

УДК 597.593.7.574.52.591.5

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЧЕВИНЫ И ТИОМОЧЕВИНЫ НА МИГРАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ АНАБАСА *ANABAS TESTUDINEUS*

© 2020 г. Е. Д. Павлов^{1, *}, Д. С. Павлов¹, Е. В. Ганжа¹, М. А. Ручьёв², Чан Дык Зьен^{3, 4}

¹Институт проблем экологии и эволюции РАН – ИПЭЭ РАН, Москва, Россия

²Карельский научный центр РАН – КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

³Приморское отделение Российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

⁴Высший научно-технический университет Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой, Вьетнам

*E-mail: p-a-v@nxt.ru

Поступила в редакцию 22.06.2020 г.

После доработки 29.06.2020 г.

Принята к публикации 29.06.2020 г.

Исследовано влияние мочевины и тиомочевины на динамику миграционной активности анабаса *Anabas testudineus*. Содержание анабаса в 0.05%-ных растворах этих веществ приводит к модификации миграционной активности: изменяется динамика перемещений в потоке, снижается частота прыжков. Мочевина и тиомочевина сходным образом влияют на характер реореакции анабаса — снижают долю рыб,двигающихся по течению, но различаются по времени начала влияния на миграционную активность — соответственно на 2-е и 5-е сут экспозиции. Оба вещества модифицируют групповое поведение анабаса, снижая число перемещений рыб в группах на 10%.

Ключевые слова: анабас *Anabas testudineus*, миграции, реореакция, мочевина, тиомочевина.

DOI: 10.31857/S0042875220060053

Пресноводные тропические экосистемы Вьетнама характеризуются высокой продуктивностью, сложностью организации и функционирования. В последние десятилетия они начали испытывать нарастающий пресс антропогенного воздействия, в том числе связанный с интенсивным развитием сельского хозяйства. Загрязнение водоёмов и водотоков целым рядом химических веществ, производными используемых при выращивании сельскохозяйственных культур удобрений, изменяет среду существования гидробионтов, нарушает пути их миграции и в итоге ведёт к деградации биоценозов (Зворыкин и др., 2014).

Важным элементом жизненного цикла рыб являются миграции, направленные на сохранение и повышение численности популяций и расселение их представителей. Динамика миграционной активности рыб отражает их физиологическое состояние, адаптационные возможности и изменения среды обитания. Ранее (Павлов и др., 2018, 2019) мы установили, что растворённая в воде тиомочевина уже на 5-е сут экспозиции модифицирует миграционную активность анабаса *Anabas testudineus*: на 27% усиливает движение против течения, изменяет частоту прыжков из воды. Такая модификация выявлена у вида, который может обитать в воде с высоким уровнем загрязнения, в

том числе токсического (пестициды) (Nordin et al., 2015), что позволяет использовать анабаса в качестве биоиндикатора состояния экосистем (Binoy et al., 2004; Nordin et al., 2015; Velmurugan et al., 2018). Анабас — один из немногих видов рыб, которые совершают миграции не только в водной среде, но и по суше (Das, 1927; Smith, 1945; Davenport, Matin, 1990).

Мочевина — вещество сходного с тиомочевой химического действия — одно из часто используемых удобрений в сельском хозяйстве Вьетнама для широкого спектра выращиваемых культур. В естественные водоёмы вещество может попадать с дождевыми стоками, при выращивании риса попадает в ирригационные каналы, имеющие непосредственное соединение с речными системами. Вещество токсично (Перечень ..., 1999; Ziegler-Skylakakis et al., 2003) и при этом хорошо растворимо в воде, что повышает риски для гидробионтов. Данных о влиянии мочевины на миграционную активность рыб в доступной литературе не обнаружено, но поскольку она химически близка к тиомочевине, вполне возможно, что мочевина обладает аналогичным эффектом на рыб. При этом именно мочевины в связи с её широким применением стоит рассматривать в каче-

стве потенциально опасной при реализации особыми миграций, в том числе нерестовых.

Цель работы — сравнить влияние тиомочевина и мочевины на проявление миграционной активности у анабаса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проведены в феврале—марте 2020 г. в Приморском отделении Российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (СРВ, провинция Кханьхоа, г. Нячанг). Особей анабаса (средняя длина 71 ± 1.9 мм, масса 12 ± 1.2 г) отлавливали в прудах, входящих в систему рисовых полей, около г. Ниньхоа ($12^\circ 30' 34.0''$ с.ш. $109^\circ 09' 40.0''$ в.д., провинция Кханьхоа). Средняя глубина прудов составляла 70 см, средняя температура воды — 24°C , прозрачность воды — 20–30 см. Течение в прудах отсутствовало. Рыб отлавливали при помощи традиционных искусственных укрытий-ловушек — подводных горизонтальных земляных нор: анабас самостоятельно заходил в такие норы, после чего его оттуда извлекали. Отловленных рыб перевозили в лабораторию и содержали при температуре воды $25\text{--}26^\circ\text{C}$ в четырёх аквариумах объёмом 100 л по 25 экз. в каждом. Аквариумы заполняли водой наполовину (50 л) и накрывали стеклянными крышками (с небольшим зазором для доступа воздуха), чтобы исключить выпрыгивание рыб. Смену воды осуществляли два раза в сутки. После акклимации (3 сут) и на протяжении всего периода наблюдений полную смену воды в аквариумах осуществляли один раз в сутки. Рыб кормили ежедневно сухим гранулированным кормом Numpy Head (“Yi Hu Fish Farm Trading”, Сингапур) с диаметром гранул ~ 3 мм и средней массой 10 мг из расчёта 15% средней массы тела особи. Большая часть рыб переходит на гранулированный корм в течение первых 3 сут (Павлов и др., 2019).

Миграционную активность рыб оценивали по их поведению в потоке воды. Реореакция — одна из компонент миграционного поведения, имеющая врождённый характер. Направленное перемещение рыб относительно течения трактуется как проявление их миграционного поведения в водной среде (Pavlov et al., 2010). Для анализа реореакции рыб применяли гидродинамическую установку “рыбоход” (Pavlov et al., 2010; Павлов и др., 2018). Установка представляет собой лоток (196×50 см), разделённый на 11 отсеков (50×16 см каждый) перегородками высотой 15 см; ширина прохода между отсеками — 10 см. Во избежание выпрыгивания анабаса за пределы установки высота её стенок достигала 60 см. В установке с помощью погружного насоса создавали постоянный проток воды, скорость течения в проходах между отсеками составляла 20 см/с (флоутрекер “Global Water FP211”). Уровень воды

в установке от 1-го отсека к 11-му варьировал от 6 до 8 см, а угол наклона установки был 2° . Подсветку “рыбохода” осуществляли при помощи двух пар светодиодных лент, установленных на высоте 1 м от водной поверхности, средняя освещённость в отсеках установки во время проведения эксперимента составляла 180 лк (люксметр “Amtast LX1330B”). Над “рыбоходом” на высоте 1.5 м от водной поверхности устанавливали на штативе видеокамеру GoPro Hero 7 Black, регистрирующую перемещения рыб по отсекам установки. Чтобы избежать реакции рыб на оператора, наблюдение в реальном времени и управление видеозаписью осуществляли удалённо с помощью планшета с установленным ПО GoPro App 6.9.1.

Рыб (по 10 экз.) помещали в средний (стартовый) отсек № 6, закрытый с обеих сторон решётками. После 20-минутной акклимации особей к условиям эксперимента открывали решётки стартового отсека и в течение последующих 20 мин осуществляли видеозапись перемещений рыб. По видеозаписям регистрировали положение каждой особи через каждую минуту (как показали предварительные наблюдения, такого интервала достаточно для оценки перемещения анабаса).

Для оценки степени мотивации рыб к миграции в определённом направлении рассчитывали индекс контранатантности (I_k), который показывает, в каком направлении относительно течения в среднем сместились рыбы за время эксперимента. Индекс может варьировать от 1 (все рыбы переместились из стартового отсека в верхний по течению отсек № 1) до -1 (все рыбы переместились в нижний отсек № 11). Рассчитывали индекс по формуле: $I_k = \sum(n_i(N_s - i)) / (N_s - 1) \sum n_i$, где n_i — число рыб в i -том отсеке установки, экз.; N_s и i — номер стартового и i -того отсека установки. Индекс рассчитывали для каждого интервала времени — минуты опыта.

Эксперимент был условно разделён на два этапа. На первом этапе в течение дня определяли соотношение типов реореакции анабаса до добавления тиомочевины и мочевины в воду. По результатам 11 контрольных опытов рассчитывали общую динамику перемещений анабаса в “рыбоходе”, выраженную в усреднённых значениях I_k за каждую единицу времени (1 мин). На втором этапе рыб в случайном порядке рассадил в те же четыре аквариума по 25 экз. и затем в два случайно выбранных аквариума добавляли тиомочевину, а в два оставшихся — мочевину. Содержание обоих веществ в воде составляло 0.05%; при каждой смене воды (1 раз/сут) в аквариумы добавляли расчётное количество вещества в объёме, достаточном для создания этой концентрации. Вещества предварительно растворяли в 1.6 л воды, затем полученный раствор добавляли в аквариум.

Соотношение типов реореакции определяли на 2-е, 5-е, 8-е и 12-е сут после помещения рыб в растворы тиомочевина и мочевины (перерыв в 2–3 сут необходим для снижения манипуляционного стресса у особей). Выполнено 49 опытов (11 – контроль, по 19 мочевины и тиомочевины). Анабасов в установке использовали повторно. Ранее проведённые опыты (Павлов и др., 2020) показали, что при многократном (6 раз в течение 13 сут) тестировании рыб в гидродинамической установке их реореакция не изменяется.

Для решения методической задачи – оценки роли течения в распределении анабаса по установке – отдельно провели пять опытов при наличии течения в “рыбоходе” и пять опытов при его отсутствии.

Для оценки группового поведения анабаса в “рыбоходе” определяли число рыб, находящихся за единицу времени (минуту) в каждом отсеке установки. В качестве группы рассматривали три и более особей, находящихся в одном отсеке.

Статистическую обработку материала проводили с использованием непараметрического дисперсионного анализа: *H*-критерия Краскела–Уоллиса, *t*-критерия Стьюдента, критерия Стьюдента для долей, *U*-критерия Манна–Уитни, критерия χ^2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поведение анабаса в аквариумах и “рыбоходе”. В первые сутки после помещения в аквариумы анабасы часто совершали попытки выпрыгнуть, в последующие дни число прыжков заметно снижалось.

В “рыбоходе” рыбы не избегали течения и предпочитали участки с быстрым течением (рядом с проходами между отсеками), при открытии заградительных решёток обычно держались группами от трёх особей. Соответственно и по установке анабасы перемещались тоже группами: движение одной особи против течения инициировало подобную реакцию других рыб. При наличии какого-либо фактора стресса (виден оператор) моментальная реакция особей сводилась к пассивному (чаще) или активному (реже) скату группы из верхних отсеков установки в нижние – к движению по течению.

Оценка роли течения в распределении анабаса по “рыбоходу”. При отсутствии течения (в стоячей воде) в “рыбоходе” в период акклимации большинство рыб выпрыгивали из стартового отсека установки в сторону отсека № 1 (50%) и меньшая часть – в сторону отсека № 11 (24%); четверть особей (26%) оставались в стартовом отсеке. При наличии течения большинство рыб выпрыгивали в сторону нижнего по течению отсека № 11 (51%), а меньшая их доля (10%) – в сторону отсека № 1 – против течения. Полученные различия по доле

выпрыгнувших рыб при наличии течения и его отсутствии достоверны (критерий Стьюдента для долей: $p < 0.05$).

К окончанию опыта распределение рыб по отсекам “рыбохода” различается (критерий χ^2 : $p \ll \ll 0.001$) при наличии течения и без него (рис. 1). В то время как у рыб на течении превалирует скат (наибольшая доля рыб в отсеках № 10 и 11), особи в стоячей воде практически равномерно распределяются по отсекам “рыбохода”, чаще смещаясь в верхние отсеки. Анабасы, находящиеся на течении, чаще (критерий Стьюдента для долей: $p < 0.01$), чем особи в стоячей воде, двигались в группе (77.8 против 59.3%). Таким образом, поведение рыб в потоке воды в установке отражает влияние именно течения, а не каких-либо других факторов, что свидетельствует о корректности использованной методики.

Миграционная активность контрольных и опытных рыб. В период акклимации в “рыбоходе” часть рыб как в контрольной, так и в опытных группах из стартового отсека перепрыгивали в соседние. Рыбы во всех проведённых опытах преимущественно выпрыгивали по течению. Контрольные особи чаще (критерий Стьюдента для долей: $p < 0.05$), чем опытные, перепрыгивали заградительные решётки, о чём свидетельствует доля оставшихся рыб в стартовой камере после периода акклимации – 17.9% (контроль), 38.4% (мочевина), 47.9% (тиомочевина) (рис. 2). На это указывает и больший I_k у опытных рыб по сравнению с контрольными перед непосредственным снятием решёток стартового отсека (нулевая минута) (рис. 3).

На протяжении всего периода регистрации (20 мин) анабасы контрольной группы перемещались в разных направлениях (рис. 3). На начальном этапе (до 8–9-й мин) контрольные особи преимущественно двигались по течению, как правило, они достигали и некоторое время находились в нижнем отсеке установки (№ 11). Затем они начинали перемещаться против течения. С 15-й по 20-ю мин передвижения анабасов против и по течению были примерно одинаковыми. Индекс контранатантности контрольных рыб достоверно зависит от периода регистрации (*H*-критерий: $p < 0.01$). Это подтверждается и заметным различием значений I_k контрольных рыб в конце (20-я мин) и начале опыта: от 0-й (*t*-критерий Стьюдента: $p < 0.05$) и 1-й мин (*U*-критерий: $p < 0.05$).

Непараметрический дисперсионный анализ (здесь и далее *H*-критерий) показал, что перемещение анабаса в “рыбоходе” связано ($p < 0.01$) с его принадлежностью к опытным (содержание в мочевины и тиомочевины) или контрольной группам. Опытные рыбы чаще, чем контрольные, двигались против течения: среднее значение I_k за

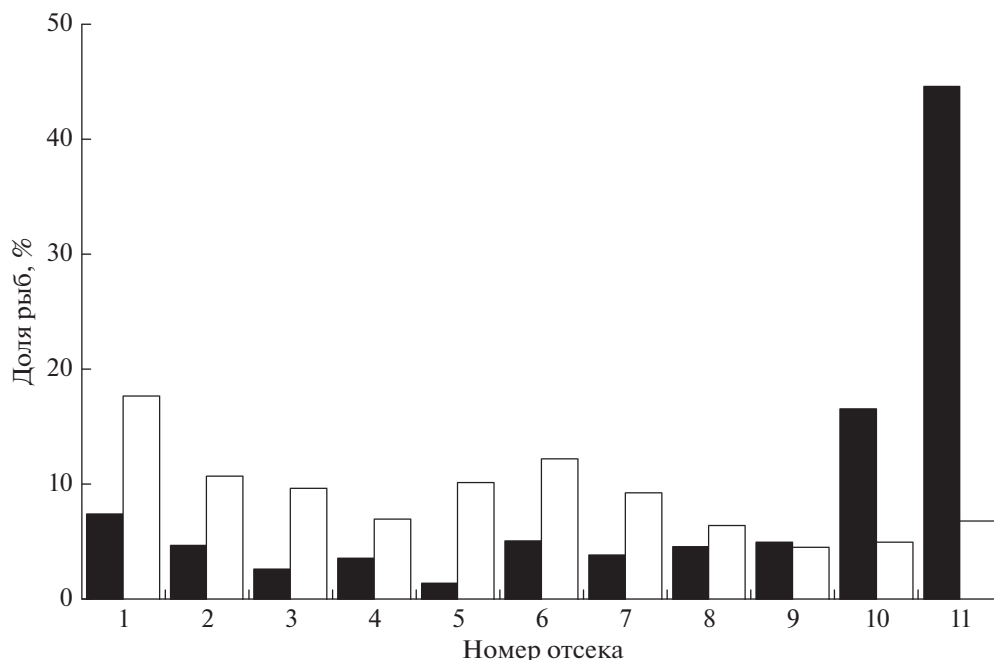


Рис. 1. Распределение анабаса *Anabas testudineus* в отсеках установки при наличии течения (■) и без него (□).

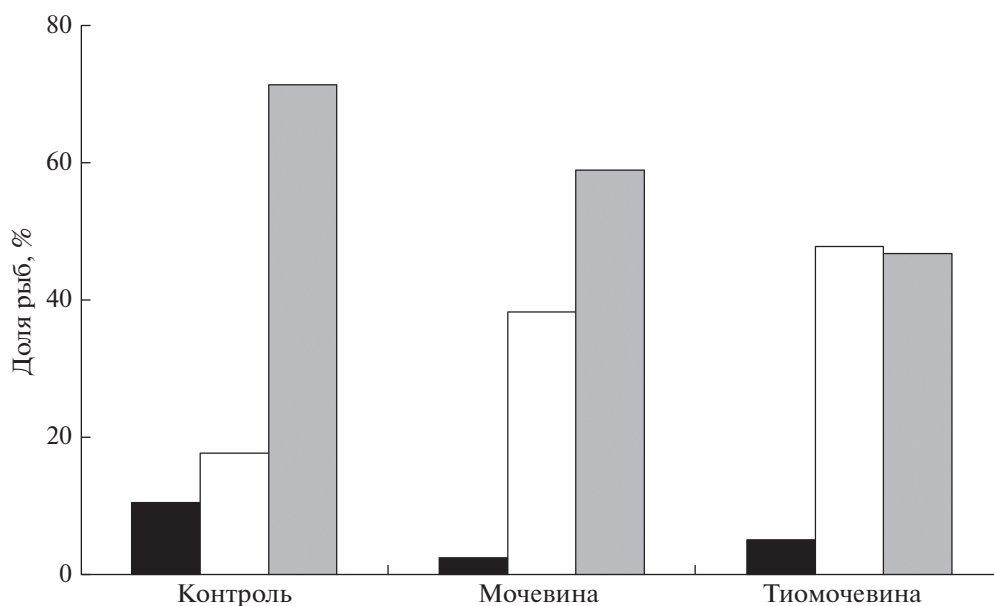


Рис. 2. Распределение (средние величины) анабаса *Anabas testudineus* относительно направления течения в “рыбоходе” к 20-й мин акклимации: (■) — выпрыгнули против течения (отсеки № 1–5), (□) — остались в стартовой камере № 6, (■) — выпрыгнули по течению (отсеки № 6–11).

весь период регистрации при содержании в растворах мочевины и тиомочевины по сравнению с контролем выше (соответственно -0.40 и -0.45 против -0.56). В течение всего периода регистрации не обнаружено значимых различий ($p > 0.05$) по поминутным значениям I_k между анабасами, содержащимися в тиомочевине и мочевины. В от-

личие от контроля в обеих группах опытных рыб не выявлена ($p > 0.05$) динамика изменений I_k с течением времени (20 мин).

Индекс контрагентности у анабаса, содержащегося в мочевины, начинает отличаться (U -критерий: $p < 0.01$) от контрольных особей уже на

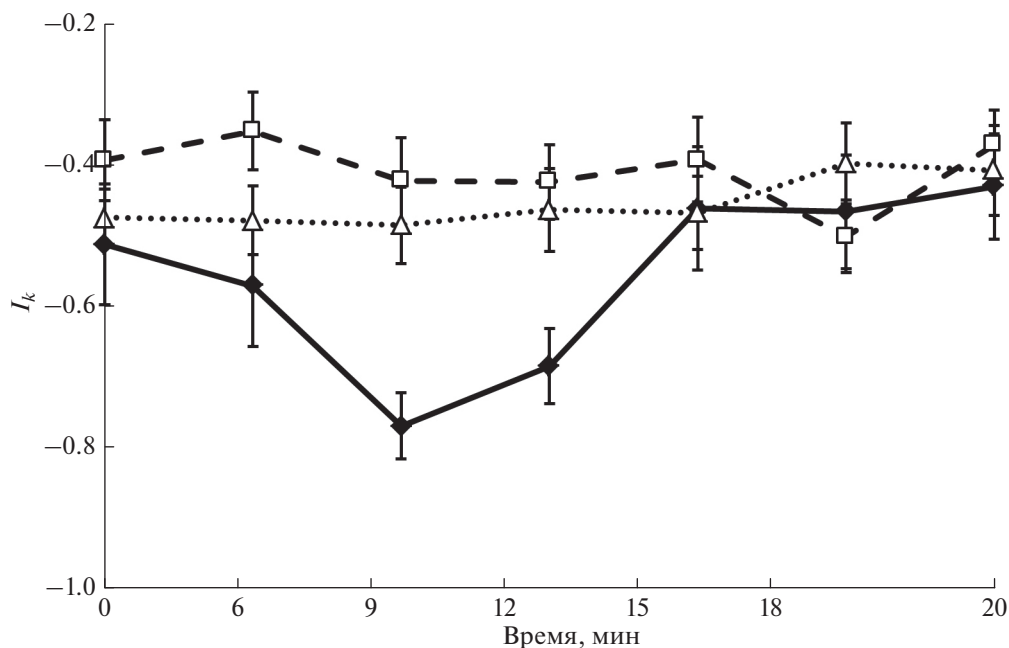


Рис. 3. Динамика индекса контрактантности (I_k) у анабаса *Anabas testudineus* контрольной группы (—), при содержании в мочевины (---) и тиомочевины (— · — · —); (I) — ошибка средней.

2-е сут экспозиции. У рыб, содержащихся в тиомочевины, различия проявляются только на 5-е сут экспозиции ($p < 0.01$). Максимальных значений I_k при содержании рыб в мочевины достигает на 8-е сут (-0.34), а в тиомочевины — на 12-е (-0.42).

Коэффициент вариации (CV) индекса контрактантности у опытных групп анабаса, содержащихся в растворах мочевины и тиомочевины, по сравнению с контрольной выше (соответственно 37 и 65 против 27%). У контрольных особей CV укладывается в однородную совокупность ($<33\%$) значений I_k , в то время как у опытных особей он указывает на неоднородную совокупность величин ($>33\%$). Максимальных значений CV достигает на 12-е сут экспозиции как в мочевины (65%), так и в тиомочевины (58%).

Анабасы контрольной группы чаще (критерий Стьюдента для долей: $p < 0.05$), чем особи, содержащиеся в мочевины и тиомочевины, перемещаются в “рыбоходе” в группе (85.1 против соответственно 71.8 и 73.9%). В опытных группах несколько выше по сравнению с контрольной доля одиночных рыб (13.2 и 12.9 против 9.4%).

ОБСУЖДЕНИЕ

При влиянии мочевины и тиомочевины на миграционную активность анабаса прослеживаются как разные, так и общие черты. Различия касаются сроков проявления действия веществ на реакцию анабасов. Влияние мочевины отмечено уже на 2-е сут экспозиции, в то время как тиомо-

чевины — только на 5-е сут, что согласуется с данными по тиомочевины, полученными нами ранее (Павлов и др., 2019). В воде мочевины обладает меньшей химической устойчивостью, чем тиомочевина. Полученные результаты указывают, что меньший период активности мочевины компенсируется её более быстрым воздействием на организм.

Одной из общих черт влияния исследованных веществ является характер динамики реакции анабаса на течение — отсутствуют различия (H -критерий: $p > 0.05$) в перемещении рыб в отсеках установки. Анабасы под действием как мочевины, так и тиомочевины двигались преимущественно вниз по течению, что в абсолютных значениях приводило к отсутствию заметной динамики I_k на протяжении 20-минутных наблюдений. У контрольных рыб, напротив, I_k был связан (H -критерий: $p < 0.01$) с периодом опыта: скат по течению, преобладающий до середины опыта, затем становился менее выраженным, и особи перемещались в средние и верхние отсеки “рыбохода”. Изменение характера перемещений у анабаса под воздействием мочевины и тиомочевины может иметь важное значение в естественной среде — при ориентации рыб, их миграции и распределении в водоёмах и водотоках.

Второй общей чертой воздействия мочевины и тиомочевины является снижение частоты ($>10\%$) группового перемещения анабаса в “рыбоходе”. Для анабаса характерен групповой образ жизни (Binoy, Thomas, 2004; Зворыкин, 2018), что и демонстрируют контрольные рыбы, перемещаясь в

установке группами от трёх и более особей. Под влиянием веществ групповая направленная реореакция рыб сменяется на индивидуальную разнонаправленную, что, вероятно, и приводит к искажению общего характера динамики перемещений рыб в “рыбоходе”.

Как было показано ранее (Павлов и др., 2018, 2019), прыжки анабаса помимо неспецифической поведенческой реакции могут являться составной частью его реакции на течение и отражают миграционную активность. В данной работе об этом также свидетельствует достоверное различие в направлении прыжков в стоячей воде и при наличии течения в “рыбоходе”. Однако ранее мы получили противоречивые данные по влиянию тиомочевина на число прыжков: в одной экспериментальной работе (Павлов и др., 2018) отмечено снижение их числа, тогда как в следующей (Павлов и др., 2019), напротив, увеличение частоты прыжков на 31% у опытных рыб по сравнению с контрольными. В настоящей работе у рыб под действием как тиомочевина, так и мочевины число прыжков достоверно снижалось (критерий Стьюдента для долей: $p < 0.05$). При этом второй показатель миграционной активности — I_k — во всех трёх экспериментальных работах (считая данную) сходным образом отражал влияние тиомочевина — его значения достоверно повышались. Мы полагаем, что I_k корректнее, чем число прыжков, отражает характер миграционной активности рыб.

При наличии течения анабас совершает прыжки в том же направлении, в котором движется поток воды. Вероятно, это обусловлено тем, что такой прыжок анабасам легче реализовать за счёт сопряжённого вектора движения воды и особи. Мы рассматриваем прыжки анабаса в установке как вынужденные. По всей видимости, являясь одной из компонент, помогающих анабасу реализовать миграцию по суше, в естественной среде обитания прыжки необходимы и для преодоления препятствий, которые особь не в состоянии преодолеть по воде или не в состоянии переползти.

Таким образом, мочевина и тиомочевина модифицируют миграционное поведение рыб, что в естественных условиях может негативно отразиться на их распределении и воспроизводстве. Учитывая предыдущие данные по влиянию тиомочевина, можно с уверенностью сказать о необходимости мониторинга исследованных веществ, в том числе при комплексном химическом загрязнении внутренних водоёмов Вьетнама.

ВЫВОДЫ

1. Содержание анабаса в мочеvine и тиомочевине приводит к модификации миграционной

активности: изменяется динамика перемещений в потоке, снижается частота прыжков.

2. Мочевина и тиомочевина сходным образом влияют на характер реореакции анабаса — снижают долю рыб,двигающихся по течению; но различаются по времени начала воздействия — соответственно на 2-е и 5-е сут экспозиции.

3. Оба реагента влияют на групповое поведение анабаса в потоке воды, заметно меняя групповую направленную реореакцию рыб на индивидуальную разнонаправленную.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны сотрудникам Приморского отделения Российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра за помощь в сборе материала; А.О. Касумяну (МГУ), В.В. Костину и Д.Д. Зворыкину (ИПЭЭ РАН) — за ценные замечания по тексту рукописи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Сбор материала проведён при финансовой поддержке Российско-вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (программа Эколан 3.2); анализ материала осуществлён при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-14-00015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зворыкин Д.Д. 2018. Освоение нового корма анабасом *Anabas testudineus* при одиночном и групповом содержании // Вопр. ихтиологии. Т. 58. № 2. С. 235–239. <https://doi.org/10.7868/S0042875218020133>
- Зворыкин Д.Д., Динь Тхи Хай Йен, Во Тхи Ха. 2014. Состав и основные особенности ихтиофауны пресных и солоноватых вод региона // Экология внутренних вод Вьетнама / Под. ред. Павлова Д.С., Зворыкина Д.Д. М.: Т-во науч. изд. КМК. С. 225–240.
- Павлов Д.С., Костин В.В., Павлов Е.Д., Кравченко А.А. 2020. Влияние изменения рациона на реореакцию молодёжи радужной форели *Oncorhynchus mykiss* // Вопр. ихтиологии. Т. 60. № 3. С. 364–367. <https://doi.org/10.31857/S0042875220030157>
- Павлов Е.Д., Павлов Д.С., Ганжа Е.В. и др. 2018. Влияние тиомочевина на поведение анабаса *Anabas testudineus* в потоке воды // Там же. Т. 58. № 5. С. 584–588. <https://doi.org/10.1134/S0042875218050181>
- Павлов Е.Д., Звездин А.О., Павлов Д.С. 2019. Воздействие тиомочевина на миграционную активность анабаса *Anabas testudineus* и потребление им корма // Там же. Т. 59. № 5. С. 606–611. <https://doi.org/10.1134/S0042875219050163>
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. 1999. М.: Изд-во ВНИРО, 304 с.

- Binoy V.V., Thomas K.J. 2004. The climbing perch (*Anabas testudineus* Bloch), a freshwater fish, prefers larger unfamiliar shoals to smaller familiar shoals // *Current Sci.* V. 86. № 1. P. 207–211.
- Binoy V.V., Job N., Thomas K.J. 2004. Influence of dicofol on the behaviour of the climbing perch, *Anabas testudineus* // *Indian J. Fish.* V. 51. № 3. P. 345–351.
- Das B.K. 1927. The bionomics of certain air-breathing fishes of India, together with an account of the development of their air-breathing organs // *Phil. Transactions.* V. 216. P. 183–216.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1928.0003>
- Davenport J., Matin A.K.M.A. 1990. Terrestrial locomotion in the climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch) (Anabantidea, Pisces) // *J. Fish Biol.* V. 37. P. 175–184.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05938.x>
- Nordin I.L., Ibrahim N., Hamidin N. et al. 2015. Acute toxicity of endosulfan to *Anabas testudineus* // *Adv. Environ. Biol.* V. 9. № 27. P. 341–345.
- Pavlov D.S., Kostin V.V., Zvezdin A.O., Ponomareva V.Yu. 2010. On methods of determination of the rheoreaction type in fish // *J. Ichthyol.* V. 50. № 11. P. 977–984.
<https://doi.org/10.1134/S0032945210110020>
- Smith H.M. 1945. The freshwater fishes of Siam, or Thailand // *Bull. US Natl. Mus.* V. 188. 622 p.
<https://doi.org/10.5479/si.03629236.188.1>
- Velmurugan B., Cengiz E.I., Yolcu M. et al. 2018. Cytological and histological effects of pesticide chlorpyrifos in the gills of *Anabas testudineus* // *Drug. Chem. Toxicol.* P. 1–6.
<https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1497052>
- Ziegler-Skylakakis K., Kielhorn J., Könnicker G. et al. 2003. Concise international chemical assessment document 49. Thiourea. Geneva: WHO, 43 p.