

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ПОЧВАХ И ЗЕМЛЯНЫХ ЧЕРВЯХ (OLIGOSCHAETA, LUMBRICIDAE) ВОРОНЕЖСКОГО ЗАПОВЕДНИКА*

Ю. Г. Удоденко¹, Т. А. Девятова¹, В. Т. Комов², О. В. Трегубов³, А. Н. Одинцов⁴

¹ Воронежский государственный университет

² Научно-исследовательский институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

³ Воронежская государственная лесотехническая академия

⁴ Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции

Аннотация. Установлены изменения содержания ртути в почвах и земляных червях под влиянием особенностей биотопов Воронежского заповедника. Максимальное среднее содержание металла зарегистрировано в червях, обитающих в дерново-лесных почвах бора (0.632 мг/кг). Меньшие концентрации ртути установлены для червей из серых лесных почв дубняков и осинников (0.326 мг/кг и 0.211 мг/кг соответственно) и пойменных лесных почвах ольшаников (0.248 мг/кг). Содержание ртути в организмах червей статистически значимо положительно коррелирует с содержанием металла в верхних горизонтах почв и отрицательно с содержанием металла в гумусово-аккумулятивных.

Ключевые слова: ртуть, лесные почвы, земляные черви, Воронежский биосферный заповедник.

Abstract. Changes of the content of mercury in soils and earthworms under the influence of features of biotopes of the Voronezh Reserve are established. The maximum average metal content registered in the worms that live in forest soils, pine forest (0.632 mg/kg). Lower concentrations of mercury are set for the worms from the gray forest soils of oak and aspen (0.326 mg/kg and 0.211 mg/kg, respectively), and floodplain forest soils in alder thickets (0.248 mg/kg). Mercury concentrations in worms were significantly positively correlated with the metal content of the upper soil horizons, and negatively with the metal content in the humus-accumulative.

Keywords: mercury, forest soils, earthworms, Voronezh State reserve.

ВВЕДЕНИЕ

Высокая миграционная активность ртути в атмосфере способствует поступлению металла в водные и наземные экосистемы в количествах, оказывающих негативное влияние на существование отдельных видов живых организмов [1, 2]. Особо охраняемые природные территории, изъятые из хозяйственного использования, в которых основным источником поступления ртути в экосистемы является атмосферный перенос, могут служить фоновыми объектами с концентрациями металла близкими к природным.

Ранее была установлена зависимость содержания ртути в органах и тканях насекомоядных млекопитающих от концентрации металла в почвах, в то время как для грызунов-фитофагов такая зависимость не установлена [3]. Эти результаты косвенно свидетельствуют о возможности поступления ртути в организм млекопитающих с пищей животного происхождения. В связи с чем, целью

наших исследований было определение концентрации ртути в поверхностных горизонтах почвы и обитающих в них земляных червях, составляющих значительную долю в спектре питания насекомоядных животных [4].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Сбор материала проводился в Воронежском заповеднике в 2010—2011 гг. В качестве объектов исследования послужили почвы, сформировавшиеся на его территории в различных лесорастительных условиях и земляные черви, обитающие в исследованных почвах. Отбор червей и образцов почв производился в четырех биотопах — ольшаник, бор, дубняк, осинник, расположенных на различных элементах рельефа заповедника. В бору и дубняке исследовалось по одному участку, расположенных на IV террасе р. Воронеж в элювиальных ландшафтах геохимической катены. В осиннике исследованы четыре участка, расположенные на II, III и IV террасах р. Воронеж, так же в элювиальных ландшафтах. В ольшанике исследовался один участок, расположенный в прирусловой части поймы р. Усмань, являющейся супераквальным геохимическим ландшафтом.

© Удоденко Ю. Г., Девятова Т. А., Комов В. Т., Трегубов О. В., Одинцов А. Н., 2012

* Работа выполнена при поддержке программы ОБН РАН «Биологические ресурсы»

На каждом участке проводилось взятие образцов почв из гумусово-аккумулятивного и дернового горизонта. Отбор земляных червей производился из верхних 20 см почвенного профиля. Отбирались только половозрелые особи с хорошо выраженным пояском. Всего было отобрано 54 особи. Определение видового состава червей нами не проводилось. Черви на сутки помещались в емкости с влажной фильтровальной бумагой, для того что бы их кишечник очистился от содержащейся почвы. После чего они доводились на воздухе до сухого состояния.

Подготовка почвы к анализу осуществлялась по общепринятым методикам [5]. Почвенные образцы были проанализированы в 3 повторностях на содержание органического углерода по Тюрину, без пересчета коэффициента на гумус. Тело червей перед анализом делилось на три части — передняя (от первого сегмента до конца пояска), средняя (половина от оставшейся части) и задняя. Определение содержания ртути во всех образцах проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрометре с зеемановской коррекцией для определения ртути в различных средах «РА-915+» с пиролитической приставкой «ПИРО-915+» (Люмэкс). Точность аналитических методов измерения контролировали с использованием сертифицированных образцов почв СДПС ГСО 2498-83-2500-83 (НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия) и сертифицированного биологического материала DROM-2 и

DOLT-2 (Институт химии окружающей среды, Оттава, Канада).

Математическая обработка результатов включала в себя вычисление средних арифметических содержаний ртути, коэффициента корреляции показывающего зависимость между содержанием ртути в почвах и теле червей. Все расчеты проводились по общепринятым формулам [6]. При статистической обработке результатов использовался пакет программ Statgraphics Plus 5.0

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В каждом из исследованных биотопов сформировались свои специфические типы почв, отличающиеся как по морфологическим признакам, так и по содержанию анализируемых элементов (углерода и ртути) (табл. 1). Для осинников характерны светло-серые лесные супесчаные почвы на четвертой террасе и дерновые лесные супесчаные почвы — на второй. Под дубовыми лесами сформировались серые лесные супесчаные почвы, в боррах — дерново-лесные песчаные. В прирусловой части поймы занятой ольшаником — пойменные лесные почвы.

Наиболее насыщенными органическим веществом являются пойменные лесные почвы ольшаников, отличающиеся от всех остальных наличием мощного торфяного горизонта. В серых лесных почвах осинников и дубняков данный показатель варьирует в пределах 0.74—3.85 %. В дерново-

Таблица 1

Содержание углерода и концентрации ртути в исследованных почвах

Биотоп	Почва	Квартал	Горизонт	C, %	Hg, мг/кг
Осинник	Светло-серая лесная супесчаная	529, II терраса р. Воронеж	A _д	2.72	0.044
			A	1.70	0.018
		4, IV терраса р. Воронеж	A	1.72	0.048
			396, IV терраса р. Воронеж	A _д	1.32
		369, III терраса р. Воронеж		A	0.74
				A _д	3.25
	A	3.85		0.026	
Дубняк	Серая лесная супесчаная	374, IV терраса р. Воронеж	A	1.60	0.037
Сосняк	Дерново-лесная песчаная	506, IV терраса р. Воронеж	A _д	1.86	0.104
			A	0.78	0.009
Ольшаник	Пойменная лесная	376, пойма р. Усмань	T	35.21	0.045

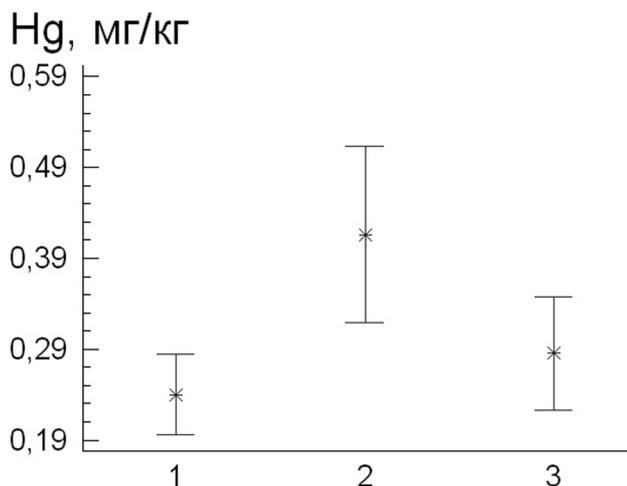


Рис. 1. Распределение ртути в частях тела червя: 1 — передняя часть, 2 — средняя часть, 3 — задняя часть

лесных почвах сосняков содержание углерода в дерновом горизонте составляет 1.86 %, снижаясь в гумусово-аккумулятивном до 0.78 %.

Максимальные концентрации ртути отмечаются в верхних дерновых горизонтах или лесной подстилке всех почв элювиальных ландшафтов, достигая своего максимума в дерновом горизонте дерново-лесных почв боров. В гумусово-аккумулятивном горизонте всех представленных типов почв содержание металла падает, достигая минимальных значений в дерново-лесных почвах сосняков.

Установлено, что ртуть в теле червей распределена неравномерно (рис. 1). Минимальные концентрации отмечены в передней части тела (0.240 ± 0.002) (рис. 2). Большие концентрации установлены для заднего конца тела (0.286 ± 0.03). Максимальное содержание зарегистрировано в центральной части тела дождевых червей (0.416 ± 0.05). Разница в концентрациях ртути в различных частях тела червей является статистически достоверной.

Длина тела всех червей варьировала в диапазоне 4—14 см, а средняя величина составила 6,1 см. Статистически достоверной зависимости между длиной червя и концентрацией ртути в теле не установлено.

Концентрация ртути в теле дождевых червей различна для червей из разных биотопов. Максимальное среднее содержание металла зарегистрировано в червях, обитающих в дерново-лесных почвах бора (0.632 мг/кг). Меньшие концентрации ртути установлены для червей из серых лесных почв дубняков и осинников (0.326 мг/кг и

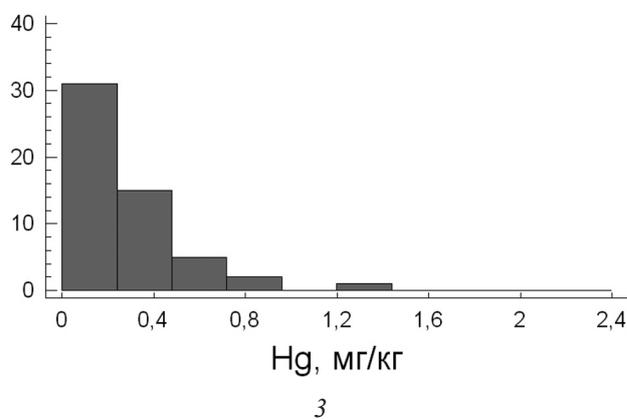
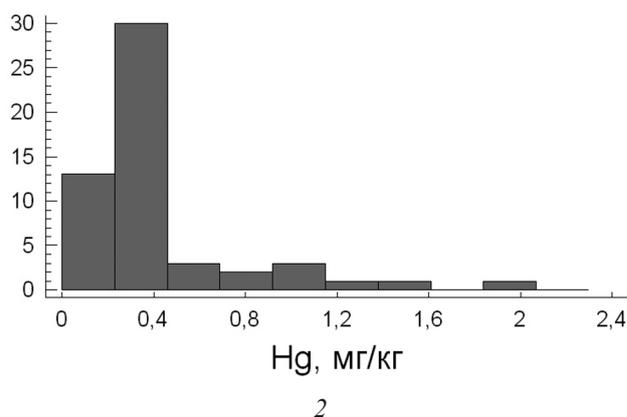
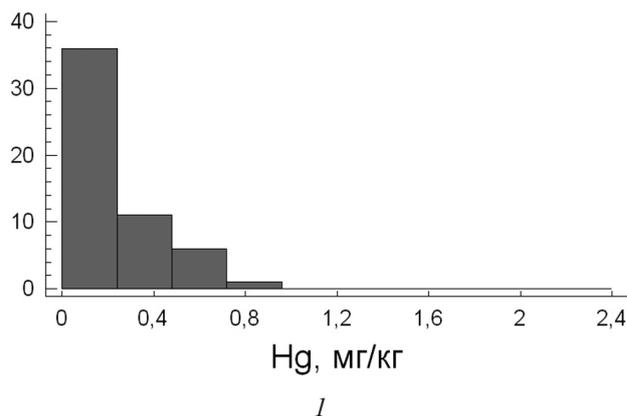


Рис. 2. Частотное распределение содержания ртути в разных частях тела червей: 1 — передняя, 2 — средняя, 3 — задняя

0.211 мг/кг соответственно) и пойменных лесных почвах ольшаников (0.248 мг/кг).

Концентрации ртути в червях хорошо коррелировали с содержанием ртути в поверхностных горизонтах почв, которые включали либо дерновый горизонт, либо расположенный на поверхности гумусово-аккумулятивный, в случае отсутствия дернового (табл. 2). Наиболее сильные статистически достоверные положительные связи были зарегистрированы по результатам содержания

Статистические параметры связи концентраций ртути в теле червей с ее содержанием в горизонтах почв (r — коэффициент корреляции; R^2 — коэффициент детерминации, %; p — уровень значимости; n — объем выборки)

Показатель	Статистические параметры	Часть тела червя		
		Передняя	Средняя	Задняя
Hg в поверхностном горизонте, мг/кг	r	0.65	0.53	0.45
	R^2	42.79	28.26	26.16
	p	0.00	0.00	0.00
	n	54	54	54
Hg в гумусово-аккумулятивном горизонте, мг/кг	r	-0.48	-0.39	-0.35
	R^2	23.51	15.17	12.23
	p	0.00	0.00	0.01
	n	54	54	54

ртути в передней части тела. В гумусово-аккумулятивных горизонтах, независимо от того являются ли они поверхностными или залегают под дерновыми горизонтами, зарегистрирована отрицательная статистически достоверная зависимость между содержанием в них ртути и концентрациями металла в организме червей. Наиболее значимая корреляция, как и в случае поверхностных горизонтов, наблюдалась по содержанию ртути в передней части тела червя.

Концентрации ртути во всех рассмотренных почвах выше установленного кларка для почв [7]. В наиболее насыщенных ртутью дерновых горизонтах почв, сформировавшихся в бору, ее содержание превышает кларк в 10 раз. В дерновых горизонтах почв других биотопов содержание металла превышает кларк в 3—5 раз. Повышенные по отношению к кларку почв концентрации ртути отмечались в гумусовых горизонтах серых лесных почв Западной Сибири и Забайкалья, где его превышение составляло 2—3 раза [8, 9]. В целом, во всех типах почв заповедника содержание ртути выше, чем в почвах этих регионов.

В почвах других заповедных территорий, где к настоящему времени проведены исследования, содержание ртути выше, чем в почвах Воронежского заповедника [10, 11]. Так концентрации металла в лесной подстилке подзолистых почв Центрально-лесного заповедника, расположенного на западе Тверской области достигают 0.395 мг/кг,

при средних значениях — 0.133 мг/кг. В почвах Хинганского, Комсомольского, Большехецирского заповедников, расположенных на Дальнем Востоке, средняя концентрация ртути составляет 0.16 мг/кг, с пределами 0.01—0.31 мг/кг. Такое различие в концентрациях ртути может быть объясняться разным составом органического вещества в почвах других типов и природных зон, либо более высоким поступлением ртути из атмосферы. Особенно атмосферное поступление ртути может способствовать увеличению ее концентраций в заповедниках Дальнего Востока, находящихся в непосредственной близости от стран азиатского региона, на долю которых приходится до 66 % всей поступающей в атмосферу ртути в результате антропогенных выбросов [12].

Средние концентрации ртути в теле червей в зоне до 5 км от источника промышленного загрязнения в Великобритании превышали отмеченные нами концентрации в несколько раз, составляя в 0.27—9.41 мг/кг [13]. При этом, минимальные содержания металла в них были близки к средним концентрациям ртути в червях заповедника. Однако, уже на удалении до 30 км от источника загрязнения концентрация ртути в червях снижались до 0.031—0.170 мг/кг, что меньше определенных нами значений. В лесных почвах Швейцарии средняя концентрация ртути в червях составляла 1.04 мг/кг и превышала установленные нами величины в 1,5—5 раз [14].

Ранее была установлена зависимость от видовой принадлежности червей и концентраций ртути в них, а так же от занимаемой ими экологической ниши [14, 15]. По этой причине может быть объяснена сильная вариабельность концентраций ртути в червях, обитающих в одном и том же биотопе.

Корреляции между концентрацией ртути в почвенных горизонтах и в дождевых червях обнаруживаются не всегда. В условиях лабораторного эксперимента статистически достоверных связей для червей рода *Eisenia* не наблюдалось [16]. В исследованиях, проведенных на территории Швейцарии, статистически достоверная зависимость выявлена только для вида *Lumbrica rubellus* [14]. Установленные в настоящем исследовании положительные корреляции между содержанием ртути в теле червей и верхнем горизонте почв и отрицательные корреляции с содержанием металла в гумусово-аккумулятивном могут свидетельствовать о том, что основная масса ртути поступает в организм червей из верхних горизонтов.

Отмеченное нами неравномерное распределение ртути в теле большинства червей ранее в литературе не упоминалось. Вероятно, повышенное содержание металла в середине тела и задней части по сравнению с передней частью, может быть объяснено наличием специфической кишечной микрофлоры, которая потенциально способна аккумулировать и метилировать ртуть [17]. В пользу этого предположения может служить тот факт, что содержание метилированной ртути по отношению к валовой в теле дождевых червей для разных видов варьирует от 3 до 13 %, в то время, как концентрация метилртути в почвах, где обитают эти черви, составляет до 2 % от общего содержания ртути [13, 14, 18].

ВЫВОДЫ

1. Содержание ртути в организмах земляных червей определяется типом биотопа.

2. Максимальное содержание ртути наблюдается в червях, обитающих в сосняке, характеризующимся повышенными концентрациями металла в верхних дерновых горизонтах почв по отношению почвам других биотопов. Пониженное содержание ртути в гумусово-аккумулятивных горизонтах может свидетельствовать о поступлении металла в организм червей преимущественно из лесной подстилки.

3. Установлена достоверная положительная корреляция содержания ртути в червях и лесной подстилке.

4. Ртуть в организме червей распределена не равномерно. Наименьшие концентрации металла наблюдаются в передней части тела червя (от первого сегмента до пояса). В средней и задней частях червей концентрация ртути выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dales L. G. The mercurotoxicity of alkylmercury compounds / L. G. Dales // Amer. J. Med. — 1972. — V.53. — №2 — P. 219—232.
2. Swain E. B. Socioeconomic Consequences of Mercury Use and Pollution / E. B. Swain [et al.] // Ambio. — 2007. — Vol. XXXVI, № 1. — P. 45—61.
3. Комов В. Т. Содержание ртути в почвах и мелких млекопитающих различных биотопов Воронежского заповедника / В. Т. Комов и [др.] // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. — М.: ГЕОХИ РАН, 2010. — С. 281—286.
4. Харченко Н. Н. Экологические типы и жизненные формы норных зверей Среднего Подонья: монография / Н. Н. Харченко. — М.: МГУЛ, 2003. — 202 с.
5. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Аринушкина Е. В. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — 487 с.
6. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. — М.: Книжный дом «Либроком», 2009. — 328 с.
7. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 238 с.
8. Байдина Н. Л. Содержание и формы ртути в почвах южной части западной Сибири / Н. Л. Байдина // Агрохимия. — 2001. — №11. — С. 59—63.
9. Иванов Г. М. Ртуть в гумусовых горизонтах почв Забайкалья / Г. М. Иванов, В. К. Кашин // Почвоведение. — 2010. — №1 — С. 30—36.
10. Малинина М. С. Водорастворимые соединения ртути в лесных почвах северной и южной тайги / М. С. Малинина, Н. С. Гладкова // Почвоведение. — 2000. — № 2. — С. 189—196.
11. Kot F. S. Mercury in the soils of the Middle Amur Lowland / F. S. Kot [et al.] // Agricultural Chemistry. — 1997. — Vol. 1, N 1. — P. 84—88.
12. UNEP Global Mercury Assessment. Geneva, Switzerland 2008.
13. Bull K. R. Mercury concentration in soil, grass, earthworms and small mammals near in industrial emission source / K. R. Bull [et al.] // Environmental Pollution. — 1977. — № 12. — P. 135—140.
14. Rieder S. Accumulation of mercury and methylmercury by mushrooms and earthworms from forest soils / S. Rieder [et al.] // Environmental Pollution. — 2011. — Vol. 159. — P. 2861—2869.
15. Ernst G. Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forestsoils / G. Ernst [et al.] // Environmental Pollution. — 2008. — № 156. — P. 1304—1313.

16. *Zagury G. J.* Mercury fractionation, bioavailability, and ecotoxicity in highly contaminated soils from chlor-alkali plants / G. J. Zagury [et al.] // *Environmental Toxicology and Chemistry*. — 2006. — № 25. — P. 1138—1147.

17. *Hinton J. J.* Using earthworms to assess Hg distribution and bioavailability in gold mining soils / J. J. Hinton,

M. M. Veiga // *Soil and Sediment Contamination*. — 2009. — № 18. — P. 512—524.

18. *Zhang S. Z.* Bioaccumulation of total and methyl mercury in three earthworm species (*Drawida* sp., *Allolobophora* sp., and *Limnodrilus* sp.) / S. Z. Zhang [et al.] // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. — 2009. — № 83 — P. 937—942.

Удоденко Юрий Геннадьевич — аспирант кафедры экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет; e-mail: soilscientist@rambler.ru

Девятова Татьяна Анатольевна — зав. кафедрой экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет; e-mail: devyatova@bio.vsu.ru

Комов Виктор Трофимович — главный научный сотрудник, НИИ биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, г. Борок; e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru

Трегубов Олег Викторович — зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, Воронежская государственная лесотехническая академия; e-mail: treguboff_ol@rambler.ru

Одинцов Анатолий Николаевич — зам. директора по развитию и инновационной деятельности, Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции; e-mail: sort3@yandex.ru

Udodenko Yury G. — the postgraduate student of department of ecology and ground resources, the Voronezh state university; e-mail: soilscientist@rambler.ru

Devyatova Tatyana A. — head the department of ecology and ground resources, the Voronezh state university, Voronezh; e-mail: devyatova@bio.vsu.ru

Komov Victor T. — the General scientific associate, Institute of biology of internal waters of the Russian Academy of Sciences of I. D. Papanina RAS, Borok; e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru

Tregubov Oleg V. — the head the department of landscape architecture and landscape gardening building, Voronezh State Timber College; e-mail: 41treguboff_ol@rambler.ru

Odintsov Anatoly N. — the deputy director on development and innovative activity, Institute of Forest genetic and selection, Voronezh; e-mail: sort3@yandex.ru