЕРША *SCORPAENA PORCUS* L.

06.04.01. Биология

Магистерская программа «*Зоология позвоночных*»

Выполнил работу
студент 2 курса
очной формы обучения

Чернов Вячеслав Сергеевич

Научный руководитель
докт. биол. наук, доцент

Селюков Александр Германович

Рецензент
докт. биол. наук, доцент

Жигилева Оксана Николаевна

Тюмень
2020

АННОТАЦИЯ

с. 71, табл. 5, рис. 3, библи. 126, прил. 4

В представленной работе исследовано морфофункциональное состояние жаберного аппарата, печени и репродуктивной системы морского ерша (*Scorpaena porcus* L.) из трех бухт города Севастополь: Балаклавской, Казачьей и Стрелецкой. Также дан обзор на текущее состояние вод в исследованных бухтах. В ходе гистологического анализа было выявлено, что особи, отловленные в Стрелецкой бухте, имеют большее количество патологий внутренних органов, чем обитающие в Балаклавской и Казачьей бухтах, была выявлена динамика уменьшения количества патологий в органах репродуктивной системы самок с возрастом. Полученные данные подтверждаются результатами ранее опубликованных исследований.

Ключевые слова: черноморская скорпена, гистологические патологии, жабры, печень, гонады.

ABSTRACT

The presented work examined the morphofunctional state of the gill apparatus, liver and reproductive system of the sea ruff (*Scorpaena porcus* L.) from three bays of the city of Sevastopol: Balaklavskaya, Kazachya and Streletskaya. An overview of the current state of the waters in the bays studied has also been given. In the course of histological analysis it was revealed that individuals caught in Streletskaya bay have more pathologies of internal organs than those living in Balaklavskaya and Kazachya bays and dynamics of decrease of pathologies in organs of reproductive system of females with age were revealed. The data obtained are confirmed by the results of previously published studies.

Key words: Black Sea scorpena, histological pathologies, gills, liver, gonads.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	7
1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В ИССЛЕДУЕМЫХ БУХТАХ.....	7
1.1.1. БАЛАКЛАВСКАЯ БУХТА	9
1.1.2. КАЗАЧЬЯ БУХТА	14
1.1.3. СТРЕЛЕЦКАЯ БУХТА	17
1.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМЕЙСТВА <i>SCORPAENIDAE</i>	18
1.2.1. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И АРЕАЛ ВИДА <i>SCORPAENA PORCUS</i>	19
1.3. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНОВ РЫБ	22
1.3.1. СТРОЕНИЕ И ГИСТОПАТОЛОГИИ ЖАБЕРНОГО АППАРАТА РЫБ..	23
1.3.2. ПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕЧЕНИ РЫБ.....	28
1.3.3. ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РЫБ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....	31
1.3.4. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЯИЧНИКОВ	33
1.3.5. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕМЕННИКОВ	34
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	37
2.1. МЕТОДИКА ОТБОРА И ФИКСАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ..	37
2.2. ПОДГОТОВКА ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ.....	38
2.3. АНАЛИЗ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ.....	38
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	40
3.1. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЧЕРНОМОРСКОЙ СКОРПЕНЫ	40
3.1.1. СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОМОРСКОЙ СКОРПЕНЫ В КАЗАЧЬЕЙ БУХТЕ ..	40
3.1.2. СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОМОРСКОЙ СКОРПЕНЫ В БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЕ	43
3.1.3. СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОМОРСКОЙ СКОРПЕНЫ В СТРЕЛЕЦКОЙ БУХТЕ	45
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ	47

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СОДЕРЖАНИЕ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ В ТРЕХ РАЙОНАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА	68
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СРЕДНЯЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД ТРЕХ ИССЛЕДОВАННЫХ БУХТ	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СПОРЫ ПАРАЗИТОВ В ООЦИТАХ ЧЕРНОМОРСКОЙ СКОРПЕНЫ, ОТЛОВЛЕННОЙ В БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЕ	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. СПОРЫ ПАРАЗИТОВ В ООЦИТАХ ЧЕРНОМОРСКОЙ СКОРПЕНЫ, ОТЛОВЛЕННОЙ В БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЕ	71

ВВЕДЕНИЕ

Черное море – это уникальная экосистема, которая в последние десятилетия страдает от большой антропогенной нагрузки, включающей промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы [Rudneva, Petzold-Bradley, p. 189; Рубцова, с. 146]. Для того, чтобы получить точные данные о загрязнении воды, нужно учитывать не только сведения о количественном и качественном составе загрязнителей воды и грунта, но и о состоянии гидробионтов, на которых эти загрязнители прямо воздействуют. Уже разработано немало методов оценки состояния гидробионтов и количество этих методов увеличивается с каждым годом [Комплексная оценка качества..., с. 124; Миронов, с. 207].

Система внутренних органов рыб – это оптимальный индикатор загрязнения окружающей среды, характера и степени воздействия на организм различных внешних факторов. Например, жабры, как орган дыхания рыб, являются первой и основной мишенью растворимых в воде токсикантов. В связи с этим происходят их патоморфологические изменения, что в свою очередь вызывает нарушения ряда физиологических процессов и приводит к нарушениям структуры дыхательной поверхности [Рустамов, Касимов, Рагимова, с. 185; Сафиханова, Оруджева, Рустамов, с. 63; Integration of biological effects..., p. 113].

Репродуктивная система рыб не менее чувствительна к изменениям окружающей среды. Ответная реакция – это замедление гамето- и гонадогенеза и, как следствие, удлинение срока полового созревания, приостановка или преждевременное прекращение нереста, а в наиболее критической ситуации начинается резорбция значительного количества ооцитов, вступивших в период вителлогенеза и дегенерация гонад.

Печень выполняет в организме множество функций, одна из которых – детоксикация различных веществ, то есть она оперативно реагирует на внешние

воздействия, что служит хорошим индикатором для оценки общего физиологического состояния организма.

Объектом для нашего исследования был выбран морской ерш (*Scorpaena porcus* L., 1758), так как он в достаточной мере отвечает требованиям, предъявляемым к биоиндикаторам: хорошо изученная биология, повсеместное распространение в исследуемом водоеме, относительная оседлость [Салмова, Журавлева, с. 551; Королева, Симчук, с. 75]. Также морской ерш – конечное звено трофической цепи и обитает он в придонных слоях, что очень удобно для исследования.

Цель данной работы – оценить характер и степень влияния хронического загрязнения водной среды Севастопольских бухт на жаберный аппарат, печень и репродуктивную систему морского ерша.

В задачи работы входило:

1. Изучить цитоморфологические параметры жаберного аппарата черноморской скорпены в Казачьей, Стрелецкой и Балаклавской бухтах;
2. Проанализировать влияние состояния окружающей среды на гистопатологические показатели печени скорпены;
3. Провести анализ репродуктивных показателей, анатомических и гистологических аномалий гонад;
4. Дать оценочную характеристику загрязнения бухт на основании полученных данных состояния внутренних органов морской скорпены.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В ИССЛЕДУЕМЫХ БУХТАХ

Черное море является частью бассейна Атлантического океана. С помощью пролива Босфор это море соединяется с Мраморным морем. А благодаря проливу Дарданеллы оно соединяется с Эгейским и Средиземным морями. Керченским проливом Черное море связывается с Азовским морем. С севера в море глубоко «врезается» наикрупнейший полуостров – Крымский. По поверхности этого моря проходит водная граница между Европой и Азией.

В отличие от других морей мира Черное море крупнее по площади. Его площадь занимает 422 000 км². При этом протяжённость моря с севера на юг – 580 километров, а средняя глубина – 1240 метров (максимальная глубина – 2210 метров). Черное море отличается от других морей практически полным отсутствием жизни на глубинах более 150–200 метров. На таких глубинах можно встретить лишь анаэробных бактерий. Такое явление объясняется насыщенностью глубинных слоёв воды сероводородом.

Чёрное море – крупнейший меромиктический водоём. Меромиктическое море означает, что здесь присутствуют слои воды, которые не перемешиваются друг с другом. А именно, в Черном море слои воды делятся конкретно на поверхностный, где вода слабосоленая и богатая кислородом, по температуре близкая к воздуху, и глубинный, где вода солёная, без кислорода и с относительно постоянной температурой. Эти слои разделены промежуточным или пограничным водным пластом, который расположен на глубине от 30 до 100 метров. Такой слой называют ХПС, что означает холодный промежуточный слой. Такое название он получил по причине более низкой температуры в нем, нежели в глубинных водах. К тому же, на глубине 150–200 метров в Чёрном море есть хемоклин – слой резкого

изменения гидрохимических параметров. Здесь расположен переход между кислородной и сероводородной областями.

Черное море богато сероводородом. Им наполнено около 87% вод этого моря. Сегодня есть относительно общепризнанное мнение, что это соединение в Чёрном море образуется в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, а также резко выраженной стратификации воды и слабого вертикального обмена [Леин, Иванов, с. 19].

Касательно температуры воды в Черном море, то в летние месяцы вода здесь у берегов прогревается до температуры 25–28°C, а в центре моря и у поверхности до 23–24°C. В глубине моря температура сохраняется 8,67°C (до 150 метров). Еще глубже, она повышается до 9°C. В зимние месяцы температура поверхности воды в южных районах моря колеблется в пределах 12–13°C, а у северных берегов может опускаться до нуля. Воды Черного моря, обычно, не замерзают полностью. Однако, в суровые и продолжительные зимы на северной части моря вполне может появиться береговой припай. Это происходит не чаще одного раза в несколько десятков лет [Тамайчук, с. 40].

Черное море уже давно является объектом изучения многих ученых мира. Это море подвержено негативному влиянию человека: стоки канализационных бытовых отходов, мусор, нефтяные пятна, браконьерский лов и многое другое. За этими факторами следует: уменьшение видового состава, изменение соотношения видов, сокращение численности отдельных видов рыб, в том числе и промысловых. Такие последствия побудили ученых обратить пристальное внимание на изучение ответных реакций рыб на загрязнение морских вод токсикантами [Биогеохимические механизмы формирования..., с. 5].

Оценка экологического состояния морских экосистем по реакциям ее обитателей по сравнению с пресноводными объектами имеет определенные трудности. К этим трудностям можно отнести их пространственную и временную изменчивость, а также присутствие нескольких путей (прямых и

непрямых), по которым загрязнители могут воздействовать на морскую биоту. Но, несмотря на это, морские обитатели являются относительно оптимальными биоиндикаторами. Хозяйственная деятельность человека, включающая в себя: промышленность, сельское хозяйство, рыболовство, туризм, разработку нефтяных и газовых месторождений, прибрежную коммунальную инфраструктуру и морской транспорт, оказывает огромное влияние на морских обитателей. Частая эксплуатация населением морских ресурсов неизбежно ведет к загрязнению морей и океанов тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, радионуклидами, пестицидами, хлор- и фосфорорганическими соединениями. Следовательно, ведет к ухудшению качества водоемов и истощению их запасов. Стресс могут вызывать различные химические, физические и биологические факторы, оказывающие неблагоприятное воздействие на морских обитателей и, прежде всего, на рыб [Руднева, 2013, с. 69].

1.1.1. БАЛАКЛАВСКАЯ БУХТА

Балаклавская бухта «врезается» в сушу на 1,5 километров. Эта бухта шириной от 128 до 425 метров и глубиной 12,5 метров. Наибольшая глубина здесь составляет почти 34 метра. Балаклавская бухта окружена крутыми скалами, что дает ей защиту от ветров и волнения. Касательно температуры воды в бухте, то в летний период она составляет 27°C, а в зимний период 7°C. Соленость воды в зимне-весенний период снижается до 14‰ за счет таяния снега и выпадения осадков. В летние месяцы она составляет 18‰ [Попов, Ковригина, Лисицкая, с. 119]. Первая комплексная экологическая оценка была проведена здесь в июле 1992 года. На берегах бухты расположен древний город Балаклава. Город, являясь туристической базой и курортной зоной, увеличивает влияние на бухту антропогенной нагрузки [Ломакин, Попов, с. 212]. А также, вследствие удобного расположения бухты, она

используется как яхтенная марина, что не может не отражаться на экосистеме. Как правило, загрязняющие воду вещества распределены неравномерно. Все зависит, от точек сброса стоков, распределения городов вдоль береговых линий, а также портов и пути морского транспорта. Поэтому, колебания уровня загрязнения, к примеру, нефтепродуктами, в одном месте бухты отличаются крупным диапазоном: от нижних показателей предельно-допустимых концентраций (0,05 мг/л) до 10 ПДК и выше, а в другом месте вполне могут отсутствовать вовсе. Это было отмечено во многих исследованиях [Коршенко, с. 66; Хлорорганические ксенобиотики..., с. 68]. Балаклавская бухта, как и Стрелецкая, является зоной с высокой загрязненностью хлорорганическими соединениями [Малахова, с. 72]. Иногда загрязнение видно невооруженным глазом, в виде поверхностных пятен. Например, в прибрежной зоне Гераклеийского полуострова были обнаружены такие пятна. Эти пятна отличаются мутностью, повышенной температурой, соленостью, а также рядом других гидрохимических параметров. Считается, что они вызваны негативным влиянием глубоководного выпуска сточных вод в акваторию бухты [Сезонная динамика содержания..., с. 64].

За немалое количество времени, изучая и оценивая состояние вод бухты Балаклавская, были определены две наиболее загрязненные области: ее кутовая часть и участок, локализованный у оголовка выпуска сточных вод города Балаклава. В этих зонах зафиксирована значительная мутность и высокая концентрация взвеси и растворенной органики, а также признаки нефтяного загрязнения. Максимальное содержание именно нефтяных продуктов найдено в местах стоянки судов и у причалов [Поле мутности и оценка..., с. 254]. В 2018 году был проведен анализ на содержание тяжелых металлов в водах Балаклавской бухты. Ученые пришли к выводу, что распределение концентраций по дну акватории неравномерно, а также отметили, что основное накопление микроэлементов находится в северной части акватории, где и происходит промышленный сток и сток реки

Балаклавки. Помимо этого, накопление микроэлементов было отмечено в районе выхода коммунальных сточных вод, который расположен в центральной части восточного берега бухты [Куриная, Гуров, Котельянец, с. 326]. Столь уникальное распределение обусловлено рядом факторов: местом и характером источников загрязнения, динамикой вод, гранулометрической дифференциацией вещества и геохимическими характеристиками элементов [Котельянец, с. 85].

В другом исследовании учеными обнаружены фенолоксиляющие микроорганизмы, что указывает на присутствие фенолов. Наличие фенолов в воде объясняется процессами биodeградации нефтепродуктов и последующим перемещением их в воду вместе с береговыми стоками. Даже среднее содержание здесь нефтепродуктов (4,5 мг/г) на порядок выше фонового уровня. Были отмечены самые загрязненные районы: районы выпуска ливневого стока, выпуск сточных вод г. Балаклава и акватории завода «Металлист». Касательно донных осадков в этих точках, то здесь они сильно загрязнены кадмием, свинцом и медью [Мезенцева, Мальченко, с. 337; Евстигнеева, Танковская, с. 110].

Еще в 2013 году учеными были отмечены металлы, проявляющие наличие статистически значимой корреляции с содержанием органического углерода в донных отложениях. К таким металлам относят: цинк, мышьяк, стронций, свинец, хром, медь. Изучение территориального распределения тяжелых металлов позволило выделить зоны повышенного содержания данных микроэлементов в Балаклавской бухте. Такими зонами являются: порты, причалы, береговые промышленные и городские комплексы [Овсяный, Котельянец, Орехова, с. 67; Влияние геохимических характеристик..., с. 316]. Эти данные подтверждаются и многолетними исследованиями. Например, сравнивая 2005 и 2015 года по содержанию тяжелых металлов в донных отложениях, было выявлено, что такие металлы как свинец, хром, цинк, медь, мышьяк, стронций преобладают. Но при этом, среднее содержание свинца в пробах 2015 года уменьшилось почти в 1,5 раза

по сравнению с 2005 годом. Объясняется это тем, что этот металл является наиболее характерным техногенным загрязнителем, связанным с функционированием подводного флота, деятельность которого в настоящее время в Балаклавской бухте отсутствует. Однако, среднее содержание кобальта, меди, стронция незначительно увеличилось по сравнению с содержанием этих элементов в 2005 году [Динамика состава и уровня..., с. 149]. В целом, состояние воды в бухте оценивается как удовлетворительное [Экологический мониторинг..., с. 158].

В моменты наибольшей антропогенной нагрузки избыточный поток органического вещества в донные отложения ведет к интенсивному расходованию кислорода на процессы его окисления. Окисление кислорода, в свою очередь, определяет развитие окислительно-восстановительных условий в донных отложениях, что сказывается на реакциях с участием растворенных форм железа в верхнем слое. А также на процессах сульфатредукции в нижних слоях донных отложений [Органическое вещество и окислительно-восстановительные..., с. 49]. Накопление органического вещества приводит к перестройке в сообществе бентоса (снижение видового разнообразия, численности и др.). Это подтверждается результатами, полученными в ходе наблюдений за изменением структуры бентосного сообщества в бухте [Орехова, Овсяный, Гуров, с. 184]. По данным 2018 года была отмечена динамика уменьшения содержания органического вещества в донных отложениях Балаклавской бухты. Это можно объяснить изменением антропогенной нагрузки со стороны прибрежного населения. К тому же, по сравнению с другими бухтами региона, в Балаклавской содержание органических веществ в донных отложениях в 2–3 раза ниже. Несмотря на это, загрязнение Балаклавской бухты коммунальными, ливневыми и промышленными стоками ведет к образованию областей с локальным переизбытком органического вещества. Это в свою очередь, может оказать негативное влияние на экологическое

состояние морской среды, вызывая структурные перестройки в сообществе макрозообентоса [Органическое вещество и гранулометрический..., с. 531].

Оценку количества загрязняющих веществ, которые содержатся в Балаклавской бухте, проводят регулярно. Один из последних таких анализов был проведен в 2016 году (Таблица 1).

Таблица 1

Количество загрязняющих веществ по всем выпускам за 2015–2016 гг.

[Лукина, Крохмаль, с. 786]

Загрязняющее вещество	Количество вещества, т/год		ПДК для культурно-бытового водопользования мг/л	ПДК морских вод для рыбохозяйственного водопользования, мг/л
	2015 г.	2016 г.		
Железо	0,028	0,030	0,3	0,05
Нитриты	0,190	0,227	3,3	0,08
Хлориды	44,865	52,975	350,0	11900
Сульфаты	19,190	21,584	500,0	3500
Нитраты	1,677	1,889	45,0	40,0
Фосфаты	0,406	0,360	3,5	2,15
Азот аммонийный	0,105	0,119	2,0	0,5
ХПК	3,029	3,576	30,0	Не нормируется
Взвешенные вещества	2,499	2,835	Фон +0,75	Фоновые значения
Минерализация	166,742	194,874	1000	-
БПК ₅	1,011	1,319	4,51	3,0
Нефтепродукты	0,025	0,031	0,3	0,05

Статистический анализ необходимо проводить ежегодно по всей акватории города Севастополь, чтобы проследить динамику загрязнения вод.

1.1.2. КАЗАЧЬЯ БУХТА

Казачья бухта находится в северо-западной части Гераклеийского полуострова, а именно в 2-х километрах к востоку от мыса Херсонес и растянута в меридиональном направлении с юга на север. Бухта растянута вдоль береговой линии на 3,3 километров. Наибольшая ширина бухты составляет 1,1 километра, а глубина на выходе до 20,5 метров, в центральной части 10–12 м. Касательно температуры воды, в зимний период она составляет 7°C, в летние месяцы 27°C. Соленость воды составляет 17–18‰.

Такие факторы, как: высокое видовое разнообразие ихтиофауны, большое количество охраняемых видов, нерест и нагул значительного числа видов рыб являются весомыми аргументами, чтобы придать акватории бухты Казачья природоохранный статус. Особенно это актуально в настоящее время, когда чистота и уникальность данной бухты находится под угрозой. Богатство Черного моря, и Казачьей бухты в частности, является крайне привлекательным для браконьеров и туристов [Болтачев, Карпова, с. 23].

На сегодняшний день, Казачью бухту можно назвать самой чистой среди бухт города Севастополя. Эта бухта считалась идеалом для сравнения ее экологического состояния с другими Севастопольскими бухтами. На период 2009–2015 гг. было установлено, что в Казачьей бухте уровень органического вещества, соответствующий условно-чистым акваториям, сохранялся без изменений, тогда как состав донных отложений все же изменялся. Ранее он был представлен в основном черным илом и запахом сероводорода, а в 2015 году наблюдался нехарактерный запах и перегнившая органика [Кирюхина, Миронов, с. 38; Соловьева, Тихонова, 2018, с. 199]. Сравнивая бухту Песочную и Казачью по химическому составу перифитона, который был собран с обрастаний гидротехнических сооружений в рекреационной части Севастополя, было выяснено, что данный показатель в б. Песочной содержит относительно большее количество белка и липидно-углеводородного комплекса, нежели в б. Казачья. Это говорит об

экологически более благополучной обстановке в Казачьей бухте [Муравьева, Миронова, с. 144]. Также по содержанию ртути и полихлорированных бифенилов, которые являются очень токсичными и способны концентрироваться в органах морских организмов, донные осадки Казачьей бухты являются наиболее чистыми среди других бухт г. Севастополь [Малахова, Костова, Плотичина, с. 115]. Сезонное распределение органического азота в водах Казачьей бухты имеет определенную закономерность: максимальные концентрации зимой, низкие весной и летом, а затем снова повышение концентраций к осени [Руднева, Залевская, Шайда, с. 275; Гидрохимическая характеристика отдельных бухт..., с. 110].

Конечно, несмотря на то, что Казачья бухта остается относительно чистой, в сравнении с другими бухтами Севастопольской акватории, в связи с нарастающей антропогенной нагрузкой эта бухта также находится под угрозой. В последние годы, здесь осуществляется интенсивное строительство жилых домов и коттеджей, функционирует огромное количество частных пансионатов. Застройка прибрежной области способствовала росту нагрузки на ее акваторию. Заодно с канализационными и ливневыми стоками, которые обычно попадают в морскую воду в неочищенном виде, вносятся и органические вещества, а именно нефтяного происхождения. В последнее время резко увеличилось и эвтрофирование, вызывающее летом массовое развитие зеленой водоросли кладофоры *Cladophora sericea*. Это в свою очередь, приводит к ухудшению условий обитания гидробионтов, в том числе рыб, вплоть до их гибели [Тихонова, Котельянец, Волков, с. 75].

Поэтому воды Казачьей бухты вызывают значительный интерес у ученых для оценки изменений качества донных осадков и уровня их загрязнения с течением времени, чтобы иметь возможность прогнозировать и анализировать состояние воды, и разрабатывать новые методики для сохранения экологически чистого состояния вод бухты. Известно, что загрязняющие вещества, такие как хлороформ-экстрагируемые вещества (ХЭВ), нефтяные углеводороды (НУ), тяжелые металлы (ТМ), распределены

в донных отложениях неравномерно. Отмечено постепенное увеличение содержания мышьяка в донных отложениях. За 13 лет оно увеличилось в 4,5 раза, но остается малым по сравнению со средним значением в донных осадках Черного моря [Тихонова, Котельянец, с. 613]. Интересно, что анализ территориального распределения поллютантов по акватории демонстрирует закономерность, что с удалением от источника загрязнения, а именно от берегов, качество донных отложений улучшается, и их состояние на отдаленных областях бухты характеризуется как очень благополучное [Соловьева, Тихонова, 2017, с. 103; Беляева, с. 48].

В 2018 году было выявлено 3 основных источника загрязнения вод растворенным органическими веществами искусственного происхождения и нефтепродуктами: нефтяной терминал на мысе Манганари, а также два источника, которые расположены на берегах – жилой массив Казачка и дельфинарий. Антропогенное содержание растворенного органического вещества здесь в 1,3–1,6 раза превышала природную норму данного элемента, а концентрация нефтепродуктов в 1,5–2,2 раза была выше по сравнению с концентрацией, характерной для открытой акватории Черного моря [Ломакин, Чепыженко, с. 48; Органические вещества..., с. 241]. На сегодняшний день, из общей площади в 181,3 га восточного массива б. Казачьей планируемая многоэтажная застройка занимает 82 га. А это значит, что уровень антропогенной нагрузки будет только расти и возможно, спустя несколько десятков лет, уже нельзя будет утверждать, что бухта Казачья самая чистая среди бухт г. Севастополя. И такая тенденция уже прослеживается.

При рассмотрении состояния акватории Гераклеийского полуострова в районе глубинных стоков, то ситуация здесь является уже экологически неблагоприятной по содержанию как биогенных элементов, так и нефтепродуктов. Для приведения повышенных концентраций нефтепродуктов до уровня ПДК потребуется до 3,2 суток [Иванов, Катунина, Совга, с. 62].

В 2019 году была проведена оценка состояния вод бухты Казачья. Было отмечено, что содержание органического углерода за последнее десятилетие увеличилось на 35% и превышает уровень накопления углерода в сопредельной портовой акватории, вследствие роста антропогенной нагрузки [Овсяный, Орехова, с. 92]. Другими учеными было показано, что в придонном слое температура и соленость в бухте Казачья варьировались в широких пределах [Распределение полей температуры..., с. 54].

1.1.3. СТРЕЛЕЦКАЯ БУХТА

Бухта Стрелецкая расположена в юго-западном районе города Севастополя. Стрелецкая бухта, как и другие бухты Севастопольской акватории, глубоко «врезается» в сушу. По восточному побережью расположены базы для стоянки кораблей Черноморского флота. К тому же здесь расположен один из судоремонтных заводов. Вдоль западного побережья расположены городские постройки. За счет интенсивной застройки западного побережья бухты здесь повышается риск загрязнения сточными водами.

Ученые установили тенденцию распределения загрязнения и подтвердили, что повышение концентраций загрязняющих веществ происходит от вершины к центру с последующим снижением в сторону открытого моря. Концентрации нефтяных углеводородов в водах Стрелецкой бухты в 2003–2009 гг. по сравнению с 90-ми годами, превышают в 1,2–1,5 раза [Миронов, Миронов, с. 34].

Динамика загрязнения донных отложений портовой акватории за многолетний период, а именно 2003–2015 гг. по основным группам загрязнений (ХЭВ, НУ, ТМ) показала, что они распределены по территории бухты хаотично. Высокое содержание как ХЭВ, так и НУ было замечено в вершине и центральной области акватории, тогда как низкое – на выходе из неё. За исследуемый учеными период времени наблюдалось снижение

концентраций НУ в донных отложениях, а для ХЭВ и ТМ такая тенденция отсутствует [Тихонова, Котельянец, Волков, с. 93].

Стрелецкая бухта, по сравнению с другими бухтами Севастополя, считается мало изученной. Сюда сбрасываются неочищенные сточные воды от 2-х коммунальных выпусков, а в кутовой части действуют 2 выпуска сточных вод ливневой канализации. Из-за сточных вод здесь наблюдаются более высокие значения БПК₅ и нитратного азота, чем, например, в бухтах Омега, Камышовая и Казачья [Гидрохимическая характеристика отдельных бухт..., с. 115].

В 2018 году было выявлено три основных источника загрязнения: рыболовецкий кооператив «Причал-75», стоянки судов и коллектор сточных вод [Вирченко, Сабиров, Макаров, с. 185]. Как правило, изучение Стрелецкой бухты основывается на сравнении состояния ее вод с другими бухтами акватории города Севастополя и чаще всего она является наиболее загрязненной.

С содержанием тяжелых металлов в трех исследованных бухтах можно подробно ознакомиться в приложении 1. Сравнение средних концентраций гидрохимических параметров вод исследуемых бухт приведено в приложении 2.

1.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМЕЙСТВА *SCORPAENIDAE*

Семейство Скорпеновые – это семейство морских лучеперых рыб, принадлежащее к отряду Скорпенообразные (*Scorpaeniformes*). Это семейство включает в себя около 388 видов. От рыб других отрядов они отличаются наличием костной перемычки под глазом, которую можно прощупать через кожу. Большинство представителей этого семейства ведут придонный образ жизни, обитая среди скал и рифов в прибрежной зоне. Спиной плавник разделен на две части, передняя часть состоит из колючек (7 – 17 колючих лучей), а задняя часть состоит из одной жесткой колючки и

нескольких мягких лучей. Так же острые лучи имеются на анальном и брюшных плавниках. На голове, крышке и предкрышке также имеются шипы, которые используются для обороны. Представители данного семейства относятся к одним из самых ядовитых рыб, обитающих в океане.

1.2.1. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И АРЕАЛ ВИДА *SCORPAENA PORCUS*

Домен: Эукариоты (*Eukaryota*)

Царство: Животные (*Animalia*)

Тип: Хордовые (*Chordata*)

Класс: Лучеперые рыбы (*Actinopterygii*)

Отряд: Скорпенообразные (*Scorpaeniformes*)

Семейство: Скорпеновые (*Scorpaenidae*)

Род: Ерши морские (*Scorpaena*)

Вид: Черноморская скорпена-ерш, или черноморский морской ерш – *Scorpaena porcus* (Linnaeus, 1758)

Черноморская скорпена, она же черноморский ерш, или морской ерш – это вид лучеперых рыб семейства скорпеновых. Обитает в Атлантике, но встречается и в Черном, Азовском и Средиземном морях. Морской ерш ведет малоподвижный образ жизни, обитает среди камней и подводной растительности на глубине до 40 метров.

Внешне рыба небольших размеров, с приплюснутой мордой. Голова по размерам занимает одну треть туловища. Над глазами и на ноздрях имеются щупальцевидные кожные выросты. Все тело также покрыто бугорками, бородавками, лучами и лоскутами кожи, с помощью которых скорпена маскируется под камнями. Чешуя рыбы пятнистого окраса с преобладанием коричневых оттенков, с темными и светлыми пятнами. В плавниках скорпены расположены жесткие лучи, что характерно для всего семейства

скорпеновые. Спинной плавник состоит из 21 луча: 12 жестких и 9 мягких. В анальном плавнике 8 лучей: 3 жестких и 5 мягких.

Касательно размеров рыбы, вырастает скорпена до 15–20 сантиметров в длину, весит в среднем около 500–600 грамм.

Морская скорпена – ядовитая рыба. Парные ядовитые железы расположены у основания колючих лучей в плавниках: спинном, анальном и брюшных. Всего таких лучей у скорпены насчитывается порядка 20 штук. Они располагаются под углом в 45°. Также яд содержится и в костных шипах на жаберных крышках. При этом, чем рыба меньше, тем болезненнее ее яд. Многочисленные ранения могут быть смертельны и для людей.

Морская скорпена – хищник. Питается она в основном мелкими рыбами (бычками, зеленушками, атериной, песчанкой, барабулями, черноморской ставридой, спикарой), а также креветками и крабами. Часто в желудке скорпены обнаруживались и водоросли, а также моллюски и полихеты [Morte, Redon, Sanz-Brau, p. 333; Шаганов, Петрова, с. 422; Полин, Денисова, Попова, с. 399]. У скорпены нет плавательного пузыря, что помогает ей проводить в засаде целые сутки. При приближении добычи на 10–15 см совершает резкий рывок, открывает пасть и заглатывает жертву. Скорпена обладает хорошим зрением, а также с помощью чувствительных щупалец на голове и органов боковой линии она способна охотиться как днем, так и ночью. Это было доказано, когда, ослепленная скорпена воспринимала колебания стеклянной палочки с расстояния около 35 см от нее [Пища и особенности..., с. 76; Кузьминова, Чеснокова, Архипова, с. 54; Качественный состав..., с. 323].

Для скорпены характерна линька, которая происходит примерно 1 раз в месяц. Старая кожа тускнеет, затем сбрасывается как чехол, подобно змеям, и окраска вновь становится яркой. Чем лучше питание и состояние среды обитания, тем чаще скорпена линяет [Шаганов, Дончик, с. 379; Комарова, Войтюк, с. 94]

Численность морской скорпены на сегодняшний день на территории прибрежных зон г. Севастополя оценивается как в пределах нормы. В целом, в 2007–2008 годах популяционные характеристики морского ерша из акваторий города Севастополя улучшались. Возрастной состав стал шире, размер и масса самок и самцов ранних возрастных групп увеличивались [Руднева, 2016, с. 103]. Но нельзя не заметить, что соотношение полов везде разное, например, оно почти равно в прибрежной зоне Магри (Лазаревский район Сочи), а в акватории Большого Утриша и бухты Севастопольской соотношение составляло 1:5 с преобладанием самок [Популяционные характеристики морского..., с. 3]. Половой диморфизм же определяется по четырем признакам: высота грудного плавника, длина хвостового плавника, длина рыла, вертикальный диаметр глаза [Полин, Пашков, Денисова, 2018, с. 200]. Выраженный половой диморфизм в росте морского ерша одно из адаптивных свойств и способствует снижению пищевой конкуренции внутри популяции [Куцын, Скуратовская, Чеснокова, 2018, с. 106].

Касательно продолжительности жизни, в среднем скорпена живет 8–12 лет. Есть исследования, посвященные отслеживанию предельного возраста скорпены в разных акваториях, чтобы отследить влияние внешней нагрузки на изменение продолжительности жизни. Так, предельный возраст самок ерша составляет 11 лет, а самцов 12 лет. При этом средний возраст увеличивается в ряду бухт: Александровская – Казачья – Стрелецкая. [Куцын, Скуратовская, Чеснокова, 2019а, с. 651; Куцын, Скуратовская, Чеснокова, 2019б, с. 298].

Нерестится скорпена летом, примерно в июле-сентябре. Икру откладывает отдельными порциями, которые заключены в комок слизи. Эти слизевые баллоны всплывают к поверхности воды. Перед выходом личинок, слизевые образования рушатся и икринки покидают оболочку. Молодь в толще воды обитает немного времени и вскоре переселяется ко дну [Снигирев, Заморев, с. 65; Полин, Пашков, Денисова, 2019, с. 626].

1.3. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНОВ РЫБ

За последние три десятилетия рыбный запас в Чёрном море резко ухудшился. В районе города Севастополя число видов рыб сократилось в 2 раза, а их численность в 100 раз по сравнению с 50-ми годами. Очевидно, что снижение разнообразия рыб является следствием многих причин, но уже не раз было доказано, что основная причина – антропогенная нагрузка, а именно загрязнение моря. Вследствие этого, возникает проблема оценки состояния ихтиоценозов в условиях интенсивного антропогенного влияния, а также анализ адаптивных механизмов, лежащих в основе устойчивости рыб к неблагоприятным условиям. Поэтому, многие исследования направлены на оценку состояния внутренних органов рыб с целью анализа состояния водоема, а также степени нанесенного ущерба морским организмам [Руднева, 2000, с. 50; Руднева, Скуратовская, Вахтина, с. 118; Королева, с. 97; Иванов, Алимов, с. 94; Рощина, с. 35].

Помимо этого, например, есть исследования, в которых установлена прямая зависимость между уровнем загрязнения прибрежных акваторий и показателями флуктуирующей асимметрии морского ерша [Гарагонич, с. 60; Скуратовский, с. 274]. Также как биомаркер состояния водоема используется и кровь донных организмов. Например, снижение концентрации общего белка и альбумина, ингибирование активности ХЭ, увеличение уровня ОМБ в сыворотке крови морского ерша может подсказать степень загрязненности акватории и позволит выяснить некоторые механизмы биохимических изменений в организме рыб в ответ на загрязнение морской среды [Сравнительный анализ биохимических..., с. 222]. Важно при этом обратить внимание, что нерестовый период влияет на содержание форменных элементов в кроветворных органах морского ерша. Это нужно учитывать при исследовании процессов гемопоэза [Кухарева, Андреева, Солдатов, с. 111].

Методов для оценки состояния акваторий существует множество, но сегодня, необходимо сделать все для разработки экотоксикологических

программ, адаптированных к морской среде в новых условиях масштабных и местных изменений [Руднева, 2018, с. 221].

1.3.1. СТРОЕНИЕ И ГИСТОПАТОЛОГИИ ЖАБЕРНОГО АППАРАТА РЫБ

Основным органом дыхания рыб являются жабры, которые расположены в жаберной полости, прикрытой жаберной крышкой. Жабры костистых рыб представляют собой четыре жаберные дуги. Каждая дуга на выпуклой стороне поддерживает два ряда жаберных лепестков первого порядка – филаментов, образующих две полужабры, от которых по обе стороны отходят тонкие лепестки второго порядка – респираторные ламеллы, дающие начало сосудам жаберных артерий. Жаберный эпителий произошел из эктодермы и подразделяется на многослойный первичный (вставочный) и двухслойный вторичный эпителий. Кровоснабжение первичного эпителия происходит через артерио-венозную, а вторичного – через артерио-артериальную систему. Первичный эпителий представлен эпителиальными (респираторными), слизистыми и хлоридными клетками. В базальной части первичного эпителия примыкает к базальной пластинке слой малодифференцированных клеток. Клетки этого эпителия располагаются между респираторными жаберными лепестками второго порядка, что и явилось причиной названия. Вторичный эпителий образован в основном уплощенными эпителиальными клетками и отходит от малодифференцированных клеток вставочного эпителия, ложась на открытое пространство респираторных жаберных лепестков второго порядка. Хлоридные клетки выявляются лишь в нижней его части, на границе с первичным эпителием. Внешний вид хлоридных клеток зависит от расположения в жаберном эпителии: от цилиндрической или кубической в первичном эпителии до веретеновидной и сплюснутой во вторичном. В первичном эпителии хлоридные клетки находятся на периферии и в наиболее глубоких покровах. Во втором случае они взаимодействуют с эндотелием

капилляров. Хлоридные клетки локализованы так, что они сообщены и с внешней, так и внутренней средой, через кровеносную систему. Данное расположение дает возможность транспорту солей из окружающей среды в клетку, а из нее в кровеносные сосуды [Матей, 1986, с. 10; Матей, 1996, с. 21].

Как известно, патолого-морфологические изменения внутренних органов рыб, вызванные разными по природе токсикантами или целыми комплексами загрязнителей сточных вод, весьма сходны. Рыбы реагируют на отравление сходными ненормальными симптомами болезненного характера, при этом результаты этой реакции касаются всех жизненно важных функций организма [Кучко, Рыжков, Кучко, с. 100; Кошелев, Седова, с. 237; Леденев, Ложниченко, 2017а, с. 39]. Изучение влияния токсикантов на внутренние органы рыб ведется давно, ведь рыбы являются отличными биоиндикаторами [Биоиндикация экологического состояния..., с. 92; Чеснокова, с. 141]. Присутствие патоморфологических изменений жаберного аппарата рыб может говорить о напряженном характере водной среды, что может быть связано с неблагоприятным воздействием различных загрязнений на водоем. Свободные промышленные сточные воды и использование различных химических ядохимикатов в сельском хозяйстве ведут к повсеместному засорению водных объектов. А действие тяжелых металлов и других токсикантов на жабры рыб может привести к адаптационным изменениям клеточной структуры различного рода [Santos, p. 119].

Основные, на сегодняшний день, гистопатологические изменения прогрессивного типа включают: гиперплазию респираторных, хлоридных и слизистых клеток, а также эпителиальную гипертрофию жаберных лепестков первого порядка с дальнейшим склеиванием респираторных жаберных лепестков второго порядка. Гиперплазия и преципитация слизи на поверхности жабр считают ответной реакцией на наличие токсикантов в воде. В основе данной реакции лежат компенсаторно-приспособительные и адаптивные механизмы, так как в результате этих механизмов происходит

увеличение диффузионного барьера между окружающей средой и кровью, что в свою очередь, уменьшает вероятность проникновения токсикантов в организм [Шуман, Некрасов, Селюков, с. 137; Пашина, Некрасов, Селюков, с. 95]. Гиперплазия вторичного эпителия появляется беспорядочно, хаотично, на различных уровнях жаберных лепестков второго порядка и находится между зонами жабр, эпителий которых не обладает признаками пролиферации. Более того на апикальной части жаберных лепестков второго порядка проявляется гиперплазия и в разрезе имеет вид «барабанных палочек». В некоторых случаях расположенные рядом или на соседних жаберных лепестках первого порядка «барабанные палочки» объединяются между собой, создавая длинные ленты из разросшегося эпителия [Амплеева, Ложниченко, с. 117]. Роль слизистых веществ состоит в адаптации, заключающейся в облегчении цитотоксического воздействия тяжелых металлов. Но, стоит учитывать, что лишний слой уменьшает всю диффузионную поверхность жабр и подавляет газообмен. А это, в свою очередь, ведет к угнетению ионообменных и респираторных функций жабр. Помимо этого, чрезмерное выделение слизи гипертрофированными клетками, образует вязкий клейкий внешний слой, который не свойственен обычным жабрам. Этот слой вполне способен стать отличным субстратом для активного роста и развития многочисленных бактерий [Heath, p. 115; Impact of environmental..., p. 15]. Разрастание эпителия несет очаговый характер и ведет к выборочному заполнению места между респираторными жаберными лепестками второго порядка. Несмотря на это, вполне возможно распространение хлоридных и слизистых клеток в респираторные жаберные лепестки второго порядка. Это вполне возможно, так как филаменты имеют большую площадь, по сравнению с жаберными лепестками, и основное всасывание ионов при засорении токсикантами происходит именно в них. Как следствие, мигрирование хлоридных клеток в респираторные ламеллы – это один из эффективных процессов активации сорбции ионов в

завершающих стадиях приспособления к изменению свойств окружающей среды [Матей, Харазова, с. 22].

Нарушения, которые носят дегенеративный характер, представлены некрозом, нарушением микроциркуляции, фиброзом тканей и отеками. Некроз же обычно происходит с абсолютной деструкцией лепестков второго порядка. Это говорит о тяжелом, прогрессирующем течении патологического процесса.

Интересно, что патологии микроциркуляторного кровообращения выражались увеличением кровеносных мелких капилляров и полной приостановкой кровотока, что называют венозный стаз, присутствием аневризм, а также гиперемии и кровоизлияний, которые, в свою очередь, приводят к распаду эпителия респираторных ламелл. Аневризмы являются следствием аномалий сосудистого эндотелия и отклонений стенок сосудов. Формируются они преимущественно в итоге непосредственного влияния токсиканта на структуру ткани. Нарушение основных клеток приводит к увеличению внутриламеллярного давления, инициируя увеличение объема сосудов, стазу крови и формированию аневризм. Угроза таких тяжелых нарушений состоит в том, что они способствуют возникновению тромбов, образованию фиброза ткани, резорбции респираторных ламелл, что в результате приводит к атрофии органа. Возобновление строения и свойств органов вполне возможно, но это сложный и долгий процесс, особенно после нарушения структуры эпителия [Матей, Павлов, Чуйко, с. 53]. Разрастание соединительной ткани ведет к образованию фиброза и патологии устройства филамента. Такая патология затем ведет к слипанию филаментов и преобразованию четко сформированного жаберного аппарата в бесструктурную систему. Отеки эпителиальных клеток выступают в роли дистрофического механизма, вследствие которого внутри респираторных ламелл, на грани с капиллярами, формируются наполненные серозной жидкостью широкие полости. Адаптационное значение отеков заключается в предупреждении (или уменьшение уровня) распределения токсических

веществ по организму, в результате чего снижается количество в крови элементов, оказывающих отрицательное влияние на структуры тканей. Отеки нарушают жизненный процесс клеток, так как содействуют отклонению взаимного обмена элементов между кровью и клетками, в результате чего усложняются осморегуляторные механизмы. К структурным нарушениям в строении жаберного аппарата также относятся: искривления, уменьшение и слипание респираторных ламелл до абсолютной их редукции и изменения формы.

Несмотря на все вышеперечисленное, в жабрах рыб возможны и различные новообразования. В начале респираторная ламелла расходится на две части, затем их терминалы соединяются с другими ламеллами, расположенными рядом, и наконец, жаберный эпителий разрастается, что способствует гибели клеток. После гибели клеток формируются бесформенные гомогенные некротические массы, которые называются некротический детрит [Кучко, Рыжков, Кучко, с. 99].

Помимо морфологических отклонений, на структуру жаберного эпителия оказывают большое влияние инвазивные агенты, эндо- и эктопаразиты, как правило, ими являются инфузории и микроспоридии.

Жабры самые первые взаимодействуют с окружающей средой, поэтому на основе их визуальных и гистологических исследований, можно утверждать о состоянии рыбы. Множество морфофункциональных изменений демонстрируют уровень адаптации органа к изменяющимся условиям окружающей среды. Большая часть изменений несет дегенеративный характер, который влияет на работу органа и в целом на состояние организма [Шуман, с. 10].

Количество и степень аномалий жаберного аппарата черноморской скорпены в прибрежных водах Черного моря различны. При сравнении трех бухт города Севастополя, самое большое количество аномалий фиксировалось в бухте Стрелецкая, затем в Казачьей бухте, и меньше всего

аномалий жаберного аппарата скорпены наблюдалось в Балаклавской бухте [Гистопатологические изменения..., с. 232].

1.3.2. ПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕЧЕНИ РЫБ

Печень рыб – это паренхиматозный орган, состоящий из стромы и паренхимы. Строма органа в свою очередь, представляет собой соединительнотканый каркас, тогда как паренхима – клетки различного происхождения: гепатоциты, эндотелитальные, жировые клетки, макрофаги и другие. При здоровом состоянии печени, основными ее клетками являются гепатоциты. Они составляют до 80% среза печени. Гепатоциты – клетки неправильной (полигональной) формы, принадлежащие к растущему виду эпителия. Такой эпителий отличается низким коэффициентом истинной пролиферации и обновляемости. Процесс образования и выведения желчи у костистых рыб начинается с желчного капилляра. Такой желчный капилляр не обладает собственными стенками, поэтому их роль выполняют мембранных соседних гепатоцитов. Затем эти капилляры переходят в желчные внутрипеченочные протоки, выстланные однорядным эпителием. Протоковые клетки отличны от паренхимных более бедным содержанием клеточных органоидов и отсутствием включений гликогена и секрета [Пронина, с. 61].

Уникальная особенность гепатоцитов – это содержание в них жировых включений, что говорит об основной функции печени – запасающей. Рыбы, обитающие в загрязненных водоемах, обладают самым высоким уровнем липидов в печени. С помощью комплексного анализа долей липидных включений, дается оценка энергетических запасов организма рыбы в целом и степени стрессового влияния на нее. Многие рыбы отличаются составом липидов у самцов и самок перед нерестом. Это провоцирует наличие функциональных отличий в половом созревании [Леденев, Ложниченко, 2017б, с. 46].

Гистопатологии печени отличаются степенью важности для функционального состояния органа. Они бывают обратимыми и необратимыми, нарушающими функции органа или нет, отличающимися по структурам и физиологическим процессам, в которых происходят изменения. Довольно часто встречаются такие морфофункциональные изменения, как: разрастания соединительной ткани, некроз или дисплазия, кистозные новообразования, жировая дистрофия, гипертрофия эпителия желчных протоков, а также нарушение кровообращения и гиперемия. Гибель гепатоцитов – это самая тяжелая патология, проявляющаяся в том, что отдельные гепатоциты утрачивают свою структуру, вследствие разрушения клеточной оболочки. Выглядит это как темные пятна с аморфной структурой. Такие патологии подтверждают негативное влияние внешнего воздействия на особь [Минеев, с. 156]. Нередко встречается и холангиофиброз, чем называют разрастание соединительной ткани вокруг желчных протоков. Обычно это способствует сращиванию эпителия и скоплению отложений и клеток с пикнотизированными ядрами. Такие повреждения понижают метаболическую активность органа, а именно, снижаются антитоксические и синтетические функции.

Печень – это важный метаболический орган, в котором накапливаются и детоксицируются ксенобиотики в результате процессов биотрансформации. Параметры оценки состояния печени могут отражать уровень загрязнения окружающей среды и ее вредность для живых организмов. В работе 2014 года была продемонстрирована степень воздействия антропогенного загрязнения на иммунный статус и параметры окислительного стресса в печени морского ерша, обитающего в прибрежных водах Черного моря [Влияние антропогенного загрязнения..., с. 90]. А накопление тяжелых металлов в печени скорпены подтверждает высокую антропогенную нагрузку [Heavy metals in tissues..., p. 20882].

В 2017 году было показано значительное увеличение количества меланомакрофагальных центров в печени рыб из бухт Севастополя, что

также является результатом окислительного стресса у животных [Response of marine..., p. 383]. В Балаклавской бухте наблюдалось увеличение уровня креатинина и накопление ТБК активных продуктов в печени морского ерша, что подтверждает влияние загрязнения морских акваторий на биохимические показатели рыб [Кузьминова, Старкова, с. 66; Шайда, Скуратовская, Руднева, с. 373]. При этом основным депо у малоподвижных рыб остается печень, а у активных видов основные запасы триглицеридов сосредоточены в мышцах [Динамика величин..., с. 131]. Другие исследования показывают накопление в организме скопены высокохлорированных конгенов [Аккумуляция хлорорганических ксенобиотиков..., с. 251]. Также известно, что чем больше концентрация интегрального биохимического индекса (ИБХИ), тем более загрязнен водоем. Значительное увеличение ИБХИ в печени черноморской скорпены наблюдалось в двух бухтах: Александровская и Стрелецкая, что связано с внешним негативным воздействием на организмы [Малахова, Скуратовская, Малахова, с. 154].

Также в печени могут происходить такие процессы, как компенсаторная перестройка белкового метаболизма, интенсификация синтеза белков и их окислительной модификации. Это было установлено в исследовании 2019 года у морского ерша, отловленного в Александровской бухте [Анализ некоторых показателей..., с. 142]. Важно учитывать, что некоторые показатели могут быть завышены и по другим причинам. Например, при исследовании трех видов донных рыб, отловленных в Александровской бухте, одни и те же показатели у особей были различны. А именно было зафиксировано повышенное содержание окисленных форм белков и ТБК активных продуктов в супернатантах печени бычка-кругляка относительно бычка-мартовика и морского ерша. И это можно объяснить видовыми особенностями протекания окислительных процессов в тканях бычка-кругляка, так как все исследованные виды рыб являются донными и аналогичны в питании, и должны реагировать на изменения в окружающей среде примерно одинаково [Сигачева, Чеснокова, Гаврюсева, с. 59]. По

уровню содержания хлорорганических соединений печени морского ерша предел по ПДК превышен почти в 2 раза в бухтах Стрелецкой и Александровской, что является отражением продолжающегося поступления токсикантов в среду их обитания. Причины накопления хлорорганических соединений в тканях рыб – это физиологическая функциональность органов, их жировая составляющая, половая принадлежность особей и уровень загрязненности среды обитания [Особенности накопления хлорорганических..., с. 223].

Таким образом, многие морфологические изменения в печени являются следствием воздействия различных экологических факторов, в том числе токсических компонентов, содержащихся в морской воде [Леденев, Ложниченко, 2017в, с. 28].

1.3.3. ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ РЫБ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Половое созревание морского ерша наступает в 2 года. У берегов Крыма, как правило, на год позже. Только некоторые самцы созревают в двухгодичном возрасте. Большинство рыб приступает к нересту в возрасте 4–5 лет.

В Черном море морской ерш размножается с конца мая – начала июня по сентябрь включительно. Нерест порционный, происходит в вечерние и ночные часы. Икринки пелагические, без жировой капли, слабо-эллипсоидной формы; величина большего диаметра 1,08–1,3 мм, малого – 0,9–1,15 мм. Абсолютная индивидуальная плодовитость самок морского ерша (длиной 7,2–21,0 см) составляет от 19550 до 346400 икринок [Снигирев, Заморов, с. 63].

В результате хозяйственной деятельности человека происходят интенсивные изменения природных систем. Скорость сукцессионных процессов при этом резко возрастает, и живым организмам для того, чтобы

выжить в создавшихся условиях, приходится приспособливаться. Водные экосистемы являются коллекторами всех видов загрязнений и гидробионты довольно чутко реагируют на подобные изменения. Крупный диапазон загрязнений, которые попадают в воду, вместе с токсичным влиянием на организмы, воздействует на процессы гаметогенеза, в том числе у рыб. Это в свою очередь, ведет к нарушениям репродуктивной функции и рождению нежизнеспособного потомства, а, следовательно, уменьшает рыбные запасы [Лукьяненко, с. 25; Лукашевич, Кузьмина, с. 155]. Патологии в формировании гамет у женских и мужских особей рыб были описаны многими исследованиями [Селюков, 2002а, с. 85; Селюков, 2002б, с. 225; Лукин, Шарова, с. 114; Шуман, с. 15; Хлорорганические ксенобиотики..., с. 51; Чеснокова, 2018, с. 296]. Нередко эти отклонения прослеживаются при смене условий среды, например, при загрязнении водных объектов сточными водами и химическими выбросами заводов. Потому изучение условий репродуктивной системы рыб, характеризующих результативность естественного воспроизводства, остается важным для предсказания изменения количества некоторых видов и установления взаимосвязи состояния репродуктивной системы и условий окружающей среды, что напрямую сопряжено с задачами биоиндикации.

Влияние некоторых токсикантов ведет к отклонению в формировании ооцитов, овуляции и периодов нереста, что сказывается на численности популяций [Лукин, Шарова, с. 119]. В водных организмах, загрязненных тяжелыми металлами, фиксируются различные нарушения половых желез. Например, несинхронное развитие, отклонение периодов полового созревания, липоидная дегенерация, размножение клеток соединительной ткани, новообразования и резорбция ооцитов [Чеботарева, Савоскул, Савваитова, 1997, с. 217].

Следует выделить, что даже при сильном антропогенном влиянии на водный объект, половая система рыб имеет значительную степень безопасности, в сопоставлении с остальными системами органов, что

положительно влияет на поддержание численности популяции. Это обстоятельство определяется обособленностью половой системы от действия загрязнения и ее постоянным обновлением, мешающим скоплению поллютантов [Овен, 2004, с. 124].

1.3.4. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЯИЧНИКОВ

Многие работы демонстрируют, влияние токсикантов, приводящее к разрушению ооцитов, нарушению овуляции и смещению сроков нереста. Все это влияет на численность популяции. Оценка состояния репродуктивной системы рыб часто проводится с помощью макроскопических характеристик. Но метод гистологического анализа дают более емкие и точные данные о текущем состоянии половых клеток.

Соотношение половых клеток, которые находятся на различных этапах развития, и наличие многочисленных молодых генераций (резервного фонда) являются точной оценкой репродуктивного потенциала рыб. У самок измеряют диаметр ооцитов, строение их оболочек, структуру цитоплазмы (степень вакуолизации, диаметр желтковых гранул, жировые включения), положение ядра в ооците, количество и расположение ядрышек [Шатуновский, Рубан, Акимова, с. 93].

Резорбция половых клеток у рыб является физиологически нормальным процессом у отнерестившихся особей и при становлении конечной плодовитости. А также патологическим, в случае, если происходит массовая резорбция половых клеток в период гаметогенеза. Множественная резорбция ооцитов периода вителлогенеза, как считают множество ученых, является реакцией процесса воспроизводства самок на изменение качества водной среды и говорит о нарушении условий размножения [Акимова, Попова, Решетников, с. 282; Лукина, с. 18].

Липоидная дегенерация образуется после нарушения липидного обмена и объясняется лишним скоплением запасующих липидов в клетке. На

начальной стадии в клетке наблюдается жировая вакуольная дистрофия. Процессом, который участвует в развитии характерных для дистрофии изменений клеток, являются декомпозиция (разрушение липопротеидов цитоплазмы, которое приводит к исчезновению структур клеток и их гибели) [Гистоморфологические нарушения..., с. 259]. Причинами дегенеративного ожирения считается повреждение, вызванное воздействием токсинов. Особенно сильно влияют мышьяк и фосфор.

1.3.5. МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕМЕННИКОВ

В норме гонады у самцов представляют собой равномерно сужающийся к заднему концу тяж, овальные на поперечном срезе. Структура гонад однообразна на всем протяжении. На II—IV стадиях зрелости гонады плотные, с гладкой поверхностью; на II-III стадиях – розовые, на IV – молочно-белые; у посленерестовых рыб (VI стадия) – дряблые, красноватые [Чеботарева, Савоскул, Саввитова, 1996, с. 554].

Характер сперматогенеза и эякуляции у морских рыб с растянутым нерестом аналогичен непрерывному типу развития овоцитов и многопорционному икреметанию самок. Гистологический анализ семенников показал, что у рассматриваемых морских рыб строение и развитие половых клеток происходит по общему типу. Различия между видами заключаются в величине семенных клеток, размерах и форме сперматозоидов, в характере сперматогенеза. У самцов, относящихся к группе рыб с растянутым нерестом, половые железы в преднерестовый период находятся в состоянии активного сперматогенеза, т. е. в III стадии зрелости. На срезах через такие гонады можно видеть ампулы, заполненные цистами с половыми клетками всех периодов сперматогенеза – размножения, роста, созревания и формирования. Зрелые сперматозоиды находятся в цистах, где они располагаются в определенном порядке. На протяжении нерестового сезона семенники рыб находятся в состоянии функциональной

зрелости. Гистологически, они выглядят следующим образом: выводной проток и прилежащие к нему ампулы (канальцы) заполнены зрелыми сперматозоидами; в просветах ампул, расположенных в срединной части семенника, находятся вышедшие из цист спермии, а вдоль стенок – цисты с половыми клетками различных периодов сперматогенеза. У морских рыб IV стадия зрелости гистологически не выражена так отчетливо, как у самцов с кратким нерестом, у которых в преднерестовый период сперматогенез завершен, и все ампулы семенника заполнены зрелыми спермиями; «догоняющих стадий» нет, лишь изредка встречаются единичные сперматогонии [Овен, 1977, с. 62].

Сперматогенез – термозависимый процесс. Температура, выходящая за рамки нормы, снижает скорость сперматогенеза.

Аномалии гонад делятся на 4 группы: изменения формы (гонады с перетяжками и лопастные гонады), изменения окраски, нарушения структуры ткани гонад (жировое перерождение и новообразования) и нарушения развития (недоразвитие гонад).

Отклонения в развитии и функционировании репродуктивной системы рыб служат надежным показателем для определения степени антропогенного воздействия, а также скорости падения уровня естественного воспроизводства [Гистоморфологические нарушения..., с. 263].

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что жаберный аппарат рыб первым подвергается воздействию компонентов окружающей среды. Именно поэтому, благодаря их визуальному и гистологическому исследованию, можно утверждать о состоянии организма. В печени же могут накапливаться ксенобиотики в результате процессов биотрансформации, поэтому параметры оценки ее состояния могут отражать уровень загрязнения водоема. Относительно жаберного аппарата и печени рыб, половая система наиболее защищена. Это обстоятельство определяется обособленностью половой системы от действия загрязнения и ее постоянным

обновлением, мешающим скоплению поллютантов, что положительно влияет на поддержание численности популяции.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. МЕТОДИКА ОТБОРА И ФИКСАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор ихтиологического материала проводился с 22 июня по 10 июля 2015 года во время производственной практики в г. Севастополь, также дополнительно был собран материал в июле 2019 г. Всего было отобрано 55 особи из трех бухт города: 16 – Казачьей, 16 – Балаклавской и 23 – Стрелецкой бухты. Порядок их перечисления указан в соответствии с увеличением антропогенной нагрузки.

Отлов рыбы проводили набором разноячейных ставных жаберных сетей. Живых, только что отловленных рыб, осматривали. Отмечали окраску, состояние покровов, наличие язв, деформаций скелета, эктопаразитов. Рыб измеряли и взвешивали на весах ScoutPRO-600 («Ohaus») с точностью до 0,01 г; определяли общую массу тела, массу гонад и массу тела без внутренностей. Для определения возрастного состава рыб использовалась чешуя между боковой линией и спинным плавником. Возраст рыб определяли путем подсчета склеритов на чешуе с помощью микроскопа Micros MC 300 . При вскрытии рыбы устанавливали пол и стадию зрелости гонад, по пятибалльной шкале оценивали жирность, определяли наполнение кишечника, отмечали наличие паразитов в полости тела и внешние патологические изменения внутренних органов. Среди них отмечали бледность или отечность жабр, неровный ряд жаберной дуги, бледность, мозаичность или гиперемия печени, зернистость и соединительно-тканые разрастания в почках, асимметричность гонад, ожирение сердца, миопатию.

Для гистологического анализа отбирали жабры, гонады и печень. Органы фиксировали в смеси ФСУ (9 частей формалина, 3 частей – 95% этилового спирта и 1 части – ледяной уксусной кислоты).

2.2. ПОДГОТОВКА ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Гистологический анализ органов проводили по стандартным гистологическим методикам [Кокуричева, с. 7; Микодина, с. 17] на оборудовании лаборатории реконструкции биосистем. А именно, органы проводили через спирты возрастающей концентрации и хлороформ, осуществляли инфильтрацию парафином, заливку в парафин – ЕС 350 («Microm»). На автоматизированном ротационном микротоме НМ 355S («Microm») готовили серийные срезы толщиной 5 мкм; все полученные срезы окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну, яичники пораженные спорами паразитов - азаном по Гейденгайну. Окрашенные препараты заключали под покровное стекло в среду Bio Mount.

Всего было изготовлено 179 гистологических препаратов.

2.3. АНАЛИЗ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Гистологические препараты анализировали на микроскопе AxioImager A1 («Zeiss») при увеличениях 40×, 100×, 200×, 400× и 1000× с использованием лицензионного программного обеспечения AxioVision 4.7.1. («Zeiss»). Микрофотографии получены с помощью камеры AxioCam MRc 5 («Zeiss»).

Для анализа состояния жаберного аппарата рыб нами были выбраны на одном срезе по 5 дистальных, медиальных и проксимальных отрезка филламентов с ламеллами. Измеряли площадь участка, ширину респираторной ламеллы в трех областях: проксимальном, медиальном и дистальном, измеряли площадь жаберных патологий различного типа.

По результатам анализа отдельных частей респираторного эпителия были рассчитаны средние значения гистопатологических показателей для каждой особи.

Анализ состояния печени проводили на пяти участках исследуемого среза. Измеряли площадь гепатоцитов и их ядер. При учете патологических изменений в печени рассчитывали выборочные средние относительных площадей отрезков с различными типами нарушений структуры органа.

При анализе состояния яичников измеряли диаметр ооцитов и их ядер, отмечали резорбирующиеся ооциты и опустевшие фолликулы. На препаратах семенников у каждой особи выбирали по 3 среза, на которых выделяли от 3 до 5 участков площадью $100 \times 100 \text{ мкм}^2$ каждый; на них подсчитывали число цист сперматогониев А- и Б-типов, сперматоцитов I и II порядков, сперматид и спермиев.

Для математических расчетов использовали следующие программы: MS Excel 2007, STATISTICA v6.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

[Пропущено 11 страниц]

ВЫВОДЫ

1. У скорпены, обитающей в Стрелецкой бухте, было выявлено большее количество патологий и аномалий жаберного аппарата, что связано с высокой антропогенной нагрузкой и загрязненностью вод.
2. У особей морского ерша, отловленных в Балаклавской бухте, была отмечена высокая степень жировой дистрофии печени, что является ответной реакцией на ухудшающиеся условия обитания.
3. Большее количество гистопатологий в яичниках у молодых особей морского ерша было обнаружено в Стрелецкой бухте.
4. Количество и глубина патологий яичников у разновозрастных особей скорпены из трех исследованных бухт показывает, что молодые особи наиболее подвержены воздействию токсикантов.
5. Наибольшее число аномалий и гистопатологических изменений внутренних органов скорпены было выявлено у особей из Стрелецкой бухты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Heath A.G. Water Pollution and Fish Physiology. BocaRaton: CRC Press, Inc. 1995. 359 p.
2. Heavy metals in tissues of scorpionfish (*Scorpaena porcus*) caught from black sea (Turkey) and potential risks to human health / Culha S.T. [et al.] // Environmental science and pollution research. 2016. V. 23. N 20. P. 20882–20892.
3. Impact of environmental DDT concentrations on gill adaptation to increased salinity in the tilapia *Sarotherodon melanotheron* / Riou V. [et al.] // Comparative Biochemistry and Physiology. 2012. № 156. P. 7–16.
4. Integration of biological effects, fish histopathology and contaminant measurements for the assessment of fish health: a pilot application in Irish marine waters / Giltrap M. [et al.] // Marine environmental research. Mar Environ Res. 2017. V. 129. P. 113–132.
5. Morte S., Redon M., Sanz-Brau A. Diet of *Scorpaena porcus* and *Scorpaena notata* (*Pisces, Scorpaenidae*) in the western Mediterranean // Cah. Biol. Mar. 2001. V. 42. P. 333–344.
6. Response of marine fish liver on environmental pollution / Rudneva I.I. [et al.] // Heavy metals and other pollutants in the environment: biological aspects. 2017. P. 383–401.
7. Rudneva I.I., Petzold-Bradley E. Environment and Security Challenges in the Black Sea Region // Responding to Environmental Conflicts: Implications for Theory and Practice. 2001. V. 78. N 1. P. 189–207.
8. Santos T. Histopathological alterations in gills of juvenile Florida pompano *Trachinotus carolinus* (Perciformes, Carangidae) following sublethal acute and chronic exposure to naphthalene // Pan- American Journal of Aquatic Sciences. 2011. V. 6. P. 109–120.

9. Акимова Н.В., Попова О.А., Решетников Ю.С. Морфологическое состояние репродуктивной системы рыб в водоемах Кольского полуострова // *Вопр. Ихтиологии*. 2000. Т. 40. № 2. С. 282–285.
10. Аккумуляция хлорорганических ксенобиотиков в печени и мозге морского ерша *Scorpaena porcus* в прибрежных районах Крыма с различной антропогенной нагрузкой / Лобко В.В. [и др.] // *Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса*. 2019. С. 251–256.
11. Амплеева А.В., Ложниченко О.В. Патологические изменения почек и жабр белорыбицы волго-каспийского бассейна // *Вестник АГТУ. Рыбное хозяйство*. 2010. Т. 2. № 2. С. 116–118.
12. Анализ некоторых показателей белкового обмена печени морского ерша *Scorpaena porcus* L. из бухт г. Севастополя с разным уровнем загрязнения / Шилова Ю.Б. [и др.] // *Понт Эвксинский*. 2019. С. 140–142.
13. Беляева О.И. Физико-географическая характеристика бухты Казачьей и оценка экологического состояния (Черное море) // *Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян»*. 2018. № 9. С. 47–48.
14. Биогеохимические механизмы формирования критических зон в чёрном море в отношении загрязняющих веществ / Егоров В.Н. [и др.] // *Морской экологический журнал*. 2002. Т. 7. № 4. С. 5–23.
15. Биоиндикация экологического состояния морских акваторий с помощью биомаркеров рыб / Руднева И.И. [и др.] // *Водные ресурсы*. 2011. Т. 38. № 1. С. 92–97.
16. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Современная структура и динамике сообществ рыб прибрежной зоны Юго-западного Крыма на примере бухты Казачья // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2018. № 4. С. 23–35.
17. Вирченко А.Е., Сабиров Р.М., Макаров М.В. Трансформация структуры сообщества эпибионтов *Cystoseira* Sp. С возрастом антропогенной

- нагрузки // Морские исследования и рациональное природопользование. 2018. С. 183–186.
18. Влияние антропогенного загрязнения на иммунный статус и параметры окислительного стресса в печени скорпены *Scorpaena porcus*, обитающей в прибрежных водах Черного моря / Силкина Н.И. [и др.] // Гидробиологический журнал. 2014. Т. 50. № 2. С. 90–97.
19. Влияние геохимических характеристик донных отложений шельфовой зоны Украины на распределение тяжелых металлов / Котельянец Е.А. [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2013. № 27. С. 312–317.
20. Гарагонич А.А. Флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков морского ерша *Scorpaena porcus* L., как индикатор экологии прибрежных акваторий г. Севастополя // Экологические проблемы Черного моря. 2017. С. 59–60.
21. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья / Куфтаркова Е.А. [и др.] // Труды Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 2008. Т. 46. № 3. С. 110–117.
22. Гистоморфологические нарушения репродуктивной системы амурских осетровых / Кошелев В.Н. [и др.] // Амурский зоолог. журнал. 2009. Т. 1. № 3. С. 258–264.
23. Гистопатологические изменения жаберного аппарата черноморской скорпены *Scorpaena porcus* как индикатора состояния прибрежных морских вод / Селюков А.Г. [и др.] // Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование. 2018. С. 228–232.
24. Динамика величин гонадо-соматического индекса, индекса печени и индекса упитанности в весенне-летний период у некоторых черноморских рыб разной экологии / Силкин Ю.А. [и др.] // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования. 2017. С. 131–135.

25. Динамика состава и уровня загрязнения донных отложений Балаклавской бухты в 2005 - 2015 годах / Котельянец Е.А. [и др.] // Моря России: наука, безопасность, ресурсы. 2017. С. 149.
26. Евстигнеева И.К., Танковская И.Н. Структурно-функциональные характеристики макрофитобентоса и их динамика в рекреации бухты Балаклавская (Черное море) // Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов. 2015. С. 105–112.
27. Иванов В.А., Катунина Е.В., Совга Е.Е. Оценки антропогенных воздействий на экосистему акватории Гераклейского полуострова в районе расположения глубинных стоков // Процессы в геосредах. 2016. № 5. С. 62–68.
28. Иванов Д.И., Алимов С.И. Антропогенные воздействия на водные экосистемы // Агроекологічний журнал. 2012. № 2. С. 90–94.
29. Качественный состав пищевых объектов Черноморской скорпены в прибрежье Севастополя в современный период / Куликов Г.В. [и др.] // Морские исследования и рациональное природопользование. 2018. С. 323–326.
30. Кирюхина Л.Н., Миронов О.Г. Химическая и микробиологическая характеристика донных осадков Севастопольских бухт в 2003 г. // Морской экологический журнал. 2004. Т. 12. № 2. С. 38–50.
31. Кокуричева М.П. Методическое пособие по проведению гистологических исследований органов и тканей рыб в водной токсикологии. Ленинград: ГосНИОРХ, 1976. 53 с.
32. Комарова С.Н., Войтюк И.И. Биологическая характеристика скорпены (*Scorpaena porcus*) прибрежной зоны черного моря в районе поселка Архипо – осиповка // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий. 2016. С. 94–96.

33. Комплексная оценка качества водной среды с помощью биомаркеров разного уровня / Руднева И.И. [и др.] // Актуальные вопросы водной токсикологии. 2004. Т. 1. № 2. С. 124–155.
34. Королева А.В. Изучение особенностей белкового состава мышечной ткани морского ерша из бухт с разным уровнем антропогенной нагрузки // Естественные науки. 2010. № 3. С. 92–98.
35. Королева А.В., Симчук А.П. Изменчивость RAPD-PCR спектров ДНК морского ерша в севавтопольских бухтах с разной степенью антропогенного загрязнения // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. 2012. Т. 25. № 3. С. 74–80.
36. Коршенко А.Н. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Москва: Наука, 2016. 184 с.
37. Котельянец Е.А. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) // Моря России: фундаментальные и прикладные исследования. 2019. С. 85–86.
38. Котельянец Е.А., Гуров К.И., Тихонова Е.А. Некоторые геохимические показатели донных отложений прибрежной акватории под влиянием антропогенного фактора (на примере бухты Казачья, г. Севастополь) // Вестник Удмуртского университета. 2017. Т. 27. № 1. С. 5–12.
39. Кошелев В.Н., Седова М.А. Гистоморфологические изменения жаберного эпителия калуги *Acipenser dauricus* и амурского осетра *Acipenser schrenckii* (*Acipenseridae*) из устья Амура // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55. № 2. С. 236–240.
40. Кузьминова Н.С., Старкова А.В. Влияние загрязнения морских акваторий на некоторые биохимические показатели скорпены // Антропогенная трансформация природной среды. 2012. № 1. С. 63–68.
41. Кузьминова Н.С., Чеснокова И.И., Архипова С.В. Современные сведения о питании и пищеварении черноморской скорпены (*Scorpaena porcus* L.) // Экосистемы. 2017. № 10. С. 52–63.

42. Куринная Ю.С., Гуров К.И., Котельянец Е.А. Особенности загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком донных отложений Балаклавской бухты в 2018 г. // Комплексные исследования мирового океана. 2019. С. 325–326.
43. Кухарева Т.А., Андреева А.Ю., Солдатов А.А. Особенности клеточного состава кроветворных органов скорпены (*Scorpaena porcus* L.) в зимний и летний период // Сборник материалов V научно-практической молодежной конференции «ЭКОБИО». 2018. С. 108–111.
44. Куцын Д.Н., Скуратовская Е.Н., Чеснокова И.И. Возраст и рост морского ерша *Scorpaena porcus* (*Scorpaenidae*) Чёрного моря в условиях антропогенного пресса // Вопросы ихтиологии. 2019б. Т. 59. № 3. С. 292–299.
45. Куцын Д.Н., Скуратовская Е.Н., Чеснокова И.И. Размерно-возрастная структура, рост и созревание морского ерша *Scorpaena porcus* (*Scorpaenidae*) из вод юго-западного Крыма (Чёрное море) // Вопросы ихтиологии. 2019а. Т. 59. № 6. С. 651–656.
46. Куцын Д.Н., Скуратовская Е.Н., Чеснокова И.И. Рост морского ерша *Scorpaena porcus* (*Scorpaeniformes: Scorpaenidae*) из прибрежных вод юго-западного Крыма // Сборник материалов V научно-практической молодежной конференции «ЭКОБИО – 2018». 2018. С. 104–107.
47. Кучко, Т.Ю., Рыжков Л.П., Кучко Я.А. Патолого-морфологические показатели рыб как индикаторы состояния ихтиофауны Кондопожской губы Онежского озера // Вопросы ихтиологии. 2010. Т. 44. № 1. С. 98–100.
48. Леденев О.А., Ложниченко О.В. Влияние экологических факторов различной природы на состояние популяций рыб Черного моря // Рыбное хозяйство. 2017в. № 1. С. 26–29.
49. Леденев О.А., Ложниченко О.В. Морфологическое строение печени и поджелудочной железы промысловых рыб Черного моря // Естественные науки. 2017б. № 2. С. 40–47.

50. Леденев О.А., Ложниченко О.В. Особенности гистологического строения желудочно-кишечного тракта рыб Черного моря // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2017а. № 2. С. 36–40.
51. Леин А.Ю., Иванов М.В. Крупнейший на земле метановый водоем // Природа. 2005. № 2. С. 19–26.
52. Ломакин П.Д., Попов М.А. Оценка степени загрязнения и перспектива экологических исследований вод Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2014. № 28. С. 195–213.
53. Ломакин П.Д., Чепыженко А.А. Гидрофизические условия и характеристика загрязнения вод бухты Казачья (Крым) в сентябре 2018 года // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 1. С. 48–54.
54. Лукашевич А.Н., Кузьминова Н.С. Размерно-массовые и репродуктивные характеристики черноморской скорпены и ставриды в 2016–2018 гг. // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. 2018. С. 155–159.
55. Лукин А.А., Шарова Ю.Н. Патологии микроструктуры генеративных органов самок сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра // Вопр. Ихтиологии. 2002. Т. 42. № 1. С. 114–120.
56. Лукина Л.И., Крохмаль В.А. Мониторинг влияния ливневых стоков и производственных сбросов Балаклавского рудоуправления на минеральный состав воды Балаклавской бухты // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. 2017. С. 782–786.
57. Лукина Ю.Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах европейско-сибирской области Палеарктики: дисс...докт. биол. наук: 03.02.08, 03.02.06. Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2014. 236 с.
58. Лукьяненко В.И. Влияние многофакторного антропогенного пресса на условия обитания, воспроизводство, численность и уловы осетровых рыб // Вопросы морфологии XXI века. 1990. № 3. С. 25–44.

59. Малахова Л.В. Современный уровень загрязненности хлорорганическими соединениями донных отложений украинского шельфа Чёрного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Т. 26. № 1. С. 64–74.
60. Малахова Л.В., Костова С.К., Плотичина О.В. Химическое загрязнение компонентов экосистемы Казачьей бухты (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. Т. 9. № 9. С. 112–116.
61. Малахова Л.В., Скуратовская Е.Н., Малахова Т.В. Хлорорганические загрязнители и интегральный биохимический индекс в печени морского ерша (*Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758) в акватории Севастополя (Черное море) // Эколого-географические проблемы регионов России. 2019. С. 154–158.
62. Матей В.Е. Жабры пресноводных костистых рыб: Морфофункциональная организация, адаптация, эволюция. СПб.: Наука, 1996. 204 с.
63. Матей В.Е. Хлоридные клетки — структурная основа ионообменных процессов в жабрах костистых рыб // Цитология. 1986. Т.28. № 1. С. 5–22.
64. Матей В.Е., Павлов Д.Ф., Чуйко Г.М. Влияние кадмия на структуру жабр тилапии // Цитология. 1993. Т. 35. № 10. С. 45-54.
65. Матей В.Е., Харазова А.Д. Влияние закисления внешней среды на пролиферативные процессы в жаберном эпителии окуня // Цитология. 1993. Т. 35. № 5. С. 6–23.
66. Мезенцева И.В., Мальченко Ю.А. Комплексный подход в организации мониторинга загрязнения морских вод в прибрежных акваториях Севастополя // Труды государственного океанографического института. 2015. № 216. С. 326-339.
67. Микодина Е.В. Гистология для ихтиологов: опыт и советы. Москва: ВНИРО, 2009. 112 с.

68. Минеев А.К. Патологии некоторых органов у бычка-кругляка Саратовского водохранилища // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 4. С. 153–157.
69. Миронов О.А. Методы и результаты мониторинга нефтяного загрязнения в прибрежной акватории г. Севастополя // Экологическая безопасность: сборник научных трудов. 2011. Т. 2. № 25. С. 206–211.
70. Миронов О.Г., Миронов О.А. Нефтяное загрязнение прибрежных донных осадков в акватории Севастополя (Черное море) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 3. С. 32–36.
71. Муравьева И.П., Миронова Т.О. Химический состав перифитона с макрообрастаний гидротехнических сооружений рекреационной зоны Севастополя (Черное море) // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. 2013. Т. 26. № 3. С. 144–151.
72. Овен Л.С. Особенности гаметогенеза у самцов морских костистых рыб с растянутым нерестом // Вопросы ихтиологии. 1977. Т. 17. № 1. С. 51–63.
73. Овен Л.С. Резорбция вителлогенных ооцитов как индикатор состояния популяций черноморских рыб и среды их обитания // Вопросы ихтиологии. 2004. Т. 44. № 1. С. 124–129.
74. Овсяный Е.И., Котельянец Е.А., Орехова Н.А. Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический журнал. 2009. № 4. С. 67–80.
75. Овсяный Е.И., Орехова Н.А. Накопление органического вещества в донных отложениях бухты Казачья (Черное море) как следствие антропогенной нагрузки // Метеорология и гидрология. 2019. № 5. С. 85–93.
76. Органические вещества донных отложений в условиях урбанизации побережья (на примере бухты Казачьей, Черное море) / Соловьева О.В. [и др.] // Океанология. 2019. Т. 59. № 2. С. 234–242.

77. Органическое вещество и гранулометрический состав современных донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / Орехова Н.А. [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2018. С. 523–533.
78. Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты / Орехова Н.А. [и др.] // Ученые записки крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. 2019. Т. 5. № 3. С. 49–64.
79. Орехова Н.А., Овсяный Е.И., Гуров К.И. Особенности динамики накопления органического углерода в донных отложениях Балаклавской бухты (по результатам наблюдений 2005–2010 гг.) // Моря России: методы, средства и результаты исследований. 2018. С. 183–184.
80. Особенности накопления хлорорганических загрязнений в органах морского ерша в Севастопольской морской акватории / Малахова Л.В. [и др.] // Комплексные исследования мирового океана. 2019. С. 222–223.
81. Пашина Л.С., Некрасов И.С., Селюков А.Г. Патоморфологические изменения жаберного аппарата сиговых рыб в условиях Северной Сосьвы // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 1. С. 90–97.
82. Пища и особенности питания черноморского морского ерша *Scorpaena porcus* (Osteichthyes: Scorpaenidae) у северного побережья Туниса (Центральная часть Средиземного моря) / Рафрафи-Нуира С. [и др.] // Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56. № 1. С. 76.
83. Поле мутности и оценка загрязнения вод Балаклавской бухты на основе гидрооптических методов наблюдений / Ломакин П.Д. [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. № 26. С. 249–256.
84. Полин А.А., Денисова Т.В., Попова Н.В. Сравнение морфо-биологических характеристик морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 Кавказского шельфа Черного моря (Большой Утриш, Магри, Адлер)

- // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. 2019. С. 398–399.
85. Полин А.А., Пашков А.Н., Денисова Т.В. Морфометрическая характеристика и половой диморфизм морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 прибрежной зоны Черного моря (Магри, Большой сочи) // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем. 2018. С. 200–205.
86. Полин А.А., Пашков А.Н., Денисова Т.В. Предварительные результаты сравнения морфометрических характеристик морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758, обитающего у берегов юго-западного Крыма и Северного Кавказа // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования. 2019. С. 622–627.
87. Попов М.А., Ковригина Н.П., Лисицкая Е.В. Комплексный мониторинг вод Балаклавской бухты // Труды южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. 2008. Т. 46. С. 118–124.
88. Популяционные характеристики морского ерша (*Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758) – массового донного вида черноморского побережья России / Аблязов Э.Р. [и др.] // Наземные и морские экосистемы причерноморья и их охрана. 2018. С. 3–4.
89. Пронина Г.И. Патологические изменения поджелудочной железы и печени рыб под действием аллоксана // Биомедицина. 2013. Т. 1. № 3. С. 59–62.
90. Распределение полей температуры, солености, общего взвешенного вещества и растворенного органического вещества в бухте Казачья (г. Севастополь) / Латушкин А.А. [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 1. С. 54–61.
91. Рощина О.В. Влияние природных и антропогенных факторов на активность ферментов сыворотки крови черноморских рыб (на примере морского ерша): автореф. дис...канд. биол. наук: 03.00.16. Москва, 2012. 150 с.

92. Рубцова С.И. Критерии оценки экологического состояния прибрежной зоны Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2011. № 25. С. 133–148.
93. Руднева И.И. Использование биомаркеров рыб для оценки экологического состояния морских акваторий // Экология. 2013. № 2. С. 68–73.
94. Руднева И.И. Ответные реакции морских животных на антропогенное загрязнение Черного моря: автореф. дис...канд. биол. наук: 03.00.29. Москва, 2000. 55 с.
95. Руднева И.И. Популяционные и морфофизиологические параметры черноморского ерша прибрежной зоны Севастополя // Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. 2016. С. 94–103.
96. Руднева И.И. Экотоксикологический подход в оценке состояния морских экосистем // Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование. 2018. С. 215–222.
97. Руднева И.И., Залевская И.Н., Шайда В.Г. Действие полихлорированных бифенилов на личинок атерины *Atherina hepsetus* // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43. № 2. С. 272–276.
98. Руднева И.И., Скуратовская Е.Н., Вахтина Т.Б. Влияние антропогенного загрязнения на активность антиоксидантных ферментов крови некоторых видов черноморских рыб // Вісник одеського національного університету. 2004. Т. 9. № 4. С. 116–120.
99. Рустамов Э.К., Касимов Р.Ю., Рагимова Н.Г. Влияние нефтяного загрязнения на рыб Каспийского моря. II. Поздние этапы развития // Известия АН Азербайджана. 2000. Т. 2. № 4. С.183–191.
100. Салмова Н.А., Журавлева Н.Г. Морфологическое строение печени и поджелудочной железы молоди трески (*Gadusmorthua* L.) в условиях

- искусственного выращивания // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 3. С. 551–558.
101. Сафиханова Х.М., Оруджева А.М., Рустамов Э.К. Гистопатологические изменения жаберной ткани у сазана в результате воздействия сырой нефти высоких концентраций // Вестник МГОУ. 2012. Т. 1. № 4. С. 62–67.
102. Сезонная динамика содержания и локальные источники биогенных элементов в водах прибрежной акватории Гераклейского полуострова / Совга Е.Е. [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 1. С. 56–65.
103. Селюков А.Г. Репродуктивная система сиговых рыб (*Coregonidae*, *Salmoniformes*) как индикатор состояния экосистемы Оби. I. половые циклы пеляди *Coregonus peled* // Вопр. Ихтиологии. 2002а. Т. 42. № 1. С. 85–92.
104. Селюков А.Г. Репродуктивная система сиговых рыб (*Coregonidae*, *Salmoniformes*) как индикатор состояния экосистемы Оби. II. половые циклы пеляди *Coregonus mursum* // Вопр. Ихтиологии. 2002б. Т. 42. № 1. С. 225–235.
105. Сигачева Т.Б., Чеснокова И.И., Гаврюсева Т.В. Характеристика некоторых биохимических показателей печени трех донных видов рыб Черного моря // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2020. Т. 56. № 1. С. 55–61.
106. Скуратовский Д.В. Анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков массовых видов рыб из прибрежных акваторий г. Севастополя // Морские исследования и рациональное природопользование. 2018. С. 272–274.
107. Снигирев С.М., Заморов В.В. Половой состав и размножение скорпены *Scorpaena porcus* L. в прибрежных водах острова Змеиный // Вісник одеського національного університету. 2009. Т. 14. № 14. С. 63–69.

108. Соловьева О.В., Тихонова Е. Содержания органического вещества в донных отложениях портовых акваторий Севастополя // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. 2018. Т. 4. № 4. С. 196–206.
109. Соловьева О.В., Тихонова Е.А. Влияние массовой застройки прибрежной зоны моря на экологическое благополучие акватории (на примере бухты Казачьей, Чёрное море) // Комплексные исследования мирового океана. 2017. С. 101–104.
110. Сравнительный анализ биохимических параметров морского ерша *Scorpaena porcus* L. из бухт г. Севастополя с разным уровнем загрязнения / Скуратовская Е.Н. [и др.] // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. 2016. С. 222–225.
111. Тамайчук А.Н. Пространственная неоднородность природных условий и районирование Черного моря // Известия русского географического общества. 2017. Т. 149. № 2. С. 30–50.
112. Тихонова Е.А., Котельянец Е.А. Многолетняя динамика загрязнения донных отложений Севастопольского побережья (на примере б. Казачья, Чёрное море) // Комплексные исследования мирового океана. 2017. С. 612–614.
113. Тихонова Е.А., Котельянец Е.А., Волков Н.Г. Характеристика загрязнения донных отложений прибрежной акватории Севастополя на примере Стрелецкой бухты (Чёрное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 1. С. 74–80.
114. Хлорорганические ксенобиотики в органах морского ерша *Scorpaena porcus* из Севастопольских бухт с различным уровнем антропогенного воздействия / Малахова Л.В. [и др.] // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. 2017. Т. 1. № 1. С. 67–70.
115. Хлорорганические соединения в ерше *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 в акватории Севастополя (Чёрное море): пространственное распределение

- и биологический отклик на уровень накопления загрязнителей / Малахова Л.В. [и др.] // Морской биологический журнал. 2018. Т.3. № 4. С. 51–63.
116. Чеботарева Ю.В., Савоскул С. П., Савваитова К. А. Аномалии в строении воспроизводительной системы самцов рыб Норило-пясинской водной системы (Таймыр) // Вопросы ихтиологии. 1996. Т. 36. № 5. С. 653–659.
117. Чеботарева Ю.В., Савоскул С.П., Савваитова К.А. Аномалии в строении воспроизводительной системы самок рыб Норило-Пясинских водоемов Таймыра // Вопр. ихтиологии. 1997. Т. 37. № 2. С. 217–223.
118. Чеснокова И.И. Активность аминотрансфераз в гонадах черноморских рыб из бухт с разным уровнем загрязнения // Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование. 2018. С. 291–297.
119. Чеснокова И.И. Биомаркеры черноморских рыб как показатели экологического состояния среды их обитания: автореф. дис...канд. биол. наук: 03.02.10. Севастополь, 2017. 179 с.
120. Шаганов В.В., Дончик П.И. Материалы по биологии морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (*Scorpaenidae*, *Perciformes*) в прибрежной зоне юго-восточного Крыма (Черное море) // Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов. 2015. С. 379–382.
121. Шаганов В.В., Петрова Т.Н. Биологические характеристики морского ерша *Scorpaena porcus* (*Scorpaenidae*, *Perciformes*) Черного моря в районе Карадагского природного заповедника // Заповедники - 2019: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление. 2019. С. 418–422.
122. Шайда В.Г., Скуратовская Е.Н., Руднева И.И. Влияние загрязнения на параметры окислительного стресса в тканях рыб // Проблемы патологии, иммунологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов. 2015. С. 369–374.

123. Шатуновский М.И., Рубан Г.И., Акимова Н.В. О популяционных и онтогенетических механизмах регуляции воспроизводства рыб // Успехи современной биологии. 2007. Т. 127. № 1. С. 87–96.
124. Шуман Л.А. Гистопатологические изменения и репродукционный потенциал у рыб в водоемах Обь-Иртышского бассейна с различной антропогенной нагрузкой: дис...канд. биол. наук: 03.02.06. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2014. 203 с.
125. Шуман Л.А., Некрасов И.С., Селюков А.Г. Морфофункциональные корреляции окуня *Perca fluviatilis* в загрязненных озерах среднего Приобья // Экология. 2013. С. 128–139.
126. Экологический мониторинг поверхностного слоя внутренней и внешней акваторий Балаклавской бухты (Крым, Черное море) / Поповичев В.Н. [и др.] // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: современные методы исследования состояния поверхностных вод в условиях антропогенной нагрузки. 2014. С. 156–160.

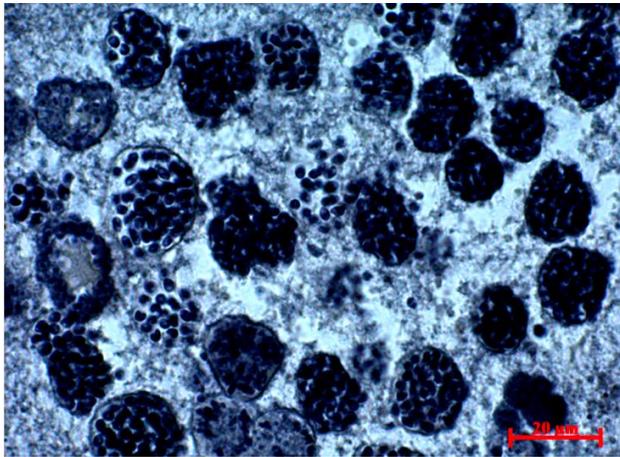
Содержание в донных отложениях некоторых металлов в трех районах
Севастопольского региона [Овсяный, Котельянец, Орехова, с. 70]

Мета лл, мг/кг	Район								
	Балаклавская бухта			Казачья бухта			Стрелецкая бухта		
	Миним ум	Макси мум	Средн ее значен ие	Миним ум	Макси мум	Средн ее значен ие	Миним ум	Макси мум	Средн ее значен ие
Zn	29,2	359,1	194,2	17	176	96,5	51	122	84
Ni	15,4	43,3	29,4	13	35,5	24,3	26	32	28
Cr	41,7	87,2	64,5	48	95	71,5	49	63,4	58
As	2,5	98,4	50,5	8	37	22,5	4	50	17
Sr	117	1214	665,5	462	2677	1569	120	309	236
Co	4,7	39,3	22	9	39	24	2,5	20,4	11,5
Pb	1,4	500,6	251	6	12	9	15,8	504	260

Средняя концентрация гидрохимических параметров вод трех исследованных бухт [Малахова, с. 70; Коршенко, с. 107; Котельянец, Гуров, Тихонова, с. 10]

Элемент	Средняя концентрация		
	Балаклавская бухта	Казачья бухта	Стрелецкая бухта
PO ₄ , мкг/л	59	57	61
SiO ₂ , мкг/л	585	580	602
NO ₂ , мкг/л	7	6	2
NO ₃ , мкг/л	14	6	32
NH ₄ , мкг/л	15	12	17
Величина pH	8,24	7,4	7,79
БПК5, мг/л	2,42	2,11	2,75
Норг	475	447	511
НУ, мг/л	7	2,5	4

Споры паразитов в ооцитах черноморской скорпены, отловленной в
Балаклавской бухте (окрашено гематоксилином)



Споры паразитов в ооцитах черноморской скорпены, отловленной в
Балаклавской бухте (окрашено азаном)

