

Ключевые слова:

фунгицид,
ветвистоусые ракообразные,
токсичность, выживаемость,
плодовитость, численность,
биомасса

Keywords:

fungicide, cladocerans,
toxicity, survival rate,
fecundity, abundance,
biomass

Влияние смесового фунгицида Пиктор и его компонентов на биологические показатели ветвистоусовых ракообразных

DOI

Кандидат биологических наук **Е.А. Федорова** – руководитель группы научной отчетности научно-организационного отдела;

кандидат биологических наук **И.Л. Левина** – главный специалист лаборатории рыбохозяйственной токсикологии;

кандидат биологических наук **Н.И. Щербакова** – ученый секретарь;

кандидат биологических наук **О.А. Зинчук** – заведующая лабораторией отдела рыбохозяйственной токсикологии –

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО») Азово-Черноморский филиал («АзНИИРХ»)

@ fedorova_e_a@azniirkh.ru

EFFECT OF THE MIXED FUNGICIDE PICTOR AND ITS COMPONENTS ON THE BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CLADOCERANS

Candidate of Biological Sciences **E.A. Fedorova** – Head of the Scientific Reporting Group of the Scientific and Organizational Department;

Candidate of Biological Sciences **I.L. Levina** – Chief Specialist of the Laboratory of Fisheries Toxicology;

Candidate of Biological Sciences **N.I. Shcherbakova** – Scientific Secretary;

Candidate of Biological Sciences **O.A. Zinchuk** – Head of the Laboratory

of the Department of Fisheries Toxicology –

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”), Azov-Black Sea Branch (“AzNIIRKH”)

The effect of the mixed fungicide Pictor, SC (*Dimoxystrobin*, 200 g/L + *Boscalid*, 200 g/L) and its active ingredients on cladocerans, specifically *Daphnia magna* Straus, has been investigated. The impact of this fungicide on the biological characteristics of the zooplanktonic organisms has been examined both for isolated (active ingredients) and combined (preparative forms) exposure. It has been found out that the increase of the fungicide concentration in solutions resulted in the decrease in the reproductive rate, abundance, and biomass of the *Daphnia* population. Based on the experimental data, no observed effect and the lowest observed effect concentrations have been identified for the active ingredients of the fungicide and for its preparative form. It has been established that the preparative form has no additive effect on the survival rate and biological processes of the development, growth, and reproduction of the zooplankton organisms. The active ingredients, present in the fungicide in its preparative form and most toxic for the susceptible links of a trophic chain in a water body, could be recommended as indicators during the examination of the water bodies of fisheries importance for the content of mixed fungicides of new chemical classes. Determination of the content of such active ingredients can be used for unbiased assessment of the environmental threat posed by the mixed pesticides to aquatic ecosystems.

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних десятилетий наблюдается неуклонный рост глобального спроса, производства и применения пестицидов и удобрений [1]. В сельском хозяйстве России отмечена тенденция увеличения использования высокоактивных пестицидов с низкими нормами расхода, наносящих минимальный ущерб окружающей среде [2]. Одной из основных тенденций в технологиях защиты растений в XXI столетии является снижение химической нагрузки на окружающую среду. Успешное применение пестицидов для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур в большой степени зависит от формы препарата и условий, при которых химические соединения приводятся в соприкосновение с вредными организмами. Приобретение нежелательной резистентности вредителей растений к пестицидам определенных химических классов вызвало необходимость систематического пополнения ассортимента препаративных форм, содержащих несколько новых действующих веществ с различными механизмами действия. В настоящее время большинство препаративных форм пестицидов являются смесевыми многокомпонентными по своему составу и содержат несколько действующих веществ. Смесевые препараты, в конечном итоге, позволяют, при уменьшении расходов, сократить затраты на их применение, снижать биологическую и экологическую опасность для нецелевых объектов [3].

Поступая из антропогенных источников, активные ингредиенты смесевых пестицидов могут оказывать влияние на водные экосистемы. При увеличении их содержания в воде, донных отложениях и биоте возможно снижение продуктивности водных экосистем [4; 5].

Для объективной оценки уровня экологического риска смесевых пестицидов для водных экосистем необходимо знать, какой вклад вносит токсичность отдельных действующих веществ, относящихся к новым химическим классам, в биологическое действие препаративных форм для гидробионтов, проявляют ли многокомпонентные пестициды аддитивный эффект. В связи с этим, актуальным является обоснование выбора индикаторного компонента смеси, при проведении мониторинговых наблюдений за содержанием смесевых пестицидов, в воде рыбохозяйственных водоемов.

Цель работы – оценка токсичности современного многокомпонентного фунгицида (комплексное воздействие) и его действующих веществ (изолированное воздействие) на зоопланктонные организмы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований были представители ветвистоусых ракообразных – *Daphnia magna Straus*.

В качестве материала для исследований была выбрана препаративная форма – *Пиктор, КС* (фунгицид) и действующие вещества, входящие в его состав.

Исследовано воздействие смесевого фунгицида *Пиктор, КС* (200 г/л *Димоксистробина* + 200 г/л *Боскалида*) и его действующих веществ на ветвистоусых ракообразных – дафния (*Daphnia magna Straus*). Изучено действие фунгицида при изолированном (действующие вещества) и комплексном (препаративные формы) воздействии на биологические показатели жизнедеятельности зоопланктонных организмов. Установлено, что при увеличении концентраций фунгицида в растворах отмечалось снижение плодовитости, численности и биомассы популяции дафний. По экспериментальным данным установлены недействующие и пороговые концентрации препаративной формы фунгицида и его действующих веществ. Выявлено, что аддитивным эффектом на выживаемость и биологические процессы развития, роста, репродукции зоопланктонных организмов препаративная форма не обладала. В качестве индикаторных компонентов смесей, при проведении мониторинговых наблюдений за содержанием смесевых фунгицидов новых химических классов в воде рыбохозяйственных водоемов, можно рекомендовать определение наиболее токсичных для чувствительных звеньев трофической цепи водоемов действующих веществ, входящих в препаративные формы. Определение содержания таких активных ингредиентов в воде водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, может дать объективную оценку уровня экологического риска смесевых пестицидов для водных экосистем.

Пиктор, КС содержит в составе два действующих вещества современных химических классов, которые находятся в препаративной форме в равных количествах – 200 г/л *Димоксистробина* и 200 г/л *Боскалида*. Производитель – фирма «Байер КропСайенс АГ» (Германия). Фунгицид применяется в период вегетации культур озимого рапса и подсолнечника путем наземного опрыскивания.

Димоксистробин – активный ингредиент препаративной формы *Пиктор, КС*. Системный фунгицид, относится к классу стробилуринов. Механизм действия сопряжен с замедлением митохондриального переноса электронов патогена.

Боскалид – активный ингредиент препаративной формы *Пиктор, КС*. Контактный фунгицид, относится к химическому классу никотинамиды. Механизм действия сопряжен с замедлением митохондриального переноса электронов патогена.

Диапазон исследуемых концентраций: *Пиктор КС* – от 0,00001 до 0,001 мг/л; *Димоксистробин* – от 0,0001 до 0,05 мг/л; *Боскалид* – от 0,00001 до 0,001 мг/л.

При проведении эксперимента в химические стаканы вносили исследуемый пестицид, создавая ряд заданных концентраций. Все варианты опыта проводили в трех повторностях. Контрольные варианты ставили в аналогичных условиях, но без внесения токсикантов. Регистрировали показатели выживаемости гидробионтов, путем систе-

матического наблюдения и учета живых и погибших организмов, на протяжении острого опыта продолжительностью 96 часов. Устанавливалась зависимость выживаемости гидробионтов от концентрации пестицида и времени его воздействия. Температура при проведении эксперимента поддерживалась на уровне 18-22°C, содержание растворенного кислорода – 7-8 O₂/л. Исследовались биологические показатели жизнедеятельности зоопланктонных организмов: выживаемость, скорость полового созревания, плодовитость, численность, биомасса и возрастной состав популяции. [6-8]. Полученные в экспериментах результаты подвергали статистической обработке, используя t-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для предварительной оценки токсичности фунгицида *Пиктор, КС* и действующих веществ, входящих в его состав, были проведены острые опыты по выживаемости *Daphnia magna* в токсических растворах с различным содержанием пестицидов. Токсикометрические параметры фунгицидов, рассчитанные на основе выживаемости ветвистоусых ракообразных в остром эксперименте, представлены в таблице 1.

Рассчитанные среднелетальные концентрации позволили определить, что препаративная форма

Пиктор, КС и действующие вещества, входящие в его состав (*Димоксистробин, Боскалид*), относятся к группе особо токсичных пестицидов для дафний ($ЛК_{50} < 0,5$ мг/л). Количественные значения недействующей, пороговой и среднелетальной концентраций *Пиктора, КС* были ближе к значениям токсикометрических параметров более токсичного *Боскалида*, но не превышали их, что свидетельствует об отсутствии аддитивного эффекта препаративной формы на выживаемость дафний.

Для определения границ чувствительности ветвистоусых ракообразных к действию препаративной формы фунгицида и его действующих веществ проводились хронические эксперименты, в ходе которых изучались процессы жизнедеятельности дафний. На основе изучения выживаемости дафний в токсических средах препаративной формы *Пиктор, КС* и его действующих веществ определены токсикометрические параметры. С увеличением концентраций препаративной формы *Пиктор, КС* и его действующих веществ снижалась выживаемость рачков.

Дафнии – организмы с коротким биологическим циклом развития, что дало возможность определить воздействие различных концентраций пестицидов на ряд поколений и определить накопление их отрицательного влияния в трех последовательных генерациях рачков. Так, в хроническом эксперименте установлено, что растворы фунгицида *Пиктор, КС* в концентрациях 0,00005 мг/л угнетающе действовали на репродуктивную функцию рачков исходного поколения. Плодовитость особей материнского поколения (исходного), экспонируемых в растворах препаративной формы фунгицида, достоверно ниже плодовитости рачков в контрольном варианте. Плодовитость экспонируемых в фунгициде особей в трех последующих поколениях также достоверно ниже плодовитости рачков в контроле. Снижение плодовитости происходило за счет увеличения времени созревания и уменьшения количества пометов. В концентрациях 0,0005 мг/л *Пиктора, КС* снижение плодовитости кладоцер достигло своих максимальных значений в третьем поколении и составляло 45%. На уровне контроля реальная плодовитость дафний, определяемая общим количеством народившейся жизнеспособной молодежи от одной самки, в исходном и последующих трех поколениях оставалась лишь в концентрациях 0,00001 мг/л *Пиктора, КС* (рис. 1).

Численность молодежи и половозрелых особей в растворах с концентрациями 0,00001

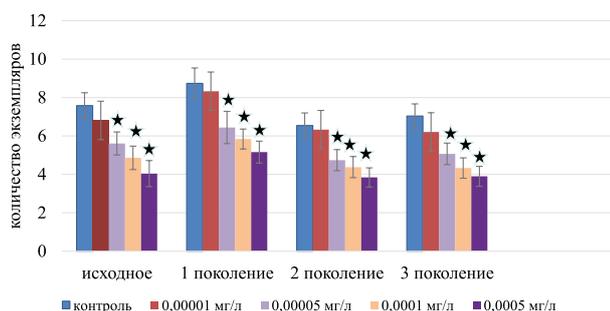


Рисунок 1. Плодовитость дафний при действии фунгицида Пиктор, КС

Примечание: достоверное ($p < 0,05$) изменение показателя по сравнению с контролем

Figure 1. Fertility of daphnia under the action of the fungicide Pictor, CS

Note: a significant ($p < 0,05$) change in the indicator compared to the control

Таблица 1. Основные токсикометрические параметры фунгицида *Пиктор, КС* и его действующих веществ для дафний в остром эксперименте (мг/л) / **Table 1.** The main toxicometric parameters of the fungicide Pictor, CS and its active substances for daphnia in an acute experiment (mg/l)

Наименование пестицида		
<i>Пиктор, КС</i>	<i>Димоксистробин</i>	<i>Боскалид</i>
$ЛК_0 = 0,0002$	$ЛК_0 = 0,0005$	$ЛК_0 = 0,0001$
$ЛК_{16} = 0,0005$	$ЛК_{16} = 0,002$	$ЛК_{16} = 0,0004$
$ЛК_{50} = 0,003$	$ЛК_{50} = 0,042$	$ЛК_{50} = 0,005$

мг/л *Пиктора*, КС достоверно не отличалась от контроля. Снижение общей численности популяций дафний начиналось в растворах с содержанием 0,00005 мг/л *Пиктора*, КС, где расхождение с контролем составляли 16%, при этом снижалось как количество молодежи, так и половозрелых особей. С увеличением концентрации фунгицидов, признаки, характеризующие неблагоприятное состояние популяции, характеризовались более ярко. Так, в растворах с максимально исследованной концентрацией *Пиктора*, КС (0,0005 мг/л) расхождение с контролем по показателю общей численности составило 53%, при этом количество молодежи снизилось на 52%, а половозрелых особей – на 55%. Оказывая влияние на общую численность, фунгицид не влиял на соотношение возрастных групп в популяции дафний во всех исследованных концентрациях. Ювенильные особи по численности доминировали над половозрелыми рачками (рис. 2).

На биомассу популяции дафний *Пиктор*, КС оказывало отрицательное влияние в растворах с концентрациями 0,00005-0,0005 мг/л, где биомасса была ниже, чем в контрольном варианте на 27-53%. Выживаемость дафний снижалась с увеличением концентраций препаративной формы. Выживаемость особей на уровне контроля была лишь в растворах, содержащих 0,00001 мг/л *Пиктора*, КС (рис. 3).

Анализ исследованных биологических показателей *Daphnia magna* показал, что с увеличением концентрации препаративной формы фунгицида усиливалось его негативное воздействие на дафний.

Аналогичные результаты получены при изучении влияния действующих веществ фунгицидов на показатели жизнедеятельности рачков. Выявлено дозозависимое снижение выживаемости, плодовитости рачков, как в материнском, так и в последующих трех поколениях, численности

возрастных групп и биомассы популяций при возрастании концентраций действующих веществ и времени воздействия.

В результате статистической обработки данных, установлены недействующие (НОЕС) и пороговые (ЛОЕС) концентрации препаративной формы фунгицида и его действующих веществ для ветвистоусых ракообразных по изученным показателям выживаемости, развития и репродукции популяций в хронических экспериментах (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований, по оценке влияния смесового многокомпонентного фунгицида (комплексное воздействие) и его

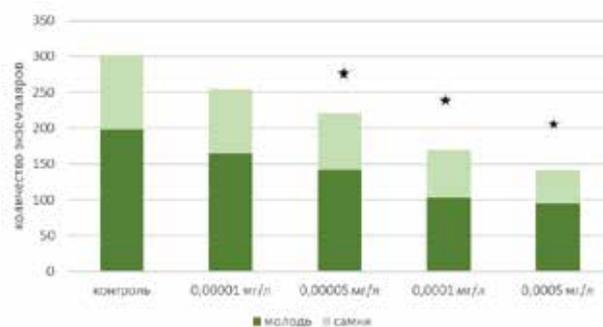


Рисунок 2. Численность возрастных групп популяции дафний при действии фунгицида *Пиктор*, КС

Примечание: достоверное ($p < 0,05$) изменение показателя по сравнению с контролем

Figure 2. The number of age groups of the daphnia population under the action of a fungicide Pictor, CS

Note: a significant ($p < 0,05$) change in the indicator compared to the control

Таблица 2. Основные токсикометрические параметры фунгицида *Пиктор*, КС и его действующих веществ для дафний в хроническом эксперименте (мг/л) /

Table 2. The main toxicometric parameters of the fungicide Pictor, CS and its active substances for daphnia in a chronic experiment (mg/l)

Наименование пестицида		
<i>Пиктор</i> , КС	Димоксистробин	Боскалид
ЛК ₀ = 0,00001	ЛК ₀ = 0,0001	ЛК ₀ = 0,00001
ЛК ₁₆ = 0,00005	ЛК ₁₆ = 0,0007	ЛК ₁₆ = 0,00005
ЛК ₅₀ = 0,0001	ЛК ₅₀ = 0,005	ЛК ₅₀ = 0,0001

Таблица 3. Недействующие (НОЕС) и пороговые (ЛОЕС) концентрации фунгицида *Пиктор*, КС и его действующих веществ для дафний в хроническом эксперименте (мг/л) /

Table 3. Inactive (NOEC) and threshold (LOIC) concentrations of Pictor fungicide, CS and its active substances for daphnia in a chronic experiment (mg/l)

Пестицид (содержание д.в. в п.ф.)	НОЕС	ЛОЕС
п.ф. <i>Пиктор</i> , К	0,00001	0,00005
Димоксистробин (200 г/л)	0,0001	0,0005
Боскалид (200 г/л)	0,00001	0,00005

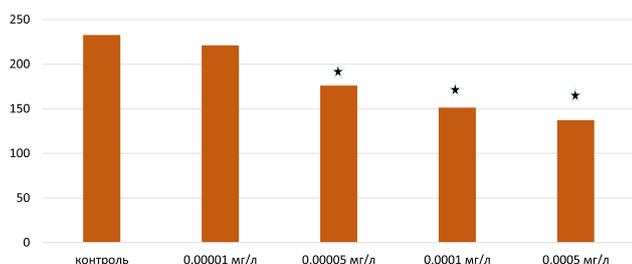


Рисунок 3. Биомасса популяции дафний при действии фунгицида Пиктор, КС

Примечание: достоверное ($p < 0,05$) изменение показателя по сравнению с контролем

Figure 3. Biomass of daphnia population under the action of Pictor fungicide, CS

Note: a significant ($p < 0,05$) change in the indicator compared to the control

действующих веществ (изолированное воздействие) на жизнедеятельность зоопланктонных организмов, позволили установить определенные закономерности.

Препаративная форма и ее компоненты образуют следующий ряд в порядке убывания токсичности для дафний: *Боскалид* > *Пиктор, КС* > *Димоксистербин*. В хроническом эксперименте параметры токсичности *Боскалида* и *Пиктора, КС* совпадали.

Таким образом, токсичность препаративных форм пестицидов для зоопланктонных организмов определялась вкладом наиболее токсичного компонента смеси, зависящего от его химической структуры. При этом, количественное содержание действующих веществ в препаративной форме не влияло на интенсивность воздействия препаративной формы. Аддитивным эффектом на жизнедеятельность дафний препаративная форма не обладает. В качестве индикаторных компонентов смесей, при проведении мониторинговых наблюдений за содержанием смесевых фунгицидов новых химических классов в воде рыбохозяйственных водоемов, можно рекомендовать определение наиболее токсичных для чувствительных звеньев трофической цепи водоемов действующих веществ, входящих в препаративные формы. Определение содержания таких активных ингредиентов в воде водных объектов, имеющих рыбохозяйственное зна-

чение, может дать объективную оценку уровня экологического риска смесевых пестицидов для водных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Семеренко С.А. Экология и защита растений // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – Вып. 4 (164). – С. 103-137.
- Semerenco S.A. Ecology and plant protection // Oilseeds. Scientific and Technical Bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds. - 2015. - Issue 4 (164). - Pp. 103-137.
- Ильницкая А.В. Материалы IX Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. // А.В. Ильницкая, Л.В. Липкина, И.В. Березняк, С.Г. Федорова – М., 2001. – Т. 2. – С. 91-94.
- Ilnitskaya A.V. Materials of the IX All-Russian Congress of Hygienists and Sanitary Doctors. // A.V. Ilnitskaya, L.V. Lipkina, I.V. Bereznyak, S.G. Fedorova - M., 2001. - Vol. 2. - Pp. 91-94.
- Захаренко В.А. Пестициды в аграрном секторе России конца XX – начала XXI века // Агрохимия. – 2008. – № 11. – С. 86-96.
- Zakharenko V.A. Pesticides in the agricultural sector of Russia of the late XX - early XXI century // Agrochemistry. - 2008. - No. 11. - Pp. 86-96.
- Вульф Н.Л. Абиотическая трансформация пестицидов в природных водах и донных отложениях // Поведение пестицидов и химикатов в окружающей среде: Тр. Сов.-амер. симп., Айова-Сити, окт., 1987. – Л., 1991. – С. 371-381.
- Wulf N.L. Abiotic transformation of pesticides in natural waters and bottom sediments // The behavior of pesticides and chemicals in the environment: Tr. Sov.-amer. simp., Iowa City, Oct., 1987. - L., 1991. - Pp. 371-381.
- Потапов А.И. Современные эколого-гигиенические проблемы пестицидного загрязнения водоемов. // А.И. Потапов, В.Н. Ракитский, Ю.В. Новиков, Э.В. Макаров – М.: Медицина, 1998. – 248 с.
- Potapov A.I. Modern ecological and hygienic problems of petition pollution of reservoirs. // A.I. Potapov, V.N. Rakitskiy, Yu.V. Novikov, E.V. Makarov - M.: Medicine, 1998. - 248 p.
- Лесников Л.А. Методика оценки влияния вод из природных водоемов на дафний. // Методики биологических исследований по водной токсикологии. – М.: Наука, 1971. – С. 157-158.
- Lesnikov L.A. Methodology for assessing the influence of waters from natural reservoirs on daphnia. // Methods of biological research on aquatic toxicology. - M.: Nauka, 1971. - Pp. 157-158.
- Методические рекомендации по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.– ВНИРО, 1998. – С. 38-78.
- Methodological recommendations for the establishment of environmental and fisheries standards (MPC and standards) of pollutants for water, water bodies of fishery importance. - M. VNIRO, 1998. - Pp. 38-78.
- Строганов Н.С. Методика определения токсичности водной среды. // Методики биологических исследований по водной токсикологии. – М.: Наука, 1971. – С.14-60.
- Stroganov N.S. Methodology for determining the toxicity of the aquatic environment. // Methods of biological research in aquatic toxicology. - M.: Nauka, 1971. - Pp.14-60.

