



научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



<http://petrsu.ru>

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 2 (60). Июнь, 2026

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugolek
В. Н. Якимов
А. В. Сони́на

Службы поддержки

Н. А. Марфицына
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



УДК 597.5/9:504.53

ВЛИЯНИЕ ТРИФЛУРАЛИНА НА КАРПА (*CYPRINUS CARPIO* L.): ОСТРАЯ И ХРОНИ- ЧЕСКАЯ ТОКСИЧНОСТЬ, ГИСТОЛОГИЧЕ- СКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

КАЛЮЖНАЯ
Ольга Дмитриевна

РУДН им. Патриса Лумумбы, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая,
6, kalyuzhnaya.olya@list.ru

Ключевые слова:

Анонс к. э.
трифлуралин
карп (*Cyprinus carpio* L.)
острая токсичность
хроническая токсичность
гербициды
гистопатологические изменения
летальные концентрации
кумулятивное действие
биоиндикация

Аннотация: Повсеместное использование гербицидов в сельском хозяйстве приводит к их попаданию в водные экосистемы, где они представляют скрытую, но значительную угрозу для гидробионтов. Целью исследования являлось определение токсикометрических показателей (летальных и пороговых концентраций), изучение поведенческих реакций и выявление структурно-функциональных изменений в органах и тканях рыб при действии сублетальных доз препарата. В статье представлены результаты опытов острой (96 ч.) и хронической (30 суток) токсичности гербицида Анонс к. э. (действующее вещество – трифлуралин) для годовиков карпа (*Cyprinus carpio* L.). Определены летальные концентрации, пороговые уровни воздействия и исследованы гистопатологические изменения в органах и тканях рыб. Установлено, что при остром воздействии гербицид проявляет умеренную токсичность ($ЛК_{50} = 26,82$ мг/л), тогда как при хронической экспозиции его опасность значительно возрастает: пороговая концентрация снижается в 13 раз, а $ЛК_{50}$ – в 3.6 раза (до 7.50 мг/л). Гистологический анализ выявил системные повреждения, включая токсическую дистрофию печени, поражение миокарда и нарушения кровообращения в мозге и почках, начиная с концентрации 0.05 мг/л. Результаты свидетельствуют, что трифлуралин даже в низких концентрациях вызывает глубокие патоморфологические изменения, лежащие в основе нарушений физиологических функций и гибели рыб. Несмотря на низкий коэффициент биоаккумуляции ($K_m < 1$), вещество обладает высокой устойчивостью в окружающей среде и способно длительно сохраняться в донных отложениях, создавая постоянный риск для водных экосистем, особенно для эмбрионов и молоди рыб. Проведенное исследование подтверждает необходимость строгого нормирования содержания трифлуралина в воде рыбохозяйственных водоемов и учета его кумулятивного потенциала при экотоксикологической оценке.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 28 января 2026 года

Подписана к печати: 26 июня 2026 года

Введение

Вред гербицидов для окружающей среды – это комплексная проблема, выходящая далеко за рамки уничтожения целевых сорняков. Гербициды вызывают серьёзные экологические проблемы, противореча принципам устойчивого развития. Они являются основными загрязнителями почвы и водных ресурсов, приводят к деградации экосистем и снижению биоразнообразия. Эти вещества опасны для здоровья человека и губительны для полезных почвенных микроорганизмов, а период полураспада некоторых соединений может достигать одного года (Böcker et al., 2019; Krimsky, 2021; Sălceanu et al., 2023; Paul et al., 2024).

Гербициды вызывают каскадное разрушение водной экосистемы, отравляя организмы и нарушая хрупкий баланс. Данные вещества оказывают острое и хроническое токсическое действие на рыб, вызывая даже в малых дозах повреждение ДНК, нарушения в делении клеток, физиологические и морфологические изменения. Это влияет на нервную и репродуктивную системы, ориентацию, пищевое поведение и иммунитет, повышая уязвимость рыб. Наиболее чувствительны эмбрионы и мальки. Кроме того, гербициды сокращают кормовую базу, что ведёт к уменьшению численности рыб. (Solomon et al., 2013; Ojemaye et al., 2020; Lopes et al., 2022; Ribeiro et al., 2022).

Для исследования был выбран гербицид Анонс к.э., вещество запрещено применять в странах Евросоюза с 2007 года именно из-за высокой токсичности для рыб (Marinov et al., 2014). В Российской Федерации трифлуралин продолжает использоваться в сельском хозяйстве. Действующее вещество гербицида Анонс к.э (концентрат эмульсии) 480 г/л трифлуралина. Гербицид был первым разработанным динитроанилиновым гербицидом и находится на рынке уже 60 лет с момента его коммерциализации в 1964 году. На сегодняшний день трифлуралин остается одним из двух наиболее популярных используемых динитроанилиновых гербицидов (наряду с пендиметалином) и входит в число основных мировых видов гербицидов благодаря его цене (Ni et al., 2025). Конкретные культуры, для выращивания которых применяется гербицид: хлопчатник (*Gossypium hirsutum*), пшеница (*Triticum cereale*) и масличные культуры (Zhang et al., 2023). Свойства трифлуралина (гидрофобность, устойчивость к разложению, сорбция на органику

почвы) создают долговременный риск для водных экосистем, в особенности для рыб. (Gavrilescu, 2005; Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, 2025). Риски для водных экосистем наибольшие при непрерывном внесении трифлуралина, а при периодическом внесении в почву процессы разложения минимизируют этот риск (Yockim et al., 1980). Фотоллиз трифлуралина в воде увеличивается из-за реакции с гидроксильными радикалами, которые образуются при фотоллизе нитратов. Скорость разложения трифлуралина увеличивается на 63% при наличии в растворе воды 10 мг/л нитратов (Dimou et al., 2004). Трифлуралин попадает в водные экосистемы с поверхностным стоком и грунтовыми водами, где начинается негативное воздействие на зоопланктон, численность которого снижается. Далее идёт уменьшение кормовой базы и отравление рыб. У взрослых рыб нарушается развитие, а также самцы могут терять репродуктивные способности. Донные отложения становятся токсичными, что подавляет восстановление экосистемы на месяцы (Grover et al., 1997; Рамеш, Баласубраманиан, 2001).

Карп (*Cyprinus carpio* L.) – важный объект аквакультуры и биоиндикатор пресноводных экосистем, используемый для оценки экотоксикологических рисков (Crooijmans et al., 1997; Rahman, 2015). Он активно накапливает пестициды, преимущественно в жировой ткани и печени, что позволяет проводить ретроспективный анализ хронологии загрязнения водоёмов (Oost van der et al., 2003; Павлов и др., 2020).

Целью исследования является комплексная оценка острой и хронической токсичности гербицида Анонс к.э. для карпа, определение летальных концентраций и изучение патологических изменений в органах и тканях для оценки экотоксикологического риска данного вещества. Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к изучению токсичности трифлуралина, сочетающем токсикометрические, поведенческие и гистологические методы, а также в установлении количественных параметров хронической токсичности и пороговых концентраций, вызывающих системные патологические изменения у карпа. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования воздействия трифлуралина на водные экосистемы.

Материалы

Опыты на годовиках карпа

(*Cyprinus carpio* L.) проводились в остром (96 ч) и хроническом (30 сут) режимах. Средняя масса рыб составляла 25.3 ± 2.1 г, длина – 12.5 ± 0.8 см. В каждой экспериментальной группе и контрольной группе находилось по 15 особей. Опыты проводились в трех повторностях. Концентрации в острых опытах: 1.0; 5.0; 10.0; 25.0; 50.0 и 100.0 мг/л; в хронических: 0.1; 0.5; 1.0; 5.0; 10.0; 25.0; 50.0 мг/л, что позволило охватить диапазон от заведомо подпороговых до летальных концентраций, установленных в остром опыте; для детальных физиолого-биохимических исследований: 0.01; 0.05; 0.1; 0.5 мг/л. Острые опыты проводили в аквариумах объемом 40 л, хронические – в ваннах объемом 180 л. Разный объем воды при одинаковой плотности посадки рыб выбран не случайно и обусловлен целями и длительностью каждого из экспериментов. В остром 96-часовом опыте используется меньший объем (40 л), что позволяет экономить препарат и упрощает поддержание заданных концентраций. В хроническом 30-суточном эксперименте увеличение объема до 180 л необходимо для обеспечения стабильности условий обитания рыб в течение длительного времени: в большем объеме воды медленнее накапливаются продукты метаболизма, лучше буферизируются колебания pH и температуры, а также снижается риск гипоксии. При этом плотность посадки была не одинаковой, а разной: в остром опыте она составила 15 особей на 40 л, в хроническом – 15 особей на 180 л. Температура воды в опытах находилась в пределах 16–18 °C, pH 7.2–7.4, содержание растворенного кислорода – 6.5–7.5 мг/л (контролировалось ежедневно). Рыб кормили стандартным комбикормом 1 раз в сутки. Растворы гербицида готовили на отстоянной водопроводной воде без использования дополнительных растворителей. Смену растворов в хроническом опыте проводили каждые 48 часов для поддержания стабильной концентрации. В ходе определения хронических опытов изучали поведение и клиническую картину отравления рыб. По окончании опытов рассчитывали параметры острой и хронической токсичности.

Главная цель патологоанатомических и гистологических исследований – выявление структурных изменений в органах и тканях под воздействием сублетальных концентраций гербицида. Оно проводилось в более низком диапазоне концентраций (0.01–0.5 мг/л). Для гистологических ис-

следований использовались только живые рыбы, выведенные из эксперимента на 5, 10, 20 и 30-е сутки. Рыб подвергали эвтаназии с помощью эмульсии, приготовленной из масла гвоздики и 95 % этилового спирта, что является гуманным способом эвтаназии. Погибшие в ходе эксперимента рыбы для гистологического анализа не использовались, так как в их тканях быстро развиваются аутолитические изменения (посмертный распад клеток), которые могут быть ошибочно интерпретированы как токсические повреждения. Производился разрез от ануса к жаберным крышкам, вскрывалась полость тела. Готовили парафиновые и замороженные срезы, окрашивали гематоксилином и эозином. Органы и ткани (жабры, кожа с мышцами, почки, печень, селезенка, кишечник, мозг, сердце) фиксировали в 10 % растворе нейтрального формалина.

Методы

Исследования проведены в соответствии с Приказом Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Приказ Федерального агентства по рыболовству..., 2025) и «Методическими указаниями по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ в воде водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение» (Методические указания..., 2011). При проведении исследования использовались общепринятые гистологические методы (Микодина и др., 2009). В работе использованы токсикологический (острые и хронические опыты), расчётно-статистический, клинический (наблюдение за поведением), патологоанатомический и гистологический методы. Работа велась с микроскопом Leica DM 2000 при увеличениях 100×, 200× и 400×.

Результаты

Эксперимент по острой токсичности гербицида для карпа проводился с шестью градациями концентраций гербицида и контролем. Количество рыб в каждом варианте опыта (*n*) составляло 15 особей. Зависимость гибели карпа от концентрации гербицида при 96-часовой экспозиции представлена в табл. 1.

Таблица. 1. Гибель годовиков карпа при остром воздействии (96 ч) гербицида Анонс к.э.

Концентрация гербицида, мг/л	Гибель карпа за 96 часов, %	Абсолютное число погибших особей (из 15)
Контроль	0	0
1.0	0	0
5.0	6.6	1
10.0	26.6	4
25.0	46.6	7
50.0	66.6	10
100.0	100	15

В контроле и при минимальной испытанной концентрации (1.0 мг/л) гибели не наблюдалось. Это указывает на пороговый характер действия. При концентрации 5.0 мг/л гибель составила 6.6 % (1 особь), что можно считать порогом летального действия в условиях острого опыта. С увеличением концентрации гибель прогрессивно возрастала: 26.6 % (10 мг/л), 46.6 % (25 мг/л), 66.6 % (50 мг/л). Концентрация 100 мг/л вызвала гибель всех подопытных рыб в течение

96 часов. Для годовиков карпа гербицид Анонс к.э. представляет умеренную опасность при кратковременном воздействии.

Эксперимент по хронической токсичности гербицида для карпа проводился с восьмью градациями концентраций гербицида и контролем. Количество рыб в каждом варианте опыта (*n*) составляло 15 особей. Данные по динамике токсичности представлены в табл. 2.

Таблица. 2. Динамика гибели и токсикометрические параметры гербицида Анонс к.э. для годовиков карпа при хроническом отравлении

Концентрация гербицида, мг/л	Гибель карпа за 30 суток, %	Абсолютное число погибших особей (из 15)
Контроль	0	0
0.1	0	0
0.5	13.3	2
1.0	26.6	4
5.0	40.0	6
10.0	60.0	9
25.0	80.0	12
50.0	100	15

В контроле и при концентрации 0.1 мг/л гибель полностью отсутствует. Концентрация 0.1 мг/л является экспериментально установленной максимальной недействующей концентрацией по показателю выживаемости. Четко прослеживается прямая зависимость: с увеличением концентрации в 10 раз (с 0.5 до 5.0 мг/л) гибель возрастает с 13.3 до 40.0 %. При 10 мг/л погибает большинство особей (60 %), а при 25 мг/л – 80 %. Концентрация 50 мг/л приводит к полной гибели рыб в течение 30 суток, что указывает на высокий хронический токсический потенциал при длительном воздействии даже средних доз.

На основе полученных данных был проведен пробит-анализ, аналогичный острому

опыту, что позволило рассчитать хронические токсикометрические показатели. Начало проявления клинических признаков отравления отмечено в растворе с концентрацией препарата 0.5 мг/л. Отмечалось волнообразное возбуждение, сменяющееся угнетением, а с повышением концентраций увеличивались выраженность и тяжесть проявления клинических признаков. Симптомы, развивающиеся у рыб в ходе 30-суточного эксперимента:

1. Начальная стадия: возбуждение, резкая реакция на внешние раздражители, нарушение координации.
2. Прогрессирование: рыбы периодически всплывают к поверхности, заглатывают

воздух, наблюдаются судорожные движения плавниками.

3. Терминальная стадия: рыбы опускаются на дно, совершают судорожные движения и погибают с широко раскрытым ртом.

Химический анализ тканей рыб показал, что коэффициент биоконцентрации ($K_m = C_{\text{органы}} / C_{\text{вода}}$) менее 1, что указывает на отсутствие способности трифлуралина к материальному накоплению (биоаккумуляции) в организме карпа.

Изменения регистрировались при вскрытии рыб, подвергшихся хроническому воздействию. Первые видимые признаки токсического поражения внутренних органов появляются при концентрации 0.05 мг/л. При более высоких концентрациях (> 0.5 мг/л) замечена кровенаполненность внутренних органов (гиперемия) и желтушность печени.

Гистологическое исследование выявило более тонкие и специфичные повреждения на тканевом и клеточном уровнях, результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3. Характер и локализация гистопатологических изменений

Орган / ткань	Наблюдаемые гистологические изменения	Интерпретация и патогенез
Печень	1. Застойная гиперемия междолевых капилляров. 2. Зернистая дистрофия печеночных клеток (гепатоцитов). 3. В единичных случаях – распад гепатоцитов	Печень – главный орган детоксикации. Гиперемия указывает на нарушение кровообращения и токсический шок. Зернистая дистрофия – признак нарушения белкового обмена в клетках, их декомпенсации под действием яда. Распад клеток – необратимое повреждение
Сердце (миокард)	1. Мышечные волокна миокарда истощены, рыхлой консистенции. 2. Поперечная исчерченность стерта	Прямое токсическое действие на сердечную мышцу, приводящее к дистрофии миоцитов. Нарушение сократительной функции сердца, что коррелирует с наблюдаемым в опытах угнетением и гипоксией
Центральная нервная система (мозг)	Сосуды мозга гиперемизированы (полнокровны)	Нарушение мозгового кровообращения, отек, возможное повышение внутричерепного давления. Объясняет неврологические симптомы: нарушение координации, судороги
Почки	Сосуды почек гиперемизированы	Нарушение почечного кровотока, ведущее к расстройству фильтрационной и выделительной функции почек, усугубляющее интоксикацию
Другие органы (жабры, кожа, селезенка, кишечник)	Признаки дистрофии и нарушение структуры лепестков в жабрах, нарушение кожных покровов. Признаки полнокровия и незначительные дистрофические изменения в кишечнике	Системный характер поражения подтверждает общетоксическое действие гербицида

Все изменения в таблице относятся к концентрациям от 0.05 мг/л и выше с нарастанием тяжести поражения по мере увеличения концентрации. Порог выявления гистопатологических эффектов (0.05 мг/л) оказался в три раза ниже порога летальности ($LK_0 = 0.15$ мг/л), что подтверждает высокую чувствительность гистологического метода как раннего индикатора токсического воздействия. Основными путями поступления гербицида в организм рыб являются жабры (из воды) и кишечник (при заглатывании загрязненных частиц донных отложений или корма). Гербицид Анонс к.э. при хроническом воздей-

ствии начиная с 0.05 мг/л вызывает системные повреждения: токсическую дистрофию печени, поражение сердечной мышцы и нарушение кровообращения в мозге и почках. Эти изменения объясняют неврологические симптомы и гибель рыб.

Обсуждение

Результаты острого 96-часового опыта показали умеренную опасность трифлуралина при кратковременном воздействии. Порог летального действия наблюдался при концентрации 5.0 мг/л (гибель 6.6 %), а LK_{50} составила 26.82 мг/л. Однако сравнение с

литературными данными (Mayer, Ellersieck, 1986) указывает, что чувствительные виды рыб, такие как радужная форель и лепаomis, демонстрируют на порядок более низкие значения 96-часовой LK_{50} (0.008–0.04 мг/л). Это подчеркивает видовую специфичность токсичности трифлуралина и относительно более высокую устойчивость карпа в острых условиях, что, вероятно, связано с его физиолого-биохимическими особенностями.

Значительно более выраженные эффекты выявлены при хроническом 30-суточном воздействии. Пороговая концентрация (LK_0) снизилась в 13 раз (до 0.15 мг/л) по сравнению с острым опытом, а средняя летальная концентрация (LK_{50}) уменьшилась в 3.6 раза (до 7.50 мг/л). Эти данные однозначно свидетельствуют о выраженном кумулятивном действии трифлуралина и согласуются с результатами Poleksić и Karan (1999), которые показали, что трифлуралин в субхронических концентрациях (0.005–0.02 мг/л) снижает рост карпа и изменяет активность ферментов (Poleksić, Karan, 1999).

Клиническая картина хронического отравления носила стадийный характер: от начального возбуждения и нарушения координации до судорог, признаков гипоксии (заглатывание воздуха) и гибели. Эта симптоматика нашла морфологическое подтверждение в результатах патологоанатомического и гистологического исследований. При исследовании 1999 г. токсичности трифлуралина для карпа в субхронических концентрациях (0.005, 0.01 и 0.02 мг/л), обнаружено, что трифлуралин снижает относительную скорость роста, увеличивает активность функциональных ферментов в сыворотке крови и органах рыб, особенно в высокой концентрации (Poleksić, Karan, 1999).

Гистологический анализ подтвердил системный характер поражения даже при низких концентрациях (от 0.05 мг/л). В печени отмечалась токсическая дистрофия гепатоцитов, в сердце – дистрофия миокарда, а в ЦНС и почках отмечено нарушение кровообращения. Эти морфологические изменения являются основой наблюдаемых неврологических симптомов и гибели рыб и служат наиболее чувствительным индикатором токсического воздействия.

Ранними исследованиями отмечено, что при воздействии малых концентраций триф-

луралина у карпа наиболее серьезные изменения происходят в жабрах и почках (Poleksić, Karan, 1999). Трифлуралин влияет и на кости рыб, исходя из исследований воздействия трифлуралина (5–31 мкг/л) на молодь голяна (*Cyprinodon variegatus*), замечена уникальная дисплазия позвонков: их аномальное увеличение (в 3–20 раз), сращение и разрастание, сдавливающее внутренние органы (Couch et al., 1979). Гистологические нарушения – один из самых чувствительных показателей токсичности, появляющийся раньше, чем массовая гибель. Гистопатологическая картина (дистрофия печени и жабр, повреждение миокарда) является морфологическим субстратом системной интоксикации и нарушения функций ключевых органов.

Заключение

Трифлуралин является скрытой, но серьезной угрозой для водных экосистем. Проведенные исследования подтверждают значительную токсичность гербицида Анонс к.э. для рыб. Основные выводы:

1. При остром воздействии трифлуралин проявляет умеренную токсичность для годовиков карпа ($LK_{50} = 26.82$ мг/л).
2. Хроническое воздействие значительно опаснее: пороговая концентрация снижается в 13 раз (до 0.15 мг/л), а LK_{50} – в 3.6 раза (до 7.50 мг/л).
3. Начиная с концентрации 0.05 мг/л гербицид вызывает системные гистопатологические изменения – токсическую дистрофию печени, поражение миокарда и нарушение кровообращения в ЦНС и почках.
4. Хроническое отравление носит стадийный характер и приводит к гибели рыб в концентрациях, значительно более низких, чем при остром отравлении.

Таким образом, трифлуралин, несмотря на отсутствие выраженной биоаккумуляции ($K_m < 1$), представляет серьезную угрозу для водных экосистем из-за высокой устойчивости в окружающей среде и выраженного кумулятивного токсического действия при длительном воздействии. Полученные данные обосновывают необходимость ужесточения нормативов содержания трифлуралина в воде рыбохозяйственных водоемов и учета его хронической токсичности при экологической оценке.

Библиография

- Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации / Министерство сельского хозяйства России. 2025. URL: <https://base.garant.ru/411841732/> (дата обращения: 01.12.2025).
- Методические указания по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ в воде водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / Разраб. на базе ранее действовавших требований «Методических указаний...», «Временных методических рекомендаций...» (утв. 14.12.1999 Упр. охраны и воспроизводства рыбных запасов Госкомрыболовства России) с уч. доп. метод. рекомендаций 1999–2003 гг. НТС Главрыбвода и треб. Федер. закона от 20.12.2004 № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» (ред. от 03.12.2008). М., 2011. 201 с.
- Микодина Е. В., Седова М. А., Чмилевский Д. А., Микулин А. Е., Пьянова С. В., Полуэктова О. Г. Гистология для ихтиологов. Опыт и советы. М.: Изд-во ВНИРО, 2009. 112 с.
- Павлов Д. С., Строганов А. Н., Чемерис М. П. Биоаккумуляция стойких органических загрязнителей у рыб в пресноводных экосистемах. М.: Наука, 2020. 215 с.
- Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26.05.2025 № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». 2025. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412008824/> (дата обращения: 01.12.2025).
- Рамеш А., Баласубраманиан М. Кинетика и гидролиз фенамифоса, фипронила и трифлуралаина в водных буферных решениях в связи с изучением миграции пестицидов в системах вода-почва и загрязнением окружающей среды; влияние температуры и величины pH (Индия) // Экологическая безопасность в АПК: Реферативный журнал. 2001. № 4. С. 975.
- Böcker T., Möhring N., Finger R. Herbicide free agriculture? A bio-economic modelling application to Swiss wheat production // Agricultural Systems. 2019. Vol. 173. P. 378–392. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.03.001
- Couch J. A., Winstead J. T., Hansen D. J., Goodman L. R. Vertebral dysplasia in young fish exposed to the herbicide trifluralin // Journal of Fish Diseases. 1979. Vol. 2. P. 35–42. DOI: 10.1111/j.1365-2761.1979.tb00137.x
- Crooijmans R., Poel J., Groenen M. . Microsatellite markers in common carp (*Cyprinus carpio* L.) // Animal Genetics. 1997. Vol. 28. DOI: 10.1111/j.1365-2052.1997.00097.x
- Dimou A., Sakkas V., Albanis T. Trifluralin photolysis in natural waters and under the presence of isolated organic matter and nitrate ions: Kinetics and photoproduct analysis // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2004. Vol. 163, № 3. P. 473–480. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2004.02.001
- Gavrilescu M. Fate of Pesticides in the Environment and its Bioremediation // Engineering in Life Sciences. 2005. Vol. 5, № 6. P. 497–526. DOI: 10.1002/elsc.200520098
- Grover R., Wolt J. D., Cessna A. J., Schiefer H. B. Environmental fate of trifluralin // Reviews of environmental contamination and toxicology / Ed. by G. W. Ware. New York: Springer, 1997. Vol. 153. P. 1–64. DOI: 10.1007/978-1-4612-2302-3_1
- Krimsky S. Can glyphosate-based herbicides contribute to sustainable agriculture // Sustainability. 2021. Vol. 13, № 4. Art. 2337. DOI: 10.3390/su13042337
- Lopes A., Moraes J., Martins C. Effects of the herbicide glyphosate on fish from embryos to adults: a review addressing behavior patterns and mechanisms behind them // Aquatic Toxicology. 2022. Vol. 251. Art. 106281. DOI: 10.1016/j.aquatox.2022.106281
- Marinov D., Pistocchi A., Trombetti M., Bidoglio G. Assessment of riverine load of contaminants to European seas under policy implementation scenarios: An example with 3 pilot substances // Integrated Environmental Assessment and Management. 2014. Vol. 10. P. 48–59.
- Mayer F. L., Ellersieck M. R. Manual of acute toxicity: interpretation and data base for 410 chemicals and 66 species of freshwater animals. Washington: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1986. 506 p.
- Ni H., Ye Y., He W. . Role of *Bacillus* sp. TF-1 in the degradation and detoxification of Trifluralin // Microorganisms. 2025. Vol. 13, № 3. Art. 520. DOI: 10.3390/microorganisms13030520
- Ojemaye C., Onwordi C., Petrik L. Herbicides in the tissues and organs of different fish species (Kalk Bay harbour, South Africa): occurrence, levels and risk assessment // International Journal of Environmental Science and Technology. 2020. Vol. 17. DOI: 10.1007/s13762-019-02621-y
- Oost R. van der, Beyer J., Vermeulen N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review // Environmental Toxicology and Pharmacology. 2003. Vol. 13. P. 57–149.
- Paul S. K., Mazumder S., Naidu R. Herbicidal weed management practices: History and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system // Heliyon. 2024. Vol. 10, № 5. Art.

- e26527. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26527
- Poleksić V., Karan V. Effects of trifluralin on carp: biochemical and histological evaluation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1999. Vol. 43, № 2. P. 213–221. DOI: 10.1006/eesa.1999.1790
- Rahman M. M. Role of common carp (*Cyprinus carpio*) in aquaculture production systems // *Frontiers in Life Science*. 2015. Vol. 8, № 4. P. 399–410. DOI: 10.1080/21553769.2015.1045629
- Ribeiro Y. M., Moreira D., Weber A. . Adverse effects of herbicides in freshwater neotropical fish: A review // *Aquatic Toxicology*. 2022. Vol. 252. Art. 106293. DOI: 10.1016/j.aquatox.2022.106293
- Sălceanu C., Paraschivu M., Cotuna O. . Global pesticide market: size, trends, forecasts // *Annals of the University of Craiova – Agriculture, Montanology, Cadastre Series*. 2023. Vol. 52. P. 146–157. DOI: 10.52846/aamc.v52i2.1401
- Solomon K., Dalhoff K., Volz D., Kraak G. Effects of Herbicides on Fish // *Fish Physiology*. 2013. Vol. 33. P. 369–409. DOI: 10.1016/B978-0-12-398254-4.00007-8
- Yockim R. S., Isensee A. R., Walker E. A. Behavior of trifluralin in aquatic model ecosystems // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1980. Vol. 24, № 1. P. 134–141. DOI: 10.1007/BF01608087
- Zhang Q., He Z., Wang J. Acute toxicity, oxidative stress, toxicity mechanism, and degradation dynamics of trifluralin in *eisenia foetide* (Annelida: Lumbricidae) // *Journal of Entomological Science*. 2023. Vol. 58. DOI: 10.18474/JES22-06

THE EFFECT OF TRIFLUOROTHALONIL ON CARP (*CYPRINUS CARPIO* L.): ACUTE AND CHRONIC TOXICITY, AND HISTOLOGICAL CHANGES

KALUYZHNAYA
Olga Dmitrievna

RUDN University, 117198, Москва, Miklukho-Maklaya St., 6.,
kalyuzhnaya.olya@list.ru

Key words:

Anons EC
trifluralin
carp (*Cyprinus carpio* L.)
acute toxicity
chronic toxicity
herbicides
histopathological changes
lethal concentrations
cumulative effect
bioindication

Summary: The widespread use of herbicides in agriculture leads to their entry into aquatic ecosystems, where they pose a hidden but significant threat to hydrobionts. The aim of the research was to determine toxicometric indicators (lethal and threshold concentrations), study behavioral reactions, and identify structural and functional changes in fish organs and tissues under the influence of sub-lethal doses of the preparation. The article presents the results of experiments on acute (96 h) and chronic (30 days) toxicity of the herbicide Anons EC (active ingredient – trifluralin) to carp yearlings (*Cyprinus carpio* L.). Lethal concentrations and threshold levels were determined, and histopathological changes in fish organs and tissues were investigated. It was found that with acute exposure, the herbicide exhibits moderate toxicity ($LC_{50} = 26.82$ mg/L), whereas with chronic exposure its hazard increases significantly: the threshold concentration decreases by 13 times, and the LC_{50} – by 3.6 times (to 7.50 mg/L). Histological analysis revealed systemic damage, including toxic liver dystrophy, myocardial damage and circulatory disturbances in the brain and kidneys, starting at a concentration of 0.05 mg/L. The results indicate that trifluralin, even at low concentrations, causes profound pathology changes underlying the disruption of physiological functions and fish mortality. Despite its low bioaccumulation factor ($K_m < 1$), the substance is highly stable in the environment and can persist in bottom sediments for a long time, posing a constant risk to aquatic ecosystems, especially to fish embryos and juveniles. This study confirms the necessity for strict regulation of trifluralin content in the water of fishery reservoirs and consideration of its cumulative potential in ecotoxicological assessments.

Received on: 28 January 2026

Published on: 26 June 2026

References

- Böcker T., Möhring N., Finger R. Herbicide free agriculture? A bio-economic modelling application to Swiss wheat production, *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 173. P. 378–392. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.03.001
- Couch J. A., Winstead J. T., Hansen D. J., Goodman L. R. Vertebral dysplasia in young fish exposed to the herbicide trifluralin, *Journal of Fish Diseases*. 1979. Vol. 2. P. 35–42. DOI: 10.1111/j.1365-2761.1979.tb00137.x
- Crooijmans R., Poel J., Groenen M. et al.. Microsatellite markers in common carp (*Cyprinus carpio* L.), *Animal Genetics*. 1997. Vol. 28. DOI: 10.1111/j.1365-2052.1997.00097.x
- Dimou A., Sakkas V., Albanis T. Trifluralin photolysis in natural waters and under the presence of isolated organic matter and nitrate ions: Kinetics and photoproduct analysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2004. Vol. 163, No. 3. P. 473–480. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2004.02.001
- Gavrilescu M. Fate of Pesticides in the Environment and its Bioremediation, *Engineering in Life Sciences*. 2005. Vol. 5, No. 6. P. 497–526. DOI: 10.1002/elsc.200520098
- Grover R., Wolt J. D., Cessna A. J., Schiefer H. B. Environmental fate of trifluralin, *Reviews of environmental contamination and toxicology*, Ed. by G. W. Ware. New York: Springer, 1997. Vol. 153. P. 1–64. DOI: 10.1007/978-1-4612-2302-3_1
- Krimsky S. Can glyphosate-based herbicides contribute to sustainable agriculture, *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 4. Art. 2337. DOI: 10.3390/su13042337
- Lopes A., Moraes J., Martins C. Effects of the herbicide glyphosate on fish from embryos to adults: a review addressing behavior patterns and mechanisms behind them, *Aquatic Toxicology*. 2022. Vol. 251. Art. 106281. DOI: 10.1016/j.aquatox.2022.106281

- Marinov D., Pistocchi A., Trombetti M., Bidoglio G. Assessment of riverine load of contaminants to European seas under policy implementation scenarios: An example with 3 pilot substances, Integrated Environmental Assessment and Management. 2014. Vol. 10. P. 48–59.
- Mayer F. L., Ellersieck M. R. Manual of acute toxicity: interpretation and data base for 410 chemicals and 66 species of freshwater animals. Washington: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1986. 506 p.
- Methodological guidelines for establishing ecological and fishery standards (MPC and TLV) of pollutants in water of water bodies of fishery importance, Razrab. na baze ranee deystvovavshih trebovaniy «Metodicheskikh ukazaniy...», «Vremennykh metodicheskikh rekomendatsiy...» (utv. 14.12.1999 Upr. ohrany i vosproizvodstva rybnih zapasov Goskomrybolovstva Rossii) s uch. dop. metod. rekomendatsiy 1999–2003 gg. NTS Glavrybvoda i treb. Feder. zakona ot 20.12.2004 No. 166-FZ «O rybolovstve i sohranении vodnykh biologicheskikh resursov» (red. ot 03.12.2008). M., 2011. 201 p.
- Mikodina E. V. Sedova M. A. Chmylevskiy D. A. Mikulin A. E. P'yanova S. V. Poluektova O. G. Histology for ichthyologists. experience and advice. M.: Izd-vo VNIRO, 2009. 112 p.
- Ni H. Ye Y. He W. et al.. Role of *Bacillus* sp. TF-1 in the degradation and detoxification of Trifluralin, Microorganisms. 2025. Vol. 13, No. 3. Art. 520. DOI: 10.3390/microorganisms13030520
- Ojemaye C., Onwordi C., Petrik L. Herbicides in the tissues and organs of different fish species (Kalk Bay harbour, South Africa): occurrence, levels and risk assessment, International Journal of Environmental Science and Technology. 2020. Vol. 17. DOI: 10.1007/s13762-019-02621-y
- Oost R. van der, Beyer J., Vermeulen N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review, Environmental Toxicology and Pharmacology. 2003. Vol. 13. P. 57–149.
- Order of the Federal Agency for Fisheries No. 296 of 26.05.2025 «On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including maximum permissible concentrations of pollutants in waters of water bodies of fishery importance». 2025. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412008824/> (data obrascheniya: 01.12.2025).
- Paraschivu M. Cotuna O. et al.. Global pesticide market: size, trends, forecasts, Annals of the University of Craiova – Agriculture, Montanology, Cadastre Series. 2023. Vol. 52. P. 146–157. DOI: 10.52846/aamc.v52i2.1401
- Paul S. K., Mazumder S., Naidu R. Herbicidal weed management practices: History and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system, Heliyon. 2024. Vol. 10, No. 5. Art. e26527. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26527
- Pavlov D. S. Stroganov A. N. Chemeris M. P. Bioaccumulation of persistent organic pollutants in fish in freshwater ecosystems. M.: Nauka, 2020. 215 p.
- Poleksić V., Karan V. Effects of trifluralin on carp: biochemical and histological evaluation, Ecotoxicology and Environmental Safety. 1999. Vol. 43, No. 2. P. 213–221. DOI: 10.1006/eesa.1999.1790
- Rahman M. M. Role of common carp (*Cyprinus carpio*) in aquaculture production systems, Frontiers in Life Science. 2015. Vol. 8, No. 4. P. 399–410. DOI: 10.1080/21553769.2015.1045629
- Ramesh A. Balasubramanian M. Kinetics and hydrolysis of phenamiphos, Fipronil and Trifluralin in Aqueous Buffer Solutions in Connection with the Study of Pesticide Migration in Water-Soil systems and environmental pollution; effect of temperature and pH (India), Ekologicheskaya bezopasnost' v APK: Referativnyy zhurnal. 2001. No. 4. P. 975.
- Ribeiro Y. M. Moreira D. Weber A. et al.. Adverse effects of herbicides in freshwater neotropical fish: A review, Aquatic Toxicology. 2022. Vol. 252. Art. 106293. DOI: 10.1016/j.aquatox.2022.106293
- Solomon K., Dalhoff K., Volz D., Kraak G. Effects of Herbicides on Fish, Fish Physiology. 2013. Vol. 33. P. 369–409. DOI: 10.1016/B978-0-12-398254-4.00007-8
- State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the Territory of the Russian Federation, Ministerstvo sel'skogo hozyaystva Rossii. 2025. URL: <https://base.garant.ru/411841732/> (data obrascheniya: 01.12.2025).
- Yockim R. S., Isensee A. R., Walker E. A. Behavior of trifluralin in aquatic model ecosystems, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1980. Vol. 24, No. 1. P. 134–141. DOI: 10.1007/BF01608087
- Zhang Q., He Z., Wang J. Acute toxicity, oxidative stress, toxicity mechanism, and degradation dynamics of trifluralin in *Eisenia foetida* (Annelida: Lumbricidae), Journal of Entomological Science. 2023. Vol. 58. DOI: 10.18474/JES22-06