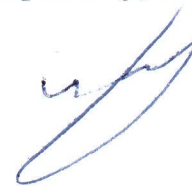


На правах рукописи



Удоденко Юрий Геннадьевич

**НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В ПОЧВАХ И ПЕ-
ДОБИОНТАХ ЗАПОВЕДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОРО-
НЕЖСКОГО И ОКСКОГО ЗАПОВЕДНИКОВ).**

03.02.08 – Экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Воронеж 2014

Работа выполнена на кафедре экологии и земельных ресурсов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент
Девятова Татьяна Анатольевна

Официальные оппоненты: **Свистова Ирина Дмитриевна**
доктор биологических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный педагогический университет», кафедра биологии растений и животных естественно-географического факультета, профессор

Молоканова Лариса Витальевна,
кандидат биологических наук, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кафедра инженерной экологии факультета экологии и химической технологии, доцент

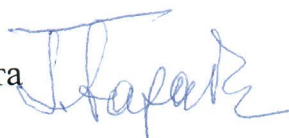
Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»

Защита состоится «24» декабря 2014 года в 16 часов на заседании диссертационного совета 212.038.05 при Воронежском государственном университете по адресу: 394006, г. Воронеж, Университетская пл. 1, ауд. 59

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного университета и на сайте университета <http://www.vsu.ru>

Автореферат разослан «__» октября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Барабаш Галина Ильинична

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Ртуть единственный металл, который при оптимальных для живых организмов температурных условиях находится, как в жидком, так и в парообразном состоянии, что наряду со специфическими свойствами (сродство к серосодержащим соединениям, способность образовывать стойкие метилированные соединения, возможность восстанавливаться до металла из этих соединений), определяет ее высокую миграционную подвижность в биосфере, летучесть и токсичность для большинства живых организмов [Scheuhammer et al., 2007].

В атмосфере естественные соединения ртути находятся в рассеянном состоянии. Антропогенное воздействие приводит к усилению миграции ртути, перераспределению естественных соединений и привносу в биогеохимический цикл ртути техногенного происхождения [Ebinghause et al., 1999; Horvat, 1996]. Проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды ртутью возникли в 50-70-е годы XX века, когда происходили массовые отравления людей в результате употребления в пищу рыбы из сильнозагрязненных водоемов.

К настоящему моменту накоплен обширный материал о закономерности миграции ртути в водных экосистемах [Mason et al., 1993; Cossa et al., 1994; Лапердина, 2000; Lawson et al., 2001; Моисеенко, 2010]. Это связано, прежде всего с тем, что в водной среде присутствуют условия для бактериального образования токсичных ртутьорганических соединений, например – метилртути [Scheuhammer et al., 2007]. Исследования миграции ртути в биотических и абиотических компонентах наземных экосистем немногочисленны и носят фрагментарный характер [Кот, 1996; Комов, 2010; Ермаков, 2010; Иванова 2013]. До настоящего времени недостаточно данных о распределении ртути в почвенном профиле и пространственно-географических различиях ее валового содержания в почвах отдельных типов и регионов [Байдина, 1999, 2001; Гладкова, Малинина, 1999, 2005; Зырин, 1981; Иванов, 2010].

Из всех наземных широко распространенных экосистем лесные экосистемы обладают значительным потенциалом, обеспечивающим фиксацию, распределение, накопление, миграцию и высвобождение ртути [Lindquist et al., 1991; Meily, 1991]. При этом одна из основных ролей в этих процессах отводится почвенному покрову и особенностям почвообразования лесных почв. Из всех лесных экосистем на данном этапе наибольший интерес представляют особо охраняемые территории (ООПТ), испытывающие минимальную антропогенную нагрузку, где основным источником поступления ртути являются атмосферные осадки. Исходя из вышесказанного, исследование накопления и распределения ртути в почвах и педобионтах ООПТ является весьма актуальным.

Цель работы: выявление особенностей распределения ртути в фоновых почвах особо охраняемых природных территорий, сформировавшихся под различными растительными сообществами лесной и лесостепной природных зон и возможности миграции металла по наземным пищевым цепям.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить содержание ртути в различных типах почв Воронежского и Окского заповедников, где локальное загрязнение сведено к минимуму, а основным источником поступления ртути в наземные экосистемы являются атмосферные осадки;
2. Установить особенности накопления ртути в почвенном покрове в зависимости от биоценоза;
3. Изучить физико-химические и химические свойства почв, и их влияние на накопление соединений ртути;
4. Установить региональные отличия в процессах накопления и распределения ртути в почвах заповедников находящихся в различных географических условиях;
5. Определить содержание ртути в организмах находящихся на разных трофических уровнях наземной пищевой цепи.

Научная новизна. Впервые определено содержание ртути в почвах различного генезиса Воронежского и Окского заповедников. Проведено комплексное исследование особенностей накопления и распределения ртути в почвах и педобионтах в зависимости от растительных условий, физико-химических и химических свойств почв. Выявлены особенности аккумуляции ртути в различных звеньях наземной пищевой цепи в зависимости от ее содержания в верхних горизонтах почв.

Теоритическая и практическая значимость. Полученные данные вносят вклад в изучение механизмов миграции и биоаккумуляции ртути в компонентах наземных экосистем. Результаты проведенных исследований позволяют прогнозировать изменение содержания ртути в почвенном покрове при нарушении лесорастительных условий, на их основе возможен выбор объектов мониторинга на особо охраняемых природных территориях или при их организации. Значимым является возможность использования результатов работы при составлении прогнозов состояния окружающей среды на территориях со сходными природно-климатическими условиями. Материалы исследования включены в учебные дисциплины направления подготовки бакалавров и магистров «Экология и природопользование», «Почвоведение».

Личный вклад автора состоит в проведении полевых и лабораторных работ, анализа и статистической обработки полученных данных, обсуждении результатов исследований, написании диссертации, формулировки выводов.

Положения, выносимые на защиту:

- Содержание ртути в почвах Окского и Воронежского заповедников варьируют в широких пределах (от следовых количеств до 0.212 мг/кг) и определяются характером биоценоза, а так же характерными для каждого из рассмотренных типов почв физико-химическими и химическими свойствами;
- Почвенной покров служит источником поступления ртути в пищевые цепи наземных экосистем;

- Количество накопленной ртути в органах и тканях дождевых червей и насекомоядных млекопитающих выше, чем концентрации металла в растительноядных млекопитающих и зависят от ее содержания в поверхностных горизонтах почв;

- Содержание ртути в организмах дождевых червей и насекомоядных млекопитающих выше концентраций металла в почве. У млекопитающих, в рационе которых преобладают растительные корма, содержание металла количественно близко к его содержанию в верхних горизонтах почв.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертации были представлены на научно-практической конференции «Роль особо охраняемых природных территорий лесостепной и степной природных зон в сохранении биологического разнообразия» (Воронеж, 2007), международной конференции «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Москва, 2010), VI съезде общества почвоведов им. В. В. Докучаева всероссийской с международным участием научной конференции «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования» (Петрозаводск-Москва, 2012), международной научно-практической конференции «Экология, эволюция и систематика животных» (Рязань, 2012).

По теме диссертации опубликовано семь работ, три из которых в журналах рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 158 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы, состоящего из 178 источников, в том числе 84 иностранных, содержит 25 рисунков и 26 таблиц.

Обзор литературы

Представлен обзор литературных данных по общей характеристике ртути как химического элемента, особенностей ее поступления из различных источников в почвы и живые организмы, особенностям миграции и распределения ртути в атмосфере, водных экосистемах, почвах и влиянии на живые организмы в результате биоаккумуляции [Байдина, 1999, 2001; Гладкова, Малинина, 1999; Гладышев, 1974, Ермаков, 2010; Зырин, 1981; Иванова, 2013; Комов, 2010; Лапердина, 2000, 2005; Малинина, Гладкова, 2004; Cristol et al, 2008; Lindquist et al., 1991; Mason et al., 1993; Maxon, 2005; Расуна, 2002, 2005; Rieder, 2011; Skyllberg, 2010; UNEP, 2002, 2005, 2008].

Объекты исследования, материалы, методы

Воронежский и Окский заповедники расположены на территории европейской части Российской Федерации в самом центре Русской равнины. Воронежский заповедник занимает северную часть Усманского бора, который представляет собой крупный лесной массив на стыке Воронежской и Липецкой областей, один из немногих уцелевших в лесостепной зоне к настоящему времени. Окский заповедник расположен в центре Рязанской области в 120 км к востоку от областного центра и занимает обширный участок юга Мещерской низменности.

В геологическом отношении территория Воронежского заповедника представляет собой молодую, сформировавшуюся в четвертичное время равнину. Относительные высоты колеблются от 90-100 м в западной части заповедника, до 150-160 м на северо-восточной границе. Преобладающими в фитоценозах сосняки (35.1%) и дубняки (31.4%), осинники занимают 20.6% территории, березняки и ольшаники 6.2% и 5.8% соответственно.

Рельеф Окского заповедника равнинный, с относительными высотами 70-80 м на юго-востоке и 140-160 м в северо-западной части. Преобладающей растительными сообществами являются сосняки (43% насаждений), за ней идут березняки (37%), ольшаники (7.5%) и дубняки (4.7%).

В качестве объектов исследования послужили почвы, сформировавшиеся на территории заповедников в различных биоценозах расположенных на разных элементах мезорельефа.

В Воронежском заповеднике обследованные биоценозы были разделены на три группы: 1) Сосняки, дубравы и осинники, занимающие выровненные участки террас с песчаными и супесчаными почвами, со сквозным или слабым поверхностным стоком, являющиеся элювиальными геохимическим ландшафтами; 2) Внепойменные замкнутые понижения со слабым или отсутствующим внутрипочвенным стоком, являющиеся трансэлювиально-аккумулятивными ландшафтами; 3) Ольшаники в поймах рек дренирующих заповедник, являющиеся суперэлювиальными ландшафтами.

В каждом биоценозе закладывался почвенный разрез, проводилось морфологическое описание почвенного профиля, отбирались почвенные образцы по генетическим горизонтам [Евдокимова, 1987]. Определение относительных высот и положение в рельефе определялось с помощью гипсометрической и ландшафтной карт [Солнцев и др., 2006].

В результате выбранные точки отбора позволили объединить обследованные биоценозы в пять, приуроченных к террасам р. Воронеж геохимических катен, с участками отличающихся по транспорту и аккумуляции веществ. Катены были названы по ближайшему к ним населенному пункту: 1) Краснолесненская - расположена в юго-восточной части заповедника и занимает IV террасу р. Воронеж, II террасу и правый берег поймы р. Усмань, с относительными высотами 130 – 150 м; 2) Большеприваловская - расположена так же в юго-восточной части заповедника на IV террасе р. Воронеж и в пойме левого берега р. Усмань, с относительными высотами 130 – 160 м; 3) Усманская - полностью расположена на самом высоком участке IV террасы р. Воронеж, в северной части заповедника, самая высокая в рельефном плане группа с относительными высотами 150 – 160 м; 4) Борская - расположена в центральной части заповедника занимая III террасу р. Воронеж и пойму р. Ивница, относительная высота колеблется в пределах 130 – 110 м; 5) Рамонская - расположена в западной части заповедника и занимает II террасу и примыкающие к пойме р. Воронеж эрозийные участки, является самой низкой в рельефном плане группой с относительными высотами 100 – 110 м.

В Окском заповеднике была рассмотрена одна катена занимающая пойму и коренной берег р. Пра в непосредственной близости от поселка Бры-

кин Бор. Почвы изучались под теми же биоценозами, что и Воронежском заповеднике.

В Воронежском заповеднике было заложено 24 разреза, а в Окском – 4. Подготовка почвы к анализу осуществлялась по общепринятым методам (Теория и практика, 2006). Почвенные образцы были проанализированы в 2-х повторах по следующим показателям: 1) содержание органического вещества методом Тюрина, без пересчета коэффициента на гумус; 2) актуальная кислотность, потенциометрическим методом; 3) обменные кальций и магний, комплексонометрическим методом; 4) щелочногидролизуемый азот, по Корнфилду;

Для определения накопления ртути в организмах наземных пищевых цепей в Воронежском заповеднике проводился сбор дождевых червей (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) и почвенных млекопитающих отрядов насекомоядные – обыкновенная (*Sorex araneus*, Linnaeus, 1758) и малая бурозубки (*Sorex minutus*, Linnaeus, 1766) - и грызуны – рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus*, Schreber, 1780).

Дождевые черви и мелкие млекопитающие являются наиболее массовыми видами педобионтов, относящихся к разным трофическим группам, и стоящих на разных уровнях пищевой цепи. Черви играют значительную роль в биогеохимическом круговороте ртути, так как поглощают и перерабатывают в кишечнике большое количество почвы. Мелкие млекопитающие не мигрируют на большие расстояния и могут отражать биогеохимические процессы в отдельных биоценозах.

Сбор червей проводился в верхних 20 см почвенного профиля в радиусе 10 метров от почвенного разреза [Методы почвенно-зоологических исследований, 1975]. Отбирались только половозрелые особи с хорошо выраженным пояском. Черви на сутки помещались в емкости с влажной фильтровальной бумагой. Далее они высушивались на воздухе при комнатной температуре.

Отлов мелких млекопитающих проводился на отдельной геохимической катене, занимающей IV террасу р. Воронеж, занимающей уступ к пойме и саму пойму р. Усмань. Для сбора материала были выбраны 5 биоценозов (суборь, осинник, дубрава, ольшаник, луг) на которых в течение длительного времени проводится учет мелких млекопитающих.

Отлов обыкновенной и малой бурозубок произведен в октябре 2008г., рыжей полевки в октябре 2009г. Мелкие млекопитающие отлавливались с помощью давилок Геро на стандартную приманку - хлеб, обжаренный в подсолнечном масле [Новиков, 1949].

Определение содержания ртути во всех образцах (почвы, животные) проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрометре с зеемановской коррекцией для определения ртути в различных средах «РА-915+» с пиролитической приставкой «ПИРО-915+» [Машьянов и др., 2001]. 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).

Статистический анализ данных проводили с помощью программы STATGRAPHICS Centurion XVI.I. Достоверность различий оценивали, используя метод дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-тест) при уровне значимости $p \leq 0,05$ [Sokal, 1995].

Характеристика исследованных почв

Почвенный покров Воронежского заповедника довольно разнообразен и не обладает зональными чертами типичной лесостепи, в пределах которой находится. Типы и виды почв варьируют в соответствии с типами леса – под сосняками формируются дерново-лесные почвы, под дубняками и осинниками светло-серые и серые лесные почвы, под ольшаниками пойменные лесные почвы, на болотах торфяно-глеевые и торфяно-перегнойно-глеевые почвы. При названии некоторых почв использовалась классификация разработанная сотрудниками заповедника [Рекшинская, 1952; Трегубов, 1990]. Необходимо отметить, что в настоящем исследовании рассматривался почвенный покров наиболее типичных участков различных элементов рельефа Воронежского заповедника, и он не отражает всего разнообразия почв исследуемой территории.

На территории Окского заповедника разрезы закладывались II надпойменной террасе и правобережной пойме реки Пра в кварталах 26 и 27 Лакашского лесничества заповедника. Под осинниками и ольшаниками – дерново-подзолистые почвы, являющиеся зональными для исследуемой территории, под дубравами – пойменные насыщенные почвы, под болотами сформировались торфяные перегнойные почвы.

Особенности накопления и распределения ртути в исследованных почвах

Ртуть в почвах Воронежского заповедника. На территории Воронежского заповедника содержание валовой ртути в почвах всех исследованных биоценозов варьирует в широких пределах – от следовых количеств в переходных к материнской породе горизонтах почв элювиальных ландшафтов до 0.212 мг/кг в торфяных горизонтах почв болот (табл. 1). Наиболее высокие концентрации металла зарегистрированы в почвах с наличием торфяного горизонта и приуроченных к элювиально-аккумулятивным и супераккумулятивным ландшафтам – в пойменных лесных почвах ольшаников и торфяно-перегнойно-глеевых почвах болот (0.045+0.008 и 0.050+0.017 соответственно).

Для серых лесных и дерново-лесных почв элювиальных ландшафтов, сформировавшимся под широколиственными лесами и сосняками, средняя концентрация ртути ниже, и составляет 0.018 мг/кг. В зависимости от состава лесообразующей породы среднее содержание ртути в этих почвах снижается по ряду сосняк (0.023 мг/кг) > дубняк (0.018 мг/кг) > осинник (0.014 мг/кг).

Максимальные концентрации отмечаются в почвах наиболее низко расположенной Рамонской группы – 0.033 мг/кг. Незначительное уменьшение средних значений концентрации зарегистрированы в почвах Борской группы – 0.032 мг/кг. В Краснолесенской и Большеприваловской группах содержание металла составляет 0.026 и 0.027 мг/кг соответственно. Наименьшее общее содержание ртути наблюдается в наиболее высокой в рельефном плане Усманской группе – 0.022 мг/кг. Несмотря на разницу в содержании ртути между наиболее высокой и низкой группами статистически достоверных различий между ними не выявлено.

Таблица 1

Среднее содержание ртути (в числителе $X_{\pm m}$, в знаменателе $\min - \max$; N – ниже уровня определения прибора) в почвах различных биоценозов

Биоценоз (кол-во проб)	Почвы	Hg, мг/кг
Низинное болото (21)	Торфянистые и торфяно-глеевые	$0.050_{\pm 0.017}$ 0.002 – 0.212
Ольшаник (15)	Пойменные лесные торфяно-глеевые	$0.045_{\pm 0.008}$ 0.006 – 0.100
Сосняк (26)	Дерново-лесные	$0.023_{\pm 0.008}$ 0.001 – 0.158
Дубняк (24)	Светло-серые лесные	$0.018_{\pm 0.005}$ N – 0.103
Осинник (24)	Светло-серые и серые лесные	$0.014_{\pm 0.003}$ 0.001 – 0.154

Статистически достоверная положительная зависимость между количеством органического углерода установлена в торфяных почвах болот ($r = 0.93$; $p = 0.00$). Под осинниками зависимость снижалась ($r = 0.82$; $p = 0.00$). В сосняках и дубняках коэффициент корреляции снижался до 0.77 ($p = 0.00$). Наиболее слабая зависимость наблюдается в пойменных лесных почвах ольшаников ($r = 0.70$; $p = 0.00$). Регрессионный анализ зависимости ртути от углерода для всех почв всех биоценозов так же показал положительную связь ($r = 0.79$; $p = 0.00$) (рис.2). Результаты проведенного регрессионного анализа позволяют сделать вывод о том, что в почвах различного генезиса содержание ртути положительно связано с содержанием органического углерода, а следовательно, и органического вещества.

В пользу предположения о преимущественном содержании ртути в составе компонентов органического вещества служит достоверная зависимость между ртутью и щелочногидролизующим азотом. В дерново-лесных и серых лесных почвах сосняков и дубняков коэффициент корреляции составляет 0.89 и 0.88 соответственно ($p = 0.00$) (табл. 2). Значение коэффициента корреляции снижается по ряду ольшаник ($r = 0.82$; $p = 0.00$) – осинник ($r = 0.77$; $p = 0.00$) – болото ($r = 0.62$; $p = 0.03$). Регрессионный анализ зависимости ртути от щелочногидролизующего азота для всех почв всех биоценозов так же показал положительную связь ($r = 0.78$; $p = 0.00$).

Таблица 2

Связь содержания ртути с органическим углеродом и щелочногидролизуемым азотом в почвах различных биоценозов Воронежского заповедника.

С			N		
Биоценоз	Коэфф. корреляции (r)	Уровень значимости (p≤)	Биоценоз	Коэфф. корреляции (r)	Уровень значимости (p≤)
Болото	0.93	0.00	Сосняк	0.89	0.00
Осинник	0.82	0.00	Дубняк	0.88	0.00
Дубняк	0.77	0.00	Ольшаник	0.82	0.00
Сосняк	0.77	0.00	Осинник	0.77	0.00
Ольшаник	0.70	0.00	Болото	0.62	0.03

Кроме органического вещества, прослеживается связь между содержанием ртути и обменными катионами кальция и магния. Это позволяет говорить, о возможном влиянии на содержание ртути в почвенном профиле отдельных компонентов входящих в состав почвенно-поглощающего комплекса (ППК). Наиболее достоверная зависимость от катиона кальция выражена в дерново-лесных почвах сосняков и торфяных почвах болот ($r = 0.77$, $p = 0.00$ и $r=0.66$, $p = 0.00$) (табл. 3). Слабее корреляционная связь в почвах сформировавшихся под осинниками ($r = 0.55$; $p = 0.01$). В почвах дубняков корреляционные связи отмечены самые слабые связи ($r = 0.40$; $p = 0.05$). Регрессионный анализ зависимости ртути от обменного катиона кальция для всех почв всех биоценозов показал слабую положительную достоверную связь ($r = 0.25$; $p = 0.01$). Положительная достоверная корреляционная связь ртути с катионом магния обнаружена только в торфяных почвах болот ($r = 0.91$; $p = 0.00$) и дерновых лесных почвах сосняков ($r = 0.71$; $p = 0.00$) (табл. 4). Регрессионный анализ зависимости ртути от обменного катиона магния для всех почв всех биоценозов показал слабую положительную связь ($r = 0.37$; $p = 0.00$).

Слабая обратная зависимость между ртутью и реакцией среды установлена в дерново-лесных почвах сосняков и пойменных лесных почвах ольшаников. Под сосняками эта связь является отрицательной, а в почвах ольшаников положительной. В почвах других биоценозов такая связь не достоверна.

Таблица 3

Связь содержания ртути и обменных катионов кальция и магния почвах различных биоценозов Воронежского заповедника.

Ca ²⁺			Mg ²⁺		
Биоценоз	Коэфф. корреляции (r)	Уровень значимости (p≤)	Биоценоз	Коэфф. корреляции (r)	Уровень значимости (p≤)
Сосняк	0.77	0.00	Болото	0.91	0.00
Болото	0.66	0.00	Сосняк	0.75	0.00
Осинник	0.55	0.01	Ольшаник	0.53	0.03
Дубняк	0.40	0.05	Дубняк	0.19	0.33
Ольшаник	0.32	0.31	Осинник	0.03	0.88

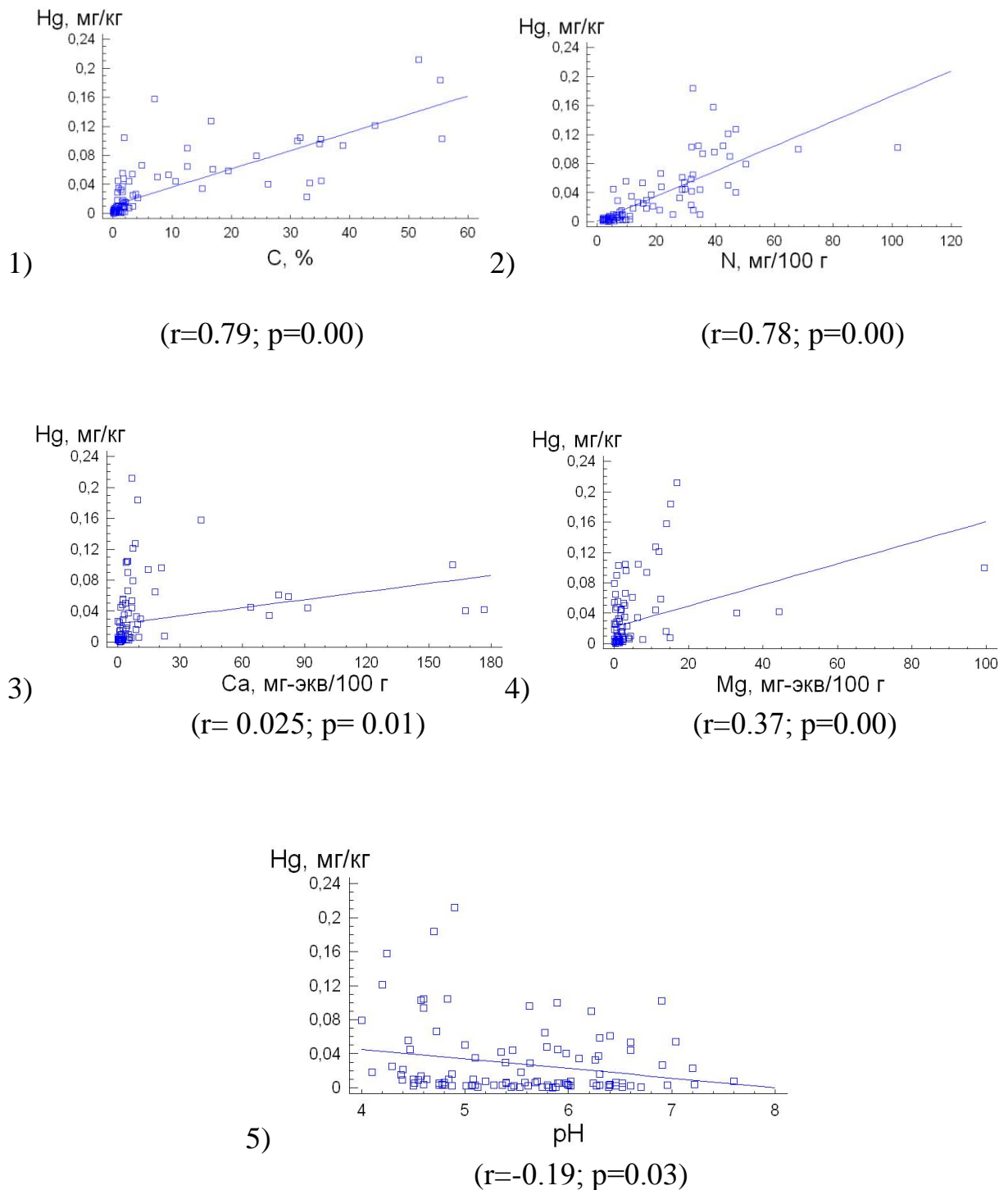


Рис. 1. Связь содержания ртути и свойств почв Воронежского заповедника (1 – содержание органического углерода; 2 – содержание щелочногидролизуемого азота; 3 – количество обменного катиона кальция Ca^{2+} ; 4 – количество обменного катиона магния Mg^{2+} ; 5 – реакции среды).

Методом пошаговой множественной регрессии получены уравнения зависимости содержания ртути от химического состава почв различных биоценозов и в почвах различных ландшафтно-географических групп.

Для дерново-лесных почв сосняков определяющими факторами являются азот и обменные катионы кальция и магния:

$$Hg = -0.00353852 + 0.00319428*N + 0.00377078*Ca - 0.00819952*Mg$$

$$R^2 = 95.4\%; p = 0.00$$

Доля азота как фактора вариации составляет 75.6 %, обменного кальция 7.5 %, а обменного магния 11.7%.

Для серых лесных и дерново-лесных почв, сформировавшихся под дубовыми лесами, определяющими факторами являются углерод и азот:

$$Hg = -0.000281955 + 0.00172845*N + 0.00086947*C$$

$$R^2 = 84.2\%; p = 0.00$$

Доля азота как фактора вариации составляет 76.2 %, а углерода 6%.

В почвах, сформировавшихся в осинниках определяющими факторами служат углерод и катионы кальция:

$$Hg = -0.00218024 + 0.0126721*C + 0.00204086*Ca$$

$$R^2 = 70.3\%; p = 0.00$$

Доля углерода как фактора вариации составляет 65.2%, а обменного кальция всего 5.1%

В пойменных лесных почвах ольшаников определяющими факторами являются содержание щелочногидролизуемого азота и содержание кальция:

$$Hg = 0.00279788 + 0.00215697*N - 0.00028063*Ca$$

$$R^2 = 82.5\% p=0.00$$

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

В торфяных почвах болот в качестве определяющих параметров выступают органический углерод и реакция среды.

$$Hg = 0.0622443 + 0.00251184*C - 0.0108584*pH$$

$$R^2 = 87.7\% p= 0.00$$

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

Таким образом, биогеохимическое накопление ртути в почвах Воронежского заповедника в первую очередь тесно связано с содержанием и составом органического вещества, о чем говорит различная степень доминирования органического углерода и щелочногидролизуемого азота в почвах биоценозов. Во всех почвах элювиальных ландшафтов наблюдается линейно-положительная зависимость накопления ртути от содержания обменного кальция, что может свидетельствовать в пользу предположения о сорбции ртути отдельными компонентами ППК. В пойменных лесных почвах ртуть обнаруживает отрицательную обусловленность с повышением содержания кальция.

При пошаговом регрессионном анализе для всех почв всех ландшафтно-географических групп, уравнение зависимости содержания ртути от свойств почв приобретает следующий характер:

$$Hg = 0.0297271 + 0.00121714*C + 0.00158687*N - 0.00540615*pH -$$

$$0.000262905*Ca$$

$$R^2 = 67.5\% p = 0.00$$

Доля азота составляет 55.6%, углерода 6.5%, обменного кальция 4.0%, реакции среды 1.4%.

Ртуть в почвах учетной линии. Среднее содержание ртути в почвах каждого из биоценозов снижалось по ряду луг (0.047 мг/кг) – ольшаник (0.043 мг/кг) – дубняк (0.024 мг/кг) – осинник (0.008) – суборь (0.005).

Корреляционный анализ зависимости содержания ртути в почвах всех горизонтов всех биоценозов от химических показателей почв выявил положительные достоверные связи с углеродом, щелочногидролизуемым азотом, катионами кальция и магния. С реакцией среды статистически значимых связей не установлено (табл. 5). Полученные результаты в целом повторяют результаты для почв других биоценозов Воронежского заповедника.

Таблица 5

Корреляционные связи содержания ртути и химических показателей почв учетной линии млекопитающих.

Показатель, (кол-во проб)	Коэффициент корреляции (r)	Уровень значимости (p)
Углерод, % (23)	0.56	0.00
Азот, мг/100г (20)	0.56	0.00
Кальций, мг-экв/100г (25)	0.53	0.01
Магний, мг-экв/100г (25)	0.46	0.02
pH (25)	0.21	0.30

Ртуть в почвах Окского заповедника. В верхних горизонтах торфяных низинных почв Окского заповедника зарегистрированы наибольшие концентрации ртути (0.061 мг/кг). Далее снижение концентраций в верхних горизонтах шло по ряду дубняк (0.048 мг/кг) - ольшаник (0.042 мг/кг) - осинник (0.022 мг/кг). Снижение средних концентраций металла так же происходит по этому ряду.

Была установлена достоверная положительная корреляция между количеством углерода и ртутью. Причем в болотных почвах и пойменных почвах ольшаника коэффициент корреляции составляет 0.99 при нулевом уровне значимости. Более слабая связь отмечена в почвах осинника – $r = 0.94$; $p = 0.02$. Для почв дубняка такая зависимость оказалась статистически не достоверная. Для всех почв Окского заповедника установлена достоверная связь ртути и органического углерода ($r = 0.75$; $p = 0.00$).

Достоверная зависимость установлена между содержанием ртути и щелочногидролизуемым азотом для почв сформировавшихся под ольшаником ($r = 0.99$; $p = 0.00$). Для почв дубняка и осинника такая связь статистически не достоверна. При анализе всех исследованных типов почв установленная достоверная положительная связь концентраций ртути и щелочногидролизуемого азота ($r = 0.88$; $p = 0.00$).

Статистически достоверная связь содержания ртути с обменным катионом магния установлена для почв осинника ($r = 0.94$; $p = 0.02$) и ольшаника ($r = 0.89$; $p = 0.04$). Для всех почв Окского заповедника зависимость содержания ртути от обменного магния статистически достоверна ($r = 0.75$; $p =$

0.00). Между обменным катионом кальция и концентрациями ртути статистически достоверная зависимость установлена для почв под осинником и ольшаником. Для всех почв эта зависимость не достоверна ($r = 0.29$; $p = 0.27$).

Отрицательная связь концентрации ртути и реакцией среды достоверно установлена только для торфяных почв болота ($r = -0.81$; $p = 0.01$). Для почв других биоценозов она статистически не достоверна. Для всех исследованных почв установлена слабая отрицательная связь ($r = -0.50$; $p = 0.03$).

Методом пошаговой множественной регрессии получены уравнения зависимости содержания ртути от химического состава всех исследованных почв Окского заповедника:

$$Hg = 0.00430559 + 0.0123764 * C$$

$$R^2 = 0.78; p = 0.00$$

Доля углерода, как фактора вариации составляет 78%.

Оценка количественного содержания ртути в почвах для всей территории Воронежского заповедника. Среди почв элювиальных ландшафтов Воронежского заповедника наибольшее количество ртути на один гектар в верхних 20 см профиля установлена для дерново-лесных почв сосняков – 150.14 г/га. Меньшее содержание металла определено для почв дубняков – 113.70 г/га. Минимальным количеством металла характеризуются дерново-лесные и светло-серые лесные почвы осинников – 87.58 г/га. В пойменных лесных почвах супераквальных ландшафтов в верхней части профиля оценочное содержание ртути выше – 124.25 г/га. Наиболее насыщенными ртутью являются болотные низинные почвы, приуроченные к элювиально-аккумулятивным ландшафтам, концентрация металла в которых, по оценкам составляет 200.15 г/га.

Исходя из площади биоценозов на территории Воронежского заповедника была сделана оценка содержания ртути в почвах каждого из биоценозов. Содержание ртути на глубину 0-20 см в почвах всех исследуемых биоценозов возрастает пропорционально площади ими занимаемой (табл. 6).

Не смотря на высокие концентрации ртути в пойменных лесных и торфяных почвах в них сосредоточено всего около 10% от общего количества ртути для всей территории заповедника (рис. 3). В то время как в почвах элювиальных ландшафтов находится 90% металла.

Таблица 6

Содержание ртути в почвах различных биоценозов

Биоценоз	Сосняки	Дубняки	Осинники	Ольшаники	Болота
Площадь, га	10027.7	9088.2	5989.5	1607.7	665
Hg ₀₋₂₀ , кг	1505.60	1033.33	524.56	200.42	133.10

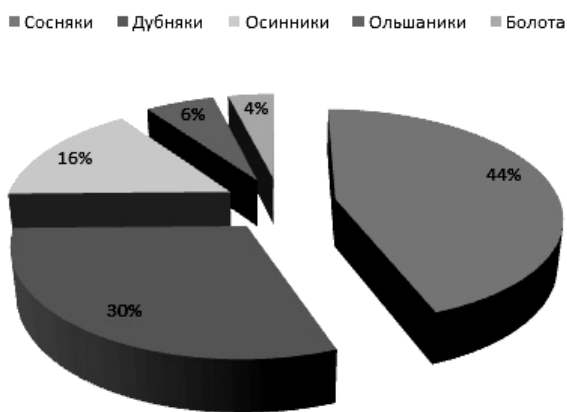


Рис 2. Процентное отношение содержания ртути в почвах различных биогеоценозов Воронежского заповедника.

Среднее содержание ртути в почвах сосняков, осинников, дубняков с учетом подстилки, в Воронежском заповеднике превышает установленный кларк для почв (0.01 мг/кг) в 1.2 -2 раза.

Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными по другим регионам так, в серых лесных почвах юга западной Сибири, подзолах и таежно лесных почвах Тюменской области так же наблюдаются более высокие концентрации ртути по сравнению с Воронежским заповедником [Байдина, 2001; Дорожукова, 2000], средние концентрации металла в которых превышают кларк для почв в 2.5-6 раз. Серые лесные почвы Забайкальского края по своим средним значениям содержания ртути приближаются к рассмотренным почвам Воронежского заповедника [Иванов, 2010]. Для черноземов Сибири, Кабардино-Балкарии и Белгородской области, в целом характерно более высокое среднее содержание ртути, чем рассмотренных нами почвах [Байдина, 2001; Лукин, 2008; Ермаков, 2010]. В отдельных случаях содержание ртути приближается к установленным нами концентрациям в дерново-лесных и серых лесных почвах [Иванов, 2010]. Данные значения значительно выше, чем в аналогичных почвах Западной Сибири и Архангельской области [Байдина, 1999; Овсепян, Масык, 2010].

По сравнению с другими заповедными территориями содержание ртути в почвах Воронежского заповедника достаточно низкое. Концентрации металла в исследованных почвах меньше в 10 раз, чем в подзолистых почвах Центрально-лесного заповедника [Малинина, Гладкова, 2004]. Максимальные содержания отмечены в лесных подстилках почв и превышали установленные концентрации ртути в подстилке почв Воронежского заповедника в 2.5 раза. 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. [Кот, 1997]. Для черноземов заповедника «Белогорье» Белгородской области характерны более высокие средние концентрации ртути, чем для исследованных почв воронежского заповедника [Лукин, 2008].

Во всех рассмотренных почвах Окского заповедника содержание ртути ниже, чем в Воронежском. Распределение металла по типам рассмотренных

почв Окского заповедника аналогично его поведению в профиле почв Воронежского заповедника: максимальные концентрации отмечались в болотной низинной почве, минимальные в дерново-подзолистой песчаной почве осинников. Такое различие в концентрациях ртути может объясняться разным составом органического вещества в почвах других типов и природных зон, либо более высоким поступлением ртути из атмосферы.

Для всех рассмотренных нами почв Воронежского и Окского заповедников характерно снижение содержания металла с глубиной (рис. 4). Установлено, что большая часть ртути в почвах аккумулируется в насыщенных органикой горизонтах, связываясь с гуминовыми кислотами. В верхней части профиля в насыщенных органикой горизонтах наблюдаются наиболее высокие концентрации ртути. В горизонтах переходных к материнской породе ртуть содержится в следовых количествах. Это позволяет сделать вывод о том, что практически вся поступающая в почву ртуть имеет атмосферное происхождение, а переход ее из почвообразующих пород сводится к минимуму.

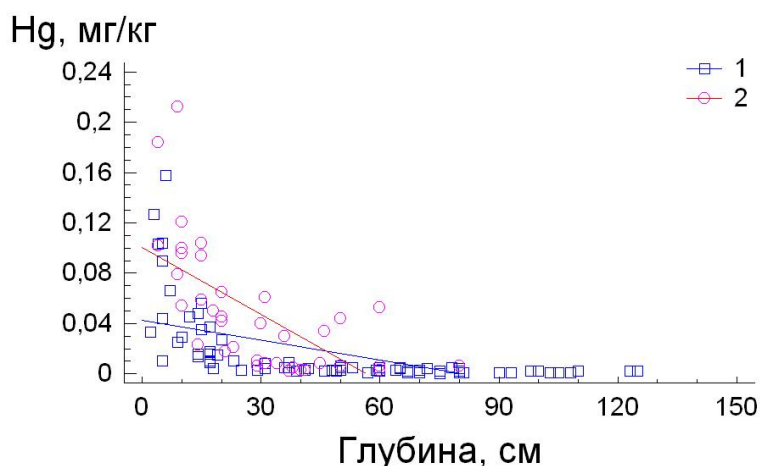


Рис. 3. Снижение концентрации ртути с глубиной в исследованных почвах (1 – Дерново-лесные и серые лесные почвы боров, осинников, дубняков, 2 – Пойменные лесные и болотные низинные почвы ольшаников и болот).

Связь между содержанием органического углерода и концентрацией ртути в почвах установлена многими авторами [Варшал, 1997; Koegel, 1988; Pant, Allen, 2007; Obrist, 2009]. Установленные нами в почвах каждого биоценоза положительные корреляционные связи между содержанием углерода и концентрацией ртути подтверждают литературные данные. Наиболее прочные статистически достоверные связи были установлены для почв болот. Для пойменных лесных почв эти связи оказались наименее прочными из всех рассмотренных нами почв, что косвенно может говорить о том, что в почвах этого типа определяющую роль в накоплении металла в профиле играет не только органический углерод. Возможно, высокие концентрации металла этих почвах, могут быть обусловлены и большой долей глинистых частиц. Для почв элювиальных ландшафтов отличающимися от почв болот и пой-

менных ольшаников более низким содержанием углерода и ртути наиболее достоверная зависимость установлена для дерново-лесных и серых лесных почв сформировавшихся под осинниками, в то время как для почв сосняков и дубняков она менее прочна.

Содержание ртути в педобионтах

Концентрация ртути в дождевых червях (*Oligohaeta*, *Lumbricidae*)

Воронежского заповедника. Максимальное среднее содержание металла зарегистрировано в червях, обитающих в дерново-лесных почвах сосняков (0.632 мг/кг) (табл. 7). 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).

Таблица 7

Концентрации ртути в червях биоценозов Воронежского заповедника

Биоценоз (число особей)	Hg _{СРЕД} , мг/кг	Пределы, мг/кг	Коэффициент вариации (V), %	Hg, в верх- них горизон- тах почв, мг/кг
Сосняк (9)	0.632	0.262-1.063	42.7	0.104
Дубняк (14)	0.326	0.107-1.022	71.6	0.037
Ольшаник (5)	0.248	0.195-0.277	11.8	0.045
Осинник (27)	0.211	0.075-0.423	42.8	0.018-0.054

Минимальные концентрации отмечены в передней части тела (0.240±0.002 мг/кг). Большие концентрации установлены для заднего конца тела (0.286±0.03 мг/кг). Максимальное содержание зарегистрировано в центральной части тела дождевых червей (0.416±0.05 мг/кг). Разница в концентрациях ртути в различных частях тела червей является статистически достоверной (рис. 5).

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. 8). Наиболее сильные статистически достоверные положительные связи были зарегистрированы с передней частью тела ($r=0.56$, $p=0.00$). В средней и задней частях эти связи оказались менее прочны ($r=0.53$, $p=0.00$ и $r=0.45$, $p=0.00$, соответственно). В гумусово-аккумулятивных горизонтах зарегистрирована отрицательная статистически достоверная зависимость между содержанием в них ртути и концентрациями металла в организме червей. Наиболее значимая корреляция была выявлена с передней частью тела червя ($r=-0.48$, $p=0.00$). В средней и задней частях зарегистрированы более слабые связи ($r=0.39$, $p=0.00$ и $r=-0.35$, $p=0.00$).

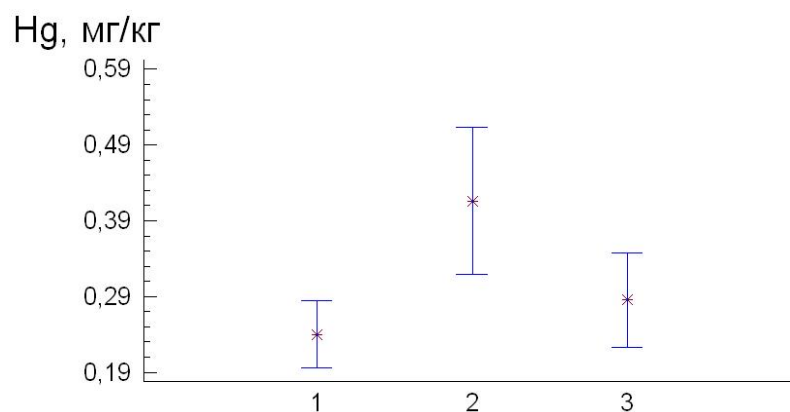


Рис. 4. Распределение ртути в частях тела червя (1 – передняя часть, 2- средняя часть, 3 – задняя часть)

Таблица 8

Связь концентрации 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

Содержание ртути в мелких млекопитающих учетной линии. Среднее содержание ртути во всех органах минимальным было у рыжей полевки (0.03 ± 0.004), а максимальным у обыкновенной бурозубки (0.270 ± 0.03 мг/кг). Меньшие концентрации металла обнаруживаются в малой бурозубке (0.126 ± 0.01 мг/кг). Средние концентрации по каждому из органов в отдельности повторяют эту закономерность (табл. 9). Разница в уровнях содержания ртути в мышцах разных млекопитающих выражена меньше, чем в печени и, особенно, в почках. В целом у полевки содержание ртути в печени не отличалось статистически значимо у животных выловленных в разных биоценозах, в то время как концентрации в мышцах и почках у особей из субори в разы превосходили значения у других полевок. Для малой бурозубки не установлена статистически достоверная связь между средним содержанием ртути в органах и ртутью в поверхностном горизонте почв ($r = 0.32$; $p = 0.15$) (рис. 6). У обыкновенной бурозубки эта зависимость статистически достоверна ($r = 0.51$; $p = 0.00$). Для рыжей полевки обнаруживается обратная зави-

симость между средней концентрацией в почве и средней в органах ($r = -0.42$; $p = 0.00$).

Связь между концентрацией ртути в мышцах малой бурозубки и содержанием ртути в верхнем горизонте почв статистически не достоверна ($r = 0.13$; $p = 0.5$). Для обыкновенной бурозубки такая зависимость статистически достоверна ($r = 0.4$; $p = 0.03$). Для рыжей полевки в эта связь приобретает обратный характер ($r = -0.39$; $p = 0.00$). Для малой бурозубки достоверная зависимость между концентрациями ртути в печени и в верхнем горизонте почв не установлена ($r = 0.34$; $p = 0.12$). В печени обыкновенной бурозубки такая зависимость статистически достоверна ($r = 0.56$; $p = 0.00$). Для рыжей полевки такая зависимость статистически не достоверна ($r = -0.07$; $p = 0.37$).

Таблица 9

Содержание ртути в млекопитающих из различных биоценозов

	Суборь	Осинник	Дубрава	Ольшаник	Луг
Рыжая полевка					
Мышцы	0.020 \pm 0.004	0.009 \pm 0.002	0.010 \pm 0.002	0.012 \pm 0.001	0.013 \pm 0.003
Печень	0.026 \pm 0.007	0.016 \pm 0.007	0.012 \pm 0.002	0.015 \pm 0.001	0.016 \pm 0.003
Почки	0.090 \pm 0.014	0.012 \pm 0.001	0.032 \pm 0.007	0.027 \pm 0.003	0.036 \pm 0.007
Малая бурозубка					
Мышцы	0.041 \pm 0.003			0.084 \pm 0.025	0.123 \pm 0.037
Печень	0.087 \pm 0.036			0.161 \pm 0.041	0.111 \pm 0.022
Почки	0.067 \pm 0.001			0.153 \pm 0.013	0.209 \pm 0.014
Обыкновенная бурозубка					
Мышцы	0.041 \pm 0.009			0.369 \pm 0.032	0.248 \pm 0.061
Печень	0.092 \pm 0.026			0.273 \pm 0.032	0.262 \pm 0.040
Почки	0.128 \pm 0.018			0.500 \pm 0.062	0.458 \pm 0.073

Зависимость содержания ртути в почках малой бурозубки и концентрациями ртути в почве не установлена ($r = 0.23$; $p = 0.29$). Для обыкновенной бурозубки эта же зависимость статистически достоверна ($r = 0.5$; $p = 0.00$). Для рыжей полевки эта зависимость статистически не достоверна ($r = -0.15$; $p = 0.06$).

Средние концентрации ртути в теле червей в зоне 0 – 5 км источника промышленного загрязнения в Великобритании превышали отмеченные нами концентрации в несколько раз, составляя в 0.27 – 9.41 мг/кг [Bull, 1977]. При этом, минимальные содержания металла в них были близки к средним концентрациям ртути в червях заповедника. Однако, 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 превышала установленные нами и составляла 1.04 мг/кг, что превышает установленные нами значение в 1.5 – 5 раз [Rieder et al., 2011).

Корреляции между концентрацией ртути в почвенных горизонтах и в дождевых червях обнаруживаются не всегда. В условиях лабораторного экс-

перимента статистически достоверных связей для червей рода *Eisenia* не наблюдалось [Zagury et al, 2006]. В исследованиях, проведенных на территории Швейцарии статистически достоверная зависимость установлена, только для вида *Lumbricus rubellus* [Rieder et al, 2011]. Установленные в настоящем исследовании положительные корреляции между содержанием ртути в теле червей и верхнем горизонте почв, и отрицательные с содержанием металла в гумусово-аккумулятивном могут свидетельствовать о том, что основная масса ртути поступает в организм червей из верхних горизонтов

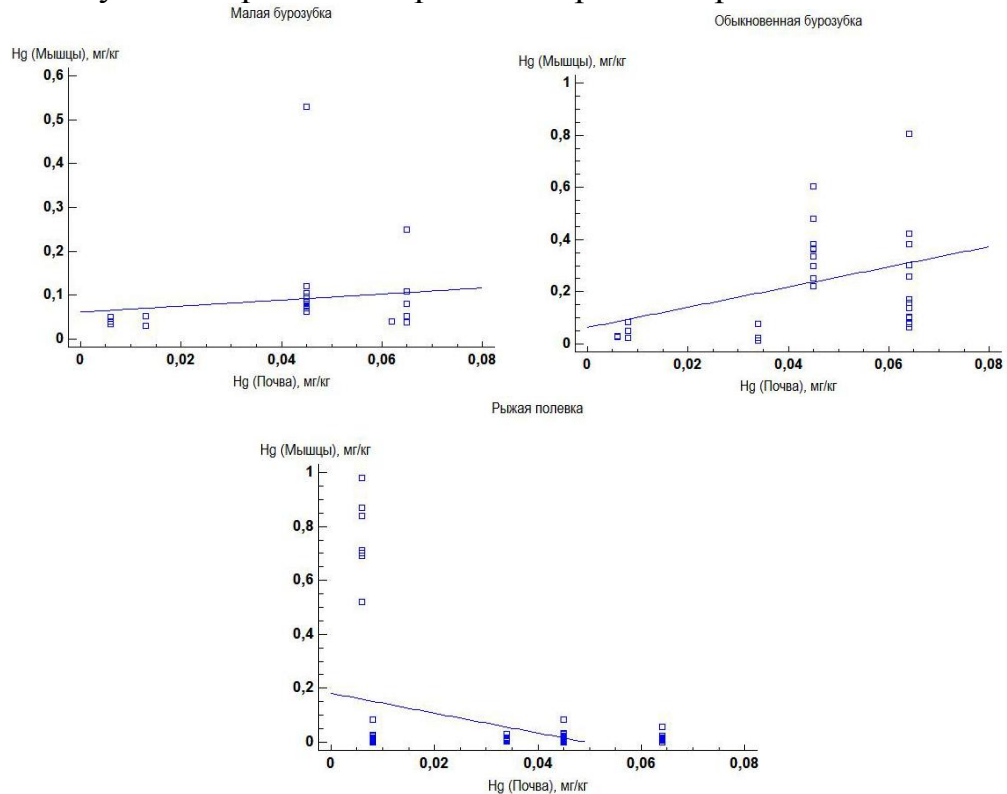


Рис.5. Зависимость между содержанием ртути в органах млекопитающих и концентрацией металла в поверхностном горизонте почв.

Отмеченное нами неравномерное распределение ртути в теле большинства червей в изученной нами литературе не упоминается. Вероятно повышенное содержание металла в середине тела и заднем конце, по отношению к переднему концу, может объясняться наличием специфической кишечной микрофлоры, которая потенциально способна аккумулировать и метилировать ртуть [Hinton, 2002]

Концентрации ртути во всех исследованных органах бурозубок статистически значимо превышали ее содержание в органах полевок. Полученные данные позволяют предположить, что поступление ртути в организм исследованных млекопитающих поступает с пищей преимущественно животного происхождения – основой спектра питания обыкновенной и малой бурозубки. В то время как содержание металла в органах рыжей полевки. Различия в накоплении ртути в органах животных, обитающих в различных биоценозах, может быть связано с неоднородным содержанием органических и неоргани-

ческих соединений ртути, которые имеют различную степень биоаккумуляции в компонентах исследованных территорий [Ulfvarson, 1970].

В целом для грызунов характерны минимальные концентрации ртути, что подтверждается и нашими данными. У большинства видов грызунов семейств хомяковых и мышинных концентрации ртути составляют тысячные доли мг/кг сухой массы [Пенькова, 2012]. В то время как у насекомоядных млекопитающих концентрации ртути на порядок выше [Голованова, 2012].

Статистически достоверная зависимость содержания ртути в организме млекопитающих и ее концентрацией в верхних почвенных горизонтах отмечается только для обыкновенной бурозубки. Для малой бурозубки во всех органах отмечена статистически не достоверная зависимость. Вероятной причиной таких различий может служить не однородный спектр питания этих животных. Установленная в этом исследовании зависимость концентраций ртути в почвенном покрове и в дождевых червях свидетельствует о том, что ртуть поступает в них вместе с почвой, а далее поступает организм животных находящиеся на более высоком трофическом уровне, в роли которых выступают бурозубки. Высокая вариабельность содержания металла в организмах мелких млекопитающих, может быть связана с различной долей червей в спектре питания. Именно этим, можно объяснить достоверные зависимости содержания металла в почвах и обыкновенной бурозубке, в спектре питания которой дождевые черви составляют до 60% [Харченко, 2003]. В то время как у малой бурозубки доля червей в рационе составляет всего около 5%, и как следствие незначительное поступление ртути в организм. У малой бурозубки не регистрируется статистически достоверная зависимость между содержанием ртути в органах с концентрациями металла в почвенном покрове.

Выводы

1. Содержание ртути во всех исследованных почвах значительно выше кларка для почв (0.01 мг/кг). Максимальное содержание установлено в торфяных горизонтах болотных низинных почв (до 0.212 мг/кг), минимальное содержание ртути обнаружено в переходных к материнской породе горизонтах всех рассмотренных почв.

2. На содержание ртути в почве существенное влияние оказывают особенности биоценоза. Наиболее высокое среднее содержание металла зарегистрировано в богатых органическим веществом торфяных почвах болот и пойменных лесных почвах ольшаников (0.045+0.008 и 0.050+0.017 мг/кг соответственно). В дерново-лесных и серых лесных почвах элювиальных ландшафтов в зависимости от состава лесообразующей породы среднее содержание ртути снижается по ряду сосняки (0.023 мг/кг) > дубняки (0.018 мг/кг) > осинники (0.014 мг/кг).

3. Обнаружены тесные корреляции между содержанием металла в почвах и показателями их химических и физико-химических свойств (содержание органического вещества в почвенном профиле, обменных ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}).

4. Содержание ртути в болотных низинных почвах и пойменных почвах Окского заповедника, в 2-3 раза меньше, чем в почвах аналогичных ландшафтов Воронежского заповедника. Содержание металла в верхних горизонтах почв элювиальных ландшафтов обоих заповедников близки. Для каждого заповедника характерны следовое присутствие ртути в горизонтах переходных к материнской породе.

5. Количество ртути, выявленные в организмах дождевых червей, имеет широкий диапазон значений, и варьирует в пределах 0.075 – 1.065 мг/кг, при среднем значении – 0.632 мг/кг. Установлено, что ртуть в теле червей распределена неравномерно: максимальные средние концентрации отмечаются в средней и задней частях (0.416+0.05 и 0.286+0.03 мг/кг соответственно), минимальные - в передней (0.240+0.002 мг/кг).

6. Статистически достоверные положительные связи установлены между содержанием ртути в поверхностном горизонте почв и частями тела червей. Между содержанием металла в гумусово-аккумулятивном горизонте и теле червей обнаружена достоверная обратная зависимость.

7. Меньшие концентрации ртути, чем в дождевых червях, выявлены у консументов второго порядка. Так, в органах обыкновенной бурозубки содержание металла составляет 0.270 + 0.03 мг/кг, у малой бурозубки - 0.126 + 0.01 мг/кг, у рыжей полевки - 0.03 + 0.004 мг/кг. У всех млекопитающих наибольшие концентрации ртути зарегистрированы в почках и печени, наименьшие - в мышцах. Достоверная зависимость между содержанием ртути в органах и концентрацией металла в поверхностном горизонте почв прослеживается у обыкновенной бурозубки. Для малой бурозубки и рыжей полевки такая зависимость статистически не достоверна.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Публикации в изданиях перечня ВАК РФ

1. Содержание ртути в почвах разных биотопов Воронежского заповедника / **Удоденко Ю. Г.** [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2011. - №4 – С. 105-110.

2. Ртуть в гидроморфных почвах Воронежского государственного природного биосферного заповедника / **Ю. Г. Удоденко** [и др.] // Вестник воронежского государственного университета. Серия: химия, биология, фармация. – 2011. - №2. – С. 148-154.

3. Содержание ртути в почвах и земляных червях (*Oligochaeta, Lumbricidae*) Воронежского заповедника / **Ю. Г. Удоденко** [и др.] // Вестник воронежского государственного университета. Серия: химия, биология, фармация. – 2012. - №2. – С.209-215.

Публикации в прочих изданиях

1. **Трегубов О. В.** Некоторые результаты изучения почв внепойменных водоемов Воронежского заповедника / **О. В. Трегубов, Ю. Г. Удоденко, М. А. Олейникова** // Роль особо охраняемых природных территорий лесостепной и

степной природных зон в сохранении биологического разнообразия: материалы научно-практической конференции, посвященной восьмидесятилетию Воронежского государственного природного биосферного заповедника (Воронеж, ст. Графская, 17-21 сентября 2007). – Воронеж: ВГПУ, 2007. – С. 63-65.

2. *Комов В.Т.* Содержание ртути в почвах и в мелких млекопитающих различных биотопов воронежского заповедника / *В. Т. Комов, В. А. Гремячих, С. Ф. Сапельников, Ю. Г. Удоденко* // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Матер. Межд. симп. Москва, 7-9 сент. 2010. М.: ГЕОХИ РАН. 2010. – С. 281–286.

3 *Негробова Е. А.* Содержание ртути в дождевых червях (*Oligochaeta, Lumbricidae*) воронежского государственного заповедника // *Е. А. Негробова, Ю. Г. Удоденко* // Материалы докладов VI съезда общества почвоведов им. В. В. Докучаева. Всероссийская с международным участием научная конференция «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования (Петрозаводск-Москва, 13-18 августа 2012 г.). – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2012. – С. 444-445.

4. *Королева В. А.* Предварительные данные о накоплении ртути в организме консументов второго и третьего порядков, обитающих в лесных экосистемах Воронежской области / *В. А. Королева, Ю. Г. Удоденко* // Экология, эволюция и систематика животных: Материалы международной научно-практической конференции. – Рязань: Н. П. «Голос губернии». – 2012. - С. 100-102.