

Департамент образования и науки города Севастополя  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
Центр дополнительного образования  
«Малая академия наук»

**ПОКАЗАТЕЛИ БЕЛКОВОГО МЕТАБОЛИЗМА  
МАССОВЫХ ПРИБРЕЖНЫХ ВИДОВ  
РЫБ ЧЁРНОГО МОРЯ**

Работу выполнил:

**Вдович Илья Фёдорович,**  
учащийся творческого объединения  
«Экотоксикология» ГБОУ  
ЦДО «Малая академия наук»,  
МБОУ «СОШ №31», 10 класс;

Научный руководитель:

**Скуратовская Екатерина Николаевна,**  
педагог дополнительного образования,  
руководитель творческого объединения  
«Экотоксикология» ГБОУ ЦДО «Малая  
академия наук», к.б.н., вед.н.с.  
ФИЦ ИнБЮМ

Севастополь

2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	6
РАЗДЕЛ 2. ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
2.1. Характеристика объектов исследования.....	9
2.2. Материал и методы исследования.....	11
2.3. Статистическая обработка данных.....	13
РАЗДЕЛ 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....	14
3.1. Видовые особенности показателей белкового метаболизма в печени рыб.....	14
3.2. Сравнительный анализ показателей белкового метаболизма в печени рыб отловленных в разных бухтах.....	18
3.2.1. Экологическая характеристика районов исследования.....	18
3.2.2. Показатели белкового метаболизма в печени морского ерша из разных бухт.....	20
ВЫВОДЫ.....	24
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	25

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Рыбы как представители высшего трофического звена в прибрежных сообществах играют важную роль, в наибольшей степени потребляются человеком, являются признанными тест-организмами для оценки токсичности природных и сточных вод и включены в международный стандарт, поэтому их широко используют в мониторинговых исследованиях [14, 15, 23].

В современных ихтиологических исследованиях используют показатели различного биологического уровня для оценки состояния рыб и среды их обитания. В качестве таких показателей используют популяционные, морфофизиологические, а также биохимические параметры, которые, в свою очередь, являются наиболее чувствительными и позволяют в достаточно краткие сроки оценить состояние гидробионтов [17, 21, 23].

Загрязнение среды обитания существенно изменяет физиологический и биохимический статус организма, приводит к нарушению метаболических процессов и повреждению важнейших биологических молекул и клеточных структур. Физиологические и биохимические параметры важны как биомаркеры ранних откликов на действие неблагоприятных факторов, они реагируют на низкие концентрации токсикантов и служат предвестниками развития стрессовой реакции организма. Совершенно очевидно, что наиболее полно процессы, происходящие в водных сообществах под антропогенным воздействием, можно охарактеризовать только при комплексном применении маркеров. В то же время одними из наиболее информативных являются показатели печени, отражающие состояние белкового метаболизма [9, 15, 17, 21, 23].

Севастопольская морская акватория является местом активного хозяйственного использования. В её воды поступают неочищенные или условно – чистые промышленные и хозяйственно-бытовые стоки. Бухты Севастополя различаются по антропогенной нагрузке и экологическим условиям и, таким образом, могут служить удобной моделью для сравнения процессов,

происходящих под влиянием естественных и антропогенных факторов в популяции рыб [13, 16].

**Цель и задачи исследования** – изучить показатели белкового метаболизма массовых прибрежных видов рыб Чёрного моря: ставриды *Trachurus mediterraneus*, спикары *Spicara flexuosa*, султанки *Mullus barbatus ponticus*, морского ерша - *Scorpaena porcus*.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать и обобщить научную литературу по исследуемой проблеме.

2. Изучить особенности белкового метаболизма в печени прибрежных видов рыб Чёрного моря.

3. Провести сравнительный анализ полученных показателей белкового метаболизма рыб из бухт Севастополя с разным уровнем загрязнению.

*Предмет исследований* – изменение показателей белкового метаболизма прибрежных видов рыб Чёрного моря: ставриды *Trachurus mediterraneus*, спикары *Spicara flexuosa*, султанки *Mullus barbatus ponticus*, морского ерша *Scorpaena porcus*.

*Методы исследований* – ихтиологические, биохимические, статистический анализ.

**Научная новизна полученных результатов.** Впервые установлены видовые отличия показателей белкового метаболизма в печени рыб разных систематических и экологических групп в прибрежной акватории Севастополя; рассмотрена возможность их использования в биоиндикационных исследованиях.

**Теоретическое и практическое значение.** Сравнительный анализ показателей белкового метаболизма разных видов рыб и выявление связи этих параметров с особенностями биологии и экологии организма представляет несомненный интерес.

С теоретической точки зрения анализ показателей белкового метаболизма разных по экологии видов рыб важен для понимания их эволюции и механизмов адаптаций к разнообразным условиям существования. Эти знания также важны для решения многих задач, связанных с охраной природы, рациональным природопользованием, для оценки состояния рыб и среды их обитания в мониторинговых исследованиях. Анализируемые в данной работе биохимические показатели дают возможность получить более полную информацию о состоянии ихтиоценозов прибрежных районов Севастополя, что особенно важно для проведения экологического мониторинга.

## РАЗДЕЛ 1

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Потребность в оценке физиологического состояния рыб возникла достаточно давно – в первой половине XX века – в связи со становлением управляемого рыбного хозяйства. Для её проведения вначале использовали биологические и морфометрические показатели, однако вскоре стало ясно, что их недостаточно для объяснения комплекса реакций на различные абиотические и биотические воздействия и для продолжения жизнедеятельности [4, 15, 24].

Биохимические показатели позволяют в краткие сроки и на ранних стадиях выявить негативное воздействие неблагоприятных факторов, а также понять механизмы адаптации организмов к разным условиям обитания [17, 21, 23].

Применение показателей печени для оценки состояния рыб и среды их обитания представляет несомненный интерес в связи многофункциональностью данного органа. Печень выполняет несколько функций: вырабатывает желчь, которая активизирует ферменты, является кроветворным органом, нейтрализует вредные продукты распада, в ней также обезвреживаются ядовитые вещества и накапливаются углеводы [8, 23].

Наиболее важными показателями печени, отражающими физиологическое состояние рыб при воздействии неблагоприятных факторов, являются индекс печени, содержание белков и продуктов перекисного окисления, а также активность антиоксидантных ферментов.

В печени синтезируется основной белок плазмы крови - альбумин. Его содержание колеблется от 5 до 60% от общего количества белка в плазме рыб. Основная роль альбумина заключается в поддержании коллоидно-осмотического (онкотического) давления плазмы и объема циркулирующей крови, а также в транспорте и депонировании различных веществ. Он связывает неполярные вещества, такие как билирубин и жирные кислоты, холестерин. Гормоны, связанные с альбумином, находятся в неактивной, но легко мобилизуемой форме.

Около 40% кальция плазмы обратимо связывается с альбумином, находясь в подвижном равновесии с физиологически активным ионизированным кальцием плазмы. Многие лекарственные вещества, токсиканты, поступающие в организм, связываются альбумином, благодаря чему этот белок играет значительную роль в осуществлении процессов детоксикации организма. Альбумин крови является эндогенным резервом аминокислот и при длительном голодании расходуется в первую очередь [1, 11, 19].

Важно отметить, что альбумин обладает уникальными антиоксидантными свойствами благодаря наличию сульфгидрильной группы. Альбумин, являясь тиолсодержащим белком, проявляет нейтрализующее действие по отношению к свободным радикалам. Восстановленные тиолы обладают высокой антиокислительной активностью, они имеют как антирадикальные, так и антиперекисные свойства и способны защищать от повреждения нуклеиновые кислоты, липиды, ферменты и другие биологически активные вещества [19].

В процессе функционирования в организме белки подвергаются свободнорадикальному окислению. В то же время процесс окислительной модификации белков (ОМБ) играет важную роль в обмене веществ. Окисление белков происходит постоянно во всех живых организмах. Накопление окисленных белков рассматривается как один из факторов регуляции их синтеза и распада, активации протеолитических ферментов, избирательно разрушающих окисленные белки. Однако при многих патологиях и воздействии неблагоприятных факторов содержание окисленных компонентов повышается, что приводит к нарушению метаболизма и ухудшению состояния организма. Окислительная модификация белков, с учетом их многообразной функциональной нагрузки, в тканях в отличие от перекисидации липидов, может носить избирательный и специфический характер. Окислительная модификация белков сопровождается нарушением не только вторичной и третичной, но и первичной структуры белков, что, в зависимости от аминокислотного состава, приводит к агрегации или фрагментации белковой молекулы. На организменном

уровне усиление процессов окислительной модификации компонентов клеточной мембраны может являться причиной изменений основных свойств клеток как единых функциональных систем [6, 12].

Аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспаратаминотрансфераза (АСТ) – ферменты печени, участвующие в обмене аминокислот. Аминотрансферазы играют важную роль в метаболизме, объединяя в единое целое белковый, углеводный и липидный обмен, а также цикл трикарбоновых кислот. Уровень активности АЛТ и АСТ часто используют как индикатор нарушения функции печени и сердца животных. Повышение активности этих ферментов в крови позволяет диагностировать патологические состояния, сопровождающиеся некрозом тканей. Однако, активность самих ферментов и их соотношение (коэффициент де Ритиса) сильно варьируют у разных видов рыб. Изучение особенностей активности аминотрансфераз в тканях черноморских рыб, некоторые из которых являются промысловыми видами, представляет несомненный интерес [1, 5, 10, 23].

## РАЗДЕЛ 2

### ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 2.1. Характеристика объектов исследования.

Объектами исследования служили 4 массовых прибрежных вида рыб разных систематических и экологических групп, отловленные в осенний период в акватории Севастополя (табл. 2.1).

Таблица 2.1

#### Экологические группы черноморских рыб

Донная	Придонная	Придонно-пелагическая	Пелагическая
Морской ёрш <i>Scorpaena porcus</i>  Сем. Scorpaenidae	Султанка <i>Mullus barbatus ponticus</i> Сем. Mullidae	Спикара <i>Spicara flexuosa</i>  Сем. Centranchidae	Ставрида <i>Trachurus mediterraneus</i>  Сем. Carangidae

**Морской ёрш (скорпена) *Scorpaena porcus*** обитает в Восточной Атлантике от Британских островов до Марокко, Азорских, Канарских островов и в Средиземноморском бассейне. В Чёрном море широко распространен по всему побережью. Встречается также в Керченском проливе, иногда – в Азовском море.

Морской донный вид, большую часть времени проводит неподвижно, прячась среди камней или в зарослях морских трав и водорослей, часто встречается на песке и ракушечнике на глубинах от 0.5-1 до 30-40 м. Размножается с апреля до середины сентября, нерест порционный, самки одновременно выметывают две порции икры, заключенной в прозрачные слизистые капсулы, в каждой из которых находятся от 1700 до 3000 икринок при общей индивидуальной плодовитости до 178 тыс. икринок. После попадания в

воду капсулы значительно набухают и всплывают к поверхности воды, где и происходит развитие икры и личинок до превращения последних в мальков, которые при достижении длины 12-15 мм переходят к донному образу жизни. Самки достигают половой зрелости на третьем году жизни, самцы – на втором.

Скорпена является типичным хищником-засадчиком, подстерегает движущую добычу, определяя ее нахождение с помощью зрения и восприятия колебаний воды, на неподвижные объекты не реагирует. Питается в основном придонными и донными рыбами, креветками, крупными ракообразными.

В связи с относительно небольшой численностью морской ёрш не имеет промыслового значения [2, 22].

**Султанка** - *Mullus barbatus ponticus*. Султанка (барабулька) обитает по всем берегам Чёрного моря, однако в его северо-западной части редка, распространена также в Азовском море до Таганрогского залива. Достигает максимальной длины около 20 см; чаще встречаются рыбы не более 15 см. Барабуля – обитатель песчаного и илистого дна. Здесь она находит себе пищу (многощетинковых червей, ракообразных, моллюсков), Нерест султанок продолжается с мая по август, икра у неё пелагическая. В холодный период рыбы отходят от берегов на большие глубины (более 100 м), весной появляются обычно в мае. Барабуля является ценным, но весьма ограниченным в настоящее время по объёмам вылова промысловым видом [2, 22].

**Спикара** - *Spicara flexuosa*. Обитает в Восточной Атлантике у берегов Португалии, в морях Средиземноморского бассейна. В Черном море обычна у всех берегов, иногда встречается и в Азовском море. Обитает в прибрежной зоне, к берегу подходит весной, и осенью, при похолодании воды до 12-16С, летом и зимой отходит на большие глубины. Протогинический гермафродит, достигает половой зрелости в возрасте одного года, но при этом в основном формируется самки, которые обычно к третьему году жизни превращаются в самцов.

Нерест в Чёрном море происходит конца мая до середины июля. В это

время самец оборудует на дне на глубине от 5 до 30 м продолговатое гнездо в виде углубления в песчано-галечном грунте размером 20-40 см и 15-20 см. Имеет небольшое промысловое значение как прилов в прибрежном рыболовстве [2, 22].

**Ставрида** - *Trachurus mediterraneus ponticus*. Морская стайная рыба, по мере прогревания воды поднимается к поверхности и подходит к берегам, происходит это обычно начиная с апреля. К началу нереста, длящегося с мая по август, ставрида держится разряжено в небольших косяках. Икрометание происходит вдоль всех берегов Чёрного моря, за исключением опресненных районов. Икра пелагическая, держится от поверхности до слоя термоклина, но основная масса сосредоточена в верхнем пятиметровом слое. В поисках пищи мигрирует на значительные расстояния. Питается молодью мелких стайных рыб, в основном хамсы, зоопланктоном передвигаясь к северным частям ареала. В конце лета черноморская ставрида начинает отходить южнее и с похолоданием опускается на большие глубины (от 40 м и более). Имеет большое промысловое значение [2, 22].

## 2.2. Материал и методы исследований.

Рыб отлавливали с помощью донных ставников в акватории г. Севастополя осенью 2020 г. Материалом для биохимических исследований служила печень рыб. Печень несколько раз промывали холодным 0,85 % физраствором, гомогенизировали и центрифугировали (10000 g) 15 минут на холоде. Для дальнейшего анализа использовали супернатант.

В супернатантах определяли содержание альбумина, уровень окислительной модификации белков, активность аминотрансфераз (АЛТ, АСТ). Все показатели пересчитывали на белок. Все измерения проводили на спектрофотометре СФ-2000 (Россия).

**Определение содержания общего белка.** Содержание общего белка

определяли с использованием стандартного набора реактивов «Общий белок-РФ-ОЛЬВЕКС». Принцип метода основан на том, что белки реагируют с сернокислой медью в щелочной среде с образованием соединений фиолетовой окраски (биуретовая реакция). Интенсивность окрашивания реакционного раствора прямопропорциональна концентрации белков в анализируемой пробе. Содержание общего белка определяли на спектрофотометре при длине волны 540 нм. Расчёт концентрации общего белка проводили по формуле (1):

$$C = \frac{E_{\text{оп}}}{E_{\text{кал}}} \times 70, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация общего белка в анализируемой пробе, г/л; 70 – концентрация общего белка в калибровочном растворе, г/л;  $E_{\text{оп}}$  – оптическая плотность опытной пробы, ед. опт. плотности;  $E_{\text{кал}}$  – оптическая плотность калибровочной пробы, ед. опт. плотности.

**Определение содержания альбумина.** Содержание альбумина определяли с использованием стандартного набора реактивов «Альбумин-РФ-ОЛЬВЕКС». Альбумин образует в слабокислой среде с индикатором бромкрезоловым зелёным в присутствии детергента окрашенное соединение, интенсивность окраски которого пропорциональна концентрации альбумина в сыворотке крови. Содержание альбумина определяли на спектрофотометре при длине волны 630 нм. Расчёт концентрации альбумина проводили по формуле (2):

$$C = \frac{E_{\text{оп}}}{E_{\text{кал}}} \times 60 \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация альбумина в анализируемой пробе, г/л; 60 – концентрация альбумина в калибровочном растворе, г/л;  $E_{\text{оп}}$  – оптическая плотность опытной пробы, ед. опт. плотности;  $E_{\text{кал}}$  – оптическая плотность калибровочной пробы, ед. опт. плотности.

**Определение уровня окислительной модификации белков.** Уровень окислительной модификации белков анализировали на основе реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белка с 2,4-динитрофенилгидразином с образованием 2,4-динитрофенил-гидразонов. Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенил-гидразонов

регистрировали при следующих длинах волн: 346 нм и 370 нм (альдегидные и кетонные продукты окислительной модификации нейтрального характера), а также при 430 нм и 530 нм (альдегидные и кетонные продукты окислительной модификации основного характера). Содержание продуктов окисления белков выражали в оптических единицах (опт. ед.) на 1 мг белка [6].

**Активность аминотрансфераз** в сыворотке рыб определяли методом Райтмана-Френкеля с использованием стандартных наборов реактивов «АЛТ-РФ-ОЛЬВЕКС», «АСТ-РФ-ОЛЬВЕКС».

### 2.3. Статистическая обработка данных.

Статистическую обработку данных проводили по Лакину (1990). Вычисляли среднее арифметическое ( $M$ ), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), ошибку среднего арифметического ( $m$ ). Сравнительный анализ данных осуществляли с использованием  $t$ -критерия Стьюдента. Различия между сравниваемыми рядами считали достоверными и статистически значимыми при  $p \geq 0,05$ .

## РАЗДЕЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

#### 3.1. Видовые особенности показателей белкового метаболизма печени рыб.

Исследование показателей белкового метаболизма печени рыб разных систематических и экологических групп имеет важное значение для понимания механизмов адаптаций к определенным условиям существования.

В связи с вышеизложенным проведен сравнительный анализ некоторых показателей белкового метаболизма - активности аминотрансфераз, содержания альбумина и уровня окислительной модификации белков в печени исследуемых рыб.

Аминотрансферазы занимают важную роль в метаболизме, объединяя в единое целое белковый, углеводный и липидный обмен, а также цикл трикарбоновых кислот [1]. Изучение особенностей активности аминотрансфераз в тканях черноморских рыб, некоторые из которых являются промысловыми видами, представляет несомненный интерес.

Активность АЛТ в печени султанки и спикары достоверно превышала значения морского ерша и ставриды (рис. 3.1).

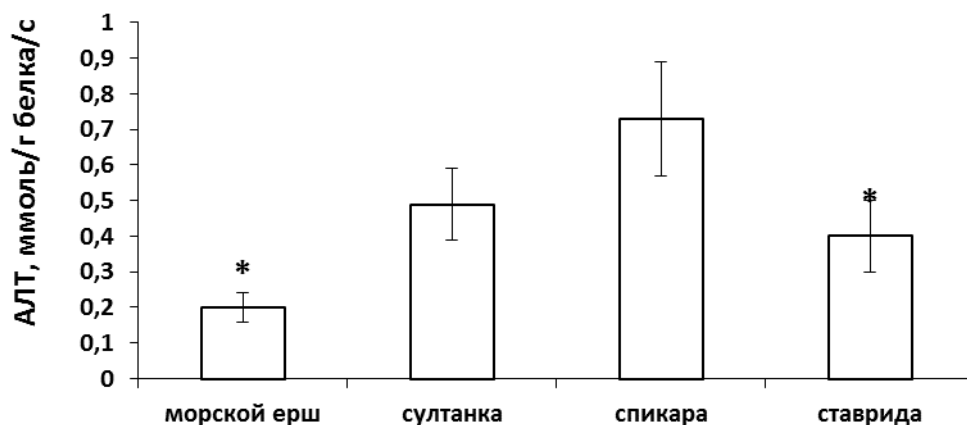


Рис. 3.1 Активность аланинаминотрансферазы в печени рыб (M ± m).

Примечание: \* -различия достоверны по сравнению со значениями султанки и спикары

Активность АСТ в печени морского ерша была достоверно выше, чем у других видов рыб (рис. 3.2). Полученные результаты могут быть обусловлены особенностями биологии и экологии исследуемых видов рыб.

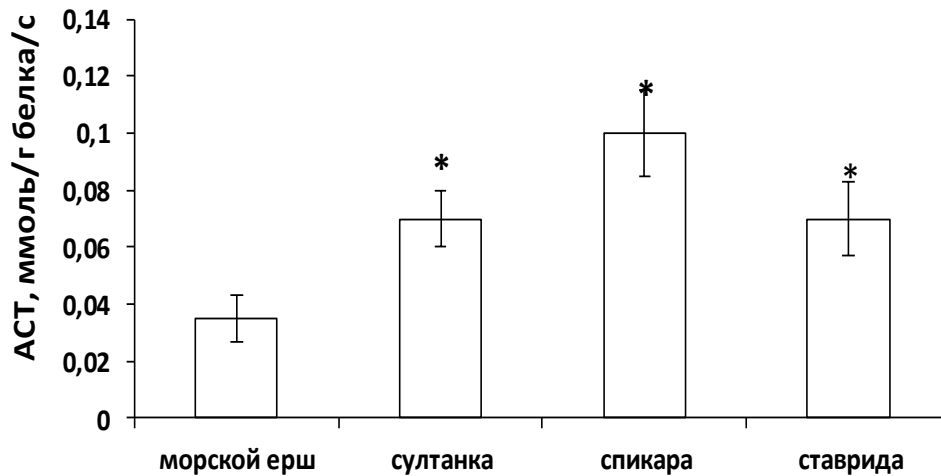


Рис. 3.2. Активность АСТ в печени разных видов рыб ( $M \pm m$ ).

Выявлены видовые особенности содержания альбумина в печени рыб (рис. 3.3).

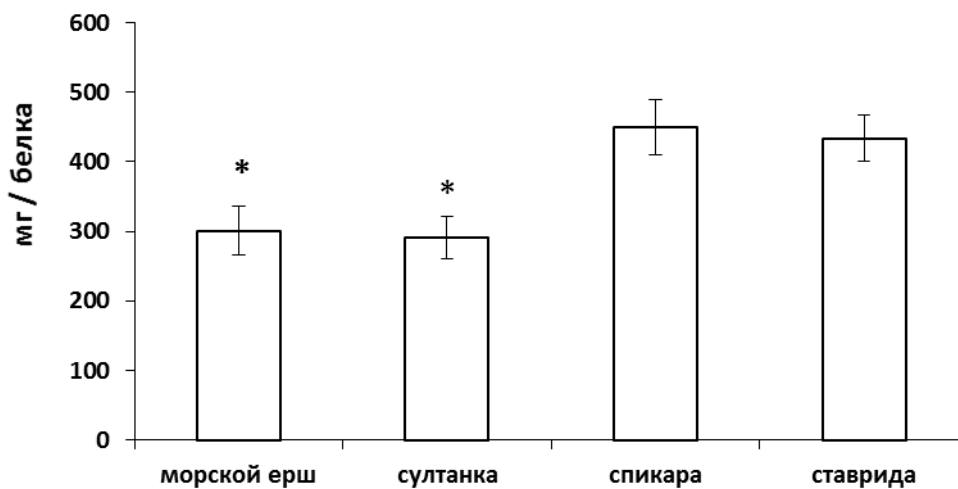


Рис. 3.3. Содержание альбумина в печени рыб ( $M \pm m$ ).

Примечание: \* - различия достоверны по сравнению со значениями спикары и ставриды

Уровень окислительной модификации белков в печени султанки и ставриды были значительно ниже по сравнению с морским ершом и спикарой (рис. 3.4).

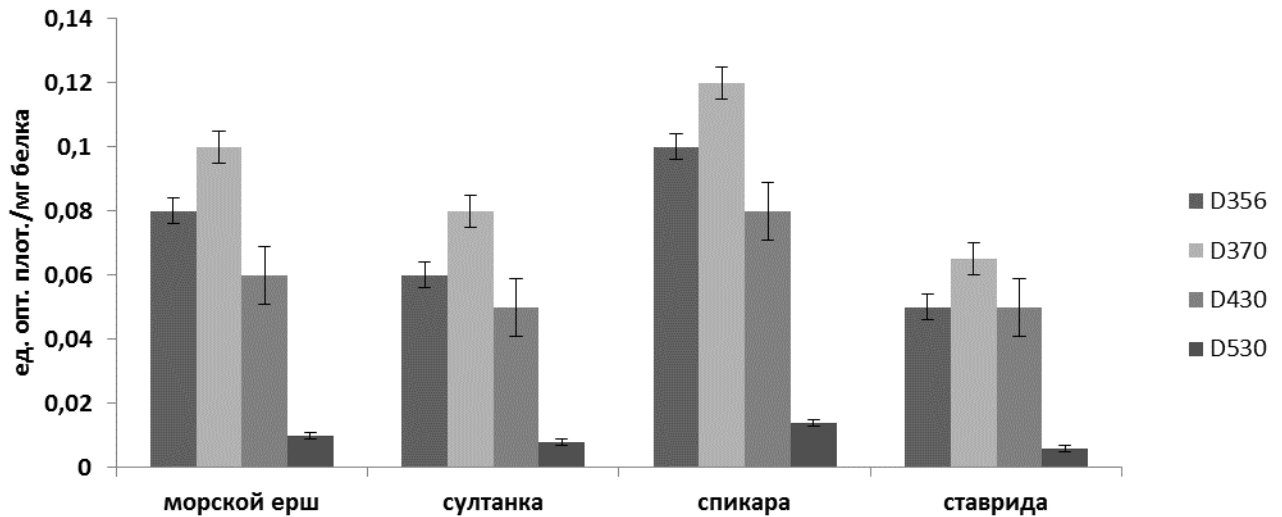


Рис. 3.4. Содержание продуктов окислительной модификации белков в печени исследуемых видов рыб ( $M \pm m$ ).

Общее содержание продуктов окислительной модификации белков увеличивается в ряду ставрида → султанка → морской ерш → спикара (рис. 3.5).

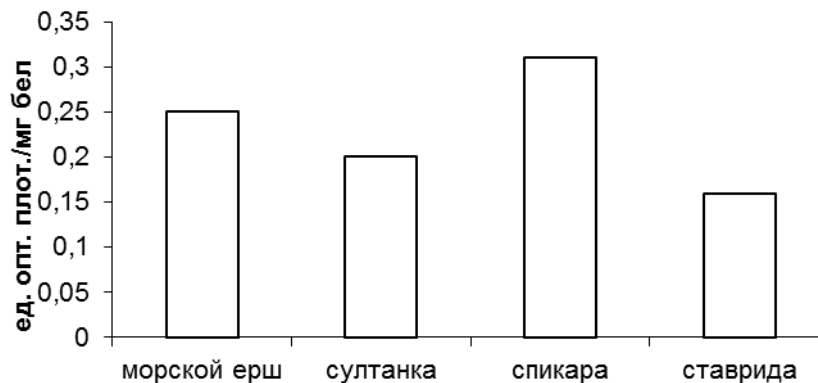


Рис.3.5. Общее содержание продуктов окислительной модификации белков в печени рыб.

Концентрация альбумина в печени активных мигрантов спикары и ставриды превышала соответствующие значения представителей донно-придонного комплекса - морского ерша и султанки, что может быть связано с их естественной подвижностью, особенностями биологии и питанием (рис. 3.3).

На содержание окисленных белков существенное влияние оказывают условия обитания, а также токсиканты, содержащиеся в среде и в организме. Избыточное количество ксенобиотиков в воде и накопление их в организме стимулирует свободнорадикальные процессы, вызывающие повреждение белковых молекул [21, 23].

Минимальное содержание окисленных белков в печени ставриды, вероятно, обусловлено как экологическими особенностями, видовой специфичностью, так и особенностями накопления токсичных элементов в тканях.

Ставрида - пелагический, быстро перемещающийся вид, способный уйти из акваторий с повышенным загрязнением в более чистые районы. Как известно, у подвижных рыб выше уровень обменных процессов, в связи с чем в организме ставриды происходит более быстрое расщепление и удаление продуктов окисления [2, 22, 24].

Султанка - представитель придонной группы, бентофаг, постоянно контактирующий с токсикантами, которые накапливаются в придонных слоях воды. Однако уровень окислительной модификации белков в печени султанки значительно ниже, чем у морского ерша и спикары, что, вероятно, обусловлено высоким уровнем антиоксидантной защиты. Известно, что у султанки активность антиоксидантных ферментов и содержание каротиноидов - низкомолекулярных антиоксидантов выше, чем у остальных исследуемых видов рыб [2, 20, 22, 24].

Высокий уровень ОМБ в печени морского ерша, по сравнению со ставридой и султанкой, также обусловлен образом жизни. Донные виды, к числу которых относится скорпена, находятся в условиях достаточно высоких концентраций ксенобиотиков, аккумулированных в грунтах. Постоянное поступление токсикантов в организм и накопление в тканях, в том числе тяжелых металлов,

приводит к интенсификации перекисных процессов и накоплению продуктов окислительной модификации белков [21, 23].

Максимальное содержание окисленных белков в печени спикары, вероятно, обусловлено способностью накапливать высокие концентрации наиболее опасных токсичных элементов Cd, As, Hg в тканях, что подтверждено более ранними исследованиями [21].

Таким образом, установлены видовые отличия показателей белкового метаболизма, связанные с особенностями биологии и экологии рыб, особенностями накоплениями токсикантов в тканях, естественной подвижностью.

3.2. Сравнительный анализ показателей белкового метаболизма в печени рыб отловленных в разных бухтах.

Для того чтобы определить возможность использования показателей белкового метаболизма в оценке экологического состояния прибрежных акваторий был проведен их сравнительный анализ в печени рыб из бухт с разным уровнем загрязнения. В качестве объекта исследований был выбран морской ерш – биоиндикаторный вид, широко используемый в экотоксикологических исследованиях [23].

### 3.2.1. Экологическая характеристика районов исследования.

Для проведения исследования были выбраны 3 севастопольские бухты с разным уровнем загрязнения: б. Ласпи, б. Казачья и б. Стрелецкая (рис. 3.6).

Все выбранные локации различаются по водообмену, стратификации, перемешиванию воды и особенно по степени антропогенного воздействия на них.

*Стрелецкая бухта.* Стрелецкая бухта является одной из наиболее подверженных антропогенному прессу акваторий г. Севастополя. Бухта глубоко

вдается в берег, на котором для причала судов была устроена искусственная насыпь. Для донных осадков Стрелецкой бухты характерны заиленные ракушняки, пески и чёрные илы. Рыхлые грунты бухты Стрелецкой представлены в основном алеврито-пелитовыми фракциями, обладающими наибольшей аккумулирующей способностью, в связи с чем бухта характеризуется высоким загрязнением донных осадков хлорорганическими соединениями и нефтяными углеводородами. В Стрелецкой бухте базируются корабли Черноморского флота России, здесь же располагаются рыбацкая артель и лодочная пристань. Два последних десятилетия в бухте отмечается интенсивная застройка береговой полосы жилыми и гостиничными комплексами, расширением сети причалов для судов малого флота. Все это приводит к увеличению антропогенной нагрузки на акваторию [3, 13, 23].



Рис. 3.6. Районы исследований: 1 – б. Стрелецкая, 2 – б. Казачья, 3 – б. Ласпи.

*Казачья бухта.* Казачья бухта Бухта расположена в 15 км от центра Севастополя и по гидрохимическим показателям воды и экологическим характеристикам относится к условно чистым акваториям. Донные отложения

Казачьей бухты представлены в основном заиленными ракушняками и песками. Такие крупнозернистые осадки характеризуются хорошей промываемостью и малой сорбционной емкостью загрязняющих веществ. Так как Казачья бухта расположена ближе к открытой части моря, имеет активный водообмен, уровень антропогенной нагрузки не высок [13, 16, 23].

*Бухта Ласпи.* Бухта Ласпи расположена в юго-западной части Крымского полуострова между мысами Айя и Сарыч, протяжённость береговой линии составляет около 4 км. По многолетним наблюдениям за гидрохимическими показателями воды в бухте показано, что, благодаря интенсивному водообмену, тенденции накопления биогенных веществ и повышения их концентрации до экологически опасных уровней в акватории не зарегистрировано, что свидетельствует о благополучном экологическом состоянии акватории. Обеспеченность кислородом водной толщи высокая, при этом отмечено отсутствие его дефицита в придонном слое.

В бухте Ласпи донные отложения представлены в основном песками, слабо сорбирующими гидрофобные загрязняющие вещества. Концентрация хлорорганических загрязнителей и нефтяных углеводородов здесь намного ниже, чем в других исследуемых районах. Акватория бухты отличается уникальными рекреационными характеристиками и большими возможностями для размещения марихозяйств [7, 13, 18].

Таким образом, на основании представленных данных о загрязнении морской воды и грунтов исследуемых районов можно сделать вывод, что уровень загрязнения тестируемых бухт существенно различается. Это особенно выражено для грунтов, с которыми тесно контактирует объект исследований. Стрелецкая бухта является наиболее загрязненной по сравнению с б. Казачьей и б. Ласпи.

### 3.2.2. Показатели белкового метаболизма в печени морского ерша из разных бухт.

Активность АЛТ и АСТ в печени морского ерша из б. Ласпи была ниже, чем в других акваториях (рис. 3.7, 3.8).

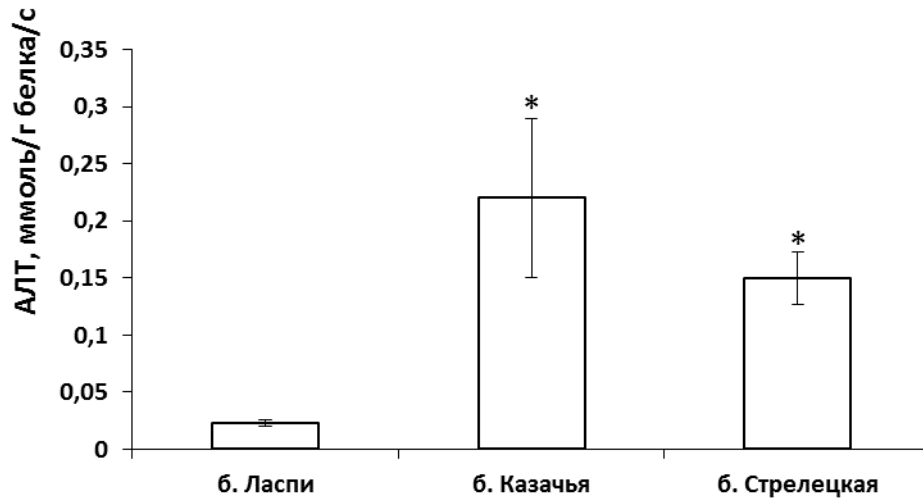


Рис. 3.7. Активность АЛТ в печени морского ерша из разных бухт. \*

\*Примечание: различия достоверны по сравнению с б. Ласпи.

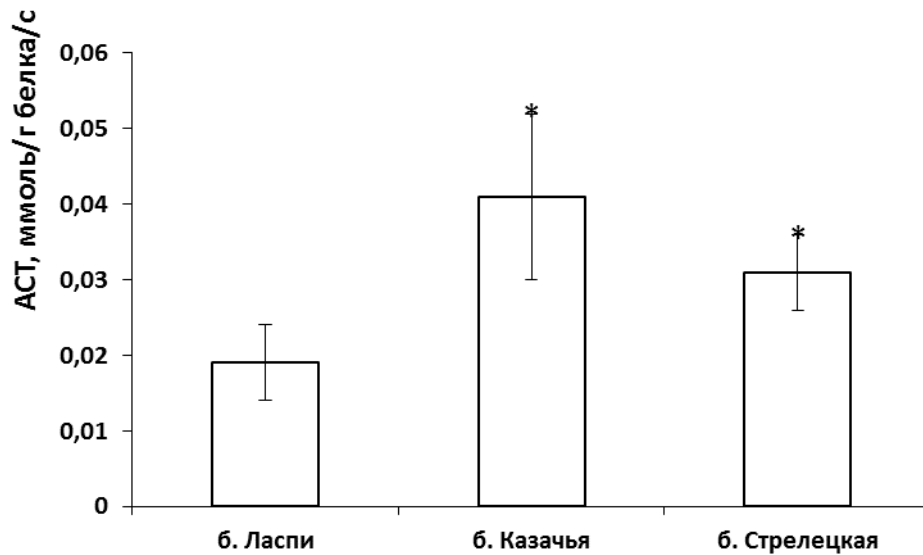


Рис. 3.8. Активность АСТ в печени морского ерша из разных бухт. \*

\*Примечание: различия достоверны по сравнению с б. Ласпи.

Содержание альбумина в печени морского ерша увеличивалось в ряду б. Ласпи < б. Казачья < б. Стрелецкая, принимая достоверно максимальные значения у экземпляров из б. Стрелецкой (рис. 3.9).

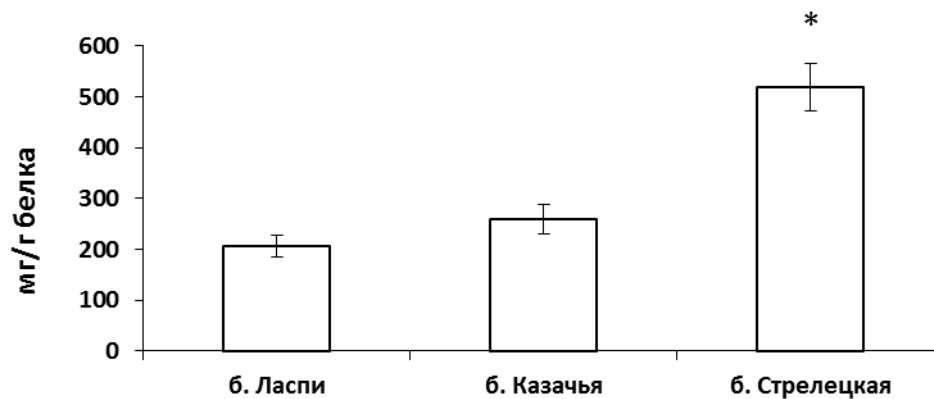


Рис. 3.9. Содержание альбумина в печени морского ерша из разных бухт.\*

\*Примечание: различия достоверны по сравнению с б. Ласпи и б. Казачьей.

Уровень ОМБ в экстрактах печени морского ерша из Стрелецкой бухты значительно превосходил соответствующие показатели рыб из других акваторий (рис. 3.10).

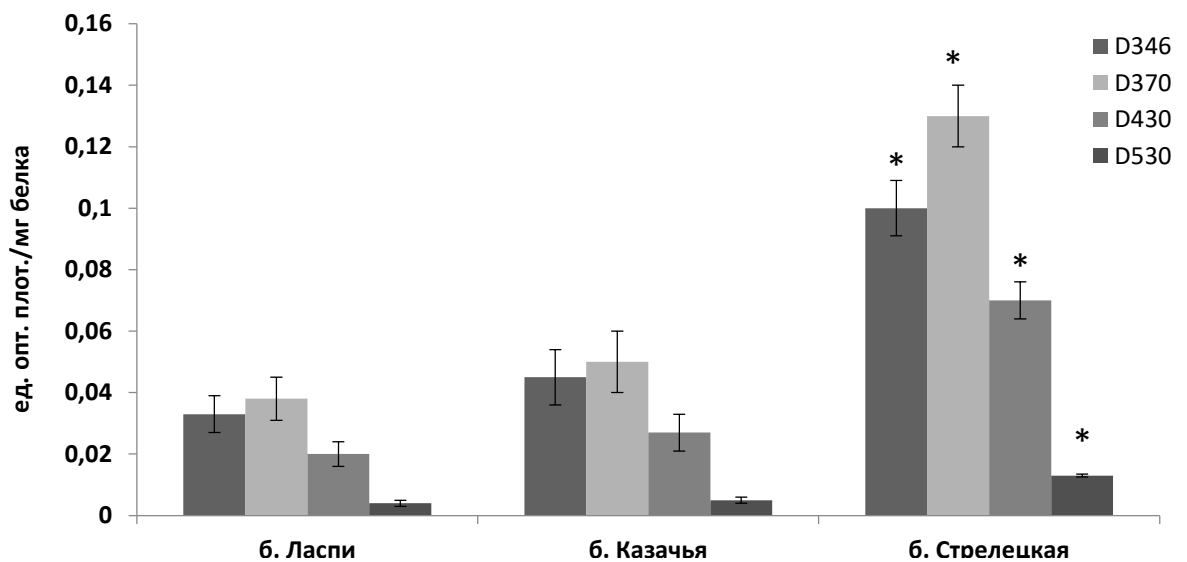


Рис. 3.10. Уровень ОМБ в печени морского ерша из разных бухт.\*

\*Примечание: различия достоверны по сравнению с б. Ласпи и б. Казачьей.

Повышение активности АЛТ, АСТ и содержания альбумина в печени морского ерша из более загрязненной Стрелецкой бухты может быть связано с компенсаторной перестройкой белкового метаболизма и интенсификацией синтеза альбумина, необходимого для транспорта и обезвреживания ксенобиотиков, поступающих в организм.

Повышение уровня ОМБ в экстрактах печени морского ерша из Стрелецкой бухты может свидетельствовать об интенсификации процессов свободнорадикального окисления в печени рыб в ответ на загрязнение и менее благоприятных условиях обитания в данной акватории.

Таким образом, анализ показателей белкового метаболизма морского ерша из разных акваторий позволил установить, что исследованные параметры весьма чувствительны к загрязнению среды обитания. В результате воздействия неблагоприятных факторов усиливаются процессы окисления белков, происходит биохимическая реорганизация, позволяющая существовать в неблагоприятных условиях обитания.

## ВЫВОДЫ

1. Установлены видовые отличия показателей белкового метаболизма, связанные с особенностями биологии и экологии рыб, естественной подвижностью, особенностями накоплениями токсикантов в тканях.
2. Проанализировано экологическое состояние прибрежных акваторий г. Севастополя. Данные по экологическому состоянию исследованных районов свидетельствует о высоком уровне загрязнения и менее благоприятных условиях обитания гидробионтов в акватории б. Стрелецкой по сравнению с б. Казачьей и б. Ласпи.
3. Анализ показателей белкового метаболизма морского ерша из разных акваторий позволил установить, что исследованные параметры весьма чувствительны к загрязнению среды обитания. В результате воздействия неблагоприятных факторов усиливаются процессы окисления белков, происходит биохимическая реорганизация, позволяющая существовать в неблагоприятных условиях обитания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Березов Т. Т., Коровкин Б. Ф. Биологическая химия под ред. С. С. Дебова. – М.: Медицина, 1983. – 752 с.
2. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Морские рыбы Крымского полуострова. – Симферопль: Бизнес-Информ, 2012. – 224 с.
3. Витер Т.В., Алемов С.В. Сообщества макрозообентоса б. Стрелецкая (Севастополь, Чёрное море) / В кн: Pontus Euxinus 2017. Тезисы X Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных по проблемам водных экосистем, в рамках проведения Года экологии в Российской Федерации. – 2017. – С. 48-50.
4. Грубинко В.В. Системный подход в физиолого-биохимической оценке токсичности водной среды // Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. – 2013. - № 2 (55). – С. 126 – 150.
5. Гулиев Р.Н., Мелякина Э.И. Некоторые биохимические показатели крови рыб дельты Волги // Вестник АГТУ: сер. Рыбное хозяйство. - 2014. - № 2. - С. 85 – 91.
6. Дубинина Е.Е. Шугалей И.В. Окислительная модификация белков // Усп. совр. биологии. – 1993. – Т. 113, вып. 1. – С. 71 – 81.
7. Евстигнеева И.К., Танковская И.Н. Макроводоросли перифитона и бентоса побережья бухты Ласпи (Крым, Чёрное море) // Экология моря. – 2010. – Т. 81. – С. 40-49.
8. Жиденко А.А., Бибчук Е.В. Изменения биохимических показателей в печени карпа в условиях действия раундапа // Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології: тези II Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції (Севастополь, 16 – 19 вересня 2009 р.). - Севастополь. – 2009. – С. 50 – 52.

9. Ковыршина Т. Б. Применение биомаркеров бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)) для оценки экологического состояния прибрежных вод Чёрного и Азовского морей: дис. ... канд. биол. наук.: 03.02.10 / Ковыршина Татьяна Борисовна - Севастополь, 2017. 160 С.
10. Кондрашова М. Н. Биохимия / Кондрашова М. Н. — 1991. — Вып. 56. — С. 388—406.
11. Лукьяненко В.И., Хабаров М.В. Альбуминовая система сыворотки крови разных по экологии видов осетровых рыб. – Ярославль, 2005. – 205 с.
12. Лушак В.И. Свободнорадикальное окисление белков и его связь с функциональным состоянием организма // Биохимия. – 2007. – Т. 72, вып. 8. – С. 995 – 1017.
13. Малахова, Л. В. Скуратовская, Е. Н. Малахова, Т. В. Болтачев, А. Р. Лобко, В. В. Хлорорганические соединения в ерше *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 в акватории Севастополя (Чёрное море): пространственное распределение и биологический отклик на уровень накопления загрязнителей Морской биологический журнал, 2018, том 3, № 4, с. 51–63.
14. Методическое руководство по биотестированию воды. – М.: Госкомприрода СССР, 1991. – 48 с.
15. Микодина Е. В., Шатуновский М. И. Физиолого-биохимические исследования функционального гомеостаза рыб // Вопросы ихтиологии. – 2013. – Т. 53, № 1. – С. 113 – 118.
16. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Экологическая характеристика бухты Казачьей (Черное море) // Экология моря. – 2002. – Вып. 61. – С. 85-89.

- 17.Немова Н.Н., Мещерякова О.В., Лысенко Л.А., Фокина Н.Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу. Труды КарНЦ, 2014. № 5. с. 18-29.
- 18.Панкеева Т.В., Миронова Н.В. Пространственное распределение макрофитобентоса с учетом ландшафтной структуры дна в бухте Ласпи (Чёрное море) // Вестник Удмуртского университета, 2019. – Т. 29. – Вып. 1. – С. 111-123.
- 19.Пашина Е.В., Золотавина М.Л. Альбумин в оценке эндогенной интоксикации // Наука и современность. Сер.: Биологические науки. – 2014. – 23 – 28.
- 20.Руднева И.И. Эколого-физиологические особенности антиоксидантной системы у рыб и процессов перекисного окисления липидов // Усп. совр. биологии. – 2003. – Т. 123, № 4. – С. 391 – 400.
- 21.Руднева И.И., Скуратовская Е.Н., Дорохова И.И., Граб Ю.А., Залевская И.Н., Омельченко С.О. Биоиндикация экологического состояния морских акваторий с помощью биомаркеров рыб // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 1. – С. 92 – 97.
- 22.Световидов А.Н. Рыбы Чёрного моря. Л.: Наука, 1964. – 550 с.
- 23.Чеснокова И. И., Сигачева Т. Б., Скуратовская Е. Н. Сравнительный анализ биомаркеров печени морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 из Севастопольских акваторий (Чёрное море) с разным уровнем загрязнения. Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 3. С. 330–335.
- 24.Шульман Г.Е., Куликова Н.И. О специфичности белкового состава сыворотки крови рыб // Успехи современной биологии. – 1966. – Т. 62, вып. 1 (4). – С. 42 – 60.