УДК

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД НЕФТЕПРОДУКТАМИ *

* Работа является призером Российского национального конкурса водных проектов старшеклассников – 2012 (2 место).

© 2012 г. К.И. Рубец

Муниципальное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования детей «Тутаевский детский эколого-биологический Центр «Дом природы», Ярославская область, г. Тутаев

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, загрязнение вод нефтепродуктами, мониторинг водных объектов.

Изучено влияние водорастворимой фракции нефтепродуктов на физиологические показатели крупных двустворчатых моллюсков. Показана возможность использования моллюсков для целей мониторинга загрязнения воды.

Проблема нефтяного загрязнения Волги является одной из актуальнейших [1–4]. Несмотря на это, методы контроля и мониторинга содержания нефтепродуктов в воде разработаны недостаточно. Работы по изучению влияния водорастворимой фракции нефтепродуктов на пресноводных гидробионтов немногочисленны [5–7], что делает исследования в данном направлении крайне важными и перспективными для прогнозирования отклика биоты при аварийных сбросах нефтепродуктов и сточных вод. В настоящее время для контроля качества воды многие водоканалы России используют различных животных. В Санкт-Петербурге используют речных раков, в Москве – рыб. На Артемовском гидроузле (Приморский край) работает биосистема «Симбио», использующая пресноводных моллюсков семейства Unionidae. Однако волжская малакофауна отличается от дальневосточной. Следовательно, может отличаться и реакция моллюсков на присутствие нефтепродуктов. Исследования

реакции крупных двустворчатых моллюсков Верхневолжского бассейна на загрязнение воды нефтепродуктами ранее не проводилось.

Целью проекта является оценка возможности применения физиологических откликов пресноводных двустворчатых моллюсков в системе непрерывного экологического мониторинга поверхностных и сточных вод при загрязнении нефтепродуктами.

Материалом исследования служили сборы двустворчатых моллюсков в июле 2011 г. в приустьевом участке р. Улеймы в районе биостанции Ярославского государственного университета (ЯрГУ). Исследовали двустворчатых моллюсков 6 видов из 2 семейств – *Unio pictorum, Colletopterum subcirculare, C. depressum, Tumidiana tumida, Anadonta cygnea* (семейство Unionidae) и *Dreissena polymorpha* (семейство Dreissenidae). Выбор именно этих видов был обусловлен их массовостью в изучаемом водотоке. Отлов животных для исследования проводили с помощью малой драги Дорогостайского. Камеральная обработка материала и определение [8–9] проводились в лаборатории гидробиологии и лаборатории экологической физиологии животных биологической станции ЯрГУ. Двигательную активность моллюсков определяли с помощью фотопреобразователя – реестрового самописца, по методике, разработанной на кафедре ФЧЖ ЯрГУ.

Исследование фильтрационной способности двустворчатых моллюсков проводили в лабораторных условиях. Определяли скорость фильтрации воды моллюсками и ее зависимость от размерно-весовых параметров животных. В 4 сосуда наливали по 1 л речной воды и вносили 300 мг каолина, тщательно перемешивая взвесь. В три сосуда со взвесью помещали по одному моллюску, у которых предварительно измеряли вес и длину раковины. Один сосуд оставляли без моллюска для определения скорости небиологического осаждения взвеси. Через час калориметрировали на ФЭКе растворы из всех четырех сосудов, используя 10 мм кюветы и определяли величину светопропускания (*E*, %). Затем по калибровочному графику устанавливали конечную концентрацию взвеси – *Ct* (%)

Водорастворимую фракцию дизельного топлива получали путем эмульгирования 1 л дизеля в 4 л воды. Эмульсию отстаивали в течение суток. Нерастворившуюся часть сливали, получая водорастворимую фракцию без радужной пленки на поверхности. Остаточное содержание нефтепродуктов в воде составляло 39,01 мг/л. После пропускания воздуха через сосуд с вытяжкой в течение 1 часа концентрация нефтепродуктов снижалась до 22,55 мг/л. Определение содержания

нефтепродуктов в вытяжке было проведено сотрудниками химико-аналитического Центра факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Полученную вытяжку нефтепродуктов добавляли в воду аквариумов с моллюсками. Исследовали влияние водорастворимых компонентов при соотношении вытяжки и воды 1:5, 1:10 и 1:20. Таким образом, концентрация нефтепродуктов в экспериментальных сосудах составляла 4,51; 2,25 и 1,13 мг/л соответственно.

Двустворчатые моллюски получают пищевые вещества и необходимый им кислород из воды, которая засасывается ими внутрь раковины вододвижущим аппаратом [10]. С обратным током воды во внешнюю среду удаляются непереваренные частицы пищи, углекислый газ и другие продукты обмена (пеллеты). В лабораторных условиях был поставлен эксперимент по изучению фильтрационной активности разных видов двустворчатых моллюсков в зависимости от сырой массы их тела (с раковиной) и линейных размеров. Проводилось определение скорости небиологического оседания и расчет фильтрационной активности двустворчатых моллюсков.

Значение величины светопропускания в контрольных сосудах без моллюсков составляло 89 %. Скорость небиологического оседания взвеси в сосудах (*A*), следовательно, составляла 69 мг/мл/час. Данные по удельной фильтрационной активности разных размерно-весовых групп двустворчатых моллюсков представлены в таблице. Вид *Dreissena polymorpha* имеет наибольшую скорость фильтрации воды по сравнению с большинством других видов двустворчатых моллюсков. Можно предположить, что высокая скорость обмена веществ у этих моллюсков позволила им широко расселиться и вытеснить во многих водоемах представителей семейства Unionidae.

При рассмотрении удельной скорости фильтрации воды можно выделить следующую закономерность: организмы меньших размеров и меньшей массы фильтруют воду с большей скоростью. Эта закономерность отчетливо показана для видов *Unio pictorum, Tumidiana tumida* и *Dreissena polymorpha*. Остальные виды не были представлены достаточным размерным рядом, но можно предположить, что для них эта закономерность соблюдается. Причина данного явления заключается, очевидно, в том, что энергозатраты организма (потребление пищи, кислорода, удаление продуктов обмена) на ранних стадиях развития значительно больше, чем у взрослых организмов. Следовательно, скорость фильтрации воды молодыми особями двустворчатых моллюсков большая, чем взрослыми.

Таблица. Удельная фильтрационная способность двустворчатых моллюсков разных размерно-весовых групп (в знаменателе – после затравки)

Вид	*Длина раковины, см*	*Вес, г*	*E, % (через 1 час)*	*Ct, мг/л (через 1 час)*	*Скорость фильтрации, мл/час*	*Удельная скорость*	
						к длине, мл/час/см	*к весу, мл/час/г*
Unio pictorum	5,8	13,3	83	260	74	12,76	5,56
	6,0	16,4	84	260	74	12,33	4,51
	7,2	27,8	87/90	270/280	37/4	5,14/2,31	1,33/0,47
	7,8	38,5	84/89	265/275	55/18	7,05/0,55	1,43/0,14
Tumidiana tumida	3,4	4,5	81	250	114	33,53	25,33
	4,8	13,2	82	255	94	19,58	7,12
	6,3	21	83/90	260/280	74/2	11,75/5,44	3,52/1,51
	6,8	24,5	87/87	270/270	37/37	5,44/0,32	1,51/0,09
*Dreissena polymorpha**	1,5	0,67	76/83	240/260	154/74	102,67/22,80	229,85/21,84
	2,5	2,61	81/84	250/265	114/57	45,60/49,33	43,68/110,45
Anadonta cygnea	8,3	63	83	260	74	8,92	1,17
Colletopterum depressum	3,7	5,6	87	270	37	10,00	6,61
Colletopterum subcirculare	4,6	7,9	88	275	18	3,91	2,28

Примечание: * приведены средние данные для 10 особей *Dreissena polymorpha*, использованных в каждом из экспериментов.

Исследование влияния водорастворимой фракции нефтепродуктов проводили после 1-часовой затравки животных в аквариумах с концентрацией нефтепродуктов в воде 4,51; 2,25 и 1,13 мг/л. Животные содержались в аквариумах с постоянной аэрацией. Концентрации нефтепродуктов равные 4,51 и 2,25 мг/л оказались смертельными для всех видов двустворчатых моллюсков. Концентрация нефтепродуктов 1,13 мг/л привела к гибели моллюсков *Colletopterum depressum*, *Colletopterum subcirculare*, *Anadonta cygnea* и мелких особей *Unio pictorum* (с длиной раковины до 7 см) и *Tumidiana tumida* (с длиной раковины до 6,3 см). Следовательно, разные виды моллюсков обладают разной устойчивостью к компонентам водорастворимой фракции дизельного топлива. В тоже время, размерные группы в

одной популяции также могут различаться по устойчивости: молодые особи более чувствительны к токсиканту, чем взрослые. Результаты эксперимента с концентрацией нефтепродуктов 1,13 мг/л приведены в таблице. Они демонстрируют значительное снижение *с*корости фильтрации воды двустворчатыми моллюсками по сравнению с контролем. При этом наиболее чувствительными являются молодые особи. Снижение скорости фильтрации у них более заметное, чем у более крупных особей того же вида.

Наименее чувствительным видом к загрязнению водорастворимой фракцией оказался *Dreissena polymorpha*. Это можно объяснить его широкой экологической пластичностью, позволившей данному виду заселить большое количество водоемов, различающихся по комплексу экологических факторов (пресные и солоноватоводные, холодные и теплые водоемы и т. д.). Очевидно, эврибионтность *Dreissena polymorpha* помогает этому виду приспосабливаться к воздействию небольших концентраций нефтепродуктов.

Таким образом, фильтрационная способность моллюсков зависит от их видовой принадлежности и возраста (размерно-весовых характеристик). Молодые особи фильтруют воду активнее взрослых, что связано с большей интенсивностью обмена веществ. Наиболее устойчивым к воздействию нефтепродутов видом двустворчатых моллюсков является *Dreissena polymorpha*. Молодые особи унионид более чувствительны к воздействию нефтепродуктов, чем взрослые. Следовательно, для целей биомониторинга возможно применение взрослых особей *Tumidiana tumida, Unio pictorum*, а также *Dreissena polymorpha*. Однако из-за мелких размеров использование последнего вида для записи двигательной активности в техническом плане затруднительно. Вызывает также вопрос скорость адаптации дрейссены к воздействию загрязнителей.

Наиболее контрастные изменения фильтрационной активности под воздействием нефтепродуктов происходят у *Tumidiana tumida,* что явилось основанием для выбора данного вида для изучения двигательной активности створок. График движения створок моллюска представлен на рис. 1.

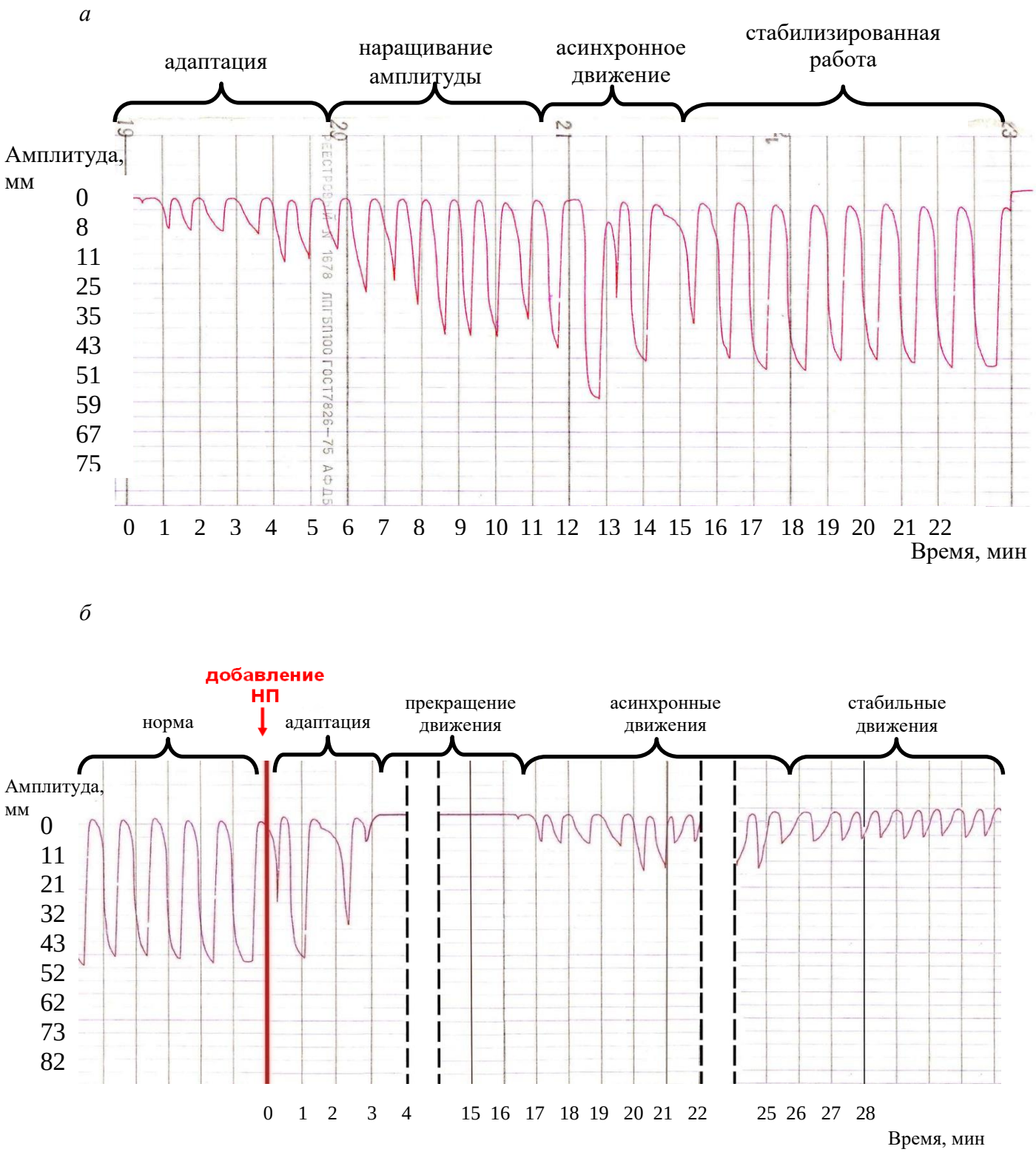

Рис. 1. График движения створок двустворчатого моллюска *Tumidiana tumida*: *а* – в норме и *б* – при добавлении водорастворимой фракции дизельного топлива.

Движение створок раковины моллюсков характеризует скорость реакции моллюска на изменение условий среды [10]. Следовательно, изучение влияния нефтепродуктов на двигательную активность моллюска может охарактеризовать степень влияния токсиканта на организм.

В течение 6 мин с начала эксперимента (см. рис. 1) амплитуда движений створок раковины моллюска составляет 10 мм, частота движений 1,5 дв/мин. Затем амплитуда движений возрастает до 38 мм, частота – до 1,3 дв/мин. Через 10–12 мин после начала эксперимента наступает стадия наиболее асинхронного движения створок. Амплитуда движений колеблется от 20 до 53 мм (в среднем 36 мм), частота колеблется от 1,0 до 1,5 движений в минуту (в среднем 1,25 дв/мин). Запись самописца свидетельствует о том, что адаптация моллюска, о которой говорит выравнивание частоты и амплитуды движения створок раковины, происходит через 16 мин после начала эксперимента. При этом амплитуда и частота движений створок стабилизируются и составляют соответственно 43 мм и 1,5 дв/мин. Таким образом, стадия адаптации моллюска к новым условиям в норме занимает около 15 мин, после чего наступает стадия стабильной работы мышц замыкателей створок раковины. На рис. 3 представлен график движения створок раковины двустворчатого моллюска *Tumidiana tumida* при добавлении в экспериментальный сосуд вытяжки из дизельного топлива. Соотношение вытяжки и воды в эксикаторе составляет 1:20 (концентрация нефтепродуктов 1,13 мг/л).

Перед введением нефтепродуктов моллюск был адаптирован к лабораторным условиям, о чем говорит стабилизированная частота (44 мм) и амплитуда движения (1,5 дв/мин) створок раковины. После добавления нефтепродукта (см. рис. 1) начинается короткая стадия адаптации моллюска к новым условиям. На графике видно, что движение створок становится асинхронным, а через 4 мин двигательная активность моллюска снижается до минимума, а после в течение 12 мин активность движения створок моллюска прекращается вообще. Далее наступает 9-минутная стадия асинхронных движений небольшой амплитуды, которая плавно переходит в стадию наращивания амплитуды (до трети нормального значения) и частоты (до четверти нормального значения). Через 24 мин после начала эксперимента наступает последняя стадия адаптации моллюска к новым условиям, которая характеризуется стабильным движением меньшей амплитуды и частоты. Очевидно, что химические рецепторы тела моллюсков способны реагировать на присутствие нефтепродуктов в среде уже при достаточно небольшой их концентрации (1,13 мг/л).

Негативные последствия проявляются при воздействии низких концентраций нефтепродуктов (1,13 мг/л), при более высоких концентрациях (2,25 и 4,51 мг/л) наблюдается гибель представителей всех изученных видов. Концентрация нефтепродуктов в воде в пределах от 1,13 до 2,25 мг/л может вызывать гибель большинства видов моллюсков в течение 1 часа. Наиболее устойчивым к воздействию нефтепродуктов видом двустворчатых моллюсков является *Dreissena polymorpha*. Молодые особи унионид более чувствительны к воздействию нефтепродуктов, чем взрослые.

Фильтрационная способность моллюсков зависит от их видовой принадлежности и возраста (размерно-весовых характеристик). Молодые особи фильтруют воду активнее взрослых, что связано с большей интенсивностью обмена веществ.

Двигательная активность створок раковины моллюска может отражать скорость его адаптации к изменению среды. Двустворчатые моллюски способны ощущать нефтепродукты в воде при концентрации более 1,13 мг/л. При воздействии нефтепродуктов стадия адаптации моллюска к новым условиям удлиняется практически вдвое, а амплитуда и частота движений раковины существенно снижаются.

Полученные данные показывают, что физиологические показатели, прежде всего двигательная активность раковины моллюска, может быть использована для целей мониторинга загрязнения воды при заборе на станциях водоподготовки, а также при контроле качества сточных и сбросных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арнольд И.Н.* Загрязнение вод нефтяными продуктами и его влияние на рыбные богатства. СПб, 1903. 63 с.
2. *Арнольд И.Н.* О влиянии нефти на рыб // Вестник рыбопромышленности. 1897. № 4. С. 167–196.
3. *Лукьяненко В.И.* Токсикология рыб. М.: Пищевая промышленность, 1967. 216 с.
4. *Чермак Н.К.* О влиянии нефти на рыб // Вестник рыбопромышленности. 1896. Вып. 4. С. 1–30.
5. *Воробьев Д.С.* Влияние нефти и нефтепродуктов на макрозообентос // Известия Томского политехн. ун-та. 2006. Т. 309. № 3. С. 42–45.

6. *Степаньян О.В., Воскобойников Г.М.* Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей // Биология моря. 2006. Т. 32. № 4. С. 241–248.
7. *Шивокене Я., Мицкенене Л.* Влияние сырой нефти и мазута на бактериоценозы пищеварительного тракта гидробионтов. Институт экологии Вильнюсского университета. 2010. Режим доступа: http://ecotext2.ru/192.html
8. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. Т. 6. Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб.: Наука, 2004. 528 с.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: планктон и бентос. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 510 с.
10. *Ботяжова О.А.* Основы сравнительной и экологической физиологии животных: уч. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2008. 120 с.

Сведения об авторе:

Рубец Кирилл Игоревич, ученик 11 класса, Муниципальное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования детей «Тутаевский детский эколого-биологический Центр «Дом природы»,152303, Ярославская область, г. Тутаев, пр. 50-летия Победы, 16-а; e-mail: domprirodi@mail.ru