

РТУТЬ В ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВАХ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

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

¹ Воронежский государственный университет

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

³ Воронежская государственная лесотехническая академия

Поступила в редакцию 11.04.2011 г.

Аннотация. Исследованы концентрации ртути в гидроморфных почвах Воронежского заповедника. В качестве объектов исследований были выбраны пойменные лесные и болотные низинные почвы. Максимальные концентрации ртути отмечены в торфяных горизонтах всех исследованных типов почв. Они варьируют в пределах 0.079—0.212 мг/кг (среднее 0.128 мг/кг) в болотных низинных почвах, и 0.01—0.096 мг/кг, (среднее 0.051) в пойменных лесных почвах. Установлено, что высокие концентрации ртути обусловлены большим количеством органического вещества в торфяных горизонтах.

Ключевые слова: ртуть, пойменные лесные почвы, болотные почвы, Воронежский заповедник.

Abstract. Concentration of mercury in hydromorphic soils of the Voronezh reserve are researched. As objects of researches have been chosen bottomland forest soil and marsh soils. The maximum concentration of mercury are noted in peat horizons of all investigated types of soils. They vary within 0.079—0.212 mg/kg (an average of 0.128 mg/kg) in marsh soils, and 0.01—0.096 mg/kg, (an average 0.051) in bottomland forest soil. It is established that high concentration of mercury are caused by a considerable quantity of organic matter in peat horizons

Keywords: Mercury, bottomland forest soils, marsh soil, Voronezh State Reserve.

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть единственный металл, который в оптимальных для живых организмов температурных условиях может находиться, как в жидкой, так и в парообразной форме, что совместно со специфическими химическими свойствами определяет его высокую подвижность в биосфере [1]. Способность накапливаться по пищевым цепям, а так же широкий спектр негативного воздействия на живые организмы и на отдельные компоненты экосистем делают ее одним самых опасных глобальных загрязнителей [2]. Ртуть и ее соединения способствуют нарушению белкового обмена и ферментативной деятельности живых организмов. Предельно допустимая концентрация ртути в почве составляет 2.1 мг/кг [3].

Ртуть поступает в атмосферу с промышленными выбросами и с продуктами вулканической деятельности [4]. Общее поступление ртути в окружающую среду оценивается в 5—10 тыс. т. в год, из которых на долю антропогенных источников приходится до 2/3 общей эмиссии ртути [5]. В настоящее время почвы, влияние на которые антропо-

погенной деятельности сведено к минимуму, а основным источником поступления ртути служат только атмосферные осадки, сохранились в основном на особо охраняемых природных территориях. Именно, на этих территориях возможно установление уровней накопления, миграции и перераспределения ртути в естественных условиях

Из всех типов почв сформировавшихся в лесных экосистемах типичной лесостепи наиболее богатыми органическим веществом являются гидроморфные почвы с признаками заболачивания и наличием торфяных горизонтов. Поэтому можно предположить, что содержание в них валовой ртути можно принимать за максимальное.

Для ландшафтов лесостепи эти почвы являются азональными, поэтому исследованию их особенностей уделялось мало внимания. Целью работы было определение фонового содержания ртути в торфяных почвах Воронежского государственного природного биосферного заповедника, определение влияния химических и физико-химических свойств почв на накопление и распределение металла в почвенном профиле, а также оценка зависимости концентраций ртути от положения разреза в мезорельефе.

© Удоденко Ю. Г., Девятова Т. А., Комов В. Т., Трегубов О. В., 2011

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Воронежский государственный природный биосферный заповедник (ВГПБЗ) занимает северную часть Усманского бора на стыке Липецкой и Воронежской областей. По физико-географическому районированию его территория относится к западной окраине Окско-Донской [6]. По схеме ботанико-географического районирования Воронежской области бор входит в состав Усманского ботанического района зеленомошных сосновых и осоковых дубовых лесов Боброво-Усманского округа Среднерусской дубово-сосновой провинции [7]. Площадь заповедника составляет 31053 га.

В качестве объекта исследования были выбраны торфяные почвы, сформировавшиеся в ольшаниках притеррасной части пойм рек, протекающих по территории заповедника и почвы замкнутых заболоченных понижений, расположенных на надпойменных террасах р. Воронеж.

В пойменных крапивных черноольшаниках разрезы были заложены в притеррасных частях пойм рек Воронеж (относительная высота 100 м), Ивница (относительная высота 120 м) и Усмань (относительная высота 130 м).

На болотных комплексах разрезы были заложены на II надпойменной террасе р. Воронеж, (относительная высоты 110 и 120 м), на уступе к долине р. Усмань на IV террасе р. Воронеж (относительная высота 130 м), и на IV террасе р. Воронеж (относительная высота 160 м).

Определение относительных высот и положения в рельефе осуществляли с помощью гипсометрической и ландшафтной карт [8]. Определение химических и физико-химических свойств почв проводилось стандартными методами [9]. Определение содержания ртути проводилось атомно-абсорбционным методом на приборе «Анализатор ртути РА-915+» с пиролитической приставкой «ПИРО-915+». Анализы сделаны в трехкратной повторности.

Математическая обработка полученных результатов проводилась в пакете программ StatGraphics Plus 5.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ольшаниках ВГПБЗ сформировались пойменные лесные торфяно-глеевые почвы. Они характеризуются нейтральной и близкой к нейтральной реакцией среды. Однако в отдельных горизонтах отмечаются слабокислая реакция (табл. 1).

Таблица 1

Химические свойства пойменных лесных почв

Квартал	Горизонт	Hg, мг/кг	C, %	N _{щелочн-гидр.} , мг/100 г	pH _{вод}	Ca ²⁺ , мг-экв/100 г	Mg ²⁺ , мг-экв/100 г	Сумма, мг-экв/100 г
376	T1	0.045	35.2	29.8	5.9	64.1	1.9	66
	T2	0.044	10.6	28.8	6.6	91.5	11.1	102.6
	TG	0.053	9.3	15.3	6.6	6.6	2.4	9.0
377	T1	0.059	19.5	31.8	6.3	82.4	12.5	94.9
	T2	0.061	16.8	28.8	6.4	77.4	4.8	82.2
	G	0.034	15.1	не опр.	6.1	72.9	6.2	79.1
513	T1	0.096	34.9	39.6	5.6	21.0	3.1	24.1
	T2	0.065	12.5	32.3	5.8	18.0	0.3	18.3
	TG	0.03	1.6	16.7	5.4	11.0	1.4	12.4
	G1	0.006	0.4	3.8	5.6	5.5	1.4	6.9
	G2	0.006	0.2	6.3	5.7	10.0	4.0	14.0
365	T1	0.01	31.2	68.1	5.9	161.5	99.6	261.1
	T2	0.042	33.2	32.1	5.4	176.6	44.3	220.9
	T3	0.04	26.2	46.9	6.0	167.6	32.9	200.5
	TG	0.008	2.7	11.1	6.0	22.4	14.9	37.3

Самый верхний подгоризонт у всех почв отличается высоким содержанием углерода, с постепенным снижением его количества с глубиной. Аналогично распределение по профилю щелочногидролизуемого азота. Количество обменных оснований также снижается вниз по профилю, за исключением почв в пойме р. Усмань, где второй торфяной горизонт более обогащен кальцием и магнием, чем первый.

На болотах низких террас формируются торфянисто-глеевые низинные болотные почвы,

высоких террас-торфянисто-перегнойно-глеевые болотные низинные почвы. В почвах болот реакция среды варьирует от сильнокислой в торфяных горизонтах, до близкой к нейтральной, и даже слабощелочной на уступе к р. Усмань, в глеевых горизонтах (табл. 2). Содержание органического углерода выше, чем в пойменных лесных почвах. В них значительно меньшее содержание катионов Са и Mg. Причем, на высоких террасах наблюдается полное отсутствие катионов магния в глеевом горизонте или по всему профилю.

Таблица 2

Химические свойства болотных низинных почв

Квартал	Горизонт	Hg, мг/кг	C, %	Нщелоч., мг/100 г	pHвод	Ca ²⁺ Мг-экв/100г	Mg ²⁺ , Мг-экв/100г	Сумма, Мг-экв/100г
397	T	0.102	35.1	101.8	6.9	Не опр.	Не опр.	Не опр.
	AT	0.023	32.8	31.8	7.2	9.6	3.4	13.0
	G	0.008	0.6	4.6	7.6	1.6	1.2	2.8
423	T	0.094	38.8	35.7	4.6	14.5	8.7	23.2
	A	0.008	1.8	8.3	5.2	3.5	3.7	7.2
	G1	0.003	0.5	2.4	5.8	0.8	0	0.8
	G2	0.003	0.4	5.5	6.0	0.5	0	0.5
26	T	0.079	24.3	50.3	4.0	7.2	0	7.2
	A	0.018	0.7	12.1	4.1	3.8	0	3.8
	G1	0.002	1.6	4.9	4.5	0.8	0	0.8
	G2	0.006	0.5	5.1	4.8	0.7	0	0.7
515	T1	0.184	55.3	32.3	4.7	9.4	15.1	24.5
	T2	0.212	51.7	Не опр.	4.9	6.7	16.8	23.5
	T3	0.050	7.5	44.4	5.0	3.7	2.8	6.5
	G1	0.006	0.7	7.1	5.4	1.2	2.5	3.7
	G2	0.003	0.1	11.1	5.8	0.9	1.4	2.3
364	T1	0.121	44.3	44.4	4.2	7.2	12.0	19.2
	T2	0.104	31.7	42.7	4.6	4.7	6.4	11.1
	T3	0.021	4.2	18.9	4.4	4.3	2.1	6.4
	G1	0.010	3.4	25.6	4.5	1.5	4.4	5.9
	G2	0.005	0.6	Не опр.	5.4	0.9	1.3	2.2

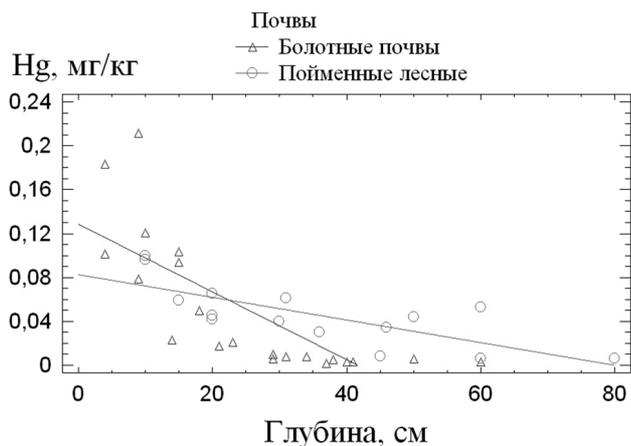


Рис. 1. Изменение концентрации ртути с глубиной в исследованных типах почв

Максимальные концентрации ртути отмечены в торфяных горизонтах. Они варьируют в пределах 0.079—0.212 мг/кг (среднее 0.128 мг/кг) в болотных низинных почвах, и 0.01—0.096 мг/кг, (среднее 0.051) в пойменных лесных почвах. Во всех исследованных типах почв концентрация ртути снижается по профилю до своих минимальных значений в глеевых горизонтах — 0.003—0.008 мг/кг. Мощность торфяных горизонтов в пойменных лесных почвах больше чем у торфяных горизонтов болотных почв, в связи, с чем падение концентраций ртути в почвах под ольшаниками происходит с глубиной более плавно (рис. 1).

Корреляционный анализ зависимости содержания ртути от физико-химических и химических свойств выявил достоверную положительную связь между всеми исследованными параметрами и ртутью в торфяных почвах (табл. 3). В то время как для пойменных лесных почв статистически достоверная связь концентрации ртути была установ-

лена только с азотом и содержанием органического углерода.

Методом пошаговой множественной регрессии было получено уравнение зависимости содержания ртути почвах от их химического состава. Для пойменных лесных почв определяющими факторами являются содержание щелочногидролизуемого азота и содержание кальция:

$$Hg = 0.00279788 + 0.00215697 \cdot N - 0.00028063 \cdot Ca$$

$$R^2 = 82.5\%, p = 0.000.$$

При этом, вклад азота, как фактора вариации содержания ртути составляет 65%, а кальция — 17.5%.

В торфяных почвах болот в качестве определяющих параметров выступают органическое вещество и реакция среды.

$$Hg = 0.0622443 + 0.00251184 \cdot C - 0.0108584 \cdot pH$$

$$R^2 = 87.7\%, p = 0.000.$$

При этом, вклад углерода, как фактора вариации содержания ртути составляет 84.1%, а pH всего 3.6%.

В торфяных почвах болот наблюдается положительная зависимость концентрации ртути в верхнем горизонте от положения болота в мезорельефе (рис. 2). Наиболее высоким содержанием характеризуется болото расположенное в самой низкой части заповедника — II террасе р. Воронеж, в то время как, концентрация ртути в верхних торфяных горизонтах почв болот IV террасы р. Воронеж меньше в 2 раза. Аналогичная зависимость прослеживается и в залегающих ниже торфяных горизонтах. В глеевых горизонтах подобной зависимости не наблюдается. Тенденция к снижению концентрации ртути в верхних горизонтах с увеличением относительной высоты в пойменных

Таблица 3

Зависимости содержания ртути от свойств почв

Болотные почвы			Пойменные лесные почвы		
Показатель. Кол-во проб (n)	Коэфф. корреляции (r)	Уровень значимости (p)	Показатель. Кол-во проб (n)	Коэфф. корреляции (r)	Уровень значимости (p)
C, % (21)	0.93	0.0000	N, мг/100 г (14)	0.82	0.0003
Mg, мг-экв/100 г (20)	0.92	0.0000	C, % (15)	0.70	0.0039
N, мг/100 г (19)	0.67	0.0019	Mg, мг-экв/100 г (12)	0.46	0.1295
Ca, мг-экв./100 г (20)	0.66	0.0016	Ca, мг-экв/100 г (12)	0.32	0.3059

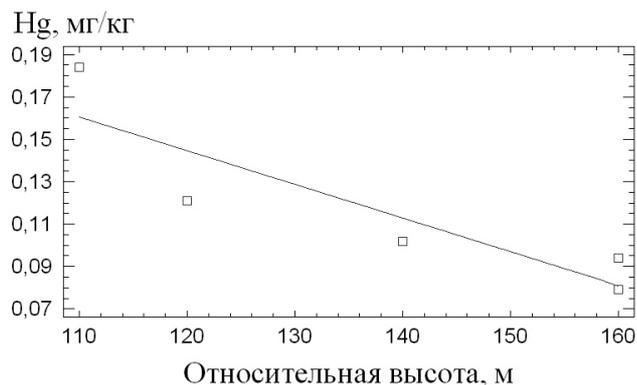


Рис. 2. Зависимость концентрации ртути в верхнем горизонте болотных почв от относительной высоты положения в рельефе

лесных почвах слабо выражена. Вероятно, в силу того, что различия по относительным высотам в ольшаниках существенно меньше чем у болот.

ОБСУЖДЕНИЕ

Высокое содержание ртути в торфяных горизонтах Воронежского заповедника обусловлено их обогащенностью органическим углеродом, который образует с ртутью прочные органоминеральные соединения [10]. Аналогичные результаты были получены при изучении болотных низинных почв западной Сибири и в торфяных почвах Канады [11, 10]. Однако установленные уровни содержания ртути в болотных почвах в Воронежском заповеднике в 5—10 раз выше, чем в западной Сибири, но в 2—4 раза ниже, чем в Канаде.

Установленная в данном исследовании положительная зависимость содержания ртути от количества органического вещества, ранее была показана в исследованиях подзолистых почв южной тайги [12]. Однако подобная зависимость отмечается не всегда. Например, в черноземах Забайкалья такая связь отсутствует [13], вероятно, в силу того, что различия между минимальным и максимальным количеством гумуса было не велико, а авторы ограничивались исследованием лишь гумусоаккумулятивного горизонта.

Условия, в которых происходит торфообразование и генезис почвы в ольшаниках и болотах отличаются. Из-за разных растительных условий состав органического вещества пойменных лесных и торфяных почв не одинаков. Следовательно, можно предположить, что состав ртутьорганических комплексов в этих биотопах не одинаковы. Подобное предположение совпадает с мнением других исследователей [14, 15]. Подтверждением

этого предположения могут служить результаты анализа методом пошаговой множественной регрессии. Определяющим фактором формирования уровней накопления ртути в почвах ольшаника установлено содержание азота, а не органического вещества, как в случае с болотными почвами.

В глеевых горизонтах отмечены низкие концентрации ртути, поэтому можно предположить, что ртуть из подстилающих пород в почвенный профиль не поступает и вся ртуть определяемая в торфяных горизонтах имеет атмосферное происхождение. Низкое содержание ртути в глеевых горизонтах, вероятно, обусловлено их песчаным составом. Исследования в Западной Сибири показали, что в песчаных и супесчаных почвообразующих породах находятся следовые количества ртути [11]. В то время как в породах глинистого гранулометрического состава концентрации ртути достигали 0,029 мг/кг. Вынос ртути с грунтовыми водами маловероятен, так как водорастворимые соединения ртути в глубоководящих горизонтах не обнаруживаются, либо количество их минимально [11, 16]. Исследования водорастворимых соединений ртути в лесных почвах южной тайги, так же говорят о том, что потенциальная водная миграция если и возможна в почвах, то осуществляется в основном в богатых органическим веществом подстилках [12]. Кроме того, в анаэробных условиях, при которых происходят процессы заболачивания, характерные для каждого из исследованного нами типа почв, ртуть образует прочные связи с серой, особенно в почвах богатых органикой [17].

Несмотря на то, что нами выявлена достоверная зависимость содержания ртути в торфяном горизонте болотных почв от относительной высоты их положения в рельефе, возможно, причиной различия может служить не одинаковый состав растительности на болотах разных террас [8].

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

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что:

— торфяные горизонты болотных низинных и пойменных лесных почв содержат высокие концентрации ртути;

— концентрации ртути обусловлены высоким количеством органического вещества в торфяных горизонтах исследованных почв. В оглееных горизонтах содержание ртути минимально;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effects of Environmental Methylmercury on the Health of Wild Birds, Mammals, and Fish / A. Scheuhammer [et al.] // *Ambio*. — 2007. — Vol. XX XV I, № 1. — P. 12—18.
 2. *Майстренко В. Н.* Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов // В. Н. Майстренко, Р. З. Хамитов, Г. К. Будников. — Москва: Химия, 1996. — 319 с.
 3. *Беспамятнов Г. П.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. // Г. П. Беспамятнов, Ю. А. Крогов Ю. А. — Л.: Наука, 1985. — 582 с.
 4. Socioeconomic Consequences of Mercury Use and Pollution / E. B. Swain [et al.] // *Ambio*. — 2007. — Vol. XXXVI, № 1. — P. 45—61.
 5. Critical levels of atmospheric pollution for operation modeling of mercury in forest and lakes ecosystems / M. Meili [et al.] // *Sc. Tot. Environ*. — 2003. — Vol. 304. — P. 83—106.
 6. *Мильков Ф. Н.* Физико-географическое районирование ЦЧО / Ф. Н. Мильков. — Воронеж : Изд-во ВГУ, 1961. — 204 с.
 7. Атлас Воронежской области / Под ред. В. В. Подколотина и др. — Киев: Укргеодезкартография, 1994. — 48 с.
 8. Использование GPS- и ГИС-технологий для изучения особо охраняемых природных территорий (на примере ландшафтной структуры Воронежского государственного природного биосферного заповедника) / В. Н. Солнцев [и др.]. — Тула, 2006. — С. 116—180 с.
 9. *Воробьева Л. А.* Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. — М: Изд-во МГУ. — 1998. — 272 с.
 10. *Кабата-Пендиас А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. — М.: Мир, 1989. — С. 180—190.
 11. *Байдина Н. Л.* Содержание и формы ртути в почвах южной части Западной Сибири / Н. Л. Байдина // *Агрохимия* — 2001. — №1. — С. 59—63.
 12. *Гладкова Н. С.* Модель распределения валовой ртути в профиле лесных подзолистых почв / Н. С. Гладкова, М. С. Малинина // *Почвоведение*. — №8. — 2005. — С. 960—967.
 13. *Иванов Г. М.* Ртуть в гумусовых горизонтах почв Забайкалья / Г. М. Иванов, В. К. Кашин // *Почвоведение*. — 2010. — №1. — С. 30—36.
 14. Mercury in the Swedish environment-reset research on causes, consequence and corrective methods / O. Lindquist [et al.] // *Water, Air and Soil Pollution*. — 1991. — Vol. 55. — Sp. issue.
 15. *Meili M.* The coupling of mercury and organic matter in the biogeochemical cycle-towards a mechanistic model for the the boreal forest zone / M. Meili // *Water, Air and Soil Pollution*. — 1991. — Vol. 56. — P. 333—347.
 16. *Гладкова Н. С.* Водорастворимые соединения ртути в лесных почвах северной и южной тайги / Н. С. Гладкова, М. С. Малинина // *Почвоведение*. — 2004. — №2. — С. 189—196.
 17. Distribution of mercury, methyl mercury and organic sulphur species in soil, soil solution and stream of a boreal forest catchment / U. Skjellberg [et al.] // *Biogeochemistry*. — 2003. — № 1. — P. 53—76.
-
- Удоденко Юрий Геннадьевич* — аспирант кафедры экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет; тел.: (960) 109-3789, e-mail: soilscientist@rambler.ru
- Девятлова Татьяна Анатольевна* — д.б.н., заведующая кафедрой экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет; тел.: (903) 858-5306, e-mail: devyatova@bio.vsu.ru
- Комов Виктор Трофимович* — д.б.н., главный научный сотрудник, НИИ биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН; тел.: (961) 153-1311, e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru
- Tregubov Oleg V.* — head of the department of landscape architecture and landscape gardening building, Voronezh State Academy of Forestry and Technologies; tel.: (951) 853-4941, e-mail: treguboff_ol@rambler.ru