

ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.6

ВЛИЯНИЕ ДОННЫХ ГРУНТОВ
НА ТОКСИЧНОСТЬ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

О.Ф. Филенко, М.В. Медянкина

(кафедра гидробиологии; e-mail: mediankina@mail.ru)

Присутствие донных грунтов ослабляло токсичность неорганических (бихромат калия и хлорид меди) и органического (сульфат имазалила) токсикантов для ракообразных *Daphnia magna*. Эффект бихромата калия на выживаемость и плодовитость рачков в наибольшей степени ослаблялся в присутствии ила и суглинки, имевших относительно высокое содержание глинистой фракции и органического вещества. Токсичность хлорида меди снижалась как в присутствии ила и суглинки, так и при наличии супеси, имевшей более низкое содержание глинистой фракции и органического вещества. Супесь активнее других грунтов ослабляла действие сульфата имазалила на выживаемость рачков.

Ключевые слова: донные грунты, *Daphnia magna*, токсичность загрязняющих веществ.

Донные осадки, образующиеся в результате седиментации взвешенного в воде материала и его взаимодействия с водной фазой, играют значительную роль в формировании гидрохимического режима водоемов. Основная масса загрязняющих веществ, поступающих в водоемы, адсорбируется на минеральных и органических частицах, оседает на дно и накапливается в донных осадках [1, 2], причем основными накопителями загрязняющих веществ являются илистые фракции [3].

Аккумулирующая способность донных осадков в значительной степени зависит от размеров входящих в их состав частиц и содержания в них органического вещества [4, 5]. Тем не менее в отдельных работах отмечается, что и песчаный грунт с невысоким содержанием органического вещества в некоторых случаях может снижать концентрацию токсичных органических веществ в воде [6].

Накопление загрязнителей в донных осадках приводит к их поглощению бентосными организмами и дальнейшей передаче по трофическим цепям [7]. Переход потенциально токсичных веществ между водой и донными осадками служит важным механизмом регулирования их содержания в водной толще, влияющим на качество воды и на токсичность водной среды для гидробионтов [8].

Однако количественные оценки роли грунтов разного состава в переносе и балансе загрязняющих веществ встречают сложности вследствие различной связывающей активности грунтов. До настоящего времени не существует нормативов содержания загрязняющих веществ в донных отложениях, роль донных отложений никак не учитывается при разработке эколого-рыбохозяйственных ПДК, хотя попытки установить методические основы норми-

рования загрязнения донных осадков неоднократно предпринимались [9–13].

В связи с этим задача данной работы — оценка влияния донных отложений разного состава и происхождения на токсичность неорганических (бихромат калия и хлорид меди) и органического (сульфат имазалила) веществ для планктонного рачка *Daphnia magna*.

Материалы и методы

Содержание тест-объектов и испытания проводили в соответствии с методическими рекомендациями [14].

В качестве тест-объектов использовали планктонных рачков *D. magna* из лабораторной культуры, кормом для которых служила хлорелла.

Исследовали токсическое действие бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$), хлорида меди ($CuCl_2$) и фунгицида сульфата имазалила. Структурная формула сульфата имазалила представлена на рис. 1.

Испытания с рачками проводили в стеклянных стаканах объемом 300 мл, куда помещали по 7 рачков в возрасте до 24 ч. Замену растворов проводили через 2 сут. Оценивали действие растворов сульфата имазалила в концентрациях 0,5, 1,0 и 2,0 мг/л, бихромата калия (в пересчете на хром) 0,3, 0,5 и 0,7 мг/л, хлорида меди (в пересчете на медь) 0,05 и 0,1 мг/л.

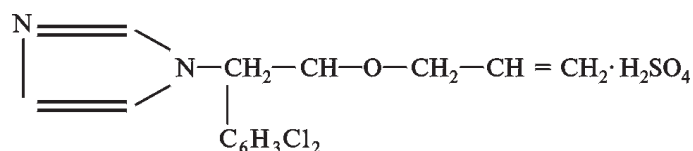


Рис. 1. Структурная формула сульфата имазалила

В часть стаканов с рачками вносили слой грунта толщиной 1 см одного из четырех типов. В качестве грунта служил отмытый кварцевый песок (“песок”), ил, извлеченный из аквариумного фильтра (“ил”), пылеватый тяжелый суглинок и супесь тяжелая. Двум последним грунтам названия были присвоены в соответствии с классификацией на основании данных гранулометрического анализа по классификации В.В. Охотина [15].

Регулярно учитывали выживаемость рачков и затем, после наступления половозрелости, количество и выживаемость молоди. Для половозрелых особей показателем гибели служило полное прекращение движения, а показателем гибели эмбрионов — выброс мертвых зародышей из выводковой камеры самок.

Статистическая обработка результатов экспериментов проводилась с использованием программы STATISTICA 6.0. и Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

При анализе состояния дафний в качестве показателя состояния выборки использовали предлагаемый нами показатель “повременная выживаемость”, которая может быть выражена через площадь, ограниченную осями координат (времени и численности особей), и кривой динамики численности особей в выборке. Размерностью такого показателя служит произведение числа живых рачков на сутки наблюдения (“особи — дни”). Такой показатель может быть назван “повременной выживаемостью” (ПВ). Этот показатель характеризует жизнестойкость выборки и отражает вероятность выживания членов популяции при экстремальных воздействиях. Показатель ПВ может быть использован для токсиметрических оценок даже в том случае, если не удастся по каким-либо причинам установить такие традиционные показатели, как ЛК₅₀.

Для сравнений ПВ выборок в разных условиях исследования

были сопоставлены величины площадей в опыте и в соответствующем контроле в каждой из серий, а результат выражали как в долях единицы, так и в процентах. При этом важно, чтобы срок наблюдения в обеих выборках был одинаковым. Таким образом находили “отношение повременных вы-

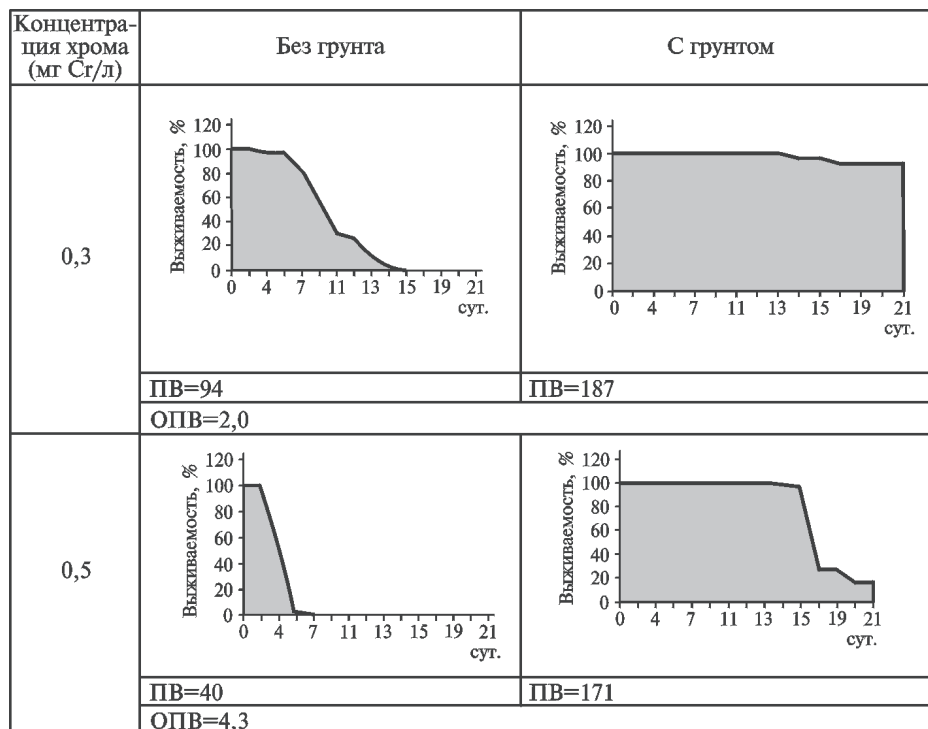


Рис. 2. Влияние ила на токсичность бихромата калия для дафний

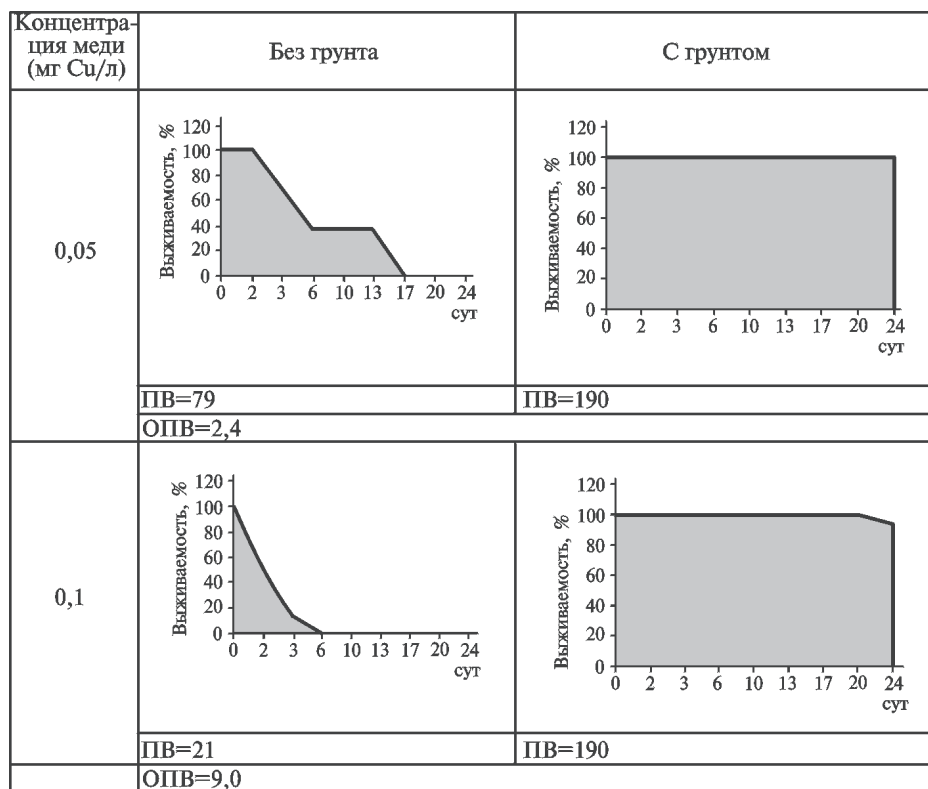


Рис. 3. Влияние ила на токсичность хлорида меди для дафний

живаемостей” (ОПВ). Ниже показаны результаты определения ПВ при действии бихромата калия (рис. 2) и хлорида меди (рис. 3) в разных концентрациях без грунта и в присутствии ила, а также вычисление ОПВ для каждой концентрации.

В отсутствие грунтов все концентрации хрома были абсолютно-летальными. При концентрации 0,3 мг Сг/л без грунта гибель рачков завершилась к 15 сут, однако в присутствии ила гибель рачков была несущественной. При концентрациях 0,5 мг Сг/л в присутствии ила все рачки жили в течение 15 сут, однако затем выживаемость резко снижалась.

В отсутствие грунтов все концентрации меди были также абсолютно-летальными. При концентрации 0,05 мг Си/л без грунта рачки погибали к 17 сут, в присутствии ила гибели рачков к окончанию эксперимента не происходило. При концентрациях 0,1 мг Си/л в присутствии ила выживаемость рачков к концу опыта составляла 95%.

В таблице приведены значения ПВ при наличии и отсутствии грунтов и соответствующие ОПВ.

В присутствии песка и супеси токсичность хрома менялась мало. Причем при увеличении концентрации хрома защитный эффект песка снижался. Эффект ила и суглинка на токсичность был более выраженным и с увеличением концентрации повышался. При одинаковых концентрациях хрома значения ОПВ в присутствии ила и суглинка были близкими. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что связывающая активность песка и супеси по отношению к бихромат-иону невысока, и с повышением концентрации бихромата быстро достигается предел связывающего потенциала грунтов. Ил и суглинок способны более активно связывать хром, и концентрация 0,7 мг Сг/л не исче-

пывает их адсорбирующей емкости. Возможно, что основную роль в связывании хрома играет органическая часть грунта.

На токсичность сульфата имазалила до концентрации 1 мг/л влияла только супесь. Защитное действие остальных грунтов практически не проявлялось. При концентрации сульфата имазалила 2 мг/л ОПВ в присутствии супеси составило 2,3, а суглинка и ила — 1,4 и 1,6 соответственно. Проявление защитного эффекта ила и суглинка при повышенной концентрации может свидетельствовать о том, что для образования комплекса имазалила с компонентами грунта необходимо достижение определенного концентрационного порога токсиканта, однако содержание органической фракции не имело существенного значения при связывании сульфата имазалила.

Все исследованные грунты, за исключением песка, существенно снижали токсичность меди для рачков. При концентрации меди 0,05 мг/л в присутствии песка дафнии гибли к 15-м сут, при концентрации 0,1 мг/л, также в присутствии песка, 100%-я гибель рачков происходила уже к 5-м сут. Это свидетельствует о том, что песок обладает слабой сорбционной способностью по отношению к ионам меди, и чем выше концентрация меди в растворе, тем быстрее наступает насыщение.

Влияние грунтов на токсичность проявлялось и по эффекту на плодовитость рачков. Сами грунты на плодовитость практически не влияли. Так, если в контроле без грунта на 1 самку приходилось 42,4 молодых особей, то в присутствии ила их число составило 44,2.

При действии бихромата калия без грунтов молодые особи вплоть до окончания опыта вообще не рождались. В присутствии грунтов размножение

Величины ПВ в присутствии и отсутствии грунтов и ОПВ при действии бихромата калия, сульфата имазалила и хлорида меди

Тип грунта	Бихромат калия				Сульфат имазалила				Хлорид меди			
	Концентрация, мг Сг/л	ПВ без грунта	ПВ с грунтом	ОПВ	Концентрация, мг/л	ПВ без грунта	ПВ с грунтом	ОПВ	Концентрация, мг Си/л	ПВ без грунта	ПВ с грунтом	ОПВ
Песок	0,3	65 ± 9	104 ± 15	1,6	1,0	110 ± 20	118 ± 27	1,1	0,05	24 ± 4	98 ± 10	4,1
	0,5	62 ± 7	74 ± 10	1,2					0,1	19 ± 2	35	1,8
Ил	0,3	94 ± 10	187 ± 3	2,0	0,5	173 ± 16	182 ± 8	1,0	0,05	79 ± 58	190	2,4
	0,5	40 ± 10	171 ± 4,5	4,3	1,0	139 ± 11	150 ± 17	1,1	0,1	21 ± 2	190	9,0
					2,0	52 ± 7	83 ± 4,5	1,6				
Суглинок	0,3	83 ± 10	158 ± 3	1,9	0,5	154 ± 21	174 ± 21,5	1,1	0,05	52 ± 6	190	3,7
	0,5	21 ± 4	95 ± 18	4,5	1,0	137 ± 9	155 ± 10	1,1	0,1	11 ± 1	186 ± 7	17,0
	0,7	13 ± 7	78 ± 2	6,0	2,0	28 ± 7	40 ± 16	1,4				
Супесь	0,3	83 ± 10	85 ± 11	1,0	0,5	179 ± 2	190	1,1	0,05	130 ± 15	182 ± 8	1,4
	0,5	21 ± 4	23 ± 7	1,1	1,0	117 ± 24	189 ± 2	1,6	0,1	22 ± 7	186 ± 8	8,5
	0,7	13 ± 7	14 ± 8	1,1	2,0	37 ± 8	84 ± 25	2,3				

происходило даже активнее, чем в контроле, однако по мере увеличения концентрации число молодых особей снижалось. Так, в присутствии ила количество молодых дафний снижалось с 57,5 на самку при концентрации 0,3 мг Сг/л до 33,04 на самку при концентрации 0,5 мг Сг/л. Мертвых эмбрионов во всех опытах с бихроматом калия отмечено не было. Помимо ила защитный эффект на показатель плодовитости оказал также суглинок.

Сульфат имазалила в основном вызывал гибель эмбрионов, в связи с чем количество молодых рачков при концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л было низким, особенно в отсутствие грунта. Так, при концентрации сульфата имазалила 0,5 мг/л и отсутствии грунта на одну самку приходилось 5,7 молодых рачков, в присутствии ила — 20,7. Активнее всего от действия сульфата имазалила на плодовитость дафний защищал ил. В концентрациях 2,0 мг/л как при наличии, так и при отсутствии грунта молодь (живая или мертвая) и погибшие эмбрионы не обнаружены.

Присутствие хлорида меди в растворе приводило к тому, что молодых рачков вообще не было в концентрации 0,1 мг Сu/л, а в концентрации 0,05 мг Сu/л рождаемость была незначительной, причем отмечены и мертвые эмбрионы. Добавление грунтов, за исключением песка, приводило к тому, что показатели размножения рачков в растворах меди не отличались от показателей в контроле без токсиканта. Песок практически не влиял на токсичность по этому показателю.

Эффект ослабления токсичности в присутствии донных осадков кажется явлением закономерным, однако наши опыты свидетельствуют о том, что в значительной степени это ослабление зависит от гранулометрического состава грунта, содержания органического вещества, природы загрязняющего вещества, его концентрации. В конечном счете токсичность определяется биодоступностью вещества, которая меняется в связи с переходом токсиканта в грунт или с изменением формы вещества в водной толще. В растворе бихромата калия хром, как наиболее ядовитый элемент, входит в состав бихромат-иона, имеющего отрицательный заряд, имазалил и медь присутствуют в растворе в виде катионов. Анион и катионы могут иметь разное средство к

компонентам грунтов, чем и определяется различное влияние грунтов на их токсичность.

Абсорбционная емкость грунтов различна и различны характеристики сродства загрязнителей к компонентам грунтов даже при наличии защитного эффекта. Так, снижение защитного действия песка от токсичности хрома и меди с повышением концентрации может свидетельствовать о насыщении связывающих центров в песке. С другой стороны, защитное действие ила и суглинка от сульфата имазалила проявлялось только при наибольшей концентрации токсиканта (ОПВ = 1,4—1,6). Причина этого может заключаться не только в резком возрастании токсичности вещества при этой концентрации в отсутствие грунта, но и в необходимости достижения определенной концентрации токсиканта для смещения равновесия в сторону его связывания компонентами грунтов.

Заключение

1. При оценках токсического эффекта на тест-объекты наряду с традиционными показателями эффекта может быть использован и такой новый показатель, как повременная выживаемость (ПВ), характеризующий жизнестойкость выборки и отражающий вероятность выживания популяции при экстремальном воздействии. В частности, этот показатель оказался информативным при оценках роли донных грунтов в изменении токсичности неорганических (бихромат калия и хлорид меди) и органического (сульфат имазалила) токсикантов при испытаниях на ракообразных *D. magna*.

2. Присутствие донных грунтов изменяло биодоступность токсикантов, ослабляя их эффект. Эффект бихромата калия на выживаемость и плодовитость рачков в наибольшей степени ослаблялся в присутствии ила и суглинка, имевших относительно высокое содержание глинистой фракции и органического вещества. Токсичность хлорида меди снижалась как в присутствии ила и суглинка, так и при наличии супеси, имевшей более низкое содержание глинистой фракции и органического вещества. Супесь активнее других грунтов ослабляла действие сульфата имазалила на выживаемость рачков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербань Э.П. Экспериментальная оценка токсичности дунайской воды для *Daphnia magna* Straus // Гидробиол. журн. 1982. Т. 18. № 2. С. 82—87.
2. Нахшина Е.П. Тяжелые металлы в системе “вода—донные отложения” водоемов (обзор) // Гидробиол. журн. 1985. Т. 21. № 2. С. 80—90.
3. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. СПб., 1999.
4. Suedel B.C., Rogers J.H.Jr. Development of formulated reference sediments for use in freshwater and es-

tuarine tests // Environ. Toxicol. Chem. 1994. Vol. 13. P. 1163—1175.

5. Kemble N.E., Dwyer F.J., Ingersoll C.G. Tolerance of freshwater test organisms to formulated sediments for use as control materials in whole-sediment toxicity tests // Environ. Toxicol. and Chem. 1999. Vol. 18. N 2. P. 222—230.

6. Оксийук О.П., Плазий Е.П., Меленчук Г.В. Роль песчаного грунта в процессах самоочищения воды от органического вещества // Гидробиол. журн. 2004. Т. 40. № 1. С. 63—73.

7. Козловская В.Н., Герман А.В. Полихлорированные бифенилы и полиароматические углеводороды в экосистеме Рыбинского водохранилища // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 5. С. 563—569.

8. Томилина И.И., Комов В.Т. Донные отложения как объект токсикологических исследований (обзор) // Биология внутренних вод. 2002. № 2. С. 20—26.

9. Томилина И.И. Эколого-токсикологическая характеристика донных отложений водоемов северо-запада России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2000.

10. Дауэльтер В.А. Оценка экологического состояния поверхностных вод Европейской Субарктики по результатам исследования донных отложений // Тез. докл. VIII съезда Гидробиол. об-ва РАН. Т. 2. М., 2001. С. 121.

11. Михайлова Л.В. Разработка нормативов загрязняющих веществ в донных грунтах (на примере нефти) //

Тез. докл. VII Съезда гидробиол. об-ва РАН. Калининград, 2001. С. 152—153.

12. Временное методическое руководство по нормированию уровней содержания химических веществ в донных отложениях поверхностных водных объектов (на примере нефти). М., 2002.

13. Анохина О.К. Экологическое нормирование содержания загрязняющих веществ в донных отложениях Куйбышевского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Казань, 2004.

14. Методические указания по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / Под ред. О.Ф. Филленко, С.А. Соколовой. М., 1998.

15. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М., 1973.

Поступила в редакцию
25.12.07

INFLUENCE OF BOTTOM SEDIMENTS AT THE TOXICITY OF POLLUTANTS

O.F. Filenko, M.V. Mediankina

The bottom sediments decreased the toxicity of inorganic (sodium dichromate and copper chloride) and organic (imazalil sulphate) compounds for cladocera *Daphnia magna*. The effect of sodium dichromate at the survival and fecundity of crustaceans most of all was reduced by silt and loam, containing clay and high level of organic substances. The toxicity of copper chloride was decreased not only by silt and loam, but also by sandy loam with low content of clay and organics. The sandy loam was most effective in decreasing of imazalil's toxicity at the survival of crustaceans.

Key words: *bottom sediments, Daphnia magna, toxicity of pollutants.*

Сведения об авторах

Филенко Олег Федорович — докт. биол. наук, проф. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-43-69, e-mail: ofilenko@mail.ru

Медянкина Мария Владимировна — аспирантка кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-43-69; e-mail: mediankina@mail.ru