

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Государственный природный заповедник «Рдейский»

**ТРУДЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО
ЗАПОВЕДНИКА «РДЕЙСКИЙ»
ВЫПУСК 5.**

ПОД РЕДАКЦИЕЙ Н.А. ЗАВЬЯЛОВА, Л.А. ХЛЯП



г. Великие Луки
2020

УДК 502/504
ББК 28.088л6
Б 72

Рецензенты:

Н.П. Кораблев – доктор биологических наук, Государственный природный заповедник «Полистовский».

А.С. Желтухин – кандидат биологических наук, Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник.

Труды Государственного природного заповедника «Рдейский». Выпуск 5. / Ред. Н.А. Завьялов, Л.А. Хляп. – Великие Луки: Великолукская типография, 2020. 160 с.

В выпуске Трудов приведены результаты исследований выполненных на территории Рдейского заповедника (Новгородская область). Показано видовое разнообразие мхов, лишайников, бабочек; охарактеризованы сообщества мелких млекопитающих на минеральных островах внутри болотного массива; болотная растительность; прослежен процесс накопления ртути в организмах бурозубок; пространственное распределение белой куропатки в болотном массиве; охарактеризована антропогенная нагрузка на сопредельные территории. Завершает выпуск биография И.Д. Богдановской-Гиенеф, первого исследователя Полистово-Ловатской болотной системы. Книга имеет много иллюстраций. Предназначена для научных сотрудников и специалистов в области охраны природы, преподавателей и студентов ВУЗов биологического профиля.

Рисунок на обложке Н.В. Зуева.

ISBN 978-5-6043884-4-0

© Государственный природный заповедник «Рдейский», 2020 г.

© Зуева Н.В. – обложка.

© ООО «Великолукская типография» издание 2020 г.

Подписано в печать 23.10.2020
Формат 60х90 1/16. Объём 10,0 п.л. Тираж 300 экз.

ООО «Великолукская типография»,
182100, Псковская область, г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12.
Тел./факс: (811-53) 3-62-95.
E-mail: zakaz@veltip.ru
Сайт: <http://www.veltip.ru/>

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
АНТОЦЕРОТОФИТЫ, ПЕЧЕНОЧНИКИ И НАСТОЯЩИЕ МХИ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И ЕГО БЛИЖАЙШИХ ОКРЕСТНОСТЕЙ. Андреева Е.Н.	5
СПИСОК ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА. Катаева О.А.	32
РАСТИТЕЛЬНОСТЬ БОЛОТ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА. Смагин В.А.	52
СПИСОК ЧЕШУЕКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ (LEPIDOPTERA) ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «РДЕЙСКИЙ» И ЕГО ПРИРОДООХРАННОЙ ЗОНЫ. Мионов В.Г., Никитина С.В.	60
СООБЩЕСТВА МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ВНУТРИБОЛОТНЫХ ОСТРОВОВ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА. Завьялова Л.Ф.	86
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕЗОННОГО И БИОТОПИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЛОЙ КУРОПАТКИ LAGOPUS LAGOPUS В РДЕЙСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ НА ОСНОВЕ ВСТРЕЧ В 2015–2019 гг. Зуева Н.В., Архипов В.Ю.	97
ГЕОМОРФОЛОГИЯ, РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ И ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ КАК ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НАКОПЛЕНИЕ РТУТИ В ТКАНЯХ МАЛОЙ БУРОЗУБКИ (SOREX MINUTUS) НА ТЕРРИТОРИИ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ). Комов В.Т., Гремячих В.А., Кутузов А.В., Завьялова Л.Ф. ...	102
ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОСЕЩЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «РДЕЙСКИЙ» В 2018 ГОДУ ПО ДАНЫМ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ВКОНТАКТЕ. Завьялова В.Н.	117
ИВОННА ДОНАТОВНА БОГДАНОВСКАЯ-ГИЕНЭФ (YVONNE BOGDANOWSKAYA-GUINENEUF). БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК. Завьялова В.Н.	119

ГЕОМОРФОЛОГИЯ, РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ И ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ КАК ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НАКОПЛЕНИЕ РТУТИ В ТКАНЯХ МАЛОЙ БУРОЗУБКИ (*SOLEX MINUTUS*) НА ТЕРРИТОРИИ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ)

Комов В.Т.¹, Гремячих В.А.¹, Кутузов А.В.¹,
Завьялова Л.Ф.²

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

² Государственный природный заповедник «Рдейский»

ВВЕДЕНИЕ

Изучению закономерностей миграции, трансформации форм и накопления ртути в абиотических и биотических компонентах водных и наземных экосистем в последние десятилетия уделяется исключительно много внимания как на региональном, так и международном уровне (Grigal, 2003). Особый интерес к проблеме присутствия металла в окружающей среде определяется двумя свойствами этого элемента. С одной стороны высокая токсичность всех его соединений для живых организмов, а с другой — исключительная способность мигрировать на значительные расстояния как в атмосфере, так и гидросфере, что характеризует ртуть как опасный для живых организмов загрязнитель глобального масштаба (Voening, 2000; Scheuhammer et al., 2007). При этом переход из одной формы присутствия ртути в окружающей среде в другую (металлическая — Hg^0 , окисленная — Hg^{2+} , метилированная — $\text{MHg} = \text{CH}_3\text{Hg}$) сопровождается как изменением биологической доступности, так и ее токсичности (Liu et al., 2012). Факторы, имеющие критическое значение при трансформации одних форм ртути в другие, немногочисленны и включают: 1) воду — в присутствии влаги ускоряется окисление ртути, а метилирование металла может проходить только в водной среде; 2) температуру, при повышении которой усиливается высвобождение в атмосферу металла, находящегося в составе плотных частиц почвы или пыли, повышается эффективность метилирования в водной среде; 3) солнечную радиацию — фотовосстановление окисленных соединений ртути до металлической с эмиссией металла в атмосферу и фотодегградация метилртути до неорганических форм с эмиссией последних в атмосферу; 4) наличие/отсутствие окислителей — в присутствии окислителей в атмосфере происходит более быстрый переход металлической формы ртути (Hg^0) в ионную (Hg^{2+}) с дальнейшим ее выпадением на земную поверхность, а процесс метилирования требует анаэробных или микроаэробных условий; 5) органическое вещество — растворенное, с которым ртуть образует комплексные соединения и мигрирует в поверхностном стоке и почвенных водах, а также отмершая растительность в почвах и, особенно, на болотах, представляющая собой место депонирования металла на длительный срок (Liu et al., 2012)

Для водных экосистем, в целом, основные закономерности распределения и накопления ртути в абиотических и биотических компонентах экосис-

стем сформулированы достаточно четко (Douglas et al., 2012). В наземных экосистемах хорошо исследованы потоки ртути из атмосферы и в атмосферу из биотопов с различным растительным покровом, уровни содержания металла в почвах, отличающихся содержанием органического вещества и гранулометрическими характеристиками. Показано, что содержание ртути в переувлажненных почвах кратно выше, чем в почвах, хорошо дренируемых участков леса или луга (Комов и др., 2010). Однако изученность участия животных (беспозвоночных и позвоночных) в круговороте этого элемента в наземных экосистемах имеет фрагментарный характер. Несмотря на хорошо документированный факт, что рыбы из водоемов и водотоков вблизи болот и избыточно увлажненных участков (ветландов) содержат повышенный уровень ртути (Greenfield et al., 2001), исследования по изучению накопления ртути животными в таких ландшафтах единичны. К настоящему времени установлена связь между содержанием ртути в почвах и в тканях мелких млекопитающих (Комов et al., 2017). Однако влияние характера поверхностного стока воды, который в значительной степени определяют водный режим в почвах и характер растительного покрова, а также особенности погодных условий и их динамики остаются мало изученными.

Предыдущие исследования показали, что содержание ртути в тканях животных Рдейского заповедника варьирует в широких пределах. От минимальных в мышцах бурозубок (0.001 мг/кг сухой массы) до максимальных в печени и почках хищных птиц (1.1–1.2), норок (3.0–4.5), выдр (1.2–2.6 мг Hg/кг сырой массы) (Гремячих и др., 2013). Несмотря на большую массу тела и продолжительность жизни обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758), накопление ртути в ее мышцах, печени и мозге не отличалось от таковых у малой бурозубки (*S. minutus* Linnaeus, 1758). Показано, что даже в небольших концентрациях ртуть способна вызывать изменения биохимических показателей пищеварения у обыкновенной бурозубки (Голованова и др., 2012). Несмотря на то, что обыкновенная бурозубка более многочисленна в Рдейском заповеднике (Завьялова, Завьялов, 2013), настоящее сообщение посвящено анализу накопления ртути в тканях именно малой бурозубки, поскольку для анализа была доступна хорошая выборка особей именно этого вида.

Масса тела малой бурозубки до 3–5 г, продолжительность жизни до 14–16 месяцев. Животное – типичный представитель напочвенного горизонта нижнего яруса леса. Предпочитает несильно затененные сырые участки смешанных лесных насаждений с разнообразным травяным покровом и избегает открытые, сухие, с задерненной почвой (Попов, 1971). В Рдейском заповеднике малая бурозубка – обычный вид, заселяет все лесные биотопы, облесенный сосной грядово-мочажинный комплекс, травяно-кустарничковые болота по краям болотной системы, краевые осоково-вахтовые топи после спада воды, вырубki и луга в охранной зоне (Завьялова, Завьялов, 2013). В основе рациона бурозубки преобладают паукообразные (настоящие пауки и сенокосцы), жесткокрылые (жужелицы и стафилины, в большей степени имаго), полужеско- и чешуекрылые, двукрылые. Дождевые черви – в минимальном количестве. Значительная часть пищевых объектов малой бурозубки ведёт хищный образ жизни (пауки – облигатные хищники) (Ивантер и др., 2015).

Цель настоящей работы – изучение уровней и условий накопления ртути в тканях малой бурозубки, обитающей в разных частях Рдейского заповедника, отличающихся рельефом и характером растительных сообществ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Рдейский заповедник (Поддорский и Холмский районы Новгородской области) расположен на территории Полистово-Ловатского болотного массива, в центре Приильменской низменности. Местность заповедника характеризуется высокой заболоченностью (29.8%), которая помимо климатических особенностей (зона избыточного увлажнения) определяется геоморфологическими, геологическими и гидрологическими причинами (Богдановская-Гиенэф, 1969).

Для исследования были выбраны наиболее типичные участки ландшафта (станции отлова животных), относящиеся к разным биотопам заповедника и прилегающих к нему территорий. Подробное геоботаническое описание исследованных биотопов и карта-схема расположения станций отлова животных приведены в предыдущей работе (Гремячих и др., 2013). Было исследовано 16 станций, но малые бурозубки, ткани которых были исследованы, отловлены только на 12 из них (табл. 1). За август–октябрь 2008–2013 гг. было отловлено 65 экз. малой бурозубки. На станциях 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 13, 14 отловы проводили давилками Геро на постоянных линиях, длиной от 120 до 500 м. Отработано 6600 ловушко-суток. На станциях 12 и 15 бурозубок отлавливали 50-метровыми ловчими заборчиками с пятью цилиндрами, врытыми в почву с одной стороны заборчика. Их проверяли раз в сутки. Отработано 244 цилиндро-суток.

Характер увлажнённости местообитания нами предложено оценивать, как потенциальную возможность накопления воды на определённой территории, в зависимости от степени вертикальной расчленённости рельефа (выровненности). Высокая степень выровненности определяет высокий процент заболоченности и озерности территории и влияет на густоту речной сети. Для определения зависимостей содержания ртути в тканях животных от выровненности рельефа и, как следствие, от увлажнённости их обитания применили следующий алгоритм: – определяли географические координаты мест отлова животных (станций) и абсолютные значения высот территории; – строили цифровую модель рельефа, используя космические снимки местности по данным радарной топографической съёмки специализированным спутником Shuttle radar topographic mission (SRTM, <http://srtm.csi.cgiar.org>; Rabus et al., 2003); – для оценки увлажнённости почвы вычисляли углы уклона рельефа (выровненность) – чем меньше уклон, тем выше потенциальная увлажнённость. Расчет углов и обработка данных проведены стандартным методом (Burrough & McDonell, 1998; Agris) в географической информационной системе (ГИС): QGIS 2.8 и ArcGIS 10.0 со стандартными пакетами обработки данных.

Погодные условия на исследуемой территории (г. Холм, Новгородской обл.) за 2007–2013 гг. охарактеризованы среднегодовыми, среднесезонными и ежемесячными значениями температуры и влажности воздуха на высоте до 2 м от земли, облачностью, количеством осадков и количеством дней с осадками, которые взяты с сайта Gismeteo (<https://www.gismeteo.ru/>).

Учитывая особенности жизненного цикла бурозубок (менее 1.5 лет жизни, первые выводки – весна–начало лета, несколько поколений животных в течение лета – начала осени, зимовка и т.д.), при анализе использовали данные за осенние месяцы не текущего, а предыдущего года. Мы предполагали, что накопление ртути – не быстрый процесс, и условия осени текущего года не могли еще оказать влияние на аккумуляцию ртути в тканях животных.

Отловленных животных замораживали и хранили при температуре – 4° – –12° С в полиэтиленовых пакетах. После разморозки животных, вырезали образцы тканей (мышц, печени, почек, мозга), которые высушивали в термостате при температуре 40°С. Содержание ртути в сухих пробах определяли в ИБВВ РАН атомно-абсорбционным методом холодного пара на ртутном анализаторе РА-915+ с приставкой ПИРО (Люмэкс), без предварительной пробоподготовки. Точность аналитических методов измерения контролировали с использованием сертифицированного биологического материала DORM-2 и DOLM-2 (Институт химии окружающей среды, Оттава, Канада).

Данные представляли в виде средних значений и их ошибок ($\bar{x} \pm m_x$). Результаты обрабатывали статистически, используя методы дисперсионного и регрессионного анализа (ANOVA). Для определения корреляционных связей между исследуемыми показателями, не имеющими нормального распределения (Shapiro-Wilk test), использовали непараметрический коэффициент Спирмена (r_s , $p < 0.05$), для оценки различий между выборками – тест Крускала-Уоллиса (Kruskal-Wallis).

Таблица 1. Станции отлова животных.

№	Биотоп и место	Координаты
1	Луг разнотравно-злаковый в урочище Рог, южная окраина болота	57° 04.881' N 30° 43.940' E
2	Луг злаково-разнотравный в 1 км от южной границы болота, р-н д. Фрюнино	57° 05.018' N 30° 44.568' E
3	Осиново-берёзовый разнотравный лес (остров Шнитник) южнее д. Ельно, Поддорского р-на	57° 21.346' N 30° 48.277' E
4	Ельник осиново-липняковый, Остров Венишный	57° 05.611' N 30° 43.450' E
8	Злаково-разнотравная поляна, Остров Сосновик	57° 21.954' N 30° 48.084' E
10	Сосняк багульниково-миртово-сфагновый, берег оз. Роговское	57° 05.234' N 30° 42.082' E
11	Вырубка по ельнику сложному, в 150 м от болота	57° 05.318' N 30° 44.116' E
12	Мелколиственный-еловый лес с-в. д. Фрюнино	57° 04.978' N 30° 45.183' E
13	Сосняк осоково-пушицево-сфагновый, урочище Ямно	57° 22.391' N 30° 56.129' E
14	Березняк осоково-тростниково-сфагновый, Урочище Ямно	57° 22.104' N 30° 56.532' E
15	Вырубка приручьевая, д. Фрюнино	57° 05.229' N 30° 43.965' E
16	Осоко-вахтовая топь, Р. Порусь	57° 21.476' N 30° 44.050' E

РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание ртути в органах малой бурозубки варьирует в широком диапазоне значений: от менее 0,01 до 0,49 мг/кг сухой массы (табл. 2). Максимальные значения зарегистрированы в почках, минимальные в мозге. Концентрации в мышцах и печени имеют промежуточные значения.

Таблица 2. Содержание ртути в органах и тканях бурозубки малой из разных биотопов.

Вид биотопа	№ станции	n*	Масса, г	Hg, мг/кг сухой массы			
				мышцы	печень	почки	мозг
Сухие биотопы, Угол уклона > 3 град.	1	14	2.6±0.1 2.2-2.7	0.04±0.01 0.01-0.12	0.05±0.01 0.01-0.08	0.05±0.01 0.02-0.10	0.03±0.01 0.01-0.08
	2	6	3.0±0.2 2.8-3.4	0.08±0.03 0.03-0.24	0.07±0.01 0.05-0.09	0.10±0.04 0.06-0.22	-
	3	4	2.9±0.1 2.7-3.3	0.17±0.03 0.11-0.26	0.14±0.02 0.11-0.18	0.22±0.02 0.19-0.24	0.08±0.02 0.06-0.10
	4	1	2.9	0.12	0.14	0.30	0.07
	8	5	3.2±0.2 2.5-3.7	0.10±0.02 0.07-0.15	0.09±0.05 0.04-0.14	0.23±0.03 0.16-0.31	0.04±0.01 0.02-0.07
	Σ	30	2.8±0.1 2.2-3.7	0.08±0.01 0.01-0.26	0.07±0.01 0.01-0.18	0.12±0.02 0.02-0.31	0.04±0.01 0.01-0.10
Увлажнённые биотопы Угол уклона < 3 град.	10	4	2.4±0.1 2.1-2.7	0.11±0.04 0.04-0.19	0.19±0.08 0.10-0.27	0.33±0.13 0.07-0.47	0.08
	11	2	2.7±0.1 2.6-2.8	0.05±0.01 0.04-0.06	0.07	0.07 0.06-0.08	0.03 0.02-0.04
	12	3	3.4±0.1 3.3-3.4	0.15±0.10 0.05-0.35	0.13±0.08 0.04-0.30	0.19±0.11 0.08-0.42	0.07±0.04 0.03-0.16
	13	18	2.8±0.1 2.6-3.1	0.12±0.01 0.05-0.17	0.13±0.02 0.03-0.49	0.17±0.06 0.08-0.30	0.06±0.01 0.02-0.13
	14	1	3.1	0.13	0.07	0.11	0.08
	15	2	2.5 1.3-3.2	0.22±0.11 0.11-0.33	0.09	0.12±0.03 0.09-0.15	0.07±0.02 0.04-0.11
	16	5	2.4±0.1 2.1-2.6	0.13±0.01 0.09-0.15	0.14±0.01 0.12-0.19	0.22±0.02 0.16-0.26	0.09
	Σ	35	2.7±0.1 1.3-3.4	0.12±0.01 0.04-0.35	0.13±0.02 0.03-0.49	0.18±0.02 0.06-0.47	0.06±0.01 0.002-0.16
По всем биотопам	65	2.7±0.1 1.3-1.7	0.10±0.01 0.01-0.35	0.10±0.01 0.01-0.49	0.16±0.01 0.02-0.47	0.05±0.01 0.002-0.16	

Примечание: * – объем выборки; приведены $x \pm t_x$, а также min max значения.

Станции отлова № 1–4 и 8 имеют больший угол уклона поверхности, чем станции № 10–16, т.е. имеют меньшее увлажнение. Содержание ртути во всех исследованных органах малой бурозубки было достоверно выше у зверьков, отловленных в более увлажненных биотопах, чем у бурозубок из менее влажных местообитаний (рис. 1, 2). При этом различия между средними значениями концентраций металла были минимальны (на 30%) для почек, в мышцах и мозге показатели отличаются в полтора раза, а в печени различия почти двукратные.

Минимальные уровни накопления ртути в тканях установлены у животных, населяющих сухой биотоп – луг (станция 1,2 и 8, рис. 3). Максимальные – у животных влажного биотопа: открытой болотной топи. Бурозубки из лесных биотопов: хвойный и лиственный леса, лесные вырубki) накапливают промежуточные уровни ртути.

Измеренные концентрации ртути в тканях малой бурозубки в разные годы отлова отличались в полтора-два раза, однако различия статистически не значимы, также как и корреляционные связи содержания ртути со средними за год погодными условиями. Статистически значимые корреляционные связи выявлены между содержанием ртути в тканях животных и погодными условиями по отдельным сезонам в разные годы (рис. 4). Установлена достоверная положительная зависимость накопления металла от температуры воздуха в летние месяцы и количества атмосферных осадков в весенние. Достоверная отрицательная – от температуры в зимние месяцы, от количества осадков предшествующей осенью, количества дней с осадками летом и осенью, влажностью летом. Более сильные корреляционные связи ($R^2 > 90\%$) установлены между накоплением ртути и количеством атмосферных осадков в мае и температурой в июне.

ОБСУЖДЕНИЕ

Установленные уровни содержания ртути в тканях малой бурозубки из разных биотопов Рдейского заповедника и его охранной зоны соизмеримы с таковыми у бурозубок, обитающих на территории, где отсутствуют локальные источники загрязнения (Воронежский государственный заповедник, г. Череповец) (Комов и др., 2010; Kоmov et al., 2017) и кратно ниже, чем на загрязненных промышленным производством (S nchez-Chardi et al., 2009). Ранее было показано, что даже при отсутствии локальных промышленных, сельскохозяйственных или коммунально-бытовых источников, поступлений ртути только из атмосферы вполне достаточно для того, чтобы некрупный окунь в некоторых озерах, расположенных на верховых болотах Полистово-Ловатского массива, накапливал в мышцах большое количество металла (Комов и др., 2009).

Болота и заболоченные территории представляют собой эффективные накопители ртути. По России данные отсутствуют, но на севере США болота занимают всего 2% от площади лесов и при этом депонируют ртути в 20 раз больше, чем вся территория, занятая лесами (Grigal, 2003). Однако этот металл депонируется в торфяниках и затофованных почвах не полностью, и какая-то часть ртути поступает в сопредельные биотопы. Например, содержание ртути в рыбе тем выше, чем больше процент заболачивания водосбора (Greenfield

et al., 2001). Так как предпосылкой образования и развития ветландов и болот является выровненность ландшафта, то определение угла уклона поверхности может служить достаточно точным инструментом количественной оценки степени обводненности верхних горизонтов почвы и, как следствие, включения ртути в биогеоценозы.

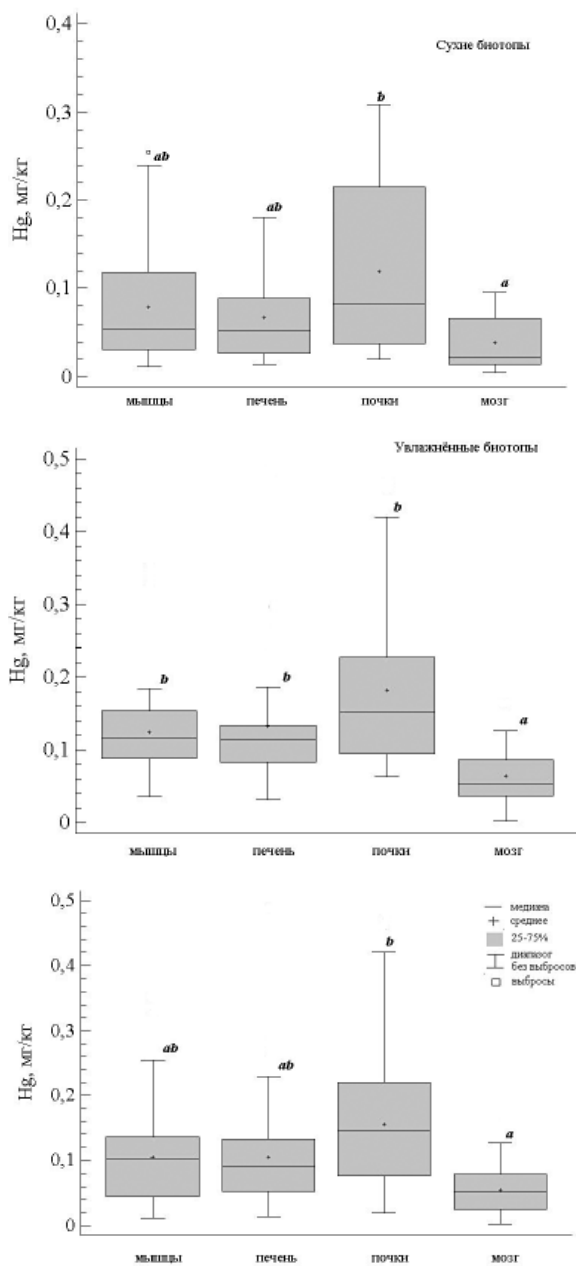


Рис. 1. Содержание ртути в тканях малой бурозубки из сухих, увлажненных биотопов и всей выборки (соответственно сверху-вниз)

Характер растительности также хорошо отражает степень увлажненности почвы, но, за исключением луга и топи, велика вероятность неполноты описания биотопа, что может ограничивать применение такой классификации как индикатора накопления ртути.

Межгодовые отличия содержания ртути в тканях малой бурозубки, отловленной на охраняемых территориях Рдейского заповедника, составили в среднем от полутора до двух раз в зависимости от анализируемой ткани (органа). Поскольку поступление металла в экосистемы заповедника определя-

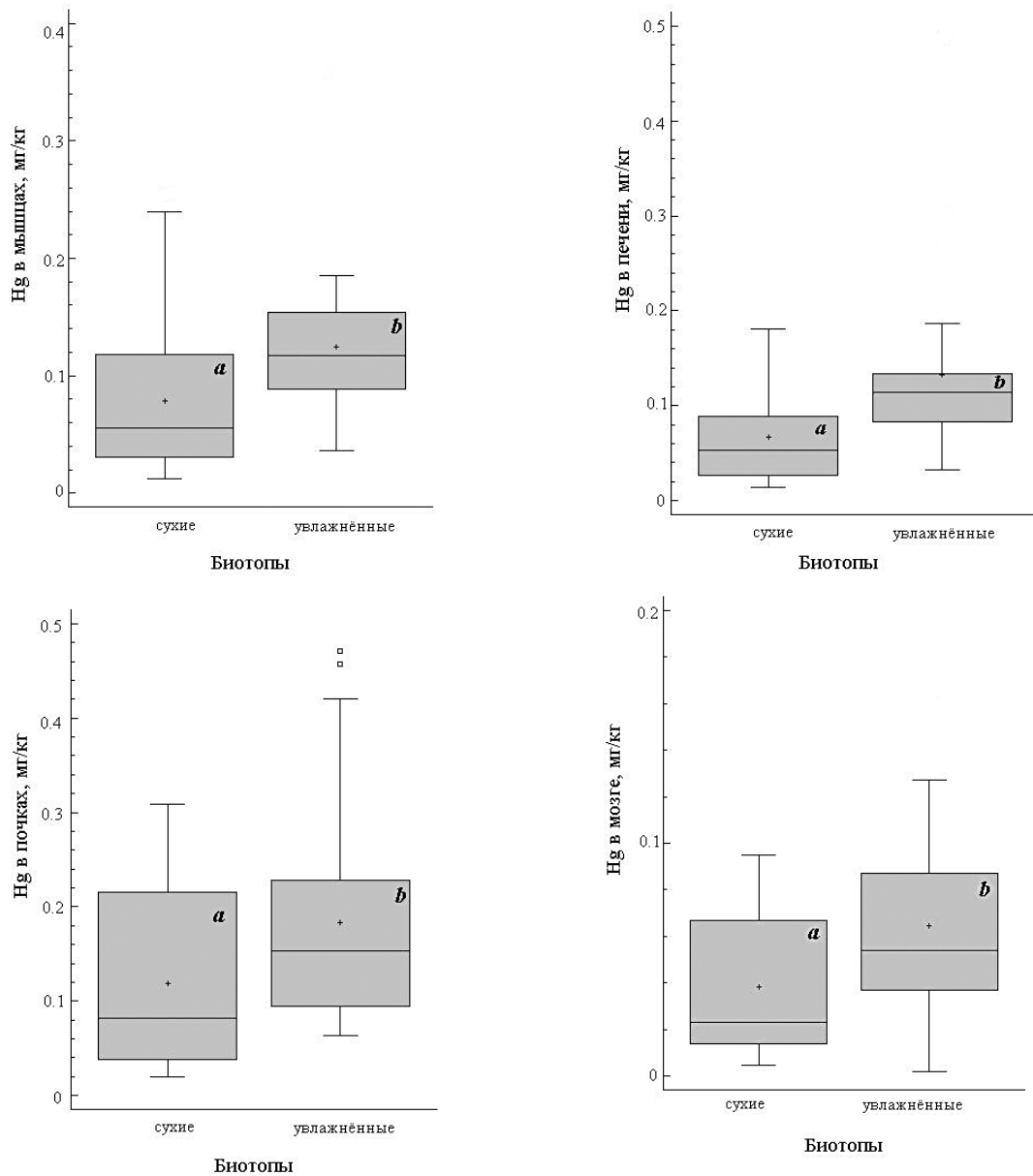


Рис. 2. Содержание ртути в тканях малой бурозубки из сухих и увлажненных биотопов.

ется атмосферными выпадениями (локальных источников нет), то логично предположить влияние погодных условий на этот процесс. Считается, что в атмосфере газообразная металлическая форма ртути значительно преобладает над газообразными окисленными соединениями металла и ртутью, связанной с твердыми пылевыми частицами, которые в сухом виде или вместе с влагой выпадают на земную и водную поверхность (Lindberg et al., 2007). Изменение формы пребывания ртути в атмосфере зависит от скорости окисления, которая в свою очередь определяется концентрацией некоторых ионов, таких как бром или OH^- (Schroeder, Munthe, 1998; Lin, Pehkonen, 1999; Holmes et al., 2010). Поток ртути из атмосферы на земную поверхность в северном полушарии определяется количеством атмосферных осадков (Расуна et al., 2010; Choi et al., 2008). Поэтому максимальные уровни поступления ртути, зарегистрированные на большинстве станций наблюдения, приходятся на дождливые годы,

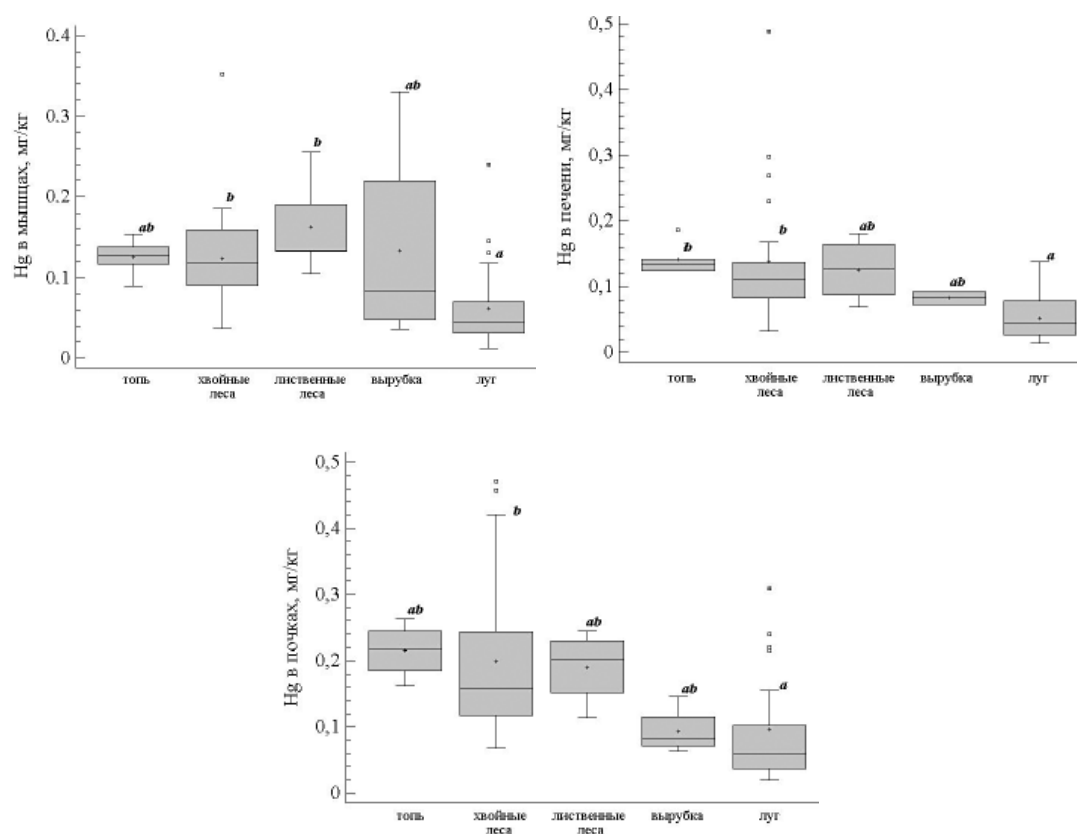


Рис. 3. Содержание ртути в тканях малой бурозубки из разных биотопов (топь – станция 16, хвойные леса – станции 4,10,13; лиственные леса – станции 3,12,14; вырубка – станции 11,15; луг – станции 1,2,8.

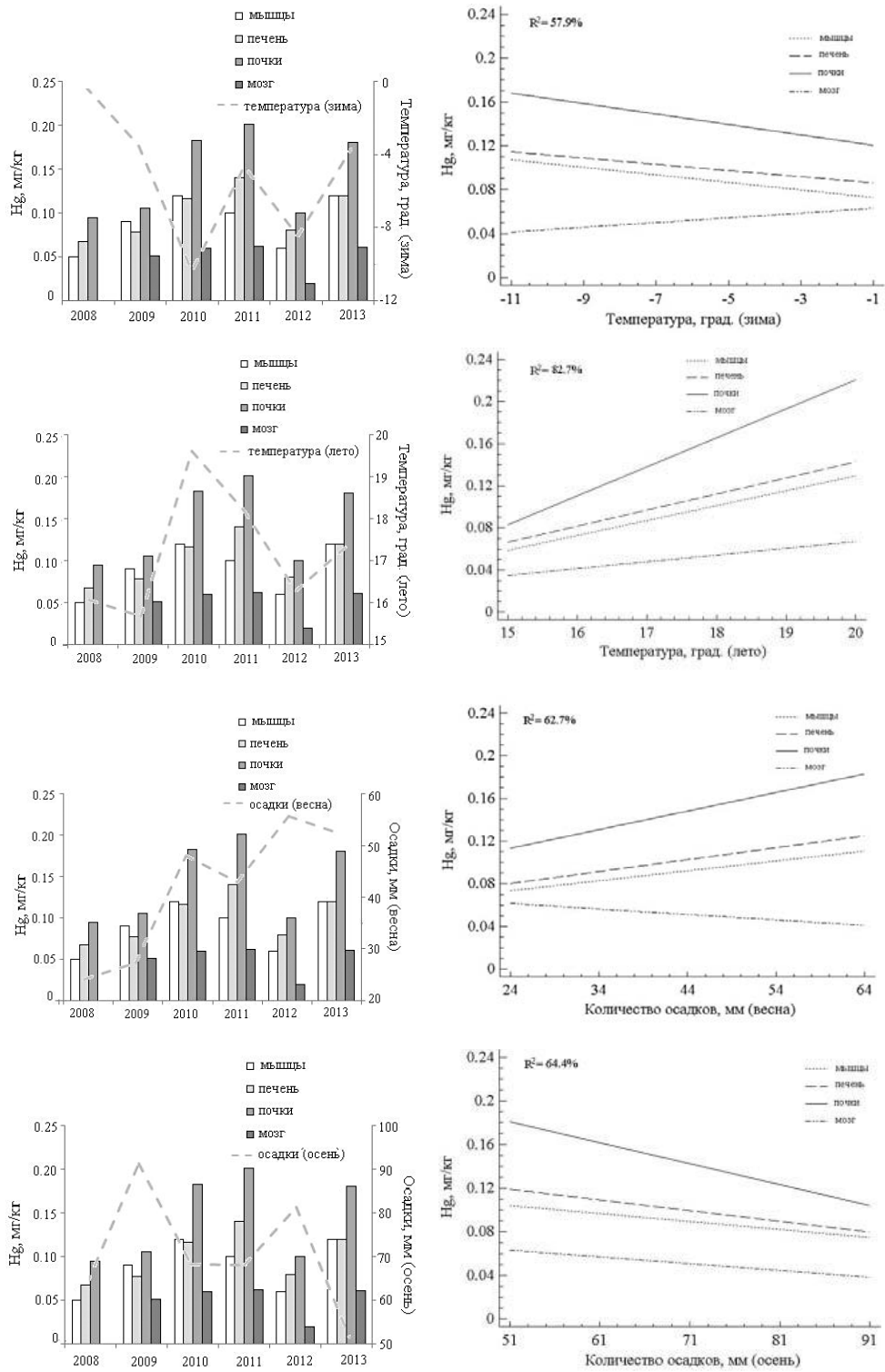


Рис. 4. Содержание ртути в органах малой бурозубки и погодные условия

а в течение года — это весна, лето или осень, в зависимости от того, на какой сезон приходится наибольшее количество атмосферных осадков (Sprovieri et al., 2016, 2017). В течение пятилетнего периода наблюдений концентрации ртути в тканях малой бурозубки положительно коррелировали с количеством атмосферных осадков только в весенние месяцы (максимально — май). Но отрицательно — осенью, а также с количеством дней с осадками летом и осенью, влажностью летом. Больше количество ртути, поступающей в теплое время года, по сравнению с зимой объясняется более эффективным улавливанием ртути дождевой водой по сравнению со снегом (Hoyer et al., 1995; Keeler et al., 2005; Selin and Jacob, 2008). Накопление ртути бурозубками достоверно не коррелирует с количеством зимних атмосферных осадков, а также с общим количеством атмосферных осадков за год предшествующий сроку отлова (сентябрь). На поверхности снежного покрова происходят как процессы окисления ртути, ведущие к ее осаждению, так и восстановления ртути до газообразной элементной (металлической) формы, которая улетучивается опять в атмосферу (Ferrari et al., 2008). Более того, в зимний период ртуть способна поступать в снежный покров из почвы (Nelson et al., 2007). Этот факт может в какой-то степени объяснять повышенные уровни содержания ртути в бурозубках в годы, когда предшествующая отлову зима была морозной, и испарение металла из почвы замедлялось.

В экспериментах было показано, что при одинаковой температуре солнечная радиация существенно (в 1,5–116 раз) увеличивает восстановление ртути до газообразной элементной (металлической) формы из различных природных материалов (песок, донные отложения, почвы), по сравнению с условиями абсолютной темноты (отсутствия солнечного света) (Gustina et al., 2002). Поэтому затененность деревьями в лесу снижает эмиссию ртути из почв в разы по сравнению с эмиссией, которая регистрируется на открытых пространствах (в поле) (Zhang et al., 2001; Carpi and Lindberg, 1998). В тканях бурозубок из затененных биотопов (хвойный лес) содержание ртути было выше, чем в лиственных лесах или на вырубках. Открытые, незатененные биотопы, Рдейского заповедника населены бурозубками как с самыми низкими концентрациями металла в тканях — луг, так и с максимальными — топь.

В Финляндии — ближайшая от Рдейского заповедника станция наблюдения — поступление ртути с атмосферными выпадениями в 2011–2014 гг. составило 1,3–2,9 мкг/м² в год, т.е. межгодовые отличия немного больше, чем в два раза (Sprovieri et al., 2016, 2017). Это близко к межгодовым различиям содержания ртути в тканях бурозубок Рдейского заповедника.

Ртуть поступает в организм животных с пищей, поэтому вышеприведенный анализ погодных условий следует рассматривать с учетом не только миграционных возможностей ртути, но и влияния факторов среды на всю сложную трофическую сеть, особенно объектов рациона питания малой бурозубки. Но отсутствие необходимой информации затрудняет решение проблемы. Известно, что содержание ртути в дождевых червях и в почве хорошо скоррелированы, также как содержание в червях и тканях обыкновенной бурозубки (Комов и др., 2010; Удоденко и др., 2012; Kотов et al., 2017). Однако в рационе питания малой бурозубки черви составляют незначительную часть (Мака-

ров, Ивантер, 2016). Данных по содержанию металла в предпочитаемых объектах питания малой бурозубки — паукообразных и жужелицах нами не найдено. Вместе с тем известно, что переувлажнение мест обитания жужелиц негативно влияет на их выживаемость (Шарова, 1981), а низкие зимние температуры изменяют видовой состав пауков (Мазура, 2000). Возможно, установленные корреляционные связи накопления металла в бурозубках с погодными условиями определены изменениями рациона питания. Так, высокие температуры в летний период (особенно в июне) благоприятно влияют на развитие беспозвоночных, включая предпочитаемые малой бурозубкой объекты добычи. Майские дожди, выпадающие после относительно сухого (мало дождливого), как правило, апреля, способствуют интенсивной вегетации и образованию временных водоемов с развивающимися там личинками насекомых, имаго которых будут потенциальными жертвами пауков. В другие сезоны избыточная влага не создает комфортных условий для развития пищевых объектов питания.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Таким образом, содержание ртути в тканях малой бурозубки из разных биотопов Рдейского заповедника соизмеримо накоплению металла обыкновенной бурозубкой из регионов, где локальные источники загрязнения отсутствуют. Примененный метод расчета угла уклона поверхности для оценки степени выровненности ландшафта и обводненности почвы, позволил выделить биотопы, отличающиеся уровнями концентраций ртути в тканях малой бурозубки в полтора-два раза: максимальные концентрации зарегистрированы при низких углах уклона (<3 градусов), минимальные при более высоких уклонах. Использованный показатель угла уклона поверхности представляется нам успешным и перспективным для прогноза уровня включения ртути в трофические сети. Открытые, незатененные биотопы, Рдейского заповедника населены бурозубками как с самыми низкими концентрациями металла в тканях — луг, так и с максимальными — топь. Установлена достоверная положительная зависимость накопления металла от температуры в летние месяцы и количества атмосферных осадков в весенние. Достоверная отрицательная — от температуры в зимние месяцы, от количества осадков осенью, количества дней с осадками летом и осенью, влажностью летом. Изменения более выражены у животных из сухих биотопов по сравнению с увлажненными.

ЛИТЕРАТУРА

Богдановская-Гиенэф И.Д. Закономерности формирования сфагновых болт верхового типа (на примере Полистово-Ловатского массива). Л.: Наука, 1969. 186 с.

Голованова И.Л., Пенькова Г.А., Степина Е.С., Филиппов А.А., Комов В.Т. Влияние ртути на гидролиз углеводов в кишечнике бурозубок // Токсикол. вестник. 2012. № 3. С. 52–56.

Гремячих В.А., Комов В.Т., Завьялова Л.Ф. Содержание ртути в тканях млекопитающих и птиц государственного природного заповедника «Рдей-

ский» и прилегающих к нему территорий // Труды Государственного природного заповедника «Рдейский». Великий Новгород, 2013. Вып. 2. С. 82–107.

Завьялова Л.Ф., Завьялов Н.А. Фауна млекопитающих Рдейского заповедника и его охранной зоны // Труды Государственного природного заповедника «Рдейский». Великий Новгород, 2013. Вып. 2. С. 18–45.

Ивантер Э.В., Коросов А.В., Макаров А.М. К изучению трофических связей мелких насекомоядных млекопитающих // Зоологический журнал. 2015. Т. 94, № 6. С. 711–722.

Комов В.Т., Гремячих В.А., Камшилова Т.Б., Лобус Н.В. Содержание ртути в мышцах окуня из озёр Полистово-Ловатского верхового болотного массива // Труды государственного природного заповедника «Рдейский». Выпуск 1. Великий Новгород, 2009. С. 102–115.

Комов В.Т., Гремячих В.А., Сапельников С.Ф., Удоенко Ю.Г. Содержание ртути в почвах и в мелких млекопитающих различных биотопов Воронежского заповедника // Материалы Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». М.: Изд-во ГЕОХИ РАН. 2010. С. 281–286.

Мазура Н.С. Фауна и экология пауков северо-восточной части Русской равнины: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2000. 21 с.

Макаров А.М., Ивантер Э.В. Размерные особенности жертв, и их роль в питании землероек-бурозубок (*Sorex L.*) // Экология. 2016. № 3. С. 236–240.

Попов М.В. Равнозубая, средняя и малая бурозубки // Млекопитающие Якутии. М., Л.: Наука, 1971. С. 51–71.

Удоенко Ю.Г., Девятова Т.А., Комов В.Т., Трегубов О.В., Одинцов А.Н. Содержание ртути в почвах и земляных червях (*Oligocheta*, *Lumbricidae*) Воронежского заповедника // Вестник ВГУ. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2012. № 2. С. 209–214.

Шарова И.Х. Жизненные формы жуужелиц (*Coleoptera*, *Carabidae*). М.: Наука, 1981. 360 с.

Agris. <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>

Agris. https://www.qgistutorials.com/en/docs/working_with_terrain.html

Boening D.W., Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. // *Chemosphere*. 2000. 40: 1335–1351.

Burrough P. A., McDonell R. A., Principles of Geographical Information Systems.- Oxford University Press, New York, 1998. 190 pp.

Carpi A., Lindberg S.E. Application of a teflon™ dynamic flux chamber for quantifying soil mercury flux: Tests and results over background soil.// *Atmospheric Environment*. 1998. Volume 32, Issue 5, March, P. 873–882.

Choi H.-D., Sharac T. J., and Holsen T. M.: Mercury deposition in the Adirondacks: A comparison between precipitation and throughfall. // *Atmospheric Environment*, 2008. 42: 1818–1827.

Douglas T.A. , Loseto L.L. , MacDonald R.W. , Outridge P., Dommergue A., Poulain A., et al. The fate of mercury in Arctic terrestrial and aquatic ecosystems, a review. // *Environ. Chem*, 2012. 9: 321–355.

Ferrari C., Padov C., Faïn X., Gauchard P., Dommerguea A. et al. Atmospheric mercury depletion event study in Ny-Alesund. // *Science of the total environment*. 2008, 397: 167– 77.

- Gismeteo (<https://www.gismeteo.ru/>)
- Grigal D. F. Mercury sequestration in forests and peatlands. // A review. *J. Environ. Qual.* 2003. 32: 393–405.
- Greenfield B.K., Hrabik T.R., Harvey C.J., Carpenter S.R. Predicting mercury levels in yellow perch: use of water chemistry, trophic ecology, and spatial traits. // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2001. V. 58. P. 1419–1429.
- Gustina M. S., Biesterb H., Kimc C.S. Investigation of the light-enhanced emission of mercury from naturally enriched substrates. // *Atmospheric Environment.* 2002, 36: 3241–3254.
- Hoyer M., Burke J., Keeler G.: Atmospheric sources, transport and deposition of mercury in Michigan: two years of event precipitation. // *Water Air Soil Pollut.*, 1995. 80: 199–208.
- Holmes C. D., Jacob D. J., Corbitt E. S., Mao J., Yang X., Talbot R., and Slemr F. Global atmospheric model for mercury including oxidation by bromine atoms. // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010. 10: 12037 – 12057.
- Keeler G., Gratz L., and Al-wali K.: Long-term Atmospheric Mercury Wet Deposition at Underhill, Vermont. // *Ecotoxicology.* 2005. 14: 71–83.
- Komov V.T., Ivanova E.S., Poddubnaya N.Y., Gremyachikh V.A. Mercury in soil, earthworms and organs of voles *Myodes glareolus* and shrew *Sorex araneus* in the vicinity of an industrial complex in Northwest Russia (Cherepovets). // *Environ Monit. Assess.* 2017. P. 189:104
- Lin C., Pehkonen S.: The chemistry of atmospheric mercury: a review. // *Atmospheric Environment.* 1999. 33: 2067–2079.
- Lindberg S., Bullock R., Ebinghaus R., Engstrom D., Feng X., Fitzgerald W., Pirrone N., Prestbo E., Seigneur C.: A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition. // *AMBIO: A Journal of the Human Environment.* 2007. 36: 19–33.
- Liu G., Cai Y., O’Driscoll N. (eds.). *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury.* Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2012.
- Nelson S. J., Johnson K.B., Weathers K.C., Loftin C.S., Fernandez I.J., Kahl J.S., Krabbenhoft D.P. A comparison of winter mercury accumulation at forested and no-canopy sites measured with different snow sampling techniques. // *Applied Geochemistry.* 2008, 23:384–398. doi:10.1016/j.apgeochem.2007.12.009
- Pacyna E., Pacyna J., Sundseth K., Munthe J., Kindbom K., Wilson S., Steenhuisen F., Maxson P. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020. // *Atmos. Environ.* 2009. 44:2487–2499. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.06.009, 2010.
- Rabus B., Eineder M., Roth A., Bamler R. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. // *Photogramm. Rem. Sens.*, 2003. V. 57. P. 241–262.
- S nchez-Chardi A., Ribeiro C. A., Nadal J. Metals in liver and kidneys and the effects of chronic exposure to pyrite mine pollution in the shrew *Crocidura russula* inhabiting the protected wetland of Donana. // *Chemosphere.* 2009. 76: 387–394.
- Scheuhammer A., Meyer, Sandheinrich M., Murray M. Effects of Environmental Methylmercury on the Health of Wild Birds, Mammals, and Fish. // *Ambio.* XXXVI. 2007. № 1. P. 12–18.

Schroeder W., Munthe J.: Atmospheric mercury – An overview. // *Atmospheric Environment*. 1998. 32. doi:10.1016/S1352-2310(97)00293-8, 5.

Selin N. E., Jacob D. J. Seasonal and spatial patterns of mercury wet deposition in the United States: Constraints on the contribution from North American anthropogenic sources. // *Atmospheric Environment*. 2008. 42(21): 5193–5204.

Sprovieri F., Pirrone N., Bencardino M., et al. Atmospheric mercury concentrations observed at ground-based monitoring sites globally distributed in the framework of the GMOS network. // *Atmos. Chem. Phys.*, 2016. 16:11915–11935. www.atmos-chem-phys.net/16/11915/2016/

Sprovieri F., Pirrone N., Bencardino M., et al. Five-year records of Total Mercury Deposition flux at GMOS sites in the Northern and Southern Hemispheres. // *Atmos. Chem. Phys.*, 2017. 17: 2689–2708. <https://doi.org/10.5194/acp-17-2689-2017>

SRTM <http://srtm.csi.cgiar.org>

Zhang H., Lindberg S.E., Marsik F.J., Keeler G.J. Mercury Air/Surface Exchange Kinetics of Background Soils of the Tahquamenon River Watershed in the Michigan Upper Peninsula. // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2001. 126:151–169.