

Влияние пиретроидов на биохимические параметры и морфофункциональное состояние живородки речной (*Viviparus viviparus* L.)

© 2026. Е. А. Тишина¹, зав. лабораторией, Т. С. Дроганова¹, ст. преподаватель,
Л. В. Поликарпова¹, н. с., Д. А. Арешидзе², к. б. н., зав. лабораторией,
Н. В. Васильев¹, д. х. н., профессор, зав. кафедрой,

¹Государственный университет просвещения,
141014, Россия, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24,

²Научно-исследовательский институт морфологии человека имени академика А.П. Авцына
ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского»,
117418, Россия, г. Москва, ул. Цюрупы, д. 3,
e-mail: ecolab@guppros.ru, labcelpat@mail.ru

Исследовано влияние пиретроидов на морфофункциональное состояние и активность фермента обменного комплекса кислой фосфатазы (КФ) в тканях пищеварительной железы (гепатопанкреаса) пресноводного моллюска живородки речной (*Viviparus viviparus* L.). Альфа-циперметрин и лямбда-цигалотрин, применявшиеся в эксперименте, относятся к синтетическим пиретроидам. По механизму действия на насекомых они являются нейротропными веществами и используются в качестве инсектицидов в различных направлениях борьбы с насекомыми. При остром воздействии альфа-циперметрин и лямбда-цигалотрин вызывают увеличение активности КФ в 3–5 раз относительно значений, полученных в контрольной группе животных. При проведении энзим-электрофореза в опытных группах на фоне увеличения активности КФ под действием пиретроидов отмечен синтез новых множественных форм фермента в гепатопанкреасе моллюсков. При оценке морфологического состояния тканей гепатопанкреаса живородки речной отмечено появление клеток в состоянии кариопикноза, кариорексиса, кариолизиса и единичные некротизированные клетки. Полученные результаты активности и изменения в составе множественных форм КФ живородки речной в нормальных условиях и при воздействии альфа-циперметрина и лямбда-цигалотрина свидетельствуют о формировании неспецифической адаптации в ответ на действие пиретроидных пестицидов.

Ключевые слова: эколого-биохимический мониторинг, кислая фосфатаза, альфа-циперметрин, лямбда-цигалотрин, *Viviparus viviparus* L., морфологические изменения гепатопанкреаса.

Pyrethroids effect on biochemical parameters and morphofunctional state of *Viviparus viviparus* L.

© 2026. Е. А. Tishina¹ ORCID: 0000-0001-8329-7855, Т. S. Droганova¹ ORCID: 0000-0002-8917-7392,
Л. V. Polikarpova¹ ORCID: 0000-0002-5459-3054, Д. A. Areshidze² ORCID: 0000-0003-3006-6281,
N. V. Vasiliev¹ ORCID: 0000-0002-8215-6687

¹State University of Education,
24, Very Voloshinoy St., Mytischy, Russia, 141014,

²Research Institute of Human Morphology named after Academician A.P. Avtsyn FGBNU
“Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky”,
3, Tsyurupy St., Moscow, Russia, 117418,
e-mail: ecolab@guppros.ru, labcelpat@mail.ru

The effect of pyrethroids on the morphofunctional state and activity of the acid phosphatase (AcP, enzyme of the metabolic complex) in the digestive gland (hepatopancreas) tissues of the freshwater mollusk *Viviparus viviparus* L. was studied. Used in the experiment alpha-cypermethrin and lambda-cyhalothrin are synthetic pyrethroids. They are neurotropic substances by mechanism of action and are used as insecticides in various insect control directions. At acute exposure both alpha-cypermethrin and lambda-cyhalothrin cause 3–5 times increase of AcP activity relative to the values obtained in the control group of animals. During enzyme electrophoresis in the experimental groups against the background of the

increase in the AcP activity exposed to pyrethroids, synthesis of new multiple forms of the enzyme in the hepatopancreas of mollusks was noted. When assessing the morphological state of hepatopancreas tissues of the *V. viviparus*, the cells with karyopycnosis, karyorexis, karyolysis as well as single necrotised cells were detected. The obtained results of AcP activity and changes in the composition of AcP multiple forms upon exposure and non-exposure to alpha-cypermethrin and lambda-cyhalothrin indicate the formation of non-specific adaptation in response to pyrethroid pesticides.

Keywords: ecological and biochemical monitoring, acid phosphatase, alpha-cypermethrin, lambda-cyhalothrin, *Viviparus viviparus* L., morphological changes of hepatopancreas.

Синтетические пиретроиды в настоящее время являются одними из наиболее распространённых и эффективных пестицидов, которые применяются в самых различных направлениях борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, в медицинских и ветеринарных целях [1]. По механизму действия на членистоногих соединения из класса пиретроидов являются нейротропными веществами. При попадании в организм они связываются с липофильным окружением мембраны со стороны внутренней створки натриевого канала нервных клеток, что приводит к нарушениям в закрытии и открытии натриевых каналов, и в итоге наступает медленная деполяризация мембран нервных клеток, блокада проводимости, конвульсии, паралич, который приводит к гибели насекомого [2]. Среди синтетических пиретроидов достаточно широко распространены альфа-циперметрин и лямбда-цигалотрин. По характеру действия эти вещества классифицированы как пиретроиды II типа, которые обладают длительной остаточной активностью, более эффективны против широкого спектра насекомых, но вместе с тем сильнее влияют на нецелевые организмы.

Несмотря на низкие нормы расхода пиретроидов при их применении и невысокой токсичности для человека и теплокровных, они представляют опасность для гидробионтов поскольку водные объекты являются итоговым местом накопления пестицидов. Действие синтетических пиретроидов на гидробионтов наиболее изучено на рыбах [3–5] и съедобных моллюсках, например на устрицах [6–11]. Известно определение индекса токсичности циперметрина на водных тест-объектах – инфузориях.

В отечественном исследовании [12], посвящённом действию пестицидов на различные виды гидробионтов (водоросли, дафнии, рыбы), по показателям острой и хронической токсичности синтетические пиретроиды отнесены к числу первых двадцати токсикантов при выборке из более двухсот веществ.

Биохимическое действие пиретроидов на пресноводных моллюсков изучено недостаточно, также как и последствия такого

воздействия. Изучено влияние циперметрина на пресноводную улитку *Chilina parchappi* (d'Orbigny, 1835) – эндемичный вид, обитающий в центральном регионе Аргентины. При этом дана биохимическая оценка гепатопанкреаса и морфофункциональная оценка воздействия [13].

Биохимическое изучение воздействия циперметрина на пресноводных моллюсков средней полосы Евразии изучалось в нашей работе [14] при действии высоких концентраций – 10 ПДК/ОДУ (0,006 мг/л) согласно СанПиН 1.2.3685-21 на моллюска *Viviparus viviparus* L. Эта работа является единственным примером подобного исследования, несмотря на то, что пресноводные брюхоногие моллюски являются важными неотъемлемыми компонентами сообщества гидробионтов в пресноводных экосистемах, где играют ключевую роль, способствуя сохранению биоразнообразия, круговороту питательных веществ и улучшению качества воды.

Моллюск *Viviparus viviparus* L., широко распространённый в Евразии, достаточно часто исследовался по отношению к экотоксикантам из группы тяжёлых металлов и рассматривался в ряде исследований как индикаторный вид при загрязнении водной среды [15–17]. Данный моллюск проявляет высокую реактивность к загрязнению водной среды и одновременно имеет широкий адаптивный потенциал, что позволяет исследовать его биохимические параметры в широком интервале концентраций веществ [16].

Целью данного исследования является анализ биохимического воздействия при низких концентрациях альфа-циперметрина и лямбда-цигалотрина на активность и состав множественных форм кислой фосфатазы (КФ) и морфофункциональной оценки тканей гепатопанкреаса моллюска живородки речной (*Viviparus viviparus* L.).

Объекты и методы исследования

У моллюсков гепатопанкреас обычно является основным органом-мишенью для оценки эффектов многих ксенобиотиков. Этот ор-

ган не только отвечает за пищеварение, но и за детоксикацию и выведение токсинов, поэтому он является подходящим для оценки биомаркером [13]. В качестве материала для исследования были использованы гомогенаты тканей пищеварительной железы (гепатопанкреаса) живородки речной, в которой определяли активность кислой фосфатазы (КФ), являющейся ферментом обменного комплекса и индикатором общего состояния гомеостаза. В отличие от работы [14], в настоящем исследовании применены низкие концентрации альфа-циперметрина (торговое название ШАРПЕЙ МЭ) и лямбда-цигалотрина (торговое название ЦИГАТРИН КЭ), соответствующие 10 ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения ($\text{ПДК}_{\text{рыб-хоз.}} = 0,0000054 \text{ мг/дм}^3$ для альфа-циперметрина и $\text{ПДК}_{\text{рыб-хоз.}} = 0,0000007 \text{ мг/дм}^3$ для лямбда-цигалотрина) согласно приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. № 552 (с изменениями на 10 марта 2020 г.), что в большей степени соответствует реальным концентрациям в водных объектах средней полосы Евразии. Оба токсиканта входят в «топ-двадцать рейтинга агрегированного риска пестицидов для гидробионтов» [12].

Реакцию комплекса КФ живородки речной в ответ на токсическое действие инсектицидов оценивали по результатам острого опыта (от 0 до 96 ч). Эксперименты проводились аналогично известным исследованиям, проведённым с целью биотестирования качества вод и оценки токсичности загрязнителей для гидробионтов [18]. Опытные особи содержались в аквариумах объёмом 30 л, накрытых стеклом; концентрация токсикантов: альфа-циперметрин – $0,000054 \text{ мг/дм}^3$, лямбда-цигалотрина – $0,0000007 \text{ мг/дм}^3$. Моллюски в период эксперимента в качестве питания получали гранулированный корм и не взаимодействовали с субстратом [19]. Экспозиция опыта составляла 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, и 96 ч. Контрольные особи содержались в воде без добавления токсиканта при тех же условиях и временных интервалах. В ходе эксперимента наблюдалось снижение двигательной активности животных экспериментальных групп в сравнении с контрольной группой, но не наблюдалась гибель животных. По истечении времени воздействия отбирали по 6 животных и препарировали их для извлечения пищеварительной железы. Ткани гомогенизировали в фарфоровой ступке в течение 5 мин растиранием с битым кварцевым стеклом и экстрагирующей жидкостью. В качестве экстра-

гирующей жидкости использовали 0,5 %-ый раствор Тритон X-100 на дистиллированной воде, прибавляемый в десятикратном объёме по отношению к навеске ткани. Экстракты очищали центрифугированием при 10000 g и 4°C в течение 30 мин на рефрижераторной центрифуге [20]. Полученные супернатанты отбирали и использовали в дальнейших исследованиях. Концентрацию белка в экстрактах определяли методом Лоури [21]. Активность КФ определяли спектрофотометрически по скорости гидролиза модельного субстрата – *p*-нитрофенилфосфата. За единицу активности (Е) принимали количество фермента, дающего прирост содержания продукта ферментативной реакции на 1 мкмоль за 1 мин [22].

Обнаружение зон нахождения КФ проводили по методике Берстона, усовершенствованной Лойда с соавторами [23]. В качестве субстрата использовался 0,3 %-ный раствор α -нафтилфосфата, проявляющего пигмента – прочный синий Б (Fast Blue B, «Chemapol», Чехия).

Часть фрагментов ткани гепатопанкреаса фиксировали в 10 % нейтральном забуференном формалине с дальнейшим обезвоживанием и пропиткой через спирты возрастающей концентрации (50° , 60° , 70° , 80° и 96°) и ксилол с последующей заливкой в гистологическую среду «Гистомикс» (БиоВитрум, Россия). Серийные гистологические срезы толщиной 5–6 мкм изготавливали на роторном микротоме Leica SM2010 R (Германия). Окраску гематоксилином и эозином осуществляли по общепринятой методике. Микроскопию гистологических препаратов проводили на цифровом микроскопе Leica DM 2500 с применением цифровой фотокамеры Leica DFC 290 (Германия). Для микроскопии были использованы окуляры $\times 10$, $\times 15$, объективы $\times 4$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 40$, $\times 100$.

Относительную электрофоретическую подвижность (ОЭП) рассчитывали для каждой выявленной зоны активности КФ как отношение пробега белка к пробегу лидирующего красителя бромфенолового синего.

Все исследования проводили в трёх аналитических повторностях. Статистическую обработку данных проводили при помощи Microsoft Excel. Результаты представлены в виде «среднее значение $\pm$ стандартное отклонение».

Результаты и обсуждение

При анализе изменений КФ под действием пиретроидов выявлена колебательная

динамика активности фермента. Активность фермента в гепатопанкреасе живородки речной не остаётся постоянной на протяжении эксперимента, как у контрольной, так и у опытной групп исследованных животных вследствие естественных метаболических процессов в организме и имеет фазовый характер, что является отражением процессов индукции и репрессии ферментов (рис. 1, 2).

Под действием альфа-циперметрина в первые 12 ч экспозиции отмечается резкое увеличение активности. Активность КФ в гепатопанкреасе живородки речной опытной группы возросла почти в 5 раз относительно контрольной группы. Наибольшее значение активности выявлено при 48 ч экспозиции. Далее активность фермента несколько уменьшается, но при этом превышает контрольные значения в 4–10 раз до конца эксперимента (96 ч). Действие лямбда-цигалотрина привело к аналогичному повышению активности КФ. Наибольшее значение активности фермента отмечается в первые часы экспозиции и превышает контрольные значения почти в 6 раз. К 12 ч экспозиции активность фермента несколько уменьшается, но превышает контрольные значения в 5 раз. В сравнении с данными, полученными нами ранее при действии повышенной концентрации циперметрина [14], когда во второй фазе эксперимента на-

блюдалось стабильное угнетение фермента, характер зависимостей, зафиксированных при действии 10 ПДК_{рыб.хоз.} указывает на активные адаптационные процессы без существенного контаминирующего воздействия.

Результаты сравнения зависимостей биохимического воздействия изучаемых пиретроидов свидетельствуют об отсутствии различий в степени влияния отдельных соединений. Увеличение активности относительно контроля сохраняется до конца эксперимента, при этом не наблюдается её подавление (рис. 1). Авторы [24, 25] отмечают низкую активность ферментов I фазы биотрансформации, участвующих в окислении ряда органических соединений у моллюсков по сравнению с позвоночными животными. В изучаемом случае, для пресноводного моллюска *V. viviparus*, кинетика накопления и метаболизма синтетических пиретроидов, по-видимому, не имеет принципиального значения, хотя существует смещение по времени фаз активности при действии лямбда-цигалотрина. Существующая оценка токсичности пестицидов [12] относит лямбда-цигалотрин к одному из наиболее биоаккумулирующихся токсикантов.

В ходе проведения энзим-электрофореза в контрольной группе выявлены 3 множественные формы кислой фосфатазы в гепатопанкреасе *V. viviparus* (КФ3, КФ4, КФ6)

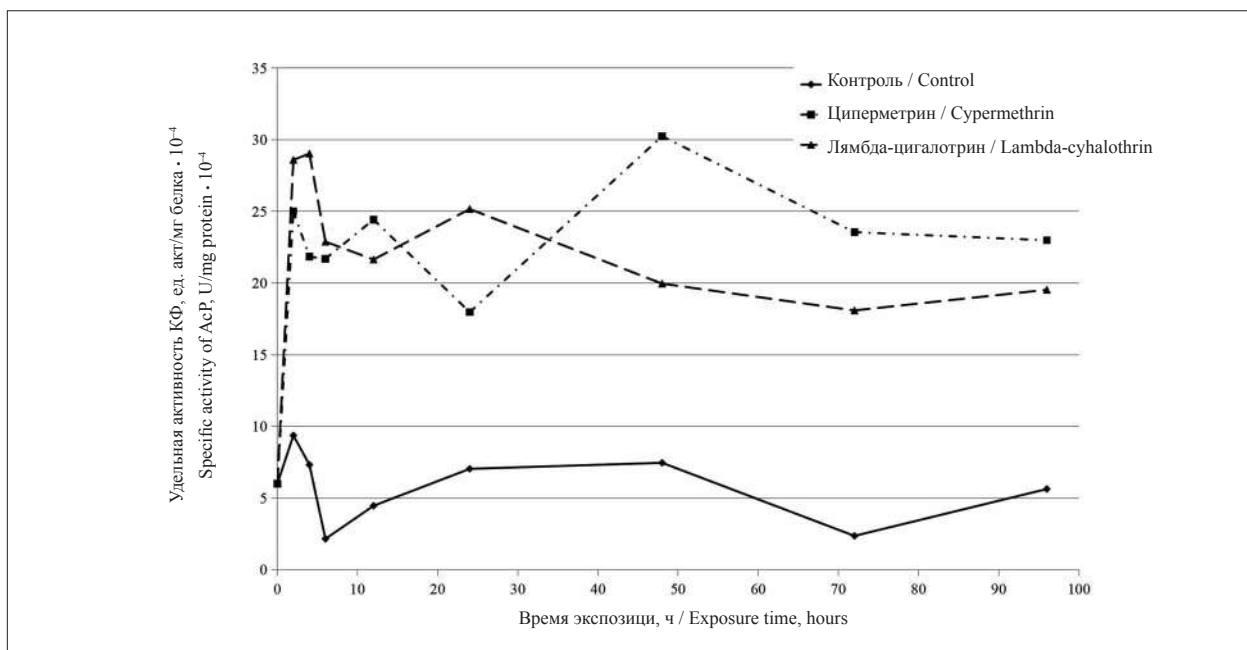


Рис. 1. Изменение удельной активности КФ живородки речной (*Viviparus viviparus* L.) под действием пиретроидов, $p = 0,05$

Fig. 1. Changes in specific activity of acid phosphatase (AcP) of *Viviparus viviparus* L. exposed to pyrethroids, $p = 0.05$

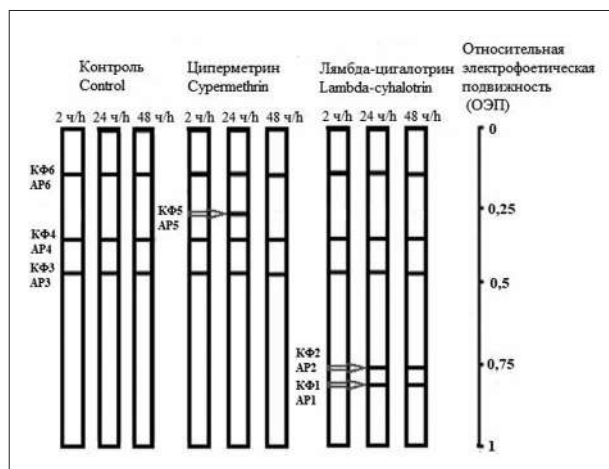


Рис. 2. Схемы энзим-электрофореграмм множественных форм КФ гепатопанкреаса *V. viviparus* в норме и при воздействии пиретроидов (ОЭП₁=0,83; ОЭП₂=0,76; ОЭП₃=0,45; ОЭП₄=0,36; ОЭП₅=0,27; ОЭП₆=0,15). 2, 24 и 96 ч – время экспозиции / **Fig. 2.** Schemes of enzyme electrophoregrams of multiple forms of acid phosphatase (AP) of *V. viviparus* hepatopancreas unexposed and exposed to pyrethroids (REM₁=0.83; REM₂=0.76; REM₃=0.45; REM₄=0.36; REM₅=0.27; REM₆=0.15). 2, 24 and 96 hours – exposure time

(рис. 2). В опытных группах под воздействием пиретроидов на фоне увеличения активности КФ отмечен синтез новых множественных форм фермента в гепатопанкреасе *V. viviparus*. Под воздействием циперметрина выявлена одна новая множественная форма кислой фосфатазы (КФ5) с относительной электрофоретической подвижностью (ОЭП) ОЭП₅ = 0,27. Под воздействием лямбда-цигалотрина выявлены две новые множественные формы кислой фосфатазы (КФ1 и КФ2) с ОЭП₁ = 0,83 и ОЭП₂ = 0,76. В ранее проведенной работе при действии циперметрина на кислую фосфатазу живородки речной в концентрации, соответствующей 10 ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения (ПДК/ОДУ = 0,006 мг/л) согласно СанПиН 1.2.3685-21 отмечено появление двух новых множественных форм фермента с низкой электрофоретической подвижностью [14].

Стоит отметить, что в аналогичном эксперименте под действием фосфорорганических пестицидов (малатиона и глифосата) также отмечается увеличение активности КФ живородки речной относительно контрольных значений, при этом под действием малатиона происходит более мощное увеличение активности (увеличение активности в 10 раз относительно контроля при 4 ч экспозиции). Анализ электрофореграмм форм КФ, полученных

при воздействии фосфорорганических соединений, показал, что при общем повышении активности фермента число множественных форм увеличивается [26]. Полученные данные соответствуют данным изучения биохимического воздействия пиретроидов на рыб. Опубликованы известные примеры биохимического изучения активности фосфатаз в ответ на воздействие пиретроидов, при этом, как правило, активность этих ферментов обменного комплекса увеличивается [27, 28].

Проводимые ранее исследования по изменению качественного состава белков при интоксикации фосфорорганическими пестицидами выявили образование стресс-белков (металлотионеинов), что связывают с увеличением активности КФ [17].

Авторы исследования [29] отмечают, что альфа-циперметрин и лямбда-цигалотрин способны вызывать значительное увеличение специфической активности различных биохимических систем у *Channa punctatus*: перекисного окисления липидов, удельной активности лактатдегидрогеназы, кислой и щелочной фосфатаз в остром эксперименте (96 ч).

Морфологические изменения в тканях гепатопанкреаса. Гепатопанкреас моллюсков представляет собой орган, состоящий из удлинённых и тесно связанных между собой канальцев. Они часто соединены между собой, но иногда встречаются островки соединительнотканых клеток и волокон среди них. По имеющимся данным, гепатопанкреас включает в себя два типа клеток [30, 31]: 1) пищеварительные клетки, которые имеют округлые ядра, расположенные близко к плазматической мембране, и вся их апикальная область заполнена базофильными гранулами одинакового размера; 2) экскреторные клетки, которые бледнее, чем пищеварительные клетки, и содержат одно или несколько включений неправильной формы.

У моллюсков обеих групп сохраняется структура органа. Строение среза гепатопанкреаса у моллюсков контрольной группы соответствует норме и представлено на микрофотографии (рис. 3, см. цв. вкладку III). На микрофотографиях срезов моллюсков из опытных групп (рис. 4, см. цв. вкладку III) при патоморфологическом анализе визуально определяется доля митотических клеток, клеток в состоянии апоптоза и некроза. Обобщённые данные о морфологических изменениях в тканях гепатопанкреаса под действием альфа-циперметрина и лямбда-цигалотрина приведены в таблице.

**Е. А. Тишина, Т. С. Дроганова, Л. В. Поликарпова, Д. А. Арешидзе,
Н. В. Васильев «Влияние пиретроидов на биохимические параметры
и морфофункциональное состояние живородки речной
(*Viviparus viviparus* L.)». С. 79.**

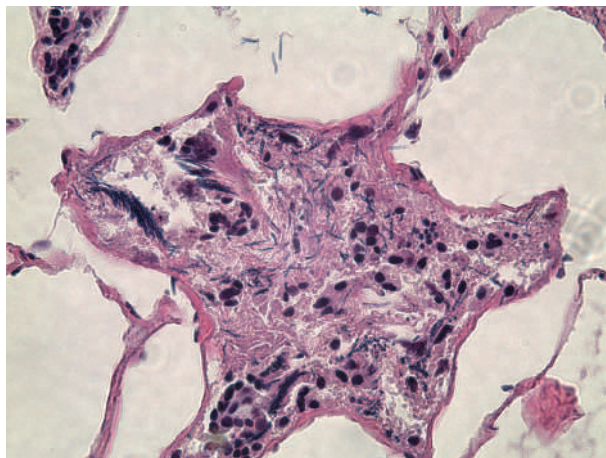


Рис. 3. Срез гепатопанкреаса *V. viviparus* (экспозиция 0 часов (контроль)), окраска – гематоксилин и эозин, $\times 400$
Fig. 3. Section of the hepatopancreas of *V. viviparus* (exposure 0 hours (control)), staining – hematoxylin and eosin, $\times 400$

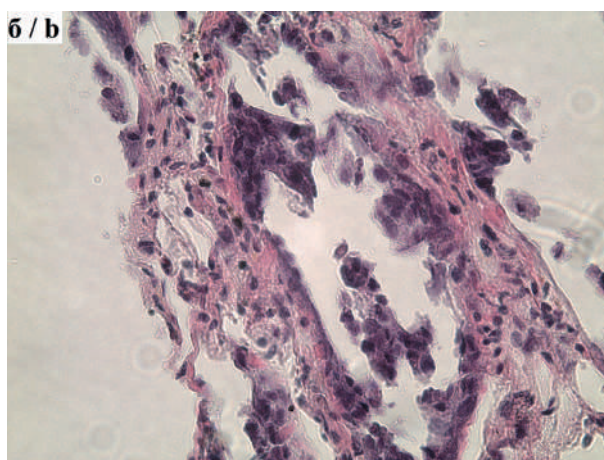
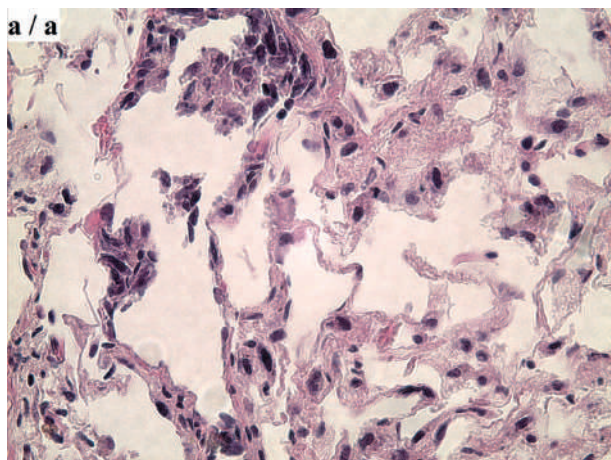


Рис. 4. Срез гепатопанкреаса *V. viviparus* при воздействии: а) лямбда-цигалотрина (экспозиция 24 ч (опыт)), б) циперметрина (экспозиция 96 ч (опыт)). Окраска – гематоксилин и эозин, $\times 400$
Fig. 4. Section of the hepatopancreas of *V. viviparus* exposed to: a) lambda-cyhalothrin (exposure time 24 h (experiment)), b) cypermethrin (exposure time 96 h (experiment)). Staining – hematoxylin and eosin, $\times 400$

Таблица / Table

Изменения в тканях гепатопанкреаса *V. viviparus* при воздействии альфа-циперметрина и лямбда-цигалотрина / Changes in *V. viviparus* hepatopancreas tissues exposed to alpha-cypermethrin and lambda-cyhalothrin

Время экспозиции, ч Exposure time, h	Патологические изменения Pathological changes	Некроз, апоптоз, % Necrosis, apoptosis, %	Митозы, % Mitosis, %
При воздействии альфа-циперметрина / When exposed to alpha-cypermethrin			
0	не обнаружено / not detected	не обнаружено / not detected	0,83 ± 0,09
4	не обнаружено / not detected	не обнаружено / not detected	0,91 ± 0,08
24	не обнаружено / not detected	не обнаружено / not detected	0,71 ± 0,10
96	клетки в состоянии кариопикноза, кариорексиса, кариолизиса, единичные некротизированные клетки cells with karyopycnosis, karyorexis, karyolysis, and single necrotic cells	24,8 ± 3,4 патологически изменённых клеток, апоптических не наблюдалось 24,8 ± 3,4 of pathologically altered cells, apoptotic cells were not detected	2,11 ± 0,34
При воздействии лямбда-цигалотрина / When exposed to lambda-cyhalothrin			
0	не обнаружено / not detected	не обнаружено / not detected	0,81 ± 0,09
4	не обнаружено / not detected	не обнаружено / not detected	0,74 ± 0,07
24	клетки в состоянии кариопикноза, кариорексиса, кариолизиса, единичные некротизированные клетки cells with karyopycnosis, karyorexis, karyolysis, and single necrotic cells	4,2 ± 0,2 клеток с патологическими изменениями, единичные апоптические клетки / 4,2 ± 0,2 of pathologically altered cells, apoptotic cells were not detected	2,41 ± 0,11
96	клетки в состоянии кариопикноза, кариорексиса, кариолизиса, единичные некротизированные клетки cells with karyopycnosis, karyorexis, karyolysis, and single necrotic cells	18,8 ± 2,4 патологически изменённых клеток, апоптических не наблюдалось 18,8 ± 2,4 of pathologically altered cells, apoptotic cells were not detected	3,60 ± 0,24

В опытной группе при воздействии лямбда-цигалотрина (рис. 4а, табл.) через 24 ч экспозиции появляются клетки в состоянии кариопикноза, кариорексиса, кариолизиса и единичные некротизированные клетки, а в опытной группе при воздействии циперметрина (рис. 4б, табл.) аналогичные изменения наступают через 96 ч экспозиции.

Заключение

В результате проведённого исследования выявлено, что альфа-циперметрин и лямбда-цигалотрин при остром воздействии в дозах 10 ПДК_{рыб.хоз.} вызывают существенное увеличение активности КФ и появление новых множественных форм КФ гепатопанкреаса моллюска *Viviparus viviparus* L. Это указывает на сильное стресс-индуцирующее действие исследуемых пиретроидов, что подтверждается при оценке морфологического состояния тканей гепато-

панкреаса живородки речной: появляются клетки в состоянии кариопикноза, кариорексиса, кариолизиса и единичные некротизированные клетки. Угнетение ферментной системы, которое фиксировалось ранее при действии повышенной концентрации альфа-циперметрина не наблюдалось. Обнаружение нескольких новых изоформ КФ в белковых экстрактах, полученных из тканей гепатопанкреаса, указывает на протекание адаптационных биохимических процессов в клетках пищеварительной железы моллюска в ответ на воздействие альфа-циперметрина и лямбда-цигалотрина. Появление нескольких форм фермента КФ в печени может представлять интерес для дифференциальной диагностики органических и функциональных поражений органов и тканей. Таким образом, проведённое исследование биохимических показателей моллюсков при воздействии пиретроидов подтверждает возможность использования

изменения активности и множественных форм кислой фосфатазы гепатопанкреаса живородки речной как индикатора токсического воздействия в эколого-биохимическом мониторинге загрязнений пресных вод.

References

1. Gorbenko A.D., Morozova Ya.A., Sevostyanova E.P., Andreevskaya V.M., Kolesnikova O.A., Sevostyanov M.A. Synthetic pyrethroids and natural pyrethrins – review // *Vestnik agrarnoy nauki*. 2024. No. 5 (110). P. 3–15 (in Russian). doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.5.3
2. Soderlund D.M. Molecular mechanisms of pyrethroid insecticide neurotoxicity: recent advances // *Arch. Toxicol.* 2012. V. 86. No. 2. P. 165–181. doi: 10.1007/s00204-011-0726-x
3. Eni G., Ibor O.R., Andem A.B., Oku E.E., Chukwuka A.V., Adeogun A.O., Arukwe A. Biochemical and endocrine-disrupting effects in *Clarias gariepinus* exposed to the synthetic pyrethroids, cypermethrin and deltamethrin // *Comp. Biochem. Physiol. C: Toxicol. Pharmacol.* 2019. V. 225. Article No. 108584. doi: 10.1016/j.cbpc.2019.108584
4. Hill I.R. Effects on non-target organisms in terrestrial and aquatic environments // *The pyrethroid insecticides* / Ed. J.P. Leahey. Philadelphia: Taylor & Francis, 1985. P. 151–262. doi: 10.1021/bk-2008-0991.ch014
5. Zimmer E.I., Preuss T.G., Norman S., Minten B., Ducrot V. Modelling effects of time-variable exposure to the pyrethroid beta-cyfluthrin on rainbow trout early life stages // *Environ. Sci. Eur.* 2018. V. 30. No. 1. Article No. 36. doi: 10.1186/s12302-018-0162-0
6. Ait Ayad M., Ait Fdil M., Mouabad A. Effects of cypermethrin (pyrethroid insecticide) on the valve activity behavior, byssal thread formation, and survival in air of the marine mussel *Mytilus galloprovincialis* // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2011. V. 60. No. 3. P. 462–470. doi: 10.1007/s00244-010-9549-7
7. Bradbury S.P., Coats J.R. Comparative toxicology of the pyrethroid insecticides // *Reviews of environmental contamination and toxicology* / Ed. G.W. Ware. New York: Springer-Verlag, 1989. P. 133–177. doi: 0.1007/978-1-4613-8850-0_4
8. Köprücü K., Yonar S.M., Şeker E. Effects of cypermethrin on antioxidant status, oxidative stress biomarkers, behavior, and mortality in the freshwater mussel *Unio elongatulus eucirrus* // *Fish. Sci.* 2010. V. 76. No. 6. P. 1007–1013. doi: 10.1007/s12562-010-0293-8
9. Ray M., Bhunia A.S., Bhunia N.S., Ray S. Density shift, morphological damage, lysosomal fragility and apoptosis of hemocytes of Indian molluscs exposed to pyrethroid pesticides // *Fish Shellfish Immunol.* 2013. V. 35. No. 2. P. 499–512. doi: 10.1016/j.fsi.2013.05.008
10. Mandal A.H., Sadhu A., Ghosh S., Saha N.C., Mossotto C., Pastorino P., Saha S., Faggio C. Evaluating the impact of neonicotinoids on aquatic non-target species: A comprehensive review // *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2025. V. 113. Article No. 104606. doi: 10.1016/j.etap.2024.104606
11. Werner I., Moran K. Effects of pyrethroid insecticides on aquatic organisms // *Synthetic pyrethroids: occurrence and behavior in aquatic environments: ACS symposium series*. 2008. V. 991. P. 310–335. doi: 10.1021/bk-2008-0991.ch014
12. Gorbatov V.S., Astaikina A.A., Aptikaev R.S., Tikhonov V.V. Comparative hazard and risk assessment of pesticides for aquatic organisms // *Agrokhimiya*. 2019. No. 11. P. 17–26 (in Russian). doi: 10.1134/S0002188119110061
13. Fernández San Juan M.R., Cortelezzi A., Albornoz C.B., Landro S.M., Arrighetti F., Najle R., Lavarias S.M.L. Toxicity of pyrethroid cypermethrin on the freshwater snail *Chilina parchappii*: lethal and sublethal effects // *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 2020. V. 196. Article No. 110565. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110565
14. Tishina E.A., Polikarpova L.V., Droganova T.S., Lazareva A.A., Vasiliev N.V. Multiple forms of enzyme systems of gastropod molluscs under the action of pyrethroids // *Anthropogenic impact on aquatic organisms and ecosystems: sbornik materialov VIII vserossiyskoy konferentsii po vodnoy ekotoksikologii, posvyashchennoy 85-letiyu so dnya rozhdeniya B.A. Flerova*. Yaroslavl: Filigran, 2023. P. 109–111 (in Russian).
15. Droganova T.S., Polikarpova L.V., Konichev A.S. River snail liver protein spectrum in normal conditions and when intoxicated with lead (II) ions // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 3. P. 109–113 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-109-113
16. Konin D.N., Konichev A.S. Heavy metal ions effect on proteolytic activity in the liver of *Viviparus viviparus* L. molluscs // *Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences*. 2007. No 1. P. 3–6 (in Russian).
17. Tishina E.A., Droganova T.S., Polikarpova L.V. Effect of organophosphorus compounds on changes in the qualitative composition of proteins of freshwater mollusks // *Ecosystem transformation affected by natural and anthropogenic factors: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Kirov: Vyatka State University, 2019. P. 162–165 (in Russian).
18. Kovačić I., Fafandel M., Perić L., Batel I. Effect of environmental pollutant mixtures on acid DNase activity in mussel *Mytilus galloprovincialis*: *ex situ* and *in situ* study // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2017. V. 99. No. 4. P. 433–437. doi: 10.1007/s00128-017-2162-y
19. Nusetti O., Marcano L., Zapata E., Esclapés M., Nusetti S., Lodeiros C. Immunological and antioxidant enzyme responses in the pearl oyster *Pinctada imbricata* (Mollusca: Pteridae) exposed to sublethal levels of fuel oil // *Interciencia*. 2004. No 6. V. 29. P. 324–328 (in Spanish).
20. Droganova T.S., Konichev A.S., Petrenko D.B., Polikarpova L.V., Tsvetkov I.L. Influence of sodium fluoride and fluoroacetic acid on the activity of acidic DNase, acid phosphatase and the spectrum of soluble proteins of

the freshwater snail, *Viviparus viviparus* L. // Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences. 2017. No. 4. P. 36–45 (in Russian).

21. Lowry O.H., Rosenbrought N.J., Farr A.L., Randall R.L. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent // J. Biol. Chem. 1951. V. 193. No. 2. P. 265–275. doi: 10.1016/S0021-9258(19)52451-6

22. Andersch M.A., Szczypinski A.J. Use of *p*-nitrophenyl phosphate as the substrate in determination of serum acid phosphatase // Am. J. Clin. Pathol. 1947. V. 17. No. 7. P. 571–574. doi: 10.1093/ajcp/17.7_ts.571

23. Loida Z., Gossrau R., Schibler T. Enzyme histochemistry: laboratory methods. Moskva: Mir, 1982. 272 p. (in Russian).

24. Livingstone D.R. Biotechnology and pollution monitoring: use of molecular biomarkers in the aquatic environment // J. Chem. Tech. Biotechnol. 1993. V. 57. P. 195–211. doi: 10.1002/jctb.280570302

25. Narbonne J.F., Garrigues P., Ribera D., Raoux C., Mathieu A., Lemaire P., Salaun J.P., Lafaurie M. Mixed-function oxygenase enzymes as tools for pollution monitoring: field studies on the French coast of the Mediterranean Sea // Comp. Biochem. Physiol. C Comp. Pharmacol. Toxicol. 1991. V. 100. No. 1–2. P. 37–42. doi: 10.1016/0742-8413(91)90118-d

26. Tishina E.A., Droганova T.S., Polikarpova L.V., Vasiliev N.B. Effect of phosphorus-containing pesticides

on the enzymatic activity and multiple forms of acid phosphatase of river snail (*Viviparus viviparus* L.) // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 2. P. 151–158 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-2-151-158

27. Das B.K., Mukherjee S.C. Toxicity of cypermethrin in *Labeo rohita* fingerlings: biochemical enzymatic and haematological consequences // Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol. 2003. V. 134. No. 1. P. 109–121. doi: 10.1016/s1532-0456(02)00219-3

28. Johal M.S., Sandhu G.S., Kaur R. Effect of fenvalerate on acid and alkaline phosphatase activity in certain tissues of *Heteropneustes fossilis* (Bloch) // Pollut. Res. 2002. V. 21. No. 3. P. 309–313.

29. Kumar A., Sharma B., Pandey R.S. Assessment of stress in effect to pyrethroid insecticides, λ -cyhalothrin and cypermethrin, in a freshwater fish, *Channa punctatus* (BLOCH) // Cell. Mol. Biol. (Noisy-le-grand). 2012. V. 58. No. 1. P. 153–159.

30. Rebecchi B., Franchini A., Bolognani Fantin A.M. The digestive gland of *Viviparus ater* (Mollusca, Gastropoda, Prosobranchia): an ultrastructural and histochemical study // Tissue Cell. 1996. V. 28. No. 6. P. 731–739. doi: 10.1016/s0040-8166(96)80076-0

31. Griffond B., Gomot L. Cultivation *in vitro* of organs of the fresh water gastropod prosobranch mollusk *Viviparus viviparus* L. // In Vitro. 1974. V. 10. P. 206–215. doi: 10.1007/BF02615234