

(превращение определенных веществ внутри клеток с момента их поступления до образования конечных продуктов) в клетках микроорганизмов, и создаются резервные запасы продуктов питания. Далее, в условиях отсутствия субстрата в окружающей водной среде (в фазе голодания) микроорганизмы потребляют субстрат и продукты промежуточного метаболизма, накопленные в фазе интенсивного питания. В таких условиях проявляется преимущество флокулирующих микроорганизмов, обладающих более высокой способностью накопления и сохранения резервных запасов питания. Такие микроорганизмы имеют преимущественные возможности выживания в фазе голодания. По этим причинам в условиях прерывистой подачи нагрузки субстрата на активный ил происходят преобладающий рост и накопление (селекция) флокулирующих микроорганизмов, а нитчатые микроорганизмы гибнут. Для этого фаза отсутствия субстрата (фаза голодания – регенерация) должна быть достаточно продолжительной. Это необходимо для того, чтобы были полностью израсходованы резервные запасы питания в клетках микроорганизмов и восстановлена способность клеток к усвоению субстрата в

фазе интенсивного питания в следующем цикле подачи нагрузки на активный ил [3].

Выводы

Прерывистый режим питания микроорганизмов активного ила осуществляется в аэробном (оксидном) реакторе (зона нитрификации). Прерывистый режим питания способствует селекции флокулирующих микроорганизмов и формированию активного ила, обладающего хорошей осаждаемостью, что способствует качественной очистке сточных вод.

Библиографический список

1. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1996. – 591 с.
2. Хенце М. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван; пер. с англ. – М.: Мир, 2006. – 480 с.
3. Денисов А.А. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод / А.А. Денисов // ВАСХНИЛ. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1989. – 45 с.



УДК 591.525:597.553

Е.В. Спирина

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ *RANA RIDIBUNDA* PALL. ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Ключевые слова: морфофизиологические адаптации, токсическая нагрузка, защитные функции, загрязнение, «энергетическая плата», антропогенные факторы, средовой стресс, популяция, онтогенез.

Введение

В соответствии с концепцией С.С. Шварца, любое изменение условий жизни животных прямо или косвенно связано с изменением энергетического ба-

ланса, что неизбежно приводит к соответствующим морфофункциональным сдвигам (увеличению относительных размеров сердца и почек, повышению концентрации гемоглобина в крови и др.) [1]. При изменениях в образе жизни или в любых экстремальных условиях животные несут большие энергетические затраты. Закономерности подобного характера выражены столь отчетливо, что они возводятся в ранг «законов». Способность повышать энергетический обмен для выживания в

стрессовой ситуации выработана у животных в процессе эволюционного развития и является важнейшей их преадаптацией к изменению условий среды [1].

Метод морфофизиологических индикаторов как один из методов оценки адаптивной реакции организмов большую популярность в исследованиях приобрел в 60-е годы в связи с развитием идей С.С. Шварца об экологических закономерностях микроэволюции [1].

Мы исходили из следующих предположений: 1) действие тяжелых металлов создаёт «экстремальность» условий обитания для живых организмов; 2) токсические вещества являются дополнительной нагрузкой на организм и способны изменять уровень метаболизма; 3) для выживания в условиях действия загрязнения особи должны нести энергетические затраты по детоксикации, что должно отразиться на их морфофизиологических показателях.

Целью работы явилось изучение характера адаптивных морфофизиологических адаптаций амфибий в условиях антропогенной нагрузки.

Объекты и методы

Исследования проводились в Ульяновской области в 2005-2008 гг. Объектом изучения являлась озерная лягушка (*R. ridibunda* Pall.).

Исследование содержания тяжелых металлов в воде проводилось в 5 точках вниз по течению р. Свияга: с. Спешневка, с. Стоговка, с. Луговое, г. Ульяновск, с. Лаишевка. В качестве фона был выбран экологически чистый водоток р. Уса, пробы отбирались в 3 точках: с. Елшанка, с. Михайловка, с. Гавриловка. Степень загрязнения воды тяжелыми металлами определяли в отделе химико-аналитического контроля растениеводческой, пищевой

продукции и кормов ФГУ «Станция агрохимической службы г. Ульяновска». Анализы проводились атомно-абсорбционным методом. В исследуемых образцах определяли общее содержание таких элементов, как медь, свинец, кадмий, цинк, хром, никель.

Для выявления физиологического состояния амфибий рассчитывали индексы органов [2]. С помощью электронных весов определялся общий вес тела особей, затем производилось вскрытие животных, изъятие внутренних органов (сердца, печени, почек, селезенки) и взвешивание их на электронных весах с точностью до 0,001 г. Индекс органа определялся по формуле:

$$I = \frac{x}{y} * 1000 (\%),$$

где x – вес органа;
 y – общий вес тела.

Также рассчитывался индекс упитанности, применяемый в ихтиологии, по формуле:

$$\text{Масса тела} * 100 / \text{длина тела}^3.$$

Все расчеты проводили отдельно для самцов и самок.

Результаты и их обсуждение

Химический анализ воды показал, что содержание тяжелых металлов в р. Уса было в пределах ПДК.

В р. Свияга содержание тяжелых металлов во всех районах исследования многократно превышало ПДК. Крайне высоким оказалось содержание ионов кадмия, свинца и никеля.

При исследовании морфофизиологических индексов было обнаружено достоверное превышение индекса сердца амфибий в загрязненном водотоке по сравнению с экологически чистым водотоком ($p < 0,05$) (рис. 1).

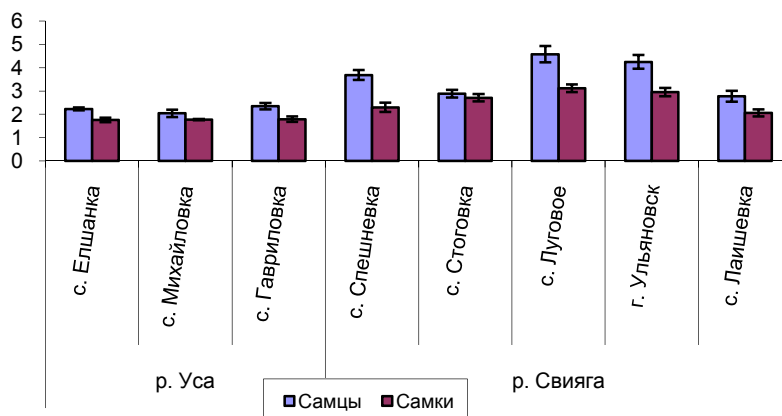


Рис. 1. Индексы сердца самцов и самок в популяциях *R. rudibunda* Pall. р. Уса и р. Свияга

В условиях экологического оптимума индекс сердца амфибий наименьший [3]. При токсической нагрузке у амфибий происходит наращивание массы органа – величина индекса увеличивается. Кроме того, имеются многочисленные экспериментальные данные о том, что в условиях токсических нагрузок учащается ритм дыхания, появляется тахикардия и увеличивается потребление кислорода, что создаёт нагрузку на сердце и может объяснить причину наращивания его массы [4-6].

Очевидно, что воздействие тяжелых металлов оказывает влияние на значение индекса сердца. Это связано с тем, что метаболизм животных в условиях загрязнения протекает с большей интенсивностью, что и позволяет им выживать в неблагоприятных условиях.

Таким образом, действие загрязняющих факторов водной среды на организм амфибий приводит к мобилизации его защитных функций и ускорению обмена веществ, что, в свою очередь, обуславливает нагрузку на сердце и вызывает его морфофизиологические перестройки.

Стандартным критерием экологического своеобразия популяции является индекс печени, которая в организме амфибий играет большую роль по детоксикации вредных веществ. Известно, что масса печени изменяется преимущественно за счёт накопления или расходования жиров и углеводов [3]. Запасов гликогена в печени достаточно лишь на короткий период переживания неблагоприятных условий. При более длительном периоде нагрузки начинают расходоваться жиры. Снижение веса печени сигнализирует о длительном устойчивом воздействии внутренних или внешних неблагоприятных факторов на организм. Печени присуща сезонная изменчивость в связи со сменой характера питания, расходами энергетических за-

пасов на размножение, но при сильном негативном воздействии снижение массы печени выходит за рамки обычной «нормы» [2].

Полученные результаты свидетельствуют, что у амфибий из загрязненного водотока индекс печени был достоверно ниже ($p < 0,05$), чем в популяциях из экологически чистого водотока (рис. 2).

Снижение индекса печени у лягушек, обитающих в загрязненных водотоках, скорее всего, связано с повышенными энергетическими затратами, ускоренным расходом гликогена и жиров. В условиях загрязнения восстановление пула гликогена и жиров в печени происходит гораздо медленнее.

По данным литературных источников, индекс почек является индикатором уровня обмена веществ [2].

Определение индекса почек показало, что у амфибий загрязненного водотока он был достоверно выше (рис. 3).

Озерные лягушки из загрязненного водотока имеют меньшие размеры тела, чем амфибии из экологически чистого водотока, а индекс почек обратно пропорционален размерам тела. Высокие величины индексов почек свидетельствуют о возрастании роли данного органа в выведении продуктов метаболизма и токсических соединений. Это может рассматриваться как один из возможных механизмов адаптации к средовому стрессу.

По данным литературы интенсификация функций органов и тканей под влиянием токсикантов способствует повышению резистентности и выведению ядов из организма [7]. Нельзя исключить, что выявленные изменения морфофизиологических особенностей почек являются адаптивными приспособлениями и проявлением движущей формы отбора при обитании в загрязненном водотоке.

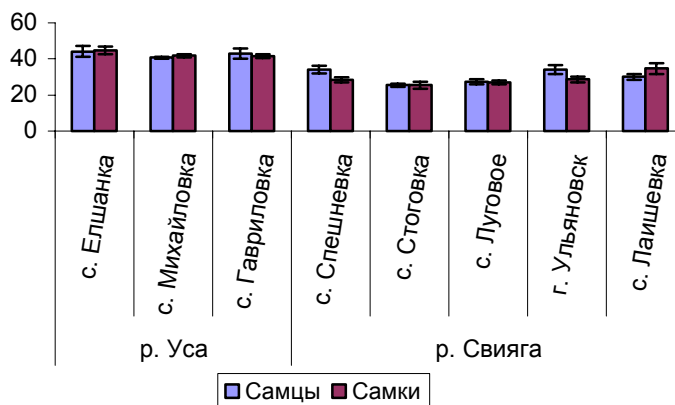


Рис. 2. Индексы печени самцов и самок в популяциях *R. rudibunda* Pall. р. Уса и р. Свяга

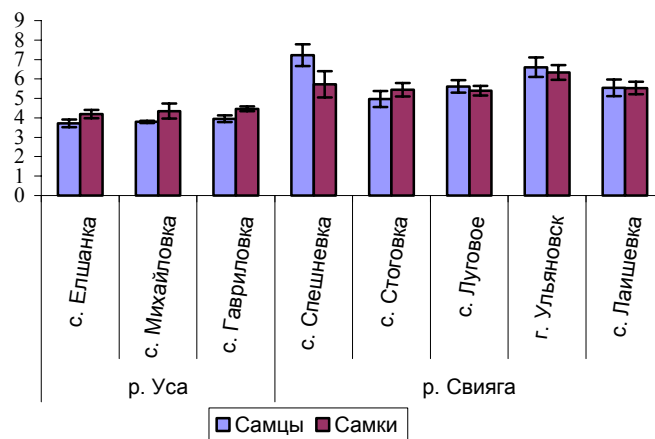


Рис. 3. Индексы почек самцов и самок *R. rudibunda* Pall. р. Уса и р. Свияга

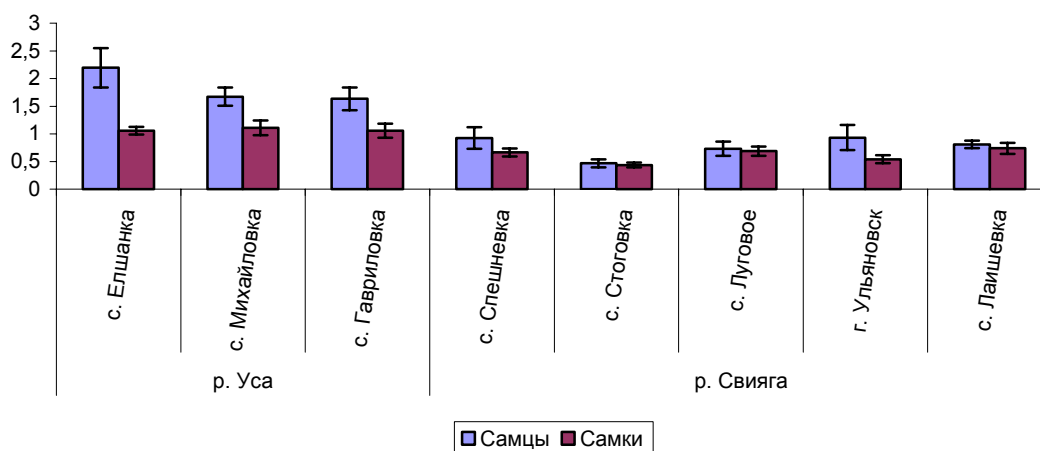


Рис. 4. Величины индексов селезенки самцов и самок *R. rudibunda* Pall. р. Уса и р. Свияга

Селезенка в организме амфибий выполняет функции детоксикации и кроветворения.

Анализ морфофизиологических особенностей селезенки у лягушек загрязненных местообитаний выявил ее высокую реактивность. В популяциях озерной лягушки на всех участках р. Свияга наблюдалось статистически достоверное снижение индекса селезенки ($p < 0,05$), по сравнению с величиной этого индекса в популяциях р. Уса (рис. 4).

Сниженные индексы селезенки лягушек из загрязненного водотока, скорее всего, обусловлены угнетением кроветворения.

Сравнительные исследования общей упитанности амфибий в экологически чистом водотоке и в условиях загрязнения показали достоверное снижение этого показателя при повышенном содержании тяжелых металлов в воде (рис. 5). На фоне загрязнения, по данным литературных источников, отмечается истощение организма и снижение его массы [2, 3].

По нашему мнению, снижение упитанности озерных лягушек может быть обу-

словлено преобладанием в популяции особей с высоким уровнем обмена веществ, способных на эффективное выведение из организма экотоксикантов, или снижением количества пищевых объектов (насекомых и других беспозвоночных) на территории загрязненного водотока.

Заключение

Основываясь на общебиологическом законе реагирования особей на стрессовую ситуацию и концепции С.С. Шварца о том, что любые дополнительные энергетические затраты ведут к увеличению массы внутренних органов, приходим к заключению – мобилизация защитных функций организма, проявляющаяся в увеличении индексов сердца, почек и уменьшении индексов печени и селезенки, свидетельствует о дополнительной «энергетической плате» организма, связанной с детоксикацией и его выживанием в условиях загрязнения.

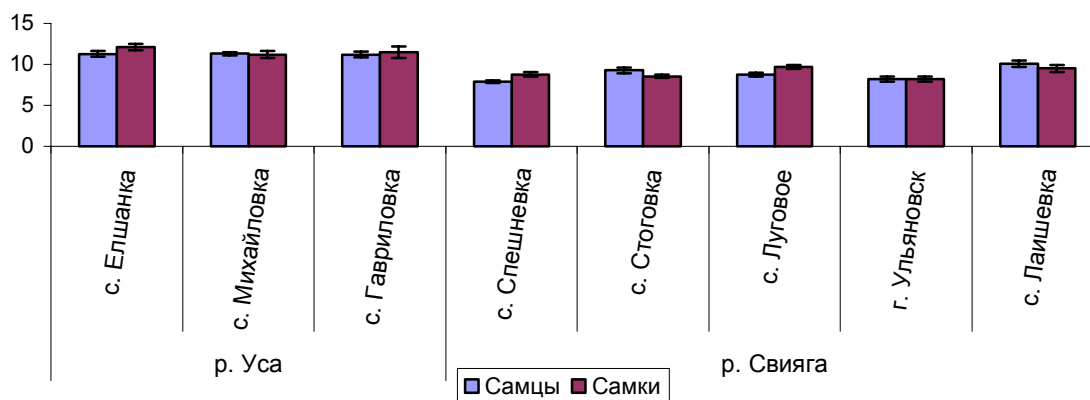


Рис. 5. Упитанность самцов и самок *R. rudibunda* Pall. р. Уса и р. Свяга

Таким образом, адаптивную ценность в условиях загрязненного водотока приобретают перестройки организма, связанные с их способностью повышать уровень метаболизма в соответствии с эволюционно определенными механизмами повышения жизнеспособности, их преадаптацией к неблагоприятным условиям. Увеличение массы внутренних органов позволяет особи выдерживать напряженный энергетический баланс. Особи, способные выдерживать дополнительные энергетические затраты на детоксикацию проникающих в организм слабых доз ядов, приобретают преимущества для выживания в условиях загрязненного водотока.

Библиографический список

1. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции / С.С. Шварц. – М.: Наука, 1980. – 277 с.
 2. Шварц С.С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных / С.С. Шварц, В.С. Смирнов, Л.Н. Добринский. – Свердловск, 1968. – 387 с.

3. Ковылина Н.В. Использование озерной лягушки (*R. ridibunda* Pall.) для оперативной индикации техногенного загрязнения водотоков: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.В. Ковылина. – Волгоград: ВГПУ, 1999. – 16 с.

4. Hughes G.M. The effects of zinc on the cardiac and ventilatory rhythms of rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson) and their responses to environmental hypoxia / G.M. Hughes, R.J. Abeney // *Water Research*, 1977. – V. 11. – No 12. – P. 1069-1077.

5. *Aquatic toxicology and Hazard Assessment: 10th volume.* Eds. Adams W., Chapman A., Landis W. – Philadelphia, 1988. – 597 p.

6. Флеров Б.А. Эколого-физиологические аспекты токсикологии пресноводных животных / Б.А. Флеров. – Л., 1989. – 144 с.

7. Мисюра А.Н. Некоторые вопросы экотоксикологии бесхвостых амфибий и рептилий в техногенных регионах / А.Н. Мисюра // *Вопросы герпетологии.* – Киев, 1989. – С. 166-167.



УДК 581.9 (571.15)

**И.А. Хрусталева,
Т.О. Стрельникова**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СОСНЯКОВ
БАРНАУЛЬСКОГО ЛЕНТОЧНОГО БОРА**

Ключевые слова: вид, сосудистые растения, флора, сосновые леса, эколо-

гическая структура, экологические факторы.