

УДК 630*114.351

РТУТЬ В ЛИСТОВОМ ОПАДЕ ПОДТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ НА ФОНОВОЙ ТЕРРИТОРИИ

Боев Виктор Александрович¹,
vikboev2009@mail.ru

Барановская Наталья Владимировна²,
natalya.baranovs@mail.ru

Боев Владислав Викторович²,
v.-3@mail.ru

¹ Тюменский государственный университет,
Россия, 625008, г. Тюмень, ул. Червишевский тракт, 13.

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность исследования связана с недостаточным объемом данных о содержании ртути в почвах и компонентах биосферы в подзоне подтайги. Листовой опад является важной составляющей биологического круговорота в бореальных лесах и источником поступления в почву химических элементов.

Цель исследования: выявление закономерностей распределения ртути в листовом опаде смешанных хвойно-лиственных лесов на фоновой территории.

Объект исследования: листовой опад смешанных хвойно-лиственных лесов (подтаежных лесов) на фоновой территории.

Методы: выбор пробных площадей, учет листового опада, определение содержания ртути в листовом опаде.

Результаты. Исследовано содержание ртути в листовом опаде лесов подтаежной зоны в фоновых условиях. Исследования проводились в юго-западной части Западно-Сибирской низменности, в системе Тарманского озерно-болотного массива, в междуречье среднего течения рек Тавды и Туры на территории Тюменского федерального заказника. Сбор листового опада проводился на учетных площадках, отличающихся соотношением лиственных и хвойных древесных пород: березово-сосновым с липой лесом; папоротниковым сосняком с примесью березы; липово-березовым лесом. Выявлены закономерности содержания ртути в листовом опаде в зависимости от видового состава древесных растений-эдификаторов. Показано, что наибольшим содержанием ртути характеризуется листовой опад липово-березового леса. Установлено распределение ртути по фракциям листового опада (хвоя, листья). Показано, что в листовой фракции опада содержание ртути выше, чем в хвойной. Проведен расчет количества ртути, поступающей в почвы лесных ландшафтов с листовым опадом.

Ключевые слова:

Подзона подтайги, листовой опад, ртуть, хвойная фракция, листовая фракция.

Введение

Бореальные леса занимают значительные территории как в России в целом, так и Сибири. Площадь бореальных лесов в России составляет 774,25 млн га (т. е. 45,3 % земель России и около 23 % площади сомкнутых лесов земли) [1]. Около 42 % бореальных лесов сосредоточено в Сибири [2]. Бореальные леса вносят огромный вклад в биологический круговорот химических элементов в системе почва–растение. Одним из важных компонентов, участвующих в этом процессе, является листовой опад. Масса опада составляет 1,5–2 % органического вещества, заключенного в биомассе сообществ [3]. Листовой опад играет важную роль в формировании лесной подстилки, которая выполняет ряд функций в лесных фитоценозах [4]: служит средой обитания почвенных микроорганизмов и корней растений [5], а также источником и хранилищем химических элементов [6]. Кроме того, именно ему отведена ведущая роль в биологическом круговороте химических элементов в бореальных лесах [7].

Одним из таких элементов, представляющих значительный интерес с экологической точки зрения, является ртуть. Ртуть относится к группе тяжелых металлов, обладающих высокой токсично-

стью в весьма незначительных концентрациях в компонентах биосферы [8–13].

Источники поступления ртути в атмосферу многочисленны – с продуктами сгорания различных видов топлив, с продуктами извержений вулканов, с пылью, поднятой ветром. Затем ртуть переносится на большие расстояния атмосферными потоками [11]. Так, в [14, 15] отмечено загрязнение ртутью природной среды Арктики, в экосистемы которой поступает до 300 тонн ртути и ее соединений [16]. По данным [17], из антропогенных источников поступает от 50 до 75 % от общей эмиссии ртути. Серьезные угрозы живым организмам связаны со значительной способностью ртути к биоаккумуляции в компонентах экосистем [18–20]. Несмотря на имеющее место в конце XX – начале XXI вв. снижение использования элемента и поступления его в окружающую среду в результате антропогенной деятельности, ртуть, в силу ее медленного захоронения, способна загрязнять компоненты биосферы. Согласно данным [21], в настоящее время наблюдается накопление ртути в результате техногенной деятельности в оболочках Земли в мегамоль/год в атмосфере, литосфере и гидросфере – 0,5; 8,6 и 2,4 соответственно. Так, со-

гласно данным [22], в Китае выбросы ртути увеличились с 448 до 2151 тонн в 1980–2012 гг., из них наибольший вклад внес уголь, за которым следует добыча ртути, выплавка золота, выплавка цветных металлов, производство чугуна, бытовые отходы и производство цемента, на которые приходится более 90 % общего объема выбросов. Авторы [23] отметили наличие на западе Северной Америки высоких концентраций ртути в компонентах биосферы, в связи с наличием неорганических источников ее поступления в окружающую среду.

Леса играют важную роль в глобальном биогеохимическом цикле ртути. Так, в [24] отмечено, что леса играют главную роль в цикле ртути и ее депонировании в наземных экосистемах. Накопление значительного количества элемента в почвах и биомассе лесов может создавать угрозу потенциального выброса ртути во время лесных пожаров и создавать неблагоприятные экологические условия для насекомых, обитающих в лесах [25].

Согласно данным некоторых исследователей, листовой опад является важнейшим источником поступления ртути в почву под пологом лесов [26]. Последующая аккумуляция ртути в лесной подстилке открывает путь к пищевой цепи, где она может накапливаться в организме птиц, летучих мышей и хищников [27]. Таким образом, изучение особенностей аккумуляции ртути в листовом опаде как первоисточнике поступления элемента является весьма актуальным для экологической оценки миграции в лесных биогеоценозах.

Материалы и методы

Приведенные в публикации результаты являются частью проводимых исследований биологического круговорота макро- и микроэлементов в биоценозах лесов подтаежной зоны [28].

Исследования проводились в Тюменском федеральном заказнике, который расположен в пределах Нижнетавдинского района Тюменской области, в юго-западной части Западно-Сибирской низменности, в системе Тарманского, озерно-болотного массива, в междуречье среднего течения рек Тавды и Туры.

Территория федерального заказника представлена пологоволнистой равниной, постепенно понижающейся в южном направлении, с абсолютной высотой в пределах от 60 до 100 м. Поверхность равнины значительно заозерена и заболочена [29].

Господствующими ландшафтами являются пологоволнистые равнины с сосново-березовыми и березовыми парковыми травяными лесами на дерново-подзолистых многогумусных почвах правобережья Тавды и достаточно дренированные высокие междуречные равнины.

Площадь заказника 54025 га (лесопокрытые – 30000 га, водный фонд – 18845 га).

Наибольшую площадь в заказнике занимают леса (46,1 %), а также различные типы болот и водоемы (40,8 %). На открытые и суходольные пространства, включающие в себя возделываемые че-

ловеком хлебные кормовые поля, а также естественные разнотравные луга, приходится всего 10,2 % его общей площади (табл. 1).

Таблица 1. Распределение элементов ландшафта на территории Тюменского федерального заказника [29]

Table 1. Distribution of landscape elements on the territory of the Tyumen Federal Wildlife Refuge [29]

Наименование элементов ландшафта Landscape elements	Площадь, га Area, ha	% к общ. площади % of total area
Вторичные высокоствольные лиственные с преобладанием березы и осины Secondary high-leaf foliage with predominance of birch and aspen	18330	34,3
Сложные сосняки с примесью других хвойных и лиственных пород Complex pine forests with an admixture of other coniferous and hardwood species	6030	11,4
Темнохвойная тайга с преобладанием ели и пихты Dark coniferous taiga with predominance of spruce and fir	1280	2,4
Разнотравные луга Grated meadows	1540	2,9
Хлебные поля и посевы силосных культур Bread fields and silage crops	3940	7,3
Ромовые и кустарниково-травяные болота Rum and bush-grass bogs	18030	33,7
Озера, реки Lakes, streams	3885	7,1
Населенные пункты, грунтовые дороги Settlements, dirt roads	530	0,9
Итого общая площадь заказника Total area of the reserve	53,385	100

Отбор образцов листового опада проводился на трех учетных площадках, площадь которых составляет 0,25 га. Почвы всех учетных площадок являются дерново-подзолистыми. Учетные площадки отличаются видовым составом растительного покрова.

Площадки отличаются соотношением видового состава деревьев-эдикаторов (табл. 2).

Таблица 2. Распределение деревьев-эдикаторов по учетным площадкам

Table 2. Distribution of trees-edificators over the registration areas

№ площадки Site no.	Количество деревьев/Number of trees				
	Сосны Pine trees (Pinus sylvestris)	Березы Birch trees (Betula pendula)	Осины Aspen (Populus tremula)	Липы Lime trees (Tilia cordata)	Всего Total
1	163 (75,8)	46 (21,4)	6 (2,8)	0	215(100)
2	74 (31,6)	86 (36,8)	18 (7,7)	56 (23,9)	234(100)
3	0	92 (28,5)	12 (3,7)	219 (67,8)	323(100)

Примечание: в скобках указана доля (%) деревьев-эдикаторов от общего количества на площадке.

Note: in parentheses, the percentage (%) of edifier trees from the total number on the site.

Как следует из представленных в таблице данных, на площадке 1 доминирующей породой является сосна (75,8 %), затем следует береза, а количество осины незначительно (2,8 %); на площадке 3 имеет место преобладание липы (67,8 %), затем следует береза и в незначительном количестве осина – 28,5 и 3,7 % соответственно; на площадке 2 наблюдается приблизительно равное соотношение между количеством сосны и березы – 31,6 и 36,8 % соответственно, затем следует липа (23,6 %), а количество осины незначительно (7,7 %).

Для сбора опада на каждой пробной площадке в конце августа 2016 г. перед началом листопада было установлено по десять ящиков, изготовленных из дерева с площадью дна 1 м². Дно ящиков было выложено полимерной пленкой с отверстиями для стока дождевой воды. Ящики изготовлены по методике, предложенной в [30]. Отбор проб листового опада производился в конце октября 2016 г. после окончания периода листопада у лиственных пород.

Перед анализом на содержание ртути листовой опад был высушен на воздухе, затем каждая проба листового опада была разделена на листовую и хвойную фракции (при условии наличия).

К тому же для выяснения взаимного обмена элементом на том же объекте на площадках 1 и 2 была отобрана почва на основе методов изучения почв и лесных сообществ [31, 32]. Отбор производился из разрезов.

После отбора почва была высушена при естественной температуре и измельчена с применением виброистирателя.

Определение содержания ртути проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре РА-915+ с приставкой РП-91С с использованием пакета РП-91С. Измерение массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов состоит в атомизации содержащегося в пробе элемента в двухсекционном пи-

ролизаторе РП-91С и последующем его определении методом беспламенной атомной абсорбции на РА-915+. Общее количество определений составило 59.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты определения содержания ртути в листовом опаде и его хвойной и листовой фракциях приведены в табл. 3.

Из представленных в таблице данных следует, что содержание ртути в листовой фракции исследованных пробных площадок превышает содержание ртути в хвойной фракции опада. Так, для первой площадки различие в содержании ртути между листовой фракцией и хвойной составляет почти 10 % в пользу первой, а на площадке № 2 различие увеличивается до 30 %. Таким образом, несмотря на достаточно значительное преобладание на первой площадке деревьев хвойных пород, следует констатировать тот факт, что основной привнос ртути в данном биогеоценозе осуществляется именно с опадом лиственных пород деревьев. Это касается анализа за временной период в один год, поскольку различие содержания Hg в хвое разного возраста и листьях, отобранных непосредственно с деревьев, может иметь несколько иную картину соотношения элемента в разных типах растений. При этом коэффициент биологического поглощения, рассчитанный как отношение содержания ртути в золе к ее содержанию в почвах данного биогеоценоза, показал, что интенсивность всасывания изучаемого элемента с почвенными растворами для изученных видов древесных пород практически не отличается (последняя строка в табл. 3).

Различия в привносе элемента в зависимости от типа лиственных пород деревьев, встречающихся на территории (липа, береза, осина), нами не изучалось по причине сложности проведения дифференциации при данном методе отбора, однако следует отметить, что преобладающим видом являет-

Таблица 3. Содержание ртути в листовом опаде лесов подтаежной зоны

Table 3. Content of mercury in the leaf litter of forests of the subtaiga zone

Содержание, мкг/кг/Content, mkg/kg					
	Площадка/Site				
	1		3	2	
	Фракция/Fraction				
	Хвойная Coniferous	Листовая Leaf	Листовая Leaf	Хвойная Coniferous	Листовая Leaf
X, мкг/кг/X, mkg/kg	27,7	34,0	47,4	25,6	47,3
min-max	24,0–33,8	32,0–50,8	37,5–52,5	20,8–33,1	31,4–57,1
Стандартная ошибка/Standard error	2,17		1,87	2,81	
Среднеквадратичное отклонение Standard deviation	9,71		5,62	12,56	
Содержание в горизонте A1 почвы Content in horizon A1 of soil	24,8		–	30,4	
Коэффициент биологического поглощения Biological absorption coefficient	1,12 (1 %=0,024)	1,37 (1 %=0,026)	–	0,84 (1 %=0,023)	1,56 (1 %=0,024)

Примечание: X – среднее арифметическое; min-max – наименьшее и наибольшее содержание (мкг/кг); КБП – коэффициент биологического поглощения.

Note: X is the arithmetic mean; min-max is the smallest and largest content (μg/kg); CBP is the coefficient of biological absorption.

ся липа. При этом для площадок 2 и 3 содержание ртути в листовой фракции практически идентично и составляет 47 мкг/кг. Это свидетельствует о том, что различие в концентрации элемента представителями лиственных пород деревьев либо не существенны, либо береза, представленная на площадке № 3 тридцатью процентами встречающихся деревьев, привносит основной вклад в поступление данного элемента. Этот вопрос требует дополнительных специальных исследований. Для примера, в листе деревьев на территории США содержание Hg составляет 55 ± 7 мкг/кг [13].

Количество ртути, определенное нами в листовом опаде данного БГЦ, полностью соответствует таковому, определенному в верхнем слое почв разреза. Так, для всех площадок содержание ртути в листовом опаде в среднем составляет 36 мкг/кг, а для верхнего горизонта почвы – 27,6 мкг/кг. С глубиной концентрация элемента уменьшается, что свидетельствует о его преимущественном поступлении именно с листовым опадом (рисунок).

Таблица 4. Среднее содержание Hg в почвах объекта

Table 4. Average content of Hg in the soils of the site

Горизонт Horizon	Глубина (см) Depth (cm)	Содержание Hg (мкг/кг) Hg content (mkg/kg)
A1	5–13	27,6
A1A2	13–25	10,7
A2	25–35	5,4
A2B	35–50	4,5
B	50–90	5,9

Из представленных данных (табл. 3) видно, что содержание Hg в листовом опаде соответствует значениям верхнего почвенного горизонта.

Был проведен расчет количества ртути, поступающей с листовым опадом на площадь 1 га, на ранее описанных учетных площадках с использованием данных [28], результаты которого приведены в табл. 5.

Из представленных в табл. 5 данных можно расположить учетные площадки в соответствии с массой ртути, поступающей на поверхность почвы с листовым опадом.

Наибольшее количество ртути поступает на поверхность почв березово-соснового с липой леса (площадка 2), затем следует папоротниковый сосняк с примесью березы (площадка 1), наименьшее

количество ртути поступает с опадом в почвы липово-березового леса (площадки 3): 729,2; 672,8 и 474,3 г/га соответственно. Таким образом, четко прослеживается связь между количеством ртути, содержащейся в листовом опаде, и видовым составом древесных растений-эдификаторов участка.

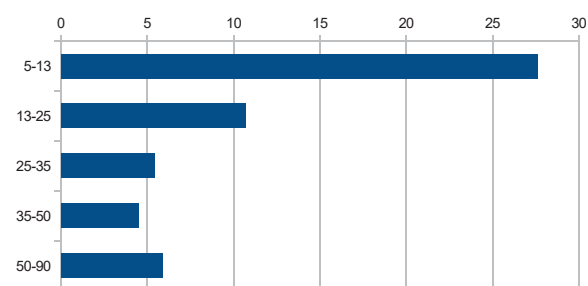


Рисунок. Среднее содержание Hg в почвах площадок 1 и 2. x – содержание (мкг/кг), y – глубина горизонтов (см)

Figure. Hg average content in the soils of the registration areas 1, 2. x is the content (mkg/kg), y is the depth of the horizons (cm)

Представленные в табл. 5 данные показывают, что наибольшее количество ртути содержится в листовой фракции опада: 58,9 % на площадке 1 и 64,25 % на площадке 2.

Полученные данные о содержании Hg в почве и закономерностях ее распространения по профилю [33] показали, что наиболее высокие концентрации элемента характерны для верхнего слоя почв (рисунок). В целом для почв фоновой территории характерно варьирование элемента в диапазоне от 1,8 до 24,8 мг/кг. Значимо высокие концентрации ртути именно в верхнем слое почвы могут объясняться ее поступлением с растительным опадом.

Выводы

1. Наибольшее количество ртути содержится в листовой фракции листового опада смешанных хвойно-лиственных лесов.
2. Количество ртути, поступающей на поверхность почвы смешанных хвойно-лиственных лесов с листовым опадом, определяется видовым составом и соотношением древесных растений-эдификаторов.
3. Листовой опад в фоновых условиях может являться источником поступления ртути в почву.

Таблица 5. Масса ртути, поступающей на поверхность почвы с листовым опадом

Table 5. Mass of mercury entering the surface of the soil with leaf litter

Масса ртути, поступающей на поверхность почвы с листовым опадом на площадь 1 га/г Mass of mercury entering the surface of the soil with leaf litter in ha/year					
№ площадки/Site no.	1		3	2	
Фракция опада Litter fraction	Хвойная Coniferous	Листовая Leaf	Листовая Leaf	Хвойная Coniferous	Листовая Leaf
Масса Hg во фракциях опада в г/га Hg mass in litter fractions in ha/year	276,8 (41,1)	396 (58,9)	474,3 (100)	256,4 (35,2)	472,8 (64,8)
Суммарная масса Hg, поступающей с опадом в г/га Total mass of Hg coming from the fall in ha/year	672,8 (100)		474,3 (100)	729,2 (100)	

Примечание: в скобках указано содержание ртути (%) во фракции опада относительно суммарного содержания в опаде.

Note: in parentheses, the percentage (%) of edifier trees from the total number on the site.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной фонд России (по данным Государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 2008 г.): Справочник. – М. Федер. служба лес. хоз-ва России. ВНИИЦлесресурс, 1999. – 650 с.
2. Соколов В.А. Основы управления лесами Сибири. – Красноярск: СО РАН, 1997. – 308 с.
3. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. – М.; Л.: Наука, 1965. – 256 с.
4. Лиханова Н.В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // Лесной журнал. – 2014. – № 3. – С. 52–66.
5. Ильина Т.М., Сапожников А.П. Лесные подстилки как компонент лесного биогеоценоза // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2007. – № 5. – С. 45–48.
6. Решетникова Т.В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2011. – № 12. – С. 74–81.
7. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях / А.А. Дымов, К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина, Д.А. Ракина // Лесной журнал. – 2012. – № 3. – С. 7–18.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
9. Трахтенберг И.М., Коршун А.М. Ртуть и ее соединения в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты) / под общ. ред. И.М. Трахтенберга. – К. Выща шк., 1990. – 232 с.
10. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн. Кн. 5: Редкие d-элементы / под ред. Э.К. Буренкова. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
11. Influence of soil mercury concentration and fraction on bioaccumulation process of inorganic mercury and methylmercury in rice (*Oryza sativa* L.) / Jun Zhou, Hongyan Liu, Buyun Du, Lihai Shang, Junbo Yang, Yusheng Wang // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – V. 22. – P. 6144–6154.
12. Anthropogenic mercury sequestration in different soil types on the southeast coast of China / Haibo Zhang, Yuan Li, Yongming Luo, P. Christie // Journal of Soils and Sediments. – 2018. – V. 18. – P. 1207–1208.
13. Mercury distribution across 14 U.S. forests. P. I: spatial patterns of concentrations in biomass, litter, and soils / D. Obrist, D.W. Johnson, S.E. Lindber, Y. Luo, O. Hararuk, R. Bracho, J.J. Battles, D.B. Dail, R.L. Edmonds, R.K. Monson, S.V. Ollinger, S.G. Pallardy, K.S. Pregitzer, D.E. Todd // Environ. Sci. Technol. – 2011. – V. 45. – P. 3974–3981.
14. AMAP Assessment 2002: dHeavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2002. – 265 p.
15. AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2011. – 193 p.
16. A mass balance inventory of mercury in the Arctic Ocean / P. Outridge, R. Macdonald, F. Wang, G. Stern, A. Dastoor // Environ. Chem. – 2008. – V. 5. – P. 89–111.
17. Critical levels of atmospheric pollution for operation modeling of mercury in forest and takes ecosystems / M. Maily, K. Bishop, I. Bridman, et al. // Sc. Tot. Environ. – 2003. – V. 304. – P. 83–106.
18. Effect of Mercury on General and Reproductive Health of Large-mouth Bass (*Micropterus salmoides*) from Three Lakes in New Jersey / A.S. Friedman, E. Kimble Costain, L. Deborah, L. MacLachy, W. Stansley, E.J. Wahuta // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2002. – V. 52. – P. 117–122.
19. Gochfeld M. Case of mercury exposure, bioavailability and absorption // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2003. – V. 56. – P. 174–179.
20. Increasing rates of atmospheric mercury deposition in midcontinental North America / E.B. Swain, D.R. Engstrom, T.A. Henning, P.L. Bresonic // Science. – 1992. – V. 257. – P. 784–787.
21. Marine Biogeochemical Cycling of Mercury / W.F. Fitzgerald, H. Carl et al. // Chem. Rev. – 2007. – V. 107. – P. 641–642.
22. Anthropogenic mercury emissions from 1980 to 2012 in China / Ying Huang, Meihua Deng, Tingqiang Li, Jan Japenga, Qianqian Chen, Xiaoe Yang, Zhenli He // Environmental Pollution. – July 2017. – V. 226. – P. 230–239.
23. Mercury in western North America: a synthesis of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife / C.A. Eagles-Smith, J.G. Wiener, Ch.S. Eckley, J.J. Willacker, D.C. Evers, M. Marvin-Di Pasquale, D. Obrist, J.A. Fleck, G.R. Aiken, J.M. Lepak, A.K. Jackson, J.P. Webster, A.R. Stewart, J.A. Davis, Ch.N. Alpers, J.T. Ackerman // Science of The Total Environment. – 15 October 2016. – V. 568. – P. 1213–1226.
24. Soil mercury distribution in adjacent coniferous and deciduous stands highly impacted by acid rain in the Ore Mountains, Czech Republic / T. Navrátil, J.B. Shanley, J. Rohovec, F. Oulehle, M. Šimeček, J. Houška, P. Cudlín // Applied Geochemistry. – December 2016. – V. 75. – P. 63–75.
25. Mercury in terrestrial forested systems with highly elevated mercury deposition in southwestern China: the risk to insects and potential release from wildfires / Jun Zhou, Zhangwei Wang, Ting Sun, Huan Zhang, Xiaoshan Zhang // Environmental Pollution. – May 2016. – V. 212. – P. 188–196.
26. The fate of mercury and its relationship with carbon, nitrogen and bacterial communities during litter decomposing in two subtropical forests / Ming Maad, Hongxia Duab, Dingyong Wangac, Tao Sunac, Siwei Sunac, Guang Yangac // Applied Geochemistry. – November 2017. – V. 86. – P. 26–35.
27. Atmospheric mercury deposition to forests in the eastern USA / M.R. Risch, J.F. De Wild, D.A. Gay, L. Zhang, E.W. Boyer, D.P. Krabbenhoft // Environmental Pollution. – September 2017. – V. 228. – P. 8–18.
28. Боев В.А., Боев В.В. Соотношение хвойной и листовой составляющих и величина листового опада смешанных хвойно-лиственных лесов подзоны подтайги // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1. – С. 43–49.
29. Гуров В.И., Крюков К.В. Проект внутрихозяйственного устройства государственного заказника «Тюменский» / Отчет Западно-Сибирской проектно-изыскательской экспедиции главного управления охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР. – Новосибирск, 1980. – 193 с.
30. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. – Л.: Изд-во «Наука», Ленингр. отд., 1967. – 145 с.
31. Методы изучения лесных сообществ / Е.Н. Андреева, И.Ю. Баккал, В.В. Горшков, И.В. Лянгузова, Е.А. Мазная, В.Ю. Нешатаев, В.Ю. Нешатаева, Н.И. Ставрова, В.Т. Ярмишко, М.А. Ярмишко. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
32. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
33. Боев В.В. Распределение ртути в дерново-подзолистых почвах восточной части Тюменского федерального заказника // Творчество юных – шаг в успешное будущее: материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы им. профессора М.К. Коровина. – Томск, 23–27 ноября 2015. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 214–216.

Поступила 26.04.2018 г.

Информация об авторах

Боев В.А., кандидат биологических наук, доцент кафедры геоэкологии Тюменского государственного университета.

Барановская Н.В., доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Боев В.В., аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 630*114.351

MERCURY IN LEAF LITTER OF SUBTAIGA FORESTS ON THE NATURAL TERRITORY

Viktor V. Boev¹,
vikboev2009@mail.ru

Natalya V. Baranovskaya²,
natalya.baranovs@mail.ru

Vladislav V. Boev²,
v.-3@mail.ru

¹ Tyumen State University,
13, Chervisheskoy Tract, Tyumen, 625008, Russia.

² National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk 634050, Russia.

The relevance of the research is related to insufficient volume of data on mercury content in soils and components of biosphere in the subtaiga subzone. Leaf litter is an important component of the biological cycle in boreal forests and the source of chemical elements entering the soil.

The main aim is to reveal the regularities of mercury distribution in the leaf litter of mixed coniferous-deciduous forests in the natural territory.

Object of researches is leaf litter of mixed coniferous-deciduous forests (subtaiga forests) in the natural territory.

Methods: selection of trial plots, account for leaf litter, determination of mercury content in leaf litter.

Results. The authors have studied mercury content in the leaf litter of the forests of the subtaiga zone under background conditions. The investigations were carried out in the southwestern part of the West Siberian lowland, in the Tarman lake-bog massif system, in the interfluvium of the middle course of the Tavda and Tura rivers in the territory of the Tyumen Federal Wildlife Refuge. The leaf litter was taken at the registration sites, differing in the ratio of deciduous and coniferous tree species: birch-pine with a linden forest; fern pine with an admixture of birch; lime-birch forest. The authors determined the regularities of mercury content in leaf litter depending on the species composition of the woody plant-edificators. It is shown that leaf litter of lime-birch forest is characterized by the highest mercury content. The distribution of mercury is determined by the fractions of leaf litter (needles, leaves). Mercury distribution by leaf litter (needles, leaves) fractions is determined. It is shown that mercury content in the leaf litter fraction is higher than that in the coniferous one. The authors calculated mercury amount entering the soils of forest landscapes with leaf fall.

Key words:

Subtaiga zone, leaf litter, mercury, coniferous fraction, leaf fraction.

REFERENCES

1. Lesnoy fond Rossii po dannym Gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2008 g. Spravochnik [Forest Fund of Russia (according to the State Forest Fund Inventory as of January 1, 2008): Directory]. Moscow, VNIIClesresurs Publ., 1999. 650 p.
2. Sokolov V.A. Osnovy upravleniya lesami Sibiri [Basics of Siberian forest management]. Krasnoyarsk, SO RAN Publ., 1997. 308 p.
3. Rodin L.E., Bazilevich N.I. Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskoy krugovorot zolnykh ehlementov i azota v osnovnykh tipakh rastitelnosti zemnogo shara [Dynamics of organic matter and biological circulation of ash elements and nitrogen in the main types of vegetation of the globe]. Moscow; Leningrad, Nauka Publ., 1965. 256 p.
4. Likhanova N.V. The role of vegetative litter in forest litter formation on clearings of spruce forests of the middle taiga. *Forest journal*, 2014, no. 3, pp. 52–66. In Rus.
5. Il'ina T.M., Sapozhnikov A.P. Forest litter as a component of forest biogeocenosis. *Messenger of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2007, no. 5, pp. 45–48. In Rus.
6. Reshetnikova T.V. Forest litter as a depot of biogenic elements. *Messenger of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2011, no. 12, pp. 74–81. In Rus.
7. Dymov A.A., Bobkova K.S., Tuzhilina V.V., Rakina D.A. Vegetative litter in the native spruce forest and deciduous-coniferous plantations. *Forest journal*, 2012, no. 3, pp. 7–18. In Rus.
8. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroehlementy v pochvakh i rasteniyakh [Microelements in soils and plants]. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p.
9. Trakhtenberg I.M., Korshun A.M. Rtut i ee soedineniya v okruzhayushchey srede (gigienicheskie i ehkologicheskie aspekty) [Mercury and its compounds in the environment (hygienic and environmental aspects)] Kiev, Vyshcha shkola Publ., 1990. 232 p.
10. Ivanov V.V. Ekologicheskaya geokhimiya. Elementov spravochnik v 6 kn. Kn. 5: redkie d-elementy [Ecological geochemistry of elements: a reference book in 6 books. B. 5: Rare d-elements]. Moscow, Ekologiya Publ., 1997. 576 p.
11. Jun Zhou, Hongyan Liu, Buyun Du, Lihai Shang, Junbo Yang, Yusheng Wang. Influence of soil mercury concentration and fraction on bioaccumulation process of inorganic mercury and methylmercury in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, vol. 22, pp. 6144–6154.
12. Haibo Zhang, Yuan Li, Yongming Luo, Peter Christie. Anthropogenic mercury sequestration in different soil types on the southeast coast of China. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, vol. 18, pp. 1207–1208.
13. Obrist D., Johnson D.W., Lindber S.E., Luo Y., Hararuk O., Bracho R., Battles J.J., Dail D.B., Edmonds R.L., Monson R.K., Ollinger S.V., Pallardy S.G., Pregitzer K.S., Todd D.E. Mercury distribution across 14 U.S. forests. P. I: spatial patterns of concentrations in biomass, litter, and soils. *Environ. Sci. Technol.*, 2011, vol. 45, pp. 3974–3981.

14. *AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*. Oslo, Norway, 2002. 265 p.
15. *AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*. Oslo, Norway, 2011. 193 p.
16. Outridge P., Macdonald R., Wang F., Stern G., Dastoor A. A mass balance inventory of mercury in the Arctic Ocean. *Environ Chem*, 2008, vol. 5, pp. 89–111.
17. Maily M., Bishop K., Bridman I. Critical levels of atmospheric pollution for operation modeling of mercury in forest and takes ecosystems. *Sc. Tot. Environ*, 2003, vol. 304, pp. 83–106.
18. Friedman A.S., Kimble Costain E., Deborah L., MacLachy L., Stansley W., Wahuta E.J. Effect of Mercury on General and Reproductive Health of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) from Three Lakes in New Jersey. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2002, vol. 52, pp. 117–122.
19. Gochfeld M. Case of mercury exposure, bioavailability and absorption. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, vol. 56, pp. 174–179.
20. Swain E.B., Engstrom D.R., Henning T.A., Bresonic P.L. Increasing rates of atmospheric mercury deposition in midcontinental North America. *Science*, 1992, vol. 257, pp. 784–787.
21. Willam F., Fitzgerald, Carl H. Marine Biogeochemical Cycling of Mercury. *Chem. Rev.*, 2007, vol. 107, pp. 641–642.
22. Ying Huang, Meihua Deng, Tingqiang Li, Jan Japenga, Qianqian Chen, Xiaoe Yang, Zhenli He. Anthropogenic mercury emissions from 1980 to 2012 in China. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 226, pp. 230–239.
23. Eagles-Smith C.A., Wiener J.G., Eckley Ch.S., Willacker J.J., Evers D.C., Marvin-Di Pasquale M., Obrist D., Fleck J.A., Aiken G.R., Lepak J.M., Jackson A.K., Webster J.P., Stewart A.R., Davis J.A., Alpers Ch.N., Ackerman J.T. Mercury in western North America: A synthesis of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife. *Science of The Total Environment*, 2016, vol. 568, pp. 1213–1226.
24. Navrátil T., Shanley J.B., Rohovec J., Oulehle F., Šimeček M., Houška J., Cudlin P. Soil mercury distribution in adjacent coniferous and deciduous stands highly impacted by acid rain in the Ore Mountains, Czech Republic. *Applied Geochemistry*, 2016, vol. 75, pp. 63–75.
25. Jun Zhou, Zhangwei Wang, Ting Sun, Huan Zhang, Xiaoshan Zhang. Mercury in terrestrial forested systems with highly elevated mercury deposition in southwestern China: The risk to insects and potential release from wildfires. *Environmental Pollution*, 2016, vol. 212, pp. 188–196.
26. Ming Maad, Hongxia Duab, Dingyong Wangac, Tao Sunac, Siwei Sunac, Guang Yangac. The fate of mercury and its relationship with carbon, nitrogen and bacterial communities during litter decomposing in two subtropical forests. *Applied Geochemistry*, 2017, vol. 86, pp. 26–35.
27. Risch M.R., De Wild J.F., Gay D.A., Zhang L., Boyer E.W., Krabbenhoft D.P. Atmospheric mercury deposition to forests in the eastern USA. Krabbenhoft. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 228, pp. 8–18.
28. Boev V.A., Boev V.V. The ratio of coniferous and leafy components and the value of leafy litter of mixed coniferous-deciduous forests of the subtaiga subzone. *Messenger of Omsk State Agrarian University*, 2017, no. 1, pp. 43–49. In Rus.
29. Gurov V.I., Kryukov K.V. Projekt vnutrikhozyaystvennogo ustroystva gosudarstvennogo zakaznika «Tyumenskiy» [The project of the on-farm structure of the state reserve «Tyumenskiy»]. *Otchet Zapadno-Sibirskoy proektno izyskatelskoy ekspeditsii glavnogo upravleniya okhotnicheskogo khozyaystva i zapovednikov pri Sovete Ministrov RSFSR* [Report of the West Siberian design and survey expedition of the main department of hunting economy and reserves at the Council of Ministers of the RSFSR]. Novosibirsk, 1980. 193 p.
30. Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotse-nozakh* [Methodical instructions to the study of dynamics and biological cycle in phytocenoses]. Leningrad, Nauka Publ., 1967. 145 p.
31. Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu., Stavrova N.I., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods of studying forest communities]. St-Petersburg, NIIKhimii SPbGU Publ., 2002. 240 p.
32. Rozanov B.G. *Morfologiya pochv* [Morphology of soils]. Moscow, Akademicheskiiy proekt Publ., 2004. 432 p.
33. Boev V.V. Raspredelenie rtuti v dervno-podzolistykh pochvakh vostochnoy chasti Tyumenskogo federalnogo zakaznika [Distribution of mercury in sod-podzolic soils in the eastern part of the Tyumen Federal Wildlife Refuge]. *Tvorchestvo yunyykh – shag v uspešnoe budushee: materialy VIII Vserossiyskoy nauchnoy studentcheskoy konferentsii s elementami nauchnoy shkoly imeni professora M.K. Korovina* [Creativity of the young is a step into a successful future: Proc. of the VIII All-Russian Scientific Student Conference with elements of the scientific school named after Professor M.K. Korovin]. Tomsk, TPU Publ., 2015. pp. 214–216.

Received: 26 April 2018.

Information about the authors

Viktor V. Boev, Cand. Sc., associate professor, Tyumen State University.

Natalia V. Baranovskaya, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Vladislav V. Boev, graduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.