

M.C. Okpodu, K.L. Waite // Anal. Biochem. – 1997. – Vol. 244. – P. 410–413.

© Г.И. Оразмурадова, Ю.Э. Закирова, Е.И. Кацнельсон, 2019

УДК 10167

## СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

**Н.Н. Шелег,**

студентка 4 курса, биологический факультет,  
ВГУ им. П.М. Машерова

**В.Н. Шашкина,**

учащаяся,  
ГУО «Средняя школа №2 г. Дубровно»

**В.С. Балаева,**

учащаяся,  
ГУО «Средняя школа №13 г. Витебска»

**О.М. Балаева–Тихомирова,**

к.б.н., до.,  
ВГУ им. П.М. Машерова,  
г. Витебск

**Аннотация:** Тяжелые металлы занимают второе место по степени опасности, уступая пестицидам и значительно опережая такие широко известные загрязнители, как двуокись углерода и серы. В перспективе они могут стать более опасными, чем отходы атомных электростанций и твердые отходы. Загрязнение тяжелыми металлами связано с их широким использованием в промышленном производстве.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы, моллюски, почва, вода, антропогенная нагрузка

В связи с несовершенными системами очистки тяжелые металлы попадают в окружающую среду. Тяжелые металлы относятся к особым загрязняющим веществам, наблюдения за которыми

обязательны во всех средах [1]. Моллюсков по комплексу критериев можно отнести к перспективным объектам для целей биоиндикации при оценке состояния водных экосистем. Моллюски являются высокочувствительными к загрязнению вод тяжелыми металлами и играют ведущую роль в аккумуляции и переносе химических веществ в водоемах. Аккумулируя различные химические вещества, моллюски выступают как основной фактор, повышающий самоочищающуюся способность водоемов. Малакофауна по своему видовому составу отличается по реакции на загрязнители. Отдельные виды моллюсков покидают экологически неблагоприятную среду обитания, а другие, в силу адаптационных способностей, остаются и приспосабливаются к изменяющимся условиям [2]. Основными диагностическими показателями, характеризующими степень антропогенной нагрузки водную экосистему является концентрация ионов тяжелых металлов и их количество в живых организмах обитающих на данной территории.

Цель работы – установить взаимосвязь между содержанием ионов тяжелых металлов в почве, воде водоема и моллюсках и степенью антропогенной нагрузки водные экосистемы Витебской области.

**Материал и методы исследования.** Образцы почвы, воды и моллюсков были отобраны из 4 мест Витебской области: Миорский район, г. Миоры оз. Миорское; Ушачский район, г.п. Ушачи р. Ушача; Сенненский район, г. Сенно оз. Сенно; Витебский район, г. Витебск р. Западная Двина. Затем было проведено моделирование влияния солей тяжелых металлов на живые организмы на примере легочных пресноводных моллюсков. Опыты по моделированию были проведены на легочных пресноводных моллюсках – прудовике обыкновенном (*Lymnaea stagnalis*) и катушке роговой (*Planorbis cornutus*). Моллюски собирались в реке Витьба г. Витебска. Перед проведением эксперимента для акклиматизации моллюсков выдерживали в емкостях с отстоянной водопроводной водой в течение 2–х суток, плотность посадки моллюсков – 3 экз./л, температура воды – 20–22°C. Животных подкармливали листьями одуванчика. В каждой исследовательской подгруппе содержалось по 9 моллюсков. Моделирование накопления тяжёлых металлов. В воду с акклиматизированными моллюсками добавляли пентагидрат сульфата меди в концентрациях 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, 1 мг/дм<sup>3</sup> и гептагидрат

сульфата железа в концентрациях 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, 3 мг/дм<sup>3</sup>, 5 мг/дм<sup>3</sup>. Продолжительность острого эксперимента 48 часов. Контролем служили особи, содержащиеся в отстоянной водопроводной воде.

Концентрации ионов меди (II), железа (III) определялись спектрофотометрическим методом. Определение ионов цинка (II) в почве проводили комплексонометрическим титрованием [3]. Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2003, STATISTICA 6.0. Достоверность различий учитывали при  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Для проведения системного экологического анализа водных экосистем было установлено содержание металлов в почвах прибрежной зоны при различной антропогенной нагрузке, а так же сопоставить полученные результаты у групп между собой и с данными литературы по предельно–допустимой концентрации каждого металла (табл. 1).

Таблица 1 – Концентрация ионов железа и меди в почве прибрежной зоны водоемов (мг/кг почвы) ( $M \pm m$ )

Места отбора проб почвы	Содержание ионов железа, мг/кг	ПДК, мг/кг почвы 5,0	Содержание ионов меди, мг/кг	ПДК, мг/кг почвы 3,0
г. Миоры	$7,67 \pm 0,336$ 2,3,4,7,10,13	↑1,5	$0,51 \pm 0,089$ <sup>13</sup>	↓5,8
г.п. Ушачи	$2,36 \pm 0,062$ 5,6,10,13	↓2,1	$0,72 \pm 0,128$ <sup>13</sup>	↓4,1
г. Сенно	$5,56 \pm 0,047$ 4,8,10,13	↑1,1	$0,43 \pm 0,052$ <sup>13</sup>	↓6,9
г. Витебск	$4,36 \pm 0,101$ 11–13	↓1,1	$1,19 \pm 0,177$ <sup>1,7,11,13</sup>	↓2,5

*Примечание:* <sup>1</sup>P < 0,05 по сравнению с почвой взятой возле водоема в г. Миоры; <sup>2</sup>P < 0,05 по сравнению с почвой из центра г. Миоры; <sup>3</sup>P < 0,05 по сравнению с почвой из парка г. Миоры; <sup>4</sup>P < 0,05 по

сравнению с почвой взятой возле водоема г.п. Ушачи;  $^5P < 0,05$  по сравнению с почвой из центра г.п. Ушачи;  $^6P < 0,05$  по сравнению с почвой из парка г.п. Ушачи;  $^7P < 0,05$  по сравнению с почвой взятой возле водоема в г. Сенно;  $^8P < 0,05$  по сравнению с почвой из центра г. Сенно;  $^9P < 0,05$  по сравнению с почвой из парка г. Сенно;  $^{10}P < 0,05$  по сравнению с почвой взятой возле водоема в г. Витебск;  $^{11}P < 0,05$  по сравнению с почвой из центра г. Витебска;  $^{12}P < 0,05$  по сравнению с почвой из парка в г. Витебск;  $^{13}P < 0,05$  по сравнению с ПДК ( $\downarrow$  во столько раз меньше,  $\uparrow$  во столько раз больше).

Анализируя полученные данные по прибрежной зоне водоема, можно судить о том, что наименьшее содержание ионов железа находится в прибрежной зоне водоема в г.п. Ушачи, а наибольшее – в г. Миоры. Значение в г. Миоры выше значения в г.п. Ушачи в 3,2 раза, в г. Сенно – 2,3 раза, в г. Витебске в 1,8 раз. Сравняя полученные данные со значением ПДК, установлено, что значения в норме, не превышают ПДК. Такое содержание ионов железа в почве обусловлено тем, что промышленные предприятия городов используют водоемы в своих целях, в результате чего происходит сброс загрязняющих веществ в водную среду городов, что обуславливает загрязнение береговой зоны водоемов (табл. 1).

Анализируя полученные данные по прибрежной зоне водоема, можно судить о том, что наименьшее содержание ионов меди находится в прибрежной зоне водоема в г. Сенно, а наибольшее – в г. Витебске. Значение в г. Витебске выше значения в г. Сенно в 2,7 раза, в г. Миоры – 2,3 раза, в г.п. Ушачи в 1,7 раза. Сравняя полученные данные со значением ПДК, установлено, что значения в норме, не превышают ПДК г.п. Ушачи и г. Витебске. Превышение ПДК отмечено в г. Сенно в 2,3 раза и в г. Миоры – 1,9 раза,

Результаты проведенных исследований были сопоставлены со значениями ПДК для данных элементов (табл. 2). В отношении содержания двухвалентного железа ( $Fe^{3+}$ ) были выявлены следующие превышения: Ушачский район – незначительное превышение (в 1,20 раза), Миорский район – концентрация превышена в 2,03 раза, Сенненский район – незначительное превышение (в 1,22 раза), Витебский район – незначительное превышение (в 1,31 раза). В водоемах превышений

ПДК обнаружено не было. По содержанию меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) были выявлены следующие превышения: Витебский район – превышение концентрации в 3,10 раза. В пробах других районов превышений ПДК выявлено не было. В контрольном образце была зафиксирована наименьшая из всех образцов концентрация исследуемого металла –  $0,314 \pm 0,003$  мг/л. Разница между максимальным (Витебский район) и минимальным (контроль) значениями концентраций составляет – 9,87 раза.

Таблица 2 – Содержание растворенных форм металлов (Мг/л) ( $M \pm m$ )

Места отбора проб почвы	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Cu}^{2+}$
г. Миоры	$0,210 \pm 0,003$	$0,412 \pm 0,000$ <sup>1,3,4,5</sup>
г.п. Ушачи	$0,600 \pm 0,007$ <sup>3,4</sup>	$0,435 \pm 0,009$ <sup>2,3,5</sup>
г. Сенно	$0,610 \pm 0,004$ <sup>1,4</sup>	$0,826 \pm 0,027$
г. Витебск	$0,655 \pm 0,017$ <sup>1,4</sup>	$3,101 \pm 0,025$
Контроль	$0,098 \pm 0,005$	$0,314 \pm 0,003$ <sup>1,2,3,5</sup>

Примечание: <sup>1</sup> $P < 0,05$  – в сравнении с Ушачским районом; <sup>2</sup> $P < 0,05$  – в сравнении с Миорским районом; <sup>3</sup> $P < 0,05$  – в сравнении с Сенненским районом; <sup>4</sup> $P < 0,05$  – в сравнении с Витебским районом; <sup>5</sup> $P < 0,05$  – в сравнении с контролем.

В эксперименте на *Lymnaea stagnalis* при внесении особей в воду, содержащую  $\text{Fe}^{2+}$  в концентрациях 0,3, 3 и 5 мг/дм<sup>3</sup> была отмечена гибель животных в течение первых суток опыта 70%, на вторые сутки 100% гибель. Сульфат железа (II) на первых этапах отравления действуют на моллюсков как локальный яд, вызывающий местные повреждения покровов тела.

У *Lymnaea stagnalis* под воздействием сульфата железа (II) наблюдаются дегенеративно–некротические изменения кожного эпителия, ослизнения. На поврежденных участках эпителиальные клетки набухают, отторгаются и слущиваются. При этом образуются многочисленные язвы. Данный результат свидетельствует о непереносимости прудовиками избытка ионов железа в воде и массовой гибели животных из–за менее приспособленной обменной системы, где главным переносчиком кислорода является медь–содержащий белок гемоцианин, имеющий третичную структуру. А *Planorbarius*

*corneus* у которых роль переносчика кислорода выполняет железо–содержащий белок гемоглобин являются более эволюционно приспособленными к действию солей тяжёлых металлов, что и подтверждается проведёнными опытами.

При воздействии сульфата железа в концентрации  $0,03 \text{ мг/дм}^3$  содержание железа повышается в 1,2 раза по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата железа в концентрациях  $3 \text{ мг/дм}^3$  и  $5 \text{ мг/дм}^3$  происходит достоверное повышение уровня железа в гемолимфе катушек в 1,3 и 1,4 раза соответственно (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние сульфата железа (II) на накопление железа в гемолимфе *Planorbarius corneus* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>
Контроль (n=9)	$0,91 \pm 0,03$
$\text{FeSO}_4, 0,3 \text{ мг/дм}^3$ (n=9)	$1,12 \pm 0,02^*$
$\text{FeSO}_4, 3,0 \text{ мг/дм}^3$ (n=9)	$1,22 \pm 0,04^*$
$\text{FeSO}_4, 5,0 \text{ мг/дм}^3$ (n=9)	$1,30 \pm 0,03^*$

Примечание: \*  $P < 0,05$  по сравнению с контрольной группой.

Сульфат меди (II) в концентрации  $0,01 \text{ мг/дм}^3$  у *Planorbarius corneus* не вызывает достоверного повышения содержания меди в гемолимфе, а при концентрациях 0,1 и  $1,0 \text{ мг/дм}^3$  содержание меди увеличивается в 1,4 и 2 раза соответственно по сравнению с контрольной группой. При воздействии сульфата меди (II) в концентрациях 0,01; 0,1 и  $1,0 \text{ мг/л дм}^3$  у прудовиков повысилась содержание ионов меди в гемолимфе в 1,5; 1,7 и 2 раза соответственно по сравнению с контрольной группой (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние сульфата меди (II) на накопление ионов меди в гемолимфе *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* ( $M \pm m$ )

Группы	<i>Planorbarius corneus</i>	<i>Lymnaea stagnalis</i>
Контроль, (n=9)	0,64±0,05	0,89±0,03
CuSO <sub>4</sub> , 0,01 мг/дм <sup>3</sup> (n=9)	0,77±0,04	1,08±0,05*
CuSO <sub>4</sub> , 0,1 мг/дм <sup>3</sup> (n=9)	0,89±0,04*	1,30±0,04*
CuSO <sub>4</sub> , 1,0 мг/дм <sup>3</sup> (n=9)	1,26±0,08*	1,79±0,08*

Примечание: \* P<0,05 по сравнению с контрольной группой.

**Заключение.** Прибрежная зона водоемов и вода загрязнены ионами тяжелых металлов, что объясняется это тем, что во всех исследуемых нами городах промышленные предприятия используют воду в промышленных целях, осуществляют сброс сточных вод в реки и озера, прибрежные зоны которых мы исследовали. Моделирование водных систем, содержащих разные концентрации солей тяжелых металлов, позволяют определить концентрации ионов меди, железа, которые вызывают нарушение процесса метаболизма в организме легочных пресноводных моллюсков. Ионы меди (II) вызывают изменения метаболизма, проявляющиеся активацией процессов свободно-радикального окисления и снижением активности антиоксидантной системы. Ионы железа оказывают меньшее токсическое действие по сравнению с ионами меди. Более устойчивой к токсическому действию солей тяжелых металлов оказалась катушка роговая. Сравнительный анализ чувствительности и экотоксикологической значимости токсических эффектов, полученных в экспериментах, позволяет сделать вывод о целесообразности применения теста по изучению токсичности солей тяжёлых металлов на основе изменения ключевых показателей обмена веществ у *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* и использовать в практике тестирования отходов производства с целью оценки их степени опасности для окружающей среды.

## Список литературы

[1] Брень, Н.В. Биологический мониторинг и общие закономерности накопления тяжёлых металлов пресноводными донными беспозвоночными загрязнения водных экосистем тяжёлыми металлами / Н.В. Брень // Гидробиол. журн. – 2008. – Т. 44, № 2. – С. 96–115.

[2] Жерносек, А.К. Физико–химические методы анализа / А.К. Жерносек, И.С. Борисевич. – Витебск: УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2012. – 12 с.

© *Н.Н. Шелег, В.Н. Шапкина,  
В.С. Балаева, О.М. Балаева–Тихомирова, 2019*