



МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НА НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ *ACHATINA FULICA* АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРО- СОВ СТОЧНЫХ ВОД

КАМАРДИН

Николай Николаевич

ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский
центр экологической безопасности РАН, nik-kamardin@yandex.ru

ЛЮБИМЦЕВ

Василий Алексеевич

ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский
центр экологической безопасности РАН, lyubimtcev55@mail.ru

ХОЛОДКЕВИЧ

Сергей Викторович

ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский
центр экологической безопасности РАН, Kholodkevich@mail.ru

Ключевые слова:

тяжелые металлы
биотестирование
моллюски
сточные воды

Аннотация: Проведены лабораторные эксперименты с использованием ювенильных особей моллюска вида *Achatina fulica* как биоиндикаторов загрязнений воздушной среды. Показано, что опытные животные отстают в весе от контрольных при дыхании и кожном контакте с водными аэрозолями, приготовленными из не прошедших биологическую очистку городских сточных вод, а также с аэрозолями, приготовленными из двух растворов сульфата никеля в дистиллированной воде. С использованием атомно-абсорбционной спектрофотометрии установлено, что присутствующие в сточных водах такие ТМ, как Cd, Cu и Ni, накапливаются в пищеварительной железе моллюсков. В модельных опытах с двухнедельной экспозицией моллюсков в камере, периодически (2 часа подачи аэрозоля и 2 часа паузы) заполняемой аэрозолем, содержащим Ni в концентрации 30 и 50 мг/дм³, наблюдается накопление никеля в пищеварительной железе с концентрацией, превосходящей контрольную в 6 и 10 раз соответственно. При этом животные достоверно отстают в скорости набора веса от контрольной группы, содержавшейся в водной аэрозоли без никеля. Последующая недельная экспозиция этих моллюсков в водной аэрозоли, приготовленной из дистиллированной воды без сульфата никеля, приводит к снижению концентрации никеля в ткани пищеварительной железы. Продемонстрирована биодоступность ТМ из сточных вод и растворов никеля при дыхании водной аэрозолем и, возможно, при кожном контакте. При этом поступление токсиканта происходит, по-видимому, помимо приема пищи.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Д. М. Безматерных

Получена: 27 мая 2016 года

Подписана к печати: 14 декабря 2016 года

Введение

Накопление стойких загрязняющих веществ в окружающей среде, обусловленных развитием промышленности, металлургии, транспорта, применением сточных вод для орошения и шлама для строительства дорог, становится глобальной проблемой (Wharfe, 2004). При этом загрязнения почвы часто менее заметны, чем другие типы загрязнения, но их воздействие на наземные экосистемы и людей является длительным, а вследствие этого более тяжелым по последствиям (Alloway, 2012). Сила воздействия на биоту экосистемы присутствующих в среде загрязняющих веществ зависит от ряда физико-химических и биологических факторов, среди которых решающее значение имеет биодоступность токсикантов в ходе их накопления и миграции по пищевой цепи в экосистеме. В природной среде в непосредственной близости с водными объектами возможен воздушный путь загрязнения, связанный как с испарением летучих загрязнителей, так и формированием водных аэрозолей, содержащих в том числе и соли тяжелых металлов. Примером такого пути загрязнения почвы могут быть станции очистки канализационных стоков мегаполисов с большими отстойниками, которые выделяют в атмосферу аммиак и сероводород, а вода хозяйственно-бытовых сточных вод и после биологической очистки содержит тяжелые металлы (ТМ) в концентрациях, превосходящих предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей (ПДКРХ) (Рублевская, 2016). Установлено, что наземные брюхоногие реагируют на аммиак и сероводород (Kholodkevich et al., 2010), а также способны накапливать металлы непосредственно из почвы, независимо от приема пищи (Vaufleury, Pihan, 2002). Они являются надежными биоиндикаторами качества почв и используются в стандартизованных тестах на токсичность почвы (например, ISO-15952: 2006). Прямое попадание металлов из почвы происходит как при кожном контакте с субстратом, так и при проглатывании почвы вместе с пищей (Dallinger et al., 2001; Gomot et al., 2006). Известно, что характер накопления металлов зависит от их важности для выполнения известных физиологических функций. По этому признаку ТМ подразделяют на важные и неважные для нормальной жизнедеятельности животных, то есть

биогенные и небиогенные соответственно. Так, кадмий и свинец, для которых нет известных физиологических функций, относятся к небиогенным (Bryan, 1984; Coeurdassier et al., 2002), в то время как Zn, Cu, Fe и Mg, входящие в состав ферментов и дыхательных пигментов, – к биогенным (Wihte, Rainbow, 1985). Никель относится к числу микроэлементов, необходимых для нормального развития живых организмов. Известно, что никель принимает участие в ферментативных реакциях у животных и растений. Повышенное содержание никеля в почвах приводят к заболеваниям растений: изменению цвета листьев, плодов, а у животных – к замедлению роста и размножения и увеличению смертности (Scott-Fordsmand, 1997).

Настоящее исследование посвящено изучению возможности попадания металлов из водных аэрозолей и почвенных испарений через легочное дыхание и кожу в организм моллюсков. Попадая в организм, металлы могут накапливаться в мягких тканях брюхоногих, особенно в гепатопанкреасе (пищеварительной железе). Использование методов атомно-абсорбционной спектрофотометрии позволяет определять содержание ТМ в тканях независимо от характера их связи с органическими соединениями и устанавливать экспериментальным путем биодоступность некоторых ТМ в случае их попадания в организм воздушным путем.

Материалы

В экспериментах использовались ювенильные особи одного вида *Achatina fulica* и одного возраста, которых взвешивали перед экспериментом. Затем их помещали в отдельные камеры экспериментальной установки, где они содержались 2–3 недели при постоянной температуре 28 ± 0.3 °C и освещенности 12 д/12 н (12 часов свет/12 часов темнота). Моллюсков кормили регулярно салатом *ad libitum*. Контрольных и подвергавшихся воздействию загрязненных аэрозолей животных взвешивали через 1 или 2 недели воздействия водными аэрозолями, содержащими сульфат никеля или неочищенные сточные воды, а также после 1 недели воздействия аэрозолем без никеля и без сточных вод. На каждом этапе отбирали по 3–5 моллюсков из каждой группы для определения концентрации ТМ в тканях методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС). Кроме того, проводился подсчет выживших на каждом этапе особей в каждой

группе. Сточная вода отбиралась сразу после механической очистки в песколовке очистных сооружений и разбавлялась перед экспериментом дистиллированной водой в соотношении 1:1.

Методы

Экспериментальная установка. Для генерации модельных аэрозолей были использованы пьезоэлектрические увлажнители воздуха бытового назначения производства Швейцарии «Air-O-Swiss U7146» (рис. 1; 1–2). Пьезоэлектрическая мембрана прибора, управляемая 2 МГц генератором, создает механическую вибрацию, вызывающую кавитационное «вскипание» водного раствора при обычной комнатной температуре с выбросом в воздух мелкодисперсных частиц размером от 1 до 5 мкм. Имеющийся в конструкции микровентилятор создает поток воздуха, который подает

воздушно-водяную взвесь в экспериментальные камеры (рис. 1; 5–6). При этом наиболее крупные капли воды оседают на стенки трубок, не доходя до экспериментальных камер, представляющих собой пластиковые цилиндры одинакового объема в 3 литра (рис. 1; 5–6). Каждая камера имеет в основании слой стерильного песка 4–5 см толщиной (рис. 1; 7) и систему стока излишней воды, которая конденсируется из тумана (рис. 1; 8). Интенсивность увлажнения и его длительность (два часа через двухчасовой интервал), задаваемая с помощью реле времени, устанавливалась одинаковой для обеих камер. Время заполнения камеры туманом водного аэрозоля с момента включения увлажнителя составляло около 30 секунд, а концентрация в этом тумане частиц водного аэрозоля 1 мкм в диаметре – 150 мг/л.

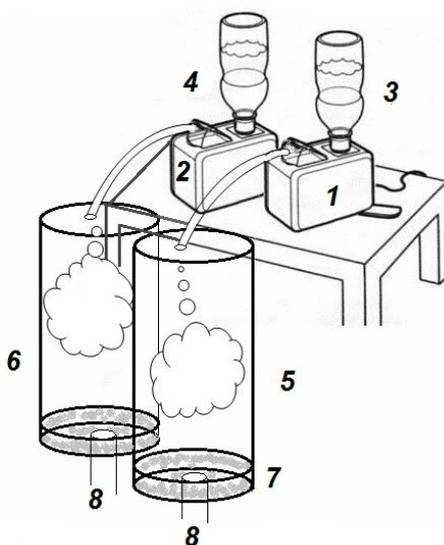


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования воздействия аэрозолей с ТМ и приготовленных из неочищенных стоков на ювенильных моллюсков: 1–2 – модифицированные ультразвуковые увлажнители; 3–4 – сосуды для контрольных и опытных жидкостей; 5–6 – экспериментальные камеры; 7 – слой песка; 8 – дренаж для экспериментальных камер

Fig. 1. The experimental setup for the study of the impact of untreated sewage and aerosols with TM prepared from untreated wastewater on juvenile mollusks. 1–2 – modified ultrasonic humidifiers; 3–4 – vessels for control and test fluids; 5–6 – experimental chambers; 7 – sand layer; 8 – drainage for the experimental chambers

Аналитические методы анализа. Концентрация ТМ в ткани пищеварительной железы улитки *Achatina fulica* была определена с использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» СПбГУ. Для этого выделенные органы криофиксирова-

ли при температуре -23°C в течение 2–3 недель. Затем размороженные и осушенные фильтровальной бумагой образцы тканей взвешивали на аналитических весах «ОНАУС Pioneer» PA214С с точностью до 0.1 мг. Взвешенные образцы помещали в мерные пробирки и добавляли 1 мл 70 %

HNO₃осч (ГОСТ 11123-84). Пробирки с образцами нагревали в сушильном шкафу до температуры 90 °С до полной минерализации. После остывания пробы доводили до 2 или 5 мл деминерализованной водой, полученной с помощью прибора «Millipore Milli-Q» А-10 производства «Merck» (Германия) с местом отбора «Q-POD». Измерение концентрации металла осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «SHINADZU A-7000» (Япония) с термоатомизатором и микродозатором проб. Перед измерением строилась калибровочная кривая с применением стандартов производства ОАО «Уральский завод химических реактивов». Результаты выражали в миллиграммах на килограмм влажного веса (мг/кг в. в.).

Статистическая обработка. Для последовательностей значений веса моллюсков вычисляли средние арифметические величины и их среднеквадратические отклонения (СКО) с помощью программного пакета «GraphPad Prism 5.0». Последовательности проверяли на соответствие нормальному распределению (тест на нормальность). Достоверность отличий средних определялась по критерию t для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$. Для значений концентраций ТМ вычислялись средние арифметические величины и их СКО. Различия между средними значениями концентраций до и после воздействия и во время отмывки проверялись на достоверность. За достоверные принимались различия средних по критерию t для независимых выборок, по критерию Вилкоксона и F -тесту Фишера при уровне значимости $p \leq 0.05$.

Результаты

Результаты. Наблюдения за моллюсками в экспериментальной установке показали, что воздействие аэрозоля, полу-

ченного из разбавленной в 2 раза сточной воды добавлением дистиллированной воды, не приводит к их гибели за двухнедельную экспозицию. При сравнении приведенных на рис. 2 и в табл. 1 (табл. 1, 2) величин видно, что при таком воздействии («Стоки») животные хуже набирают вес по сравнению с животными из контрольной группы («Контр. 1»), которые в течение того же времени подвергались воздействию аэрозоля, приготовленного из дистиллированной воды. Такое снижение веса у опытных животных, по сравнению с контрольными, за 2 недели эксперимента является достоверным только по непараметрическому критерию F Фишера. В то же время средний вес улиток из экспериментальной группы к этому моменту времени составлял только 74.5 % от среднего веса моллюска из контрольной группы. Во время отмывки с помощью аэрозоля из дистиллированной воды в течение 7 дней моллюски из экспериментальной группы («Отмыв»), подвергавшиеся воздействию, вновь стали набирать вес и почти догнали контрольных по весу (таб. 1, 4).

Как указывалось выше, сточные воды могут содержать ряд токсических веществ (например, ТМ). В случае попадания их в организм в составе водных аэрозолей они способны приводить к изменениям в обмене веществ и, как результат, к снижению веса. В нашем эксперименте было исследовано накопление ТМ в пищеварительной железе моллюска *Achatina fulica*. Обнаружено, что дыхание воздухом с водными аэрозолями, а также контакт поверхности тела моллюска с водными частицами неочищенных сточных вод приводит к достоверному накоплению Cd, Cu, Ni в гепатопанкреасе моллюсков по сравнению с контрольными, в которых также были обнаружены ТМ (табл. 2, рис. 3, 4, 5, 8).

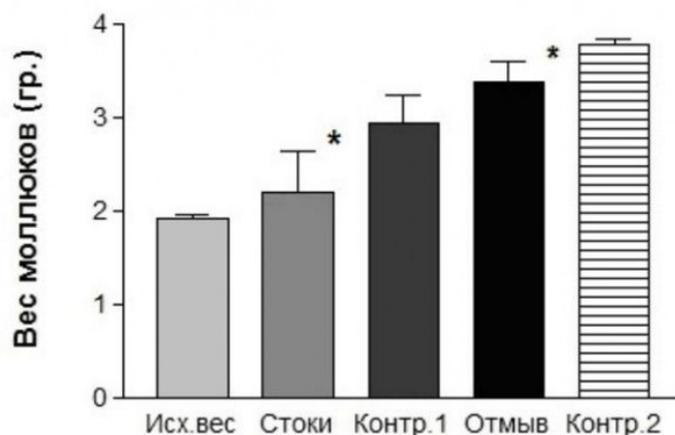


Рис. 2. Гистограмма изменения усредненного по группе веса моллюсков при воздействии загрязнителей из неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, и при последующей отмывке аэрозолем из дистиллированной воды (слева направо – от начала к концу эксперимента): «Исх. вес» – обе группы моллюсков до начала воздействия (за счет подбора отдельных моллюсков), был одинаков для экспериментальной и контрольной групп; «Стоки» – экспериментальная группа после 2 недель воздействия аэрозоля из сточной воды; «Контр. 1» – контрольная группа после 2 недель воздействия аэрозоля из дистиллированной воды; «Отмыв» – экспериментальная группа после дополнительной 1 недели воздействия аэрозоля из дистиллированной воды; «Контр. 2» – контрольная группа после 3 недель воздействия аэрозоля из дистиллированной воды. Вертикальные линии обозначают СКО величины веса. * – достоверность отличий средних по критерию t и F для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 2. Histogram of average mollusk weight change under the influence of aerosol from raw sewage in the experimental chamber and subsequent washing with aerosol from distilled water. Vertical lines indicate the SD of arithmetic mean weight. «Исх. вес» – both groups of mollusks before the beginning of treatment (due to selection of individual snails) was the same for experimental and control groups, «Стоки» – the experimental group after 2 weeks of exposure to an aerosol of waste water, «Контр. 1» – the control group after 2 weeks of exposure to aerosol from distilled water, «Отмыв» – the experimental group after the additional 1 week exposure to an aerosol of distilled water, «Контр. 2» – the control group after 3 weeks of exposure to an aerosol from distilled water. Vertical lines indicate the SD of arithmetic mean weight. * – probability of differences between values by t and F test for independent samples at a significance level $p \leq 0.05$

Таблица 1. Изменения веса моллюсков при воздействии неочищенных хозяйственно-бытовых стоков (1–5) и аэрозоля из раствора Ni 30 мг/дм³

№	Воздействия	Количество моллюсков	Вес моллюсков в гр. ± станд. ошибка	Случаи значимых ($p < 0.05$) отличий от контроля по критериям t и F
1	Исходный вес	8	1.96 ± 0.04	
2	Аэрозоль из хоз.-быт. стоков	5	2.19 ± 0.43	F
3	Контроль 1	5	2.94 ± 0.29	
4	Отмывка	3	3.34 ± 0.17	t и F
5	Контроль 2	3	3.78 ± 0.05	
А	Исходный вес	15	0.23 ± 0.01	
Б	Аэрозоль из р-ра Ni 30 мг/дм ³	3	0.185 ± 0.01	t и F
В	Вес моллюсков в контроле	6	0.30 ± 0.03	

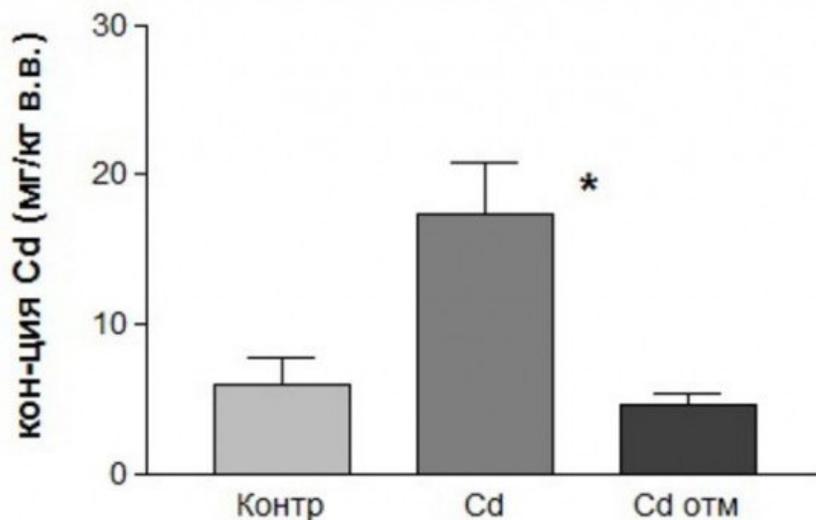


Рис. 3. Накопление кадмия тканью пищеварительной железы моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, – Cd. Результат последующей отмывки животных аэрозолем из дистиллированной воды – Cd_{отм}. Контр – содержание кадмия в контрольном образце. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 3. Accumulation of cadmium in the digestive gland of mollusks under the influence of aerosol prepared from untreated sewage and subsequent washing with the aerosol prepared from distilled water. * – probability of differences between values by *t* test for independent samples at a significance level $p \leq 0.05$.

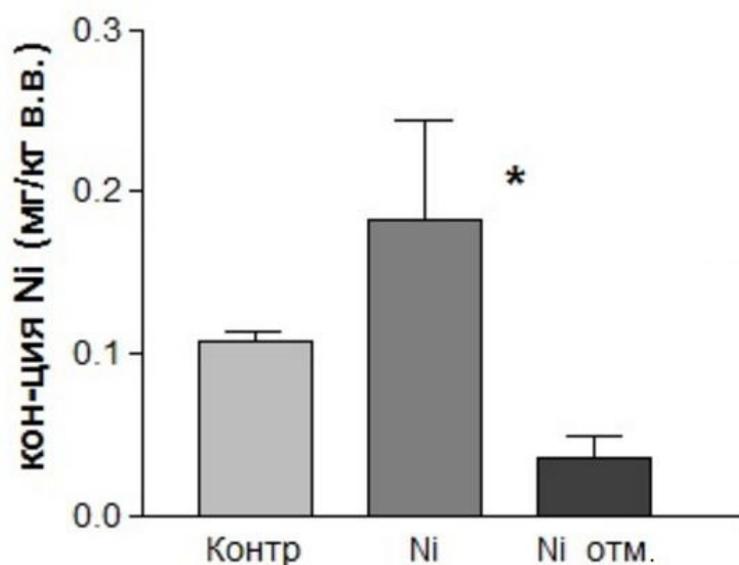


Рис. 4. Накопление никеля пищеварительной железой моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, – Ni. Результат последующей отмывки животных аэрозолем из дистиллированной воды – Ni_{отм}. Контр – содержание никеля в контрольном образце. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 4. Accumulation of Ni in the digestive gland of mollusks under the influence of aerosol prepared from untreated sewage and subsequent washing with the aerosol prepared from distilled water. * – probability of differences between values by *t* test for independent samples at a significance level $p \leq 0.05$

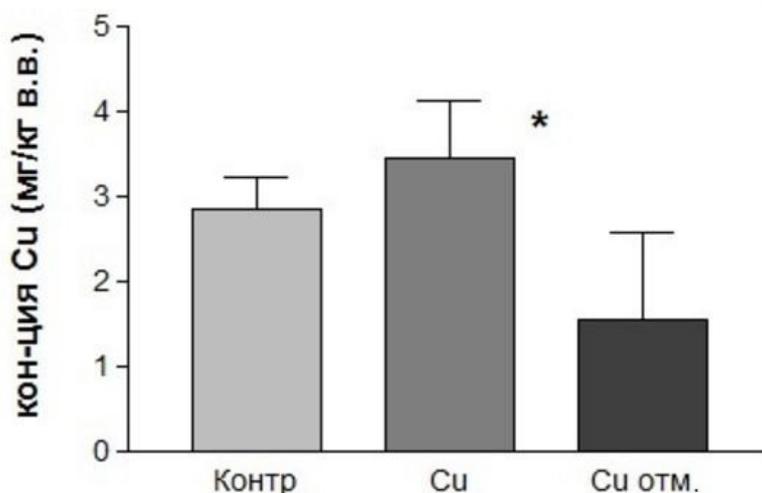


Рис. 5. Накопление меди пищеварительной железой моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, – Cu. Результат последующей отмывки животных аэрозолем из дистиллированной воды – Cu_{отм.} Контр – содержание меди в контрольном образце. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 5. Accumulations of Cu in the digestive gland of mollusks under the influence of aerosol prepared from untreated sewage and subsequent washing with the aerosol prepared from distilled water. * – probability of differences between values by *t* test at a significance level $p \leq 0.05$

Таблица 2. Накопление меди пищеварительной железой моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру

№	Воздействие аэрозоля из неочищенных хоз.-бытовых стоков и растворов Ni	Количество моллюсков	Концентрация ТМ в пищеварительной железе моллюсков, мг/кг в. в. ± станд. ошибка	Случаи значимых ($p < 0.05$) отличий от контроля по критериям <i>t</i> и <i>F</i>
Cd				
1	Контроль	6	5.97 ± 1.80	
2	Определение Cd	4	17.4 ± 3.43	<i>t</i>
3	Отмывка	6	3.34 ± 0.17	<i>t</i> и <i>F</i>
Ni				
1	Контроль	5	0.11 ± 0.01	
2	Определение Ni	10	0.18 ± 0.06	<i>F</i>
3	Отмывка	6	0.04 ± 0.01	<i>F</i>
Cu				
1	Контроль	6	2.25 ± 0.29	
2	Определение Cu	5	3.78 ± 0.40	<i>t</i>
3	Отмывка	5	1.55 ± 1.00	<i>t</i>
Аэрозоль из 30 и 50 мг/дм³ Ni				
1	Контроль	6	0.63 ± 0.10	
2	Определение Ni ₃₀	3	3.50 ± 0.50	<i>t</i> и <i>F</i>
3	Определение Ni ₅₀	3	6.65 ± 0.35	<i>t</i> и <i>F</i>
4	Отмывка	4	2.93 ± 0.13	<i>t</i> и <i>F</i>

При этом, по сравнению с концентрацией ТМ в неочищенных биологически сточных водах, накопление Cd, Ni и Cu в гепатопанкреасе моллюсков происходит по-разному. Для Cd оно примерно в 64 раза, для Cu примерно в 170, а для Ni – в 36 раз больше фоновой. Медь является биогенным, важным для жизнедеятельности моллюсков металлом. Вследствие этого его концентрация в пищеварительной железе превосходит остальные исследованные металлы. В то же время внутритканевая концентрация Cd и Ni превосходит в десятки раз значения ПДК для воды объектов рыбохозяйственного назначения (ГОСТ 27065-86). Этот факт может объяснить снижение скорости роста у животных, дышащих воздухом с аэрозолями, приготовленными из неочищенной сточной воды.

Ранее в подобном эксперименте были показаны реакции кардиосистемы *Achatina fulica* на аэрозоли, содержащие Cu, Cd (Kamardin et al., 2013). Гепатопанкреас считается органом, ответственным за накопление и детоксикацию ТМ, в частности металлотионеинами (Dallinger et al., 2001). ТМ не единственные токсические вещества в стоках. Опасными являются также фенолы, фосфор фосфатов, ПАВ и нефтепродукты, которые могут тормозить рост моллюсков.

Для уточнения класса токсических веществ мы провели эксперименты с измерением скорости роста моллюсков, дышащих воздухом с аэрозолями, приготовленными из растворов с концентрацией в 30 и 50 мг/дм³ NiSO₄, что ниже ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) для валового содержания Ni в почве (ГОСТ № 6229-91). Двухнедельное пребывание моллюсков в экспериментальной установке привело к частичной гибели как контрольных, так и экспериментальных животных. При этом животные, подвергавшиеся воздействию Ni, погибали в большем количестве, чем контрольные. Так, опытных животных осталось 30.4 %, а контрольных – 87.0 %. Выжившие экспериментальные моллюски достоверно отстают в весе от контрольных при дыхании и кожном контакте с аэрозолем, приготовленной из раствора Ni (30 мг/дм³) (рис. 6). Повышение концентрации Ni до 50 мг/дм³ подтверждает обнаруженный факт. Гибели экспериментальных животных и снижению их веса, возможно, способствовало нарушение питания, о котором можно судить по остаткам салата, собранного в экспериментальной установке. Одинаковые листья салата через двое суток оказались полностью съеденными у контрольных животных и почти нетронутыми в экспериментальной камере (рис. 7).

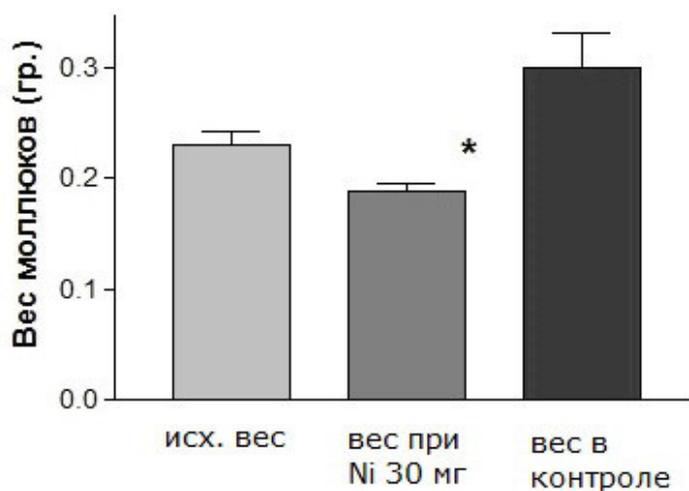


Рис. 6. Изменения веса моллюсков при воздействии аэрозоля из раствора никеля (30 мг/дм³). Вертикальные линии обозначают СКО средней арифметической величины веса. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 6. changes in mollusks weight when they were exposed to Ni aerosol (30 mg/dm³). Vertical lines indicate the SD of arithmetic mean weight. * – probability of differences between values by *t* test at a significance level $p \leq 0.05$



Рис. 7. Фотография салата после двухдневного пребывания в контрольной (С) и экспериментальной (Ni) камерах

Fig. 7. Photo of lettuce after a two-day staying in the control (C) and experimental (Ni) chamber

В то же время атомно-абсорбционный спектрофотометрический анализ показал достоверное приращение внутритканевой концентрации Ni в пищеварительной железе при двухнедельной экспозиции животных в аэрозоли, приготовленной из раствора Ni (30 мг/дм^3), почти в 6 раз, а из раствора Ni (50 мг/дм^3) – в 10 раз.

Обнаруженные факты иллюстрируют биодоступность никеля при поступлении из водной аэрозоли и, возможно, при кожном контакте. При этом поглощение токсиканта непосредственно из почвы и воздуха происходит независимо от приема пищи. Моллюски, которые перестали питаться, продолжали интенсивно накапливать ТМ, в частности Ni, в пищеварительной железе. Замена в увлажнителе раствора NiSO_4 на деминерализованную воду приводит на 7-е сутки к достоверному снижению концентрации никеля в пищеварительной железе (см. рис. 8).

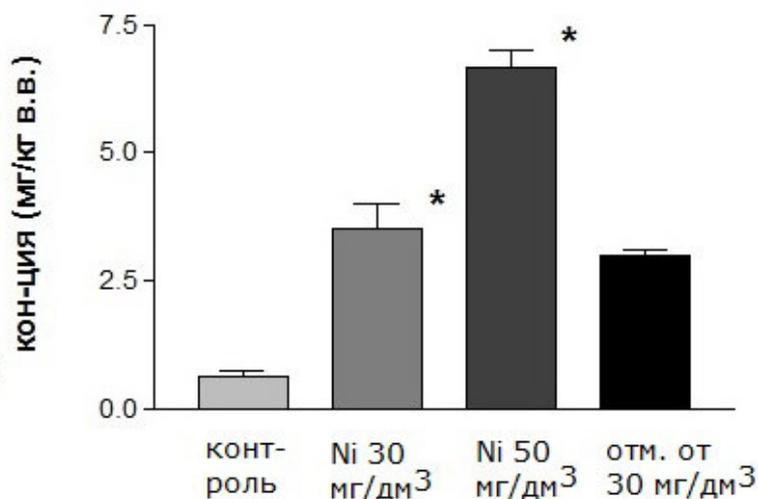
Заключение

В экспериментах использованы ювенильные особи моллюска вида *Achatina fulica* как биоиндикатора загрязнений почвы и воздушной среды. Показано, что опытные животные достоверно отстают в весе от контрольных при дыхании и кожном контакте с аэрозолями, приготовлен-

ными из сточных вод, сбрасываемых в водоем-приемник, и аэрозолями, содержащими Ni в двух концентрациях. По результатам атомно-абсорбционной спектрофотометрии тяжелые металлы, в частности Cd, Cu, Ni, из сточных вод накапливаются в пищеварительной железе моллюсков.

Двухнедельная экспозиция моллюсков в камере, периодически заполняемой аэрозолем, содержащим Ni в концентрации 30 и 50 мг/дм^3 , приводит к накоплению никеля в пищеварительной железе в концентрации, превосходящей исходную в 6 и 10 раз соответственно. Экспериментальные животные достоверно отстают в весе от контрольных. Недельная экспозиция моллюсков в водной аэрозоли, приготовленной из дистиллированной воды (отмывка), снижает концентрацию никеля в пищеварительной железе. Это указывает на существование у моллюсков мощной системы детоксикации и вывода металлов из организма, что, по-видимому, и позволяет им выживать вблизи загрязненных территорий.

Таким образом, продемонстрирована биодоступность ТМ из сточных вод, никеля из водной аэрозоли при дыхании и, возможно, при кожном контакте. При этом поступление токсиканта происходит, очевидно, независимо от приема пищи.



Накопление никеля пищеварительной железой моллюсков при воздействии Ni 30 и 50 мг/дм³, поступающем в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, и последующей отмывки аэрозолем из дистиллированной воды. * – достоверность отличий средних по критерию *t* и *F* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 8. Accumulation of Ni in the digestive gland of mollusks under the influence of Ni 30 and 50 mg/dm³ aerosol rendered into the experimental chamber and subsequent washing with the aerosol from distilled water. * – probability of differences between values by *t* and *F* test at a significance level $p \leq 0.05$

Библиография

- Рублевская О. Н. Оценка влияния хозяйственно-бытовых стоков на качество сточных вод в системе водоотведения // Сборник материалов XVII Международного экологического форума «День Балтийского моря». СПб., 2016. С. 78–79.
- Alloway B. J. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Dordrecht: Springer, 2012. 613 p.
- Bryan G. W. Pollution due to heavy metals and its compounds // Marine Ecology. 1984. Vol. 5. P. 1289–1431.
- Coeurdassier M., Gomot D. V. A., Lovy C., Badot P. M. Is the cadmium uptake from soil important in bioaccumulation and toxic effects for snails? // Ecotox Environ Saf. 2002. Vol. 53. P. 425–431.
- Dallinger R., Berger B., Triebkorn-Köhler R., Köhler H. Soil biology and ecotoxicology // The Biology of Terrestrial Molluscs. G. M. Barker (ed.). Wallingford: CABI Publ., 2001. P. 489–525.
- Gomot A. V. D., Coeurdassier M., Pandard P., Scheifler R., Lovy C. et al. How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils // Environ Toxicol Chem. 2006. Vol. 25. P. 797–806.
- Scott-Fordsmand J. J. Toxicity of Nickel to Soil Organisms in Denmark // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 1997. Vol. 148. P. 1–48.
- Kamardin N. N., Lyubimtsev V. A., Kholodkevich S. V. On the possibility to use pulmonary mollusks for bioindication of the marine aerosol toxicity // 20th International Conference of Environmental Indicators (ICEI 2013). Trier, 16–19 September. 2013, Germany. P. 53.
- Kholodkevich S. V., Kamardin N. N., Lyubimtsev V. A., Ivanov A. V., and Korniyenko E. L. Bioindication of Air Pollution Based on Biomarkers of the Cardiorespiratory System of the Mollusk *Achatina fulica* // Doklady Biological Sciences. 2010. Vol. 430. P. 54–56.
- Vaufleury A. G. D., Pihan F. Methods for toxicity assessment of contaminated soil by oral or dermal uptake in land snails: metal bioavailability and bioaccumulation // Environ Toxicol Chem. 2002. Vol. 21. P. 820–827.
- Wharfe J. Hazardous chemicals in complex mixtures – a role for direct toxicity assessment // Ecotoxicology. 2004. Vol. 13. P. 81–88.
- Wihte K. N., Rainbow P. S. On the metabolic requirements for copper and zinc in mollusks and crustaceans // Mar. Environ. Res. 1985. Vol. 16. P. 215–229.

Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» СПбГУ.

MODEL STUDIES OF THE EFFECT OF AEROSOL WASTEWATER EMISSIONS ON TERRESTRIAL MOLLUSKS *ACHATINA FULICA*

KAMARDIN
Nikolaj Nikolaevich
Institution of Russian Academy of Sciences St. Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS, nik-kamardin@yandex.ru

LYUBIMTSEV
Vasilij Alekseevich
Institution of Russian Academy of Sciences St. Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS, lyubimtcev55@mail.ru

KHOLODKEVICH
Sergej Viktorovich
Institution of Russian Academy of Sciences St. Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS, Kholodkevich@mail.ru

Key words:

heavy metals
bioassay
mollusks
wastewater

Summary: The laboratory experiments were carried on using the juvenile mollusk *Achatina fulica* as a bioindicator of soil contamination and air pollution. It is shown that when experimental animals breathed and had dermal contact with the aerosols prepared from the wastewater and those prepared from two solutions of Ni in distilled water at two concentrations they weighed significantly less than controls. According to the results of AAS, heavy metals (HM), in particular Cd, Cu, Ni of sewage accumulated in the digestive gland of the shell. In model experiments mollusks were contained in the chamber periodically (2 hours of input and 2 hours of pause) filled with aerosol containing Ni at concentrations of 30 and 50 mg / dm³ nickel for two weeks. It resulted in accumulation of Ni in the digestive gland of mollusks with concentrations 6 to 10 times exceeding controls, respectively. At that the experimental animals gained weight reliably slower than the controls contained in aquatic aerosol without Ni. The subsequent one week exposure of shells in aerosol, prepared from the distilled water without Ni reduced the concentration of nickel in the tissue of the digestive gland. Thus, bioavailability of HM and nickel solutions prepared from untreated wastewaters in breathing aerosol and possibly by skin contact was demonstrated. The toxicant delivery seems to occur apart from food intake.

Reviewer: D. M. Bezmaternykh

Received on: 27 May 2016

Published on: 14 December 2016

References

- Rublevskaya O. N. Assessing the impact of industrial and household waste water on the quality of waste water in the drainage system, Sbornik materialov XVII Mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma «Den' Baltijskogo morya». SPb., 2016. P. 78–79.
- Alloway B. J. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Dordrecht: Springer, 2012. 613 p.
- Bryan G. W. Pollution due to heavy metals and its compounds, Marine Ecology. 1984. Vol. 5. P. 1289–1431.
- Coeurdassier M., Gomot D. V. A., Lovy C., Badot P. M. Is the cadmium uptake from soil important in bioaccumulation and toxic effects for snails?, Ecotox Environ Saf. 2002. Vol. 53. P. 425–431.
- Dallinger R., Berger B., Triebkorn-Köhler R., Köhler H. Soil biology and ecotoxicology, The Biology of Terrestrial Molluscs. G. M. Barker (ed.). Wallingford: CABI Publ., 2001. P. 489–525.

- Gomot A. V. D., Coeurdassier M., Pandard P., Scheifler R., Lovy C. et al. How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils, *Environ Toxicol Chem.* 2006. Vol. 25. P. 797–806.
- Scott-Fordsmand J. J. Toxicity of Nickel to Soil Organisms in Denmark, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* 1997. Vol. 148. P. 1–48.
- Kamardin N. N., Lyubimtsev V. A., Kholodkevich S. V. On the possibility to use pulmonary mollusks for bioindication of the marine aerosol toxicity, 20th International Conference of Environmental Indicators (ICEI 2013). Trier, 16–19 September. 2013, Germany. R. 53.
- Kholodkevich S. V., Kamardin N. N., Lyubimtsev V. A., Ivanov A. V., and Korniyenko E. L. Bioindication of Air Pollution Based on Biomarkers of the Cardiorespiratory System of the Mollusk *Achatina fulica*, *Doklady Biological Sciences.* 2010. Vol. 430. P. 54–56.
- Vaufleury A. G. D., Pihan F. Methods for toxicity assessment of contaminated soil by oral or dermal uptake in land snails: metal bioavailability and bioaccumulation, *Environ Toxicol Chem.* 2002. Vol. 21. P. 820–827.
- Wharfe J. Hazardous chemicals in complex mixtures – a role for direct toxicity assessment, *Ecotoxicology.* 2004. Vol. 13. P. 81–88.
- Wihte K. N., Rainbow P. S. On the metabolic requirements for copper and zinc in mollusks and crustaceans, *Mar. Environ. Res.* 1985. Vol. 16. P. 215–229.