

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ

BIOINDICATION PROPERTIES OF EARTHWORMS IN THE CONDITIONS OF APPLICATION OF ANTI-ICE REAGENTS

**O. Dryabzhinskiy
V. Zubkova
T. Pugacheva**

Summary. A large number of economic facilities are located in and around Moscow. In addition, in Russian cities there is a need to treat areas of the urboecosystem anti-ice reagents (AIR). AIR exacerbates the difficult environmental situation in the city. The purpose of our research was to identify the indicator capabilities of earthworms depending on the intensity of pollution of snow cover and soil, the establishment of the relationship between the content of heavy metals (HM) in snow water and earthworms. During the study, all samples recorded a significant excess of the snow water content of the components of AIR compared to their content in the background.

Keyword: anti-ice reagents, earthworms, snow, soil, heavy metals, correlation analysis.

Дрябжинский Олег Евгеньевич

Аспирант, Российский Государственный Социальный
Университет (г. Москва)
electric11234@gmail.com

Зубкова Валентина Михайловна

Д.б.н., профессор, Российский Государственный
Социальный Университет (г. Москва)
vmzubkova@yandex.ru

Пугачёва Тамара Геннадьевна

К.б.н., Российский Государственный Социальный
Университет (г. Москва)
malanichevatg@mail.ru

Аннотация. В Москве и на прилегающих к ней территориях расположено большое количество хозяйственных объектов. Помимо этого, в Российских городах существует необходимость в обработке участков урбоэкосистемы противогололёдными реагентами. ПГР усугубляют сложную экологическую обстановку в городе. Целью наших исследований явилось выявление индикаторных возможностей дождевых червей в зависимости от интенсивности загрязнения снегового покрова и почвы, установление зависимости между содержанием тяжёлых металлов в снеговой воде и дождевых червях. В ходе исследования во всех образцах зафиксировано значительное превышение содержания в снеговой воде рассматриваемых компонентов ПГР по сравнению с их содержанием на фоновом участке.

Ключевые слова: Противогололёдные реагенты, дождевые черви, снеговой покров, почва, тяжёлые металлы, корреляционный анализ.

Введение

Россия по климатическим показателям — одна из самых суровых стран. Характерным для неё является длительный зимний период, включающий гололедицу, вызванную частыми перепадами температур, поэтому в Российских городах существует необходимость в обработке участков урбоэкосистемы противогололёдными реагентами (ПГР).

С экологической точки зрения город является экосистемой, сформированной под влиянием взаимодействия хозяйственных и природных факторов. Как компонент урбоэкосистемы, человек через группу хозяйственных факторов влияет на ее состояние.

В Москве и на прилегающих к ней территориях расположено большое количество хозяйственных объектов, имеющих общегосударственное значение: промышленные предприятия различных отраслей машиностроения и металлообработки (включая объекты военно-промышленного комплекса), энергетики, химии и нефтехими-

нии, легкой и пищевой промышленности, производства строительных материалов.[3]

Так, только на территории ЮЗАО расположено 5 промышленных зон: «Бутово», «Воронцово», «Донские улицы», «Теплый стан», «Черемушки». Хозяйственная деятельность создает колоссальную нагрузку на окружающую среду.

ПГР усугубляют сложную экологическую обстановку в городе, оказывая систематическое негативное воздействие на компоненты природной среды.[4] ПГР представляют собой химически активные вещества, отрицательно влияющие на здоровье горожан, способствующие коррозии машин и металлических конструкций, разрушающие здания и исторические памятники.[6]

Однако токсичность ПГР в основном проявляется при их ненормированном распределении, которое в свою очередь в связи с рядом показателей (резкие перемены климата, толщина ледяного слоя, «кусовой разброс»), проявляется в большинстве городов России.[2]

Таблица 1. Содержание ТМ в ПГР

Элемент	мг/кг	одна обработка, мг/м ²	130 обработок, мг/м ²
цинк	0,8	0,034	4,37
свинец	0,1	0,004	0,55
медь	1,6	0,067	8,74
кадмий	0,07	0,003	0,38
хром	1,5	0,063	8,19

Таблица 2. Содержание загрязнителей в пробах снеговой воды, мг/дм³

Элемент	ул. Академика Глушко, д. 12	ул. Коктебельская, д. 8	ул. Генерала Тюленева, д. 5, к.1	оопт
хлориды	5824,6 ± 439,75	4123,6 ± 397,67	5159,7 ± 459,27	12,4 ± 0,35
калий	3,4 ± 0,33	3,24 ± 0,28	2,19 ± 0,09	0,6 ± 0,02
кальций	688 ± 51,94	441,1 ± 26,74	742,7 ± 52,36	10,33 ± 0,26
магний	1 ± 0,05	3,76 ± 0,14	1 ± 0,08	1 ± 0,04
натрий	2833,3 ± 259,68	2041,5 ± 58,85	2127,6 ± 62,97	5,2 ± 0,23
цинк	0,032 ± 0,002	0,031 ± 0,002	0,042 ± 0,003	0,01 ± 0,001
свинец	0,005 ± 0,0005	0,003 ± 0,0003	0,004 ± 0,0004	0,001 ± 0,0001
медь	0,008 ± 0,0006	0,004 ± 0,0003	0,005 ± 0,0004	0,001 ± 0,0001
кадмий	0,003 ± 0,0001	0,001 ± 0,00005	0,002 ± 0,0001	0,0003 ± 0,00001
хром	0,003 ± 0,0003	0,001 ± 0,0001	0,002 ± 0,0002	0,0004 ± 0,00004
Zc	1112,56	783,94	917,67	1

Наряду с традиционными компонентами с ПГР могут поступать такие суперэкоксиканты как тяжелые металлы. Учитывая их содержание в ПГР, дозу внесения последних и среднее количество обработок территорий ими, можно определить общее поступление ТМ на поверхность почвы за зимний период.

Так для наиболее распространенного твердого комбинированного противогололедного реагента КР2тв., содержащего ТМ, в количествах, представленных в таблице 1, а так же при дозе использования твердых ПГР 42 г/м² и среднем количестве обработок — 130 за сезон, поступление ТМ в зависимости от их вида составляет примерно от 0,38 до 8,74 мг/м² (таблица 1).[7]

Поступление ТМ с ПГР совместно с аэрогенным загрязнением может привести не только к изменению диапазона поглощения тяжёлых металлов растениями, изменению защитных функций их отдельных органов, увеличить депонирующую роль корней в накоплении ТМ, но, и изменив диапазон содержания ТМ в почве,— повлиять на защитные функции отдельных почвенных организмов, в том числе беспозвоночных.

Целью наших исследований явилось выявление индикаторных возможностей дождевых червей в зависимости от интенсивности загрязнения снегового покрова и почвы, установление зависимости между содержанием ТМ в снеговой воде и дождевых червях.

Методы и материалы

Исследования проводили в условиях 2017 года на территории ЮЗАО города Москвы. В качестве рассматриваемых вариантов выбраны участки, характеризующиеся различной загрязненностью элементами ПГР (Zc-суммарный коэффициент концентрации изменялся в пределах от 1 до 1113).[5] Для проведения исследования выбраны 4 площадки, одна — на территории, примыкающей к Бутовскому парку (особо охраняемая природная территория (ООПТ), фон), остальные в селитебной зоне: ул. Академика Глушко, д. 12; ул. Коктебельская, д. 8; ул. Генерала Тюленева, д. 5, к.1. На каждой из площадок отбирали блоки почвы размером 25×25 см для сбора дождевых червей стандартным методом.[9]

Анализ содержания цинка, свинца, меди, кадмия, хрома в дождевых червях осуществляли в филиале Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии города Москвы» (ЗАО города Москвы) методом атомно-абсорбционной спектрометрии, на спектрометрах «КВАНТ-АФА-А» и «КВАНТ-Z.ЭТА».

Для отбора проб снега применяли пластиковые трубы, в которые помещали серии точечных проб, взятые по пространственному принципу, равномерно через равные интервалы на элементарных участках, резко не отличающихся лучшим или худшим состоянием об-

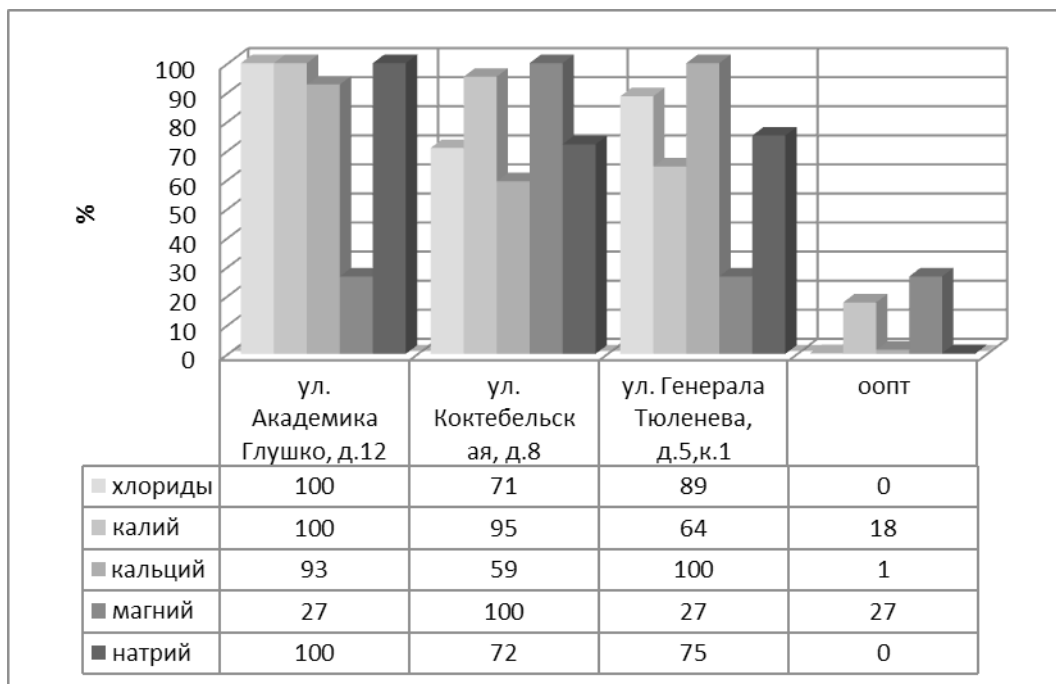


Рис. 1. Содержания элементов ПГР в пробах снеговой воды, % от максимального

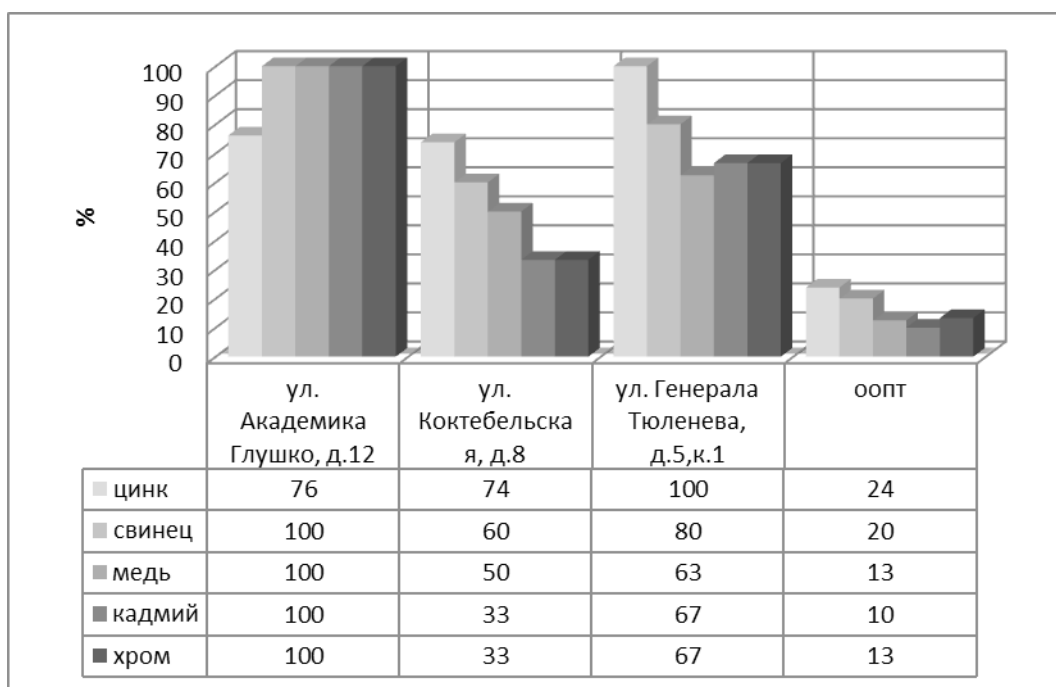


Рис. 2. Содержания тяжёлых металлов в пробах снеговой воды, % от максимального

щей массы снега при первичном визуальном осмотре. В лабораторию образцы снега доставляли в пронумерованных сейф-пакетах.

Этап предварительной обработки проб заключался в растапливании снега при комнатной температуре с последующим разделением его на жидкую и твёрдую

фазы путём фильтрования. В данном исследовании анализировалась жидкая фаза. До фильтрации пробы снега сохраняли в замороженном состоянии. Анализ талой воды осуществлялся в соответствии с методиками ПНД Ф 14.1:2:4.140–98, ПНД Ф 14.1:2:4.139–98, ПНД Ф 14.1:2:96–97, ПНД Ф 14.1:2:4.95–97, ПНД Ф 14.1:2:4.138–98.

Таблица 3. Содержание тяжёлых металлов в пробах почвы, мг/кг

Элемент	ул. Академика Глушко, д. 12	ул. Коктебельская, д. 8	ул. Генерала Тюленева, д. 5, к.1	оопт
цинк	59,6 ± 4,5	65 ± 5	60,6 ± 4,6	38,2 ± 2,8
свинец	8,89 ± 0,9	7,2 ± 0,7	16,72 ± 1,6	12,06 ± 1,2
медь	21,09 ± 1,6	12,42 ± 1	12,46 ± 1	9,33 ± 0,7
кадмий	1,08 ± 0,1	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001	0,609 ± 0,03
хром	19,3 ± 1,8	11,14 ± 1	9,87 ± 1	24,48 ± 2,3

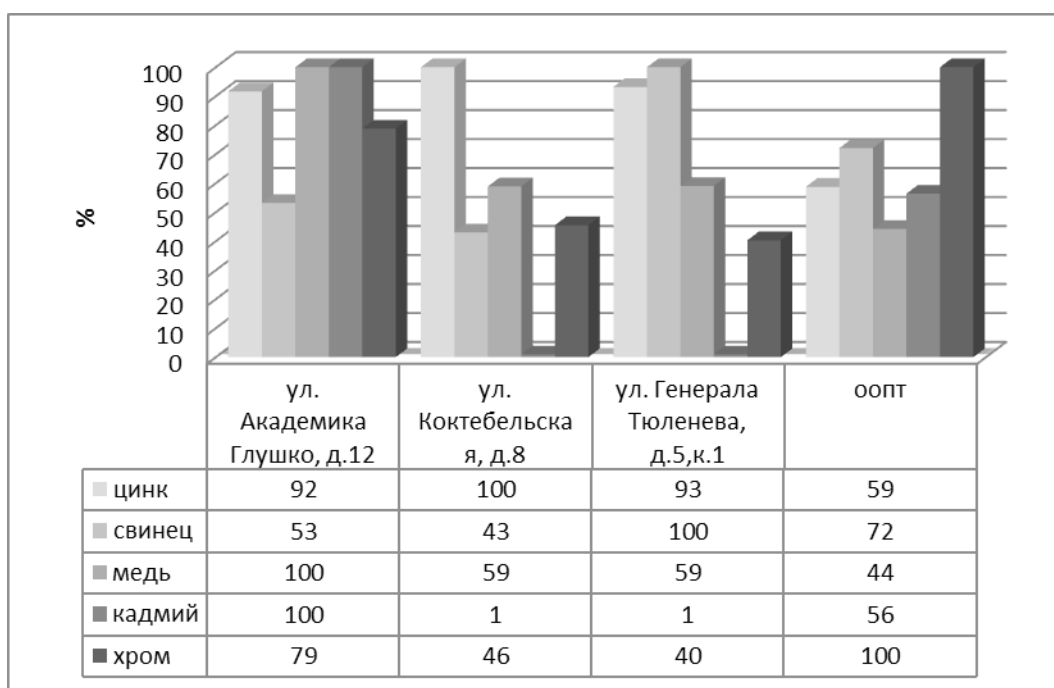


Рис. 3. Содержания тяжёлых металлов в почве опытных участков, % от максимального

В образцах снега определяли содержание ионов хлора, калия, кальция, магния, натрия, цинка, свинца, меди, кадмия, хрома. Данные показатели представляют интерес, так как являются основными компонентами ПГР.

Результаты исследований

В ходе исследования во всех образцах зафиксировано значительное превышение содержания в снеговой воде рассматриваемых компонентов ПГР по сравнению с их содержанием на фоновом участке (таблица 2).

Наибольшее превышение фоновых концентраций хлора, калия и натрия в 485, 6 и 545 раз соответственно отмечено на участке ул. Академика Глушко. Максимальным содержанием кальция характеризовался участок, расположенный на ул. Генерала Тюленева, где превыше-

ние фона составило 74 раза. Почти 4-х разовое превышение фонового содержания магния зафиксировано на ул. Коктебельская (рисунок 1).

Содержание тяжёлых металлов в снеговой воде на всех исследуемых участках превышало фоновые значения. Из всех изучаемых элементов в снеговой воде превалировал цинк. Его содержание на ул. Генерала Тюленева более чем в 4 раза превысило фон. По ул. Академика Глушко, д.12 отмечено превышение фоновых концентраций по свинцу, меди, кадмию, хрому в 5, 8, 10 и 8 раз соответственно (рисунок 2).

Наиболее загрязнённым участком по содержанию ТМ и компонентов ПГР в снеговой воде является ул. Академика Глушко, д. 12, где наблюдалось максимальное превышение фоновых содержаний по 7 элементам из 10.

Таблица 4. Интегральная оценка токсической нагрузки на почву

ул. Академика Глушко, д. 12	ул. Коктебельская, д. 8	ул. Генерала Тюленева, д. 5, к.1	оопт
23,00216045	1,232286627	1,448817323	13,41104863

Таблица 5. Содержание тяжёлых металлов в дождевых червях, мг/кг

Элемент	ул. Академика Глушко, д. 12	ул. Коктебельская, д. 8	ул. Генерала Тюленева, д. 5, к.1	оопт
цинк	54 ± 4,1	115 ± 8,7	246 ± 19	61 ± 4,6
свинец	1,47 ± 0,2	0,726 ± 0,1	0,711 ± 0,07	0,844 ± 0,1
медь	6,31 ± 0,5	6,49 ± 0,5	8,05 ± 0,6	4,57 ± 0,4
кадмий	2,3 ± 0,1	0,686 ± 0,03	0,549 ± 0,03	1,04 ± 0,05
хром	0,34 ± 0,03	0,54 ± 0,05	0,93 ± 0,1	1,26 ± 0,1

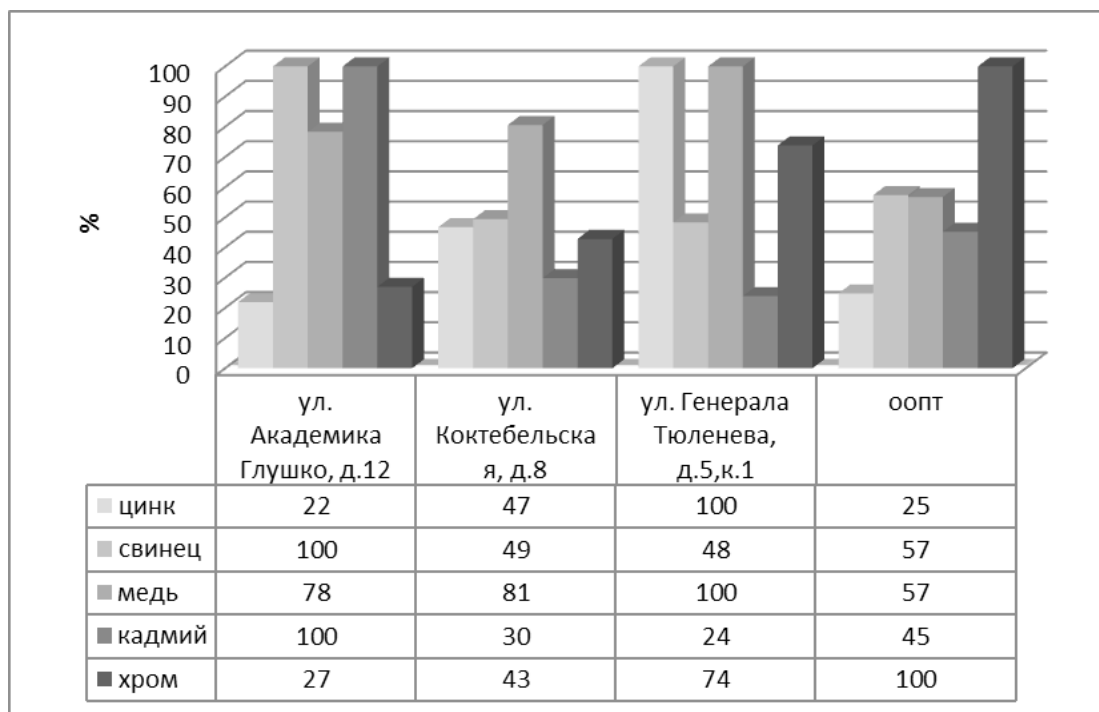


Рис. 4. Содержание тяжёлых металлов в дождевых червях,% от максимального

Таким образом, по суммарному коэффициенту загрязнения снега, исследуемые участки в селитебной зоне относятся к категории чрезвычайно опасного уровня загрязнения ($Z_c > 256$).

На основании результатов исследований можно констатировать неравномерное пространственное распределение тяжелых металлов и в почве, особенно — по кадмию, содержание которого на отдельных участках варьировало более чем в 108 раз (таблица 3, рисунок 3). По цинку превышения минимального значения составляли 1,6–1,7; свинцу, меди и хрому — 1,1–2,5.

По тяжелым металлам участок, принятый за фоновый вариант, находящийся на территории ООПТ, не всегда характеризовался наименьшими их содержаниями. В почве территории ООПТ существенно больше содержалось свинца, чем на 1-м и 2-м участках, кадмия — чем на 2-м и 3-м участках. Этот участок характеризовался также максимальным содержанием хрома.

В качестве меры, характеризующей градиент общего токсического воздействия, нами использован интегральный показатель загрязнения почвы.[1]

Таблица 6. Количество и масса дождевых червей на исследуемых участках

Участок	ул. Академика Глушко, д. 12	ул. Коктебельская, д. 8	ул. Генерала Тюленева, д. 5, к.1	оопт
Количество червей, штук, м ²	80	93	94	96
Масса червей, г, м ²	75,2	92,8	108,8	123,2
средняя масса одного червя, г	0,95	0,96	1,14	1,3

Таблица 7. Коэффициенты корреляции между содержанием ТМ в снеговой воде и дождевых червях

Химический элемент	Снег — дождевой червь	Характер связи
цинк	R = 0,7	Связь умеренная
свинец	R = 0,7	Связь умеренная
медь	R = 0,6	Связь умеренная
кадмий	R = 0,6	Связь умеренная
хром	R = -0,7	Связь умеренная, обратная

Таблица 8. Коэффициенты корреляции между интегральной токсической нагрузкой и рассматриваемыми параметрами

Параметры	Снег — дождевой червь	Характер связи
Численность червей	R = -0,84	Связь сильная, обратная
Масса червей	R = -0,39	Связь слабая, обратная
Суммарный к.к.ТМ	R = 0,1	Связь очень слабая

Дождевые черви (земляные) на территории РФ представлены главным образом видами семейства люмбрицид (Lumbricidae). Это преимущественно крупные виды, входящие в состав микрофауны. Все дождевые черви — истинные геобионты (постоянные обитатели почв).[8]

Наибольшая аккумуляция свинца и кадмия червями по сравнению с вариантом, характеризующимся наименьшим их содержанием (в 2 и 4 раза соответственно), отмечена на участке по улице Академика Глушко; наибольшая аккумуляция цинка и меди (в 4,5 и 1,7 раза соответственно) — по улице Генерала Тюленева, превышение по хрому в 3,7 раза зафиксировано на территории, примыкающей к ООПТ (таблица 5, рисунок 4).

Определение суммарной массы дождевых червей на исследуемых участках показало, что наибольшей она была на участке, прилегающем к ООПТ. На участке ул. Академика Глушко зафиксирована минимальная суммарная масса дождевых червей (таблица 6).

В ходе исследования нами проведён корреляционный анализ между содержанием ТМ в снеговой воде и дождевых червях (формулы 1, 2, 3), а также между интегральной токсической нагрузкой и следующими показателями: численность и масса дождевых червей, суммарный коэффициент концентрации ТМ в дождевых червях.

Формула 1.

$$y^x = a + bx$$

Формула 2.

$$\begin{cases} na + b \sum x = \sum y \\ a \sum x + b \sum x^2 = \sum xy \end{cases}$$

Формула 3.

$$R = \frac{\sum x * y - \frac{\sum x * \sum y}{n}}{\sqrt{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} * \sqrt{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}}}$$

Полученные результаты свидетельствуют о том, что существует одинаковая теснота связи между исследуемыми компонентами (таблица 7).

В системе «снег — дождевые черви» наблюдается умеренный характер связи корреляционной зависимости по всем рассматриваемым элементам.

Корреляционный анализ между интегральной токсической нагрузкой и численностью дождевых червей показал наличие сильной обратной связи между параметрами, то есть, чем больше нагрузка, тем меньше численность червей. Такая же зависимость наблюдается с массой дождевых червей, однако, теснота связи слабая. Между суммарной токсической нагрузкой и суммарным коэффициентом концентрации ТМ в дож-

девых червях наблюдается слабая прямая связь (таблица 8).

Заключение

Таким образом, наибольшую токсическую нагрузку испытывает участок, расположенный по ул. Академика Глушко.

Наименьшее количество дождевых червей обнаружено на участке ул. Академика Глушко, который является наиболее загрязнённым из исследованных. Наибольшая масса червей обнаружена на участке, прилегающем к ООПТ.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что химический состав дождевых червей, обитающих в разных экологических условиях, подвержен колебаниям.

Миграция цинка, свинца, меди и кадмия в системе «снег – дождевые черви» проходит по схеме положительной корреляционной зависимости.

Зафиксирована аномалия по содержанию хрома, как в почве, так и в дождевых червях на территории, прилегающей к ООПТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безель В. С. Роль травянистых растительных сообществ в формировании биогенных циклов химических элементов / Безель В. С., Жуйкова Т. В. / Поволжский экологический журнал № 3, 2013, с. 219–230
2. Воронцова А. В. Особенности поведения поллютантов в снеговом покрове Санкт-Петербурга и их влияние на городскую среду: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36/ Воронцова Анна Владиславовна. — Санкт-Петербург, 2013. 119 с.
3. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году», Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, Москва 2016 год, 365 с.
4. Дрябжинский О.Е., Зубкова В. М. 2017. Анализ загрязнения снежного покрова ЮЗАО города Москвы при применении противогололёдных реагентов (ПГР) — Современные тенденции развития науки и технологий. Белгород: Агенство перспективных научных исследований
5. Дрябжинский О.Е., Зубкова В. М., Пугачёва Т. Г., Гапоненко А. В. 2017. Оценка уровня загрязнения снежного покрова города Москвы при применении противогололёдных реагентов (ПГР). М: Экологические системы и приборы, № 1–2017, 56 с.
6. Никифорова Е. М. Мониторинг засоления снега и почв восточного округа Москвы противогололёдными смесями / Никифорова Е. М., Кошелева Н. Е., Власов Д. В. // Фундаментальные исследования № 11.-2014. С. 340–347
7. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Технология зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололёдных реагентов (на зимние периоды 2012 гг. и далее). Москва, 2012. 136 с.
8. Чеснокова С.М. биологические методы оценки качества объектов окружающей среды. Учебное пособие в двух частях. Часть 1. Методы биоиндикации. Владимир, 2007, с. 84
9. Sims R. W. Earthworms. Syn. Br. Fauna / R. W. Sims, B. M. Gerard. — London, 1999. — 156 p.5, p. 49

© Дрябжинский Олег Евгеньевич (electric11234@gmail.com),

Зубкова Валентина Михайловна (vmzubkova@yandex.ru), Пугачёва Тамара Геннадьевна (malanichevatg@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»