

## ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*

Скуратовская Е.Н.<sup>1</sup>, Алемова А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН  
пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ; e-mail: skuratovskaya@ibss-ras.ru;

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет,

Университетская площадь, 1, г. Воронеж, 394018, РФ

Поступила в редакцию 01.08.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0577

**Аннотация.** Практически все компоненты нефти в большей или меньшей степени являются токсичными и оказывают отравляющее действие на водные организмы, а некоторые группы нефтяных углеводородов (НУ) могут аккумулироваться в органах и тканях и передаваться по пищевым цепям. В зависимости от продолжительности и масштаба загрязнения НУ может наблюдаться широкий диапазон ответных реакций – от физиолого-биохимических, морфологических и поведенческих аномалий на уровне организмов до структурных и функциональных перестроек в популяциях и сообществах. Изучение биохимического отклика в тканях двусторчатых моллюсков, обитающих в условиях повышенных концентраций НУ в эксперименте, необходимо для понимания механизмов реорганизации метаболизма и адаптивных реакций, возникающих в организме гидробионтов при воздействии токсикантов. В работе представлены результаты исследования влияния нефтяных углеводородов на показатели прооксидантно-антиоксидантной системы (активность супероксиддимутазы, каталазы, уровень перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков), активность амнотрансфераз - аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы гепатопанкреаса черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* в условиях острого токсикологического эксперимента. Результаты эксперимента позволили установить, что НУ при концентрациях 0,5 мг/л (10 ПДК) и 1 мг/л (20 ПДК) не оказывают влияние на активность аминотрансфераз, однако стимулируют развитие окислительного стресса путем смещения прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону интенсификации процессов перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков; при концентрации 1 мг/л углеводороды нефти вызывают активацию супероксиддимутазы и ингибирование активности каталазы. Показатели прооксидантно-антиоксидантной системы демонстрируют высокую чувствительность к НУ и могут использоваться наряду с другими рекомендованными параметрами для оценки функционального состояния моллюсков в условиях нефтяного загрязнения среды обитания.

**Ключевые слова:** нефтяные углеводороды, мидия *Mytilus galloprovincialis*, гепатопанкреас, прооксидантно-антиоксидантная система, аминотрансферазы.

### ВВЕДЕНИЕ

К числу приоритетных загрязняющих веществ по критериям экологической опасности в воде и донных отложениях прибрежных акваторий Черного моря относятся нефтепродукты, хлорорганические соединения, тяжелые металлы, в значительно меньшей степени – синтетические поверхностно-активные соединения, фенолы и другие вещества [1-3]. Нефть поступает в окружающую среду при ее добыче, транспортировке, аварийных разливах, а также в результате естественных просачиваний из нефтеносных пластов. Загрязнение нефтяными углеводородами (НУ) водоемов в настоящее время представляет собой серьезную экологическую проблему. Период сохранения нефти в водной среде варьирует от нескольких дней до 10 лет и более [4,5]. Повсеместное распространение в водных объектах НУ, их активное участие в протекающих физико-химических и биохимических процессах, взаимодействие с водными организмами обуславливает важную роль наблюдений за содержанием нефтяных компонентов при оценке состояния водных экосистем. В связи с этим нефть и нефтепродукты включены в перечень загрязнителей, подлежащих систематическому наблюдению и контролю в рамках национальных и международных программ по защите окружающей среды [3,6]. Практически все компоненты нефти в большей или меньшей степени являются токсичными и оказывают отравляющее действие на водные организмы, а некоторые группы НУ могут аккумулироваться в органах и тканях и передаваться по пищевым цепям [4,5,7]. Степень интоксикации водных животных и растений углеводородами нефти зависит от концентрации и продолжительности воздействия вещества, температуры среды, освещенности, а также пола, возраста и размера организмов [3].

В зависимости от продолжительности и масштаба загрязнения НУ может наблюдаться широкий диапазон ответных реакций – от физиолого-биохимических, морфологических и поведенческих аномалий на уровне организмов до структурных и функциональных перестроек в популяциях и сообществах. Установлены видовые особенности реагирования организмов на присутствие нефти в водной среде. Показано, что большинство видов морской фауны проявляют повышенную чувствительность к действию нефти на ранних стадиях (эмбриональных и постэмбриональных) развития [5,8,9]. Особый интерес представляет изучение влияния НУ на организм на

субклеточном уровне с использованием молекулярных (биохимических) маркеров, изменение которых при воздействии токсикантов может быть связано с неблагоприятными последствиями для организмов в будущем. Изменения биохимических показателей отражают состояние обмена веществ и зачастую свидетельствуют о развитии компенсаторного ответа организма на воздействие загрязнителей, позволяют выявить механизмы влияния токсикантов на конкретные звенья метаболизма, определить основную стратегию и особенности структурно-функциональных изменений в организме при адаптации к присутствию загрязнителей [2,5,10-12].

Следует отметить, что подавляющее большинство исследований направлено на тестирование токсичности индивидуальных компонентов нефти, тогда как в естественных условиях, как правило, организмы подвергаются воздействию многокомпонентных смесей, к которым относятся сырая нефть, различные виды легкого и тяжелого топлива. Поэтому особенно важно изучать биологические эффекты смесей НУ, что позволит экстраполировать данные, полученные в эксперименте, на естественные условия обитания гидробионтов [10,13,14].

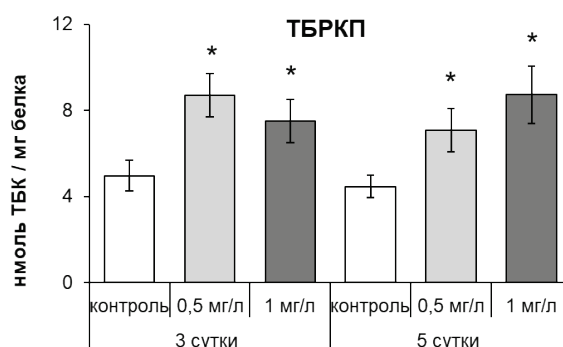
При оценке токсического действия загрязнителей на организм гидробионтов наиболее часто используют двусторчатых моллюсков рода *Mytilus*. По показателю выживаемости представители рода *Mytilus* обладают высокой токсикорезистентностью ко многим типам загрязнения. Наряду с этим, пороговая чувствительность по некоторым показателям физиологической активности этих моллюсков находится на уровне ПДК вещества для водных объектов рыбохозяйственного значения. Широкая распространенность и низкая смертность при изменении абиотических факторов позволяют легко добывать экспериментальный материал и содержать в лабораторных условиях. В то же время повышенная чувствительность физиологических функций к действию токсикантов дает возможность с большой точностью определять пригодность водной среды для жизнедеятельности моллюсков [10,12-15].

На основании вышеизложенного цель работы заключалась в исследовании влияния нефтяных углеводородов на некоторые биохимические параметры гепатопанкреаса черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* в условиях острого токсикологического эксперимента.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Моллюсков собирали в межнерестовый период в июле 2020 г. с коллекторов мидийно-устричной фермы в акватории бух. Карантинная (г. Севастополь). Размер моллюсков варьировал от 50 до 60 мм. Мидий очищали от обрастаний и акклиматизировали к лабораторным условиям в течение 7 дней в аквариумах с очищенной водой, постоянной аэрацией при температуре 20 - 22°C. Животных содержали в аквариумах из расчета 5 л на одну особь. Ежедневно до эксперимента осуществлялась частичная смена воды. Кормление мидий не производилось, чтобы избежать специфического действия пищи [10]. В аквариумы объемом 40 л добавляли дизельное топливо (ДТ) «Летнее», используемое для морского транспорта в прибрежных акваториях г. Севастополя. Воздействующая на мидий концентрация ДТ в воде аквариумов составила 0,5 мг/л (10 ПДК) и 1 мг/л (20 ПДК). Выбор концентраций ДТ был обусловлен тем, что в летний период в некоторых районах севавтопольской акватории содержание НУ в воде достигает 0,5 мг/л (10 ПДК) и выше [1]. Продолжительность эксперимента составила 5 суток. Отбор экспериментальных животных осуществлялся на 3-е и 5-е сутки.

По окончании опыта проводили биологический анализ моллюсков. Из контрольной и экспериментальных групп отбирали по 15 экземпляров. Для биохимических исследований использовали гепатопанкреас. Образцы тканей несколько раз промывали холодным 0,85% физраствором, гомогенизировали, центрифугировали при 8000 g 15 минут. В супернатанте анализировали активность ключевых антиоксидантных (АО) ферментов – супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы (КАТ), показатели окислительного стресса – содержание ТБК-реактивных продуктов (ТБКРП), отражающих уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ), и уровень окислительной модификации белков (ОМБ), активность аспаратаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ). Активность СОД определяли в системе нитросиний тетразолиевый – феназинметасульфат – никотиамиддинуклеотид [16], активность каталазы (КАТ) – по реакции взаимодействия перекиси водорода с молибдатом аммония [17], содержание ТБКРП – по образованию окрашенного комплекса с тиобарбитуровой кислотой [18]. Уровень ОМБ анализировали на основе реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белка с 2,4-динитрофенилгидразином [19]. Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенилгидразонов регистрировали при следующих длинах волн: 356 нм и 370 нм (альдегидные (D356) и кетонные (D370) продукты окислительной модификации нейтрального характера), а также при 430 нм и 530 нм (альдегидные (D430) и кетонные (D530) продукты окислительной модификации основного характера). Все определения проводили на спектрофотометре СФ-2000 (Россия). Активность АСТ и АЛТ определяли с использованием стандартных наборов реактивов “ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ” (Россия). Биохимические показатели пересчитывали на 1 мг белка сырой массы ткани, концентрацию которого определяли с использованием стандартного набора реагентов “ОЛЬВЕКС ДИАГНОСТИКУМ” (Россия). Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна-Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .



**Рисунок 1.** Содержание ТБКРП в гепатопанкреасе мидий в условиях эксперимента  
Примечание: \*- различия достоверны по сравнению с контролем

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

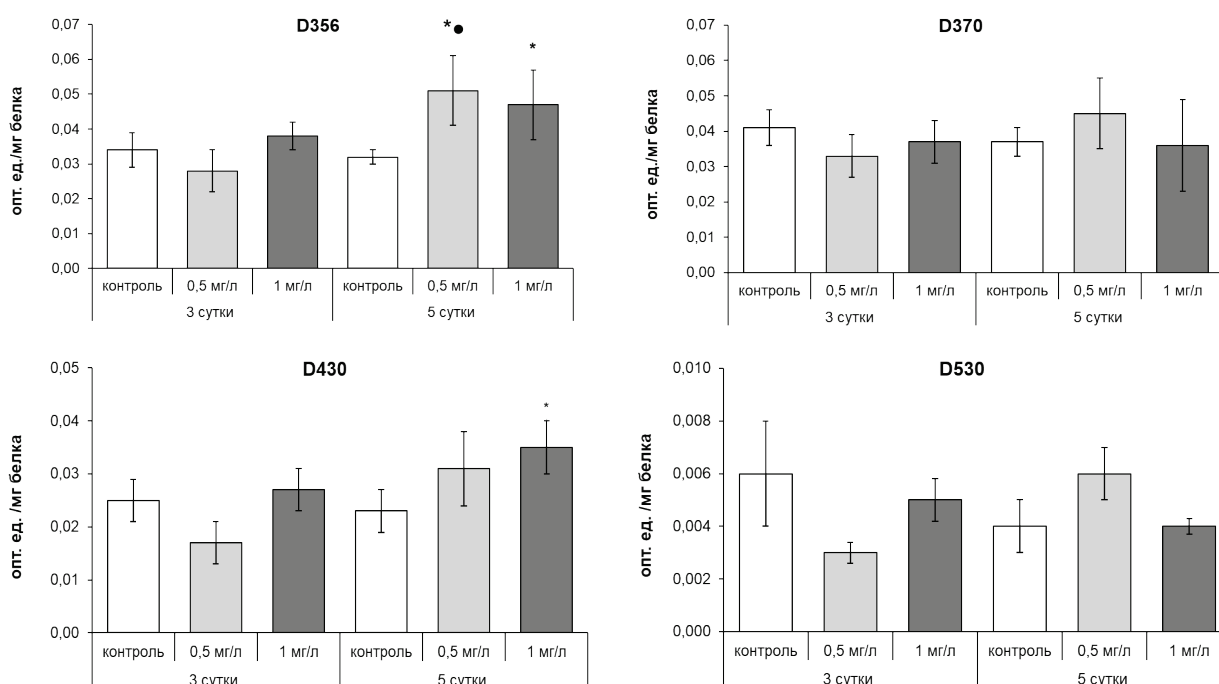
Во время эксперимента мидии проявляли высокую резистентность к краткосрочному воздействию НУ, выживаемость животных составляла 100%. Содержание продуктов ПОЛ в гепатопанкреасе мидий во всех экспериментальных группах было достоверно выше по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ) (рис. 1).

Уровень альдегидных продуктов нейтрального характера (D356) в двух экспериментальных группах и альдегидопроизводных основного характера (D430) у экземпляров из 2-й экспериментальной группы был достоверно выше по сравнению с контролем на 5-е сутки. Для остальных форм окисленных белков достоверных различий не обнаружено (рис. 2).

Активность СОД при концентрации 1 мг/л на 5-е сутки была достоверно выше, чем в контроле и у экземпляров 1-й экспериментальной группы (0,5 мг/л) ( $p < 0,05$ ). Для КАТ отмечено достоверное снижение активности на 5-е сутки во 2-й экспериментальной группе (1 мг/л) по сравнению с контролем, 1-й экспериментальной группой (0,5 мг/л) и 3-м днем эксперимента ( $p < 0,05$ ) (рис. 3).

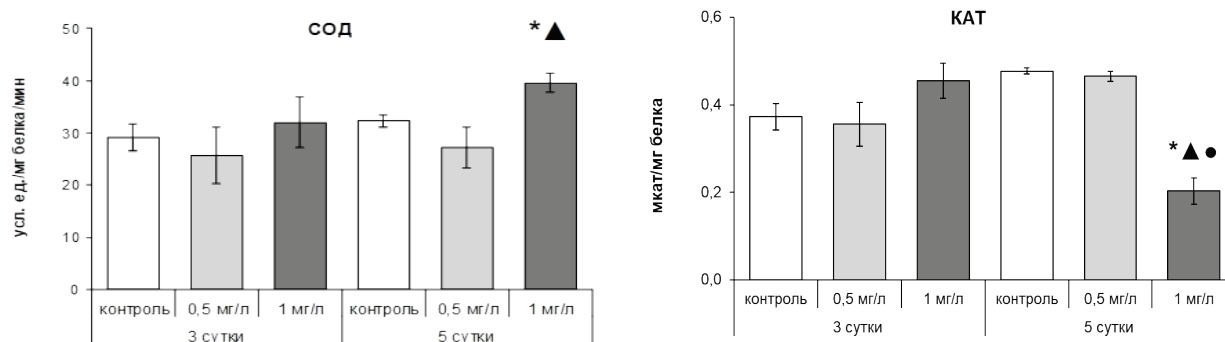
Активность АЛТ и АСТ в гепатопанкреасе мидий в течение эксперимента не изменялась (рис. 4).

Учитывая ключевую роль свободнорадикальных процессов в механизмах токсичности широкого спектра загрязнителей, для биоиндикации и биотестирования качества водной среды широко применяют показатели проокислительно-антиокислительной системы (ПАС). Универсальным показателем окислительного стресса при действии отдельных токсикантов и комплексном загрязнении акваторий является увеличение в тканях гидробионтов содержания продуктов перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков [2,5,12,15]. Обнаруженное в наших исследованиях повышение содержания ТБКРП и уровня альдегидных



**Рисунок 2.** Уровень ОМБ в гепатопанкреасе мидий в условиях эксперимента

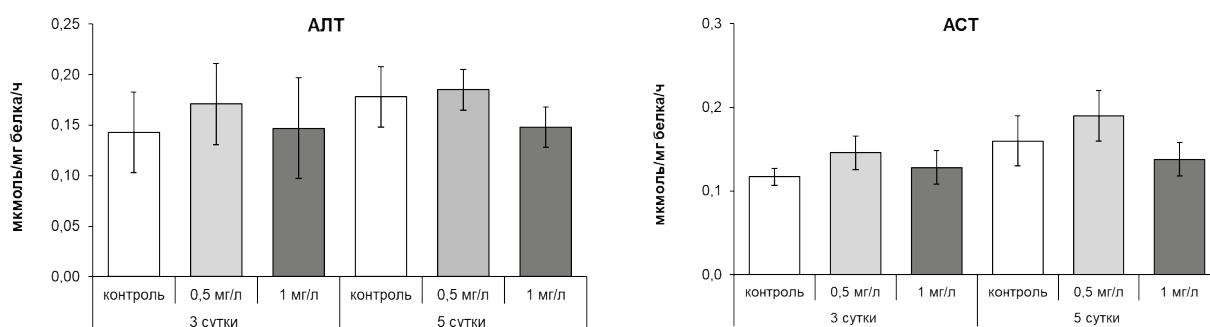
Примечание: D 356 – альдегидные продукты нейтрального характера, D 370 – кетонные продукты нейтрального характера, D 430 – альдегидные продукты основного характера, D 530 – кетонные продукты основного характера; \*- различия достоверны по сравнению с контролем



**Рисунок 3.** Активность антиоксидантных ферментов в гепатопанкреасе мидий в условиях эксперимента  
 Примечание: \*- различия достоверны по сравнению с контролем, ▲ – то же по сравнению с первой экспериментальной группой (0,5 мг/л); ● - то же по сравнению с 3-м днем эксперимент

продуктов нейтрального и основного характера (D356, D430) в гепатопанкреасе экспериментальных животных свидетельствует о том, что НУ при заданных концентрациях инициируют развитие окислительного стресса путем интенсификации процессов перекисного окисления липидов и белков. В то же время увеличение активности ключевого антиоксидантного фермента СОД на 5-й день эксперимента при максимальной концентрации (1 мг/л) может свидетельствовать о компенсаторном характере адаптивной ответной реакции на воздействие токсиканта, направленной на гдавление интенсивности свободнорадикального окисления. Однако снижение активности КАТ на фоне повышения активности СОД может свидетельствовать как об ингибировании фермента, расбалансировке согласованной работы СОД и КАТ, так и об увеличении активности других АО ферментов, выполняющих сходные с КАТ функции (глутатионпероксидазы и пероксидазы), а также значительном вкладе низкомолекулярных АО, обеспечивающих обезвреживание перекисей в гепатопанкреасе мидий при воздействии высоких концентраций НУ (20 ПДК).

Литературные данные свидетельствуют о том, что техногенные загрязнители как в природных, так и в экспериментальных условиях вызывают изменение параметров ПАС гидробионтов. Однако следует отметить, что обнаруженные эффекты воздействия могут быть временными и зависят от химических свойств и концентрации токсикантов, времени экспозиции, видовой принадлежности тест-организма, типа ткани [5,10,12,15,20]. Так, в условиях хронического загрязнения среды обитания *Dreissena Polymorpha* и *M. Galloprovincialis* мазутом было показано, что клетки гепатопанкреаса обладают более высоким уровнем антиоксидантной защиты по сравнению с жабрами. Отмечено достоверное повышение активности КАТ, СОД, глутатионредуктазы в гепатопанкреасе экспериментальных животных по сравнению с контролем. Количество конечных продуктов ПОЛ в жабрах и гепатопанкреасе как речных (*D. Polymorpha*), так и морских (*M. Galloprovincialis*) моллюсков в условиях загрязнения среды нефтепродуктами достоверно превышало аналогичные показатели контрольных экземпляров. Сравнительный анализ активности ферментов антиоксидантной системы экспериментальных и контрольных моллюсков (СОД, КАТ, глутатионредуктазы) показал, что повышение их активности, обеспечивающее снижение уровня активных форм кислорода в тканях в условиях загрязнения нефтепродуктами, сопровождается снижением активности глутатион-S-трансферазы, катализирующей утилизацию экзогенных ароматических соединений [15]. У мидий *M. edulis* из акваторий у побережья Испании не было зафиксировано достоверных различий в активности СОД между загрязненными НУ районами и относительно чистыми акваториями. При этом у моллюсков, собранных ближе к месту разлива нефтью, был отмечен достоверно повышенный уровень ПОЛ, что может свидетельствовать о прооксидантных эффектах нефти [20].



**Рисунок 4.** Активность аминотрансфераз в гепатопанкреасе мидий в условиях эксперимента

В биоиндикации и биотестировании качества водной среды наряду с показателями ПАС рекомендуется исследовать активность аминотрансфераз (АЛТ и АСТ), характеризующих состояние основных метаболических путей в организме. АЛТ и АСТ катализируют взаимные превращения аминокислот и  $\alpha$ -кетокислот путем переноса аминогрупп, поэтому изменение их активности приводит к нарушению углеводного и белкового обмена. АЛТ и АСТ высокочувствительны к влиянию природных и антропогенных факторов и принимают участие в ответных реакциях организма на загрязнение окружающей среды [2,21-23]. Аминотрансферазы могут выступать в качестве биомаркеров стресса и тканевого повреждения [24]. В наших исследованиях активность аминотрансфераз в гепатопанкреасе мидий в течение эксперимента не изменялась, что указывает на отсутствие влияния заданных концентраций НУ на ключевые звенья углеводного и белкового метаболизма. Другими исследователями установлено повышение активности аминотрансфераз в гепатопанкреасе мидии *M. galloprovincialis*, обитающей в наиболее загрязненной НУ акватории по сравнению с относительно чистыми районами [21]. При длительном воздействии тяжелых металлов (кадмия и цинка) активность АСТ и АЛТ в гепатопанкреасе зеленой мидии *Perna viridis* повышалась [22]. В тканях пресноводных моллюсков родов *Planorbis*, *Physa*, *Biomphalaria* из вод с высоким уровнем загрязнения также отмечено повышение активности аминотрансфераз и содержания глюкозы. Выявленные особенности авторы объяснили интенсификацией глюконеогенеза, необходимого для энергетического обеспечения тканей моллюска в условиях антропогенного воздействия [23].

Таким образом, результаты эксперимента позволили установить, что НУ при концентрациях 0,5 мг/л (10 ПДК) и 1 мг/л (20 ПДК) не оказывают влияние на активность аминотрансфераз, однако стимулируют развитие окислительного стресса путем смещения прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону интенсификации процессов перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков; при концентрации 1 мг/л углеводороды нефти вызывают активацию супероксиддимуазы и ингибирование активности каталазы. Показатели прооксидантно-антиоксидантной системы демонстрируют высокую чувствительность к НУ и могут использоваться наряду с другими рекомендованными параметрами для оценки функционального состояния моллюсков в условиях нефтяного загрязнения среды обитания.

*Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121030100028-0, при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 18-34-50005 («Наставник»).*

#### **Список литературы / References:**

1. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века. Под ред.: О.Г. Миронова, С.В. Алёмова. Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН. Симферополь: ИТ "АРИАЛ", 2018, 276 с. [*Sanitary and biological studies of the south-western Crimea coastal waters at the beginning of XXI century*. Eds: O.G. Mironov, S.V. Alyomov. Simferopol: Arial, 2018, 276 p. (In Russ.)]
2. Malakhova L.V., Skuratovskaya E.N., Malakhova T.V., Lobko V.V. The relationship between integrated biochemical index and content of organochlorine xenobiotics in the liver of the black scorpion fish Linnaeus, 1758, from Sevastopol Bays and coastal areas. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2020, no. 13(4), pp. 387-409, doi: 10.17516/1997-1389-0335.
3. Барабашин Т.О., Кораблина И.В., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Короткова Л.И. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна. *Водные биоресурсы и среда обитания*, 2018, т. 1, № 3-4, с. 9-27. [Barabashin T.O., Korablina I.V., Pavlenko L.F., Skrypnik G.V., Korotkova L.I. Methodological support of pollution monitoring of the Azov and Black seas water bodies. *Aquatic Bioresources & Environment*, 2018, vol. 1, no. 3-4, pp. 9-27. (In Russ.)]
4. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. ВНИРО, 2001, 247 с. [Patin S.A. *Oil and ecology of the continental shelf*. VNIRO, 2001, 247 p. (In Russ.)]
5. Алешко С.А. Действие нефтяных углеводородов на морские организмы на молекулярном уровне. *Известия ТИНРО*, 2007, т. 148, с. 247-261. [Aleshko S.A. Impact of petroleum hydrocarbons on marine organisms at molecular level. *Izv. TINRO*, 2007, vol. 148, pp. 247-261. (In Russ.)]
6. Постановление Правительства РФ № 681 от 9 августа 2013 г. «О государственном экологическом мониторинге и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга». [Decree of the Government of the Russian Federation No. 681 of August 9, 2013 «On state Environmental Monitoring and the State Data Fund of State environmental Monitoring». (In Russ.)]
7. Каретникова Е.А., Жиркова А.Д. Миграция n-алканов дизельного топлива по трофической цепи: бактерии - инфузории. *Изв. РАН. Сер. Биол.*, 2005, вып. 3, с. 375-379. [Karetnikova E.A., Zhirkova A.D. Migration of n-alkanes in diesel fuel along the trophic chain: bacteria - ciliates. *Izv. RAS. Biological series*, 2005, vol. 3, pp. 375-379. (In Russ.)]
8. Teruhisa K., Masahiro N., Hiroshi K., Tomoko Y. Marine Life Research Group of Takeno, Kouichi O. Impacts of the Nakhodka heavy-oil spill on an intertidal ecosystem: an approach to impact evaluation using geographical information system. *Mar. Pollut. Bull.*, 2003, vol. 47, pp. 99-104.
9. Heintz R.A., Short J.W., Rice S.D. Sensitivity of fish embryos to weather crude oil: II. Increased mortality of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) embryos incubating downstream from weathered Exxon Valdez crude oil. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1999, vol. 18, pp. 494-503.

10. Бахмет И.Н., Фокина Н.Н., Нефедова З.А., Руоколайнен Т.Р., Немова Н.Н. Мидия *Mytilus edulis* L. Белого моря как биоиндикатор при воздействии растворенных нефтепродуктов. *Труды Карельского научного центра РАН*, 2012, № 2, с. 38-46. [Bakhmet I.N., Fokina N.N., Nefyodova Z.A., Ruokolainen T.R., Nemova N.N. Blue mussels *Mytilus edulis* L. in the White Sea as bioindicators under diluted oil impact. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of RAS*, 2012, no. 2, pp. 38-46. (In Russ.)]
11. Немова Н.Н., Мешчерякова О.В., Лысенко Л.А., Фокина Н.Н. Оценка состояния водных организмов по биохимическому статусу. *Труды Карельского научного центра РАН*, 2014, № 5, с. 18-29. [Nemova N.N., Meshcheryakova O.V., Lysenko L.A., Fokina N.N. The assessment of the fitness of aquatic organisms relying on the biochemical status. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of RAS*, 2014, no. 5, pp. 18-29. (In Russ.)]
12. Vidal-Linan L., Bellas J., Soriano J.A., Concha-Grana E., Muniategui S., Beiras R. Bioaccumulation of PCB-153 and effects on molecular biomarkers acetylcholinesterase, glutathione-S-transferase and glutathione peroxidase in *Mytilus galloprovincialis* mussels. *Environmental Pollution*, 2016, vol. 214, pp. 885-891, doi: 10.1016/j.envpol.2016.04.083.
13. Скидченко В.С., Высоцкая Р.У., Немова Н.Н. Спектр изоформ кислой дезоксирибонуклеазы в тканях мидий *Mytilus edulis* в условиях модельной интоксикации нефтепродуктами. *Труда Карельского научного центра РАН*, 2012, вып. 2, с. 131-138. [Skidchenko V.S., Vysotskaya R.U., Nemova N.N. The range of acid deoxyribonuclease isoforms in the tissues of *Mytilus edulis* mussels in model experiments with petroleum hydrocarbon poisoning. *Proceeding of the Karelian scientific center of the RAS*, 2012, vol. 2, pp. 131-138. (In Russ.)]
14. Tim-Tim A.L.S., Morgado F., Moreira S., Rangel R., Nogueira A.J.A., Soares A.M.V.M., Guilhermino L. Cholinesterase and glutathione S-transferase activities of three mollusk species from the NW Portuguese coast in relation to the 'Prestige' oil spill. *Chemosphere*, 2009, vol. 77, pp. 1465-1475.
15. Sukhareenko E.V., Nedzvetsky V.S., Kyrychenko S.V. Biomarkers of metabolism disturbance in bivalve molluscs induced by environmental pollution with processed by-products of oil. *Biosystem Diversity*, no. 25(2), pp. 113-118, doi: 10.15421/011717.
16. Nishikimi M., Rao N.A., Yagi K. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen. *Biochim. Biophys. Res. Commun*, 1972, vol. 46, no. 2, pp. 849-854.
17. Королук М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*, 1988, № 1, с. 16-19. [Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova I.G., Tokarev V.E. Method for determination of catalase activity. *Laboratornoye delo*, 1988, no. 1, pp. 16-19. (In Russ.)]
18. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты. *Современные методы в биохимии*, Москва: Медицина, 1977, с. 66-68. [Stal'naya I.D., Garishvili T.G. Method for determination of malondialdehyde using thiobarbituric acid. *Modern methods in biochemistry*, Moskva: Meditsina, 1977, pp. 66-68. (In Russ.)]
19. Дубинина Е.Е., Бурмистров С.О., Ходов Д.А., Поротов И.Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения. *Вопросы медицинской химии*, 1995, т. 41, № 1, с. 24-26. [Dubinina E.E., Burmistrov S.O., Khodov D.A., Porotov I.G. Oxidative modification of human serum proteins, method for its determination. *Voprosy meditsinskoy khimii*, 1995, vol. 41, no. 1, pp. 24-26. (In Russ.)]
20. Sole M., Porte C., Biosca X. et al. Effects of the Aegean Sea oil spill on biotransformation enzymes, oxidative stress and DNA-adducts in digestive gland of the mussel (*Mytilus edulis* L.). *Comp. Biochem. Physiol.*, 1996, vol. 113C, pp. 257-265.
21. Сигачева Т.Б., Чеснокова И.И., Гостюхина О.Л., Холодкевич С.В., Кузнецова Т.В., Андреев Т.И., Ковригина Н.П., Гаврюсева Т.В., Киринов М.П., Куракин А.С. Оценка рекреационного потенциала некоторых бухт города Севастополя с использованием методов биоиндикации. *Юг России: экология, развитие*, 2021, т. 16, № 1, с. 151-167. [Sigacheva T.B., Chesnokova I.I., Gostyukhina O.L., Kholodkevich S.V., Kuznetsova T.V., Andreenko T.I., Kovrigina N.P., Gavryuseva T.V., Kirin M.P., Kurakin A.S. Assessment of recreational potential of Sevastopol bays using bioindication methods. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 151-167, doi: 10.18470/1992-1098-2021-1-151-167. (In Russ.)]
22. Mohite V.T., Lahir Y.K., Pathar M., Agwuoch S., Mane U.H. Study on the effects of exposure of sub lethal dose of cadmium and zinc on the enzymatic activity in the tissues of green mussel - *Perna viridis* (L) from Ratnagiri coast, Maharashtra. *Journal of ecophysiology and occupational health*, 2011, vol. 11, no. 3-4, pp. 131-140.
23. El-Khayat H.M.M., Hamid H.A., Gaber H.S., Mahmoud K.M.A., Flefel H.E. Snails and Fish as Pollution Biomarkers in Lake Manzala and Laboratory A: Lake Manzala Snails. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 1-9.
24. Cajaraville M.P., Bebianno M.J., Blasco J., Porte C., Sarasquete C., Viarengo A. The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. *The Science of the Total Environment*, 2000, vol. 247, pp. 295-311.

**THE IMPACT OF PETROLEUM HYDROCARBONS ON THE BIOCHEMICAL PARAMETERS IN HEPATOPANCREAS OF THE BLACK SEA MUSSEL *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS***Skuratovskaya E.N.<sup>1</sup>, Alyomova A.S.<sup>2</sup><sup>1</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

Nachimov av., 2, Sevastopol, 299011, Russia; e-mail: skuratovskaya@ibss-ras.ru

<sup>2</sup>Voronezh State University

University Square, 1, Voronezh, 394018, Russia

Received 01.08.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0577

**Abstract.** Almost all oil components are more or less toxic and have a toxic effect on aquatic organisms, and some groups of petroleum hydrocarbons (PH) can accumulate in organs and tissues and transmitted through food chains. Depending on the duration and scale of PH pollution, a wide range of responses can be observed – from physiological and biochemical, morphological, behavioral anomalies at organism level to structural and functional rearrangements in populations and communities. The study of the biochemical response in tissues of bivalve mollusks living in conditions of elevated PH concentrations in the experiment is necessary to understand the mechanisms of metabolism reorganization and adaptive reactions that occur in the body of hydrobionts when exposed to toxicants. The paper presents the results of a study of the PH effect on the parameters of the prooxidant-antioxidant system parameters (superoxide dismutase and catalase activities, level of lipid peroxidation and oxidized proteins) and aminotransferase activities (alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase) in hepatopancreas of the Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* in the acute toxicological experiment. The results of the experiment allowed to establish that PH at concentrations of 0.5 mg/l (10 MPC) and 1 mg/l (20 MPC) do not affect the activity of aminotransferases, but stimulate the development of oxidative stress by shifting the prooxidant-antioxidant balance towards the intensification of lipid peroxidation and protein oxidization; at the 1 mg/l concentration PH cause activation of superoxide dismutase and inhibition of catalase activity. Prooxidant-antioxidant system parameters demonstrate high sensitivity to PH and can be used along with other recommended parameters to assess the functional state of mollusks in conditions of oil environmental pollution.

**Key words:** petroleum hydrocarbons, mussel *Mytilus galloprovincialis*, hepatopancreas, prooxidant-antioxidant system, aminotransferases.