

Код УДК: 504.5

**Распределение тяжелых металлов в системе «почва-растения-
беспозвоночные животные» в степном биогеоценозе
в окрестностях крупной автомагистрали**

Палаткина Полина Алексеевна

**9 класс, МБОУ «Лицей №13», г.Троицк, Челябинская область,
Российская Федерация, polya_palatkina@mail.ru**

Аннотация. Автотранспорт – это один из весомых источников загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Тяжелые металлы накапливаются в почве придорожных территорий, в растительности, произрастающей вдоль автодорог, возможно в тканях беспозвоночных животных. Цель нашей работы - изучить особенности распределения тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степных биогеоценозах в условиях техногенной нагрузки. Оказалось, что в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» медь, свинец, марганец и никель накопления не обнаруживают. Цинк и кадмий, напротив, продемонстрировали накопление, при этом содержание этих элементов в тканях беспозвоночных животных до 2 раз выше, чем содержание их в растениях.

Ключевые слова: тяжелые металлы; накопление; почва; растительность; беспозвоночные животные.

POLINA PALATKINA

(RUSSIA)

**DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE "SOIL-PLANTS-
INVERTEBRATES" SYSTEM IN THE STEPPE BIOGEOCENOSIS
IN THE VICINITY OF HIGHWAY**

Annotation. Motor transport is one of the most significant sources of environmental pollution with heavy metals. Heavy metals accumulate in the soil of roadside areas, in vegetation growing along highways, possibly in the tissues of invertebrates. The purpose of our work is to study the features of the distribution of heavy metals in the

system "soil-vegetation-invertebrates" in steppe biogeocenoses under conditions of technogenic load. It turned out that copper, lead, manganese and nickel do not accumulate in the "soil-vegetation-invertebrates" system. Zinc and cadmium, on the contrary, demonstrated accumulation, while the content of these elements in the tissues of invertebrates is up to 2 times higher than their content in plants.

Keywords: heavy metals; accumulation; soil; vegetation; invertebrates.

1. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Тяжёлые металлы - это более 40 элементов периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева, которые имеют атомную массу выше 50. Однако употребление названного термина на сегодняшний день связано не только с химическими особенностями, а определяется их воздействием на окружающую среду [3]. А воздействие тяжелых металлов на биологические системы разнообразно и при избыточных количествах губительно. Тяжелые металлы влияют на ферментативные реакции в клетке, они изменяют физиологические процессы в организме. Тяжелые металлы обладают ярко выраженной способностью к биоаккумуляции, т.е. способностью накапливаться при прохождении по пищевым цепям [6]. Загрязнение тяжелыми металлами является одним из сильнейших по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением среды [5].

Автотранспорт – это один из весомых источников загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [1]. В научной литературе достаточно сведений о том, как накапливаются тяжелые металлы в почве придорожных территорий, в растительности, произрастающей вдоль автодорог, но очень ограничены сведения о содержании тяжелых металлов в тканях беспозвоночных животных, и уж совсем нет исследований о накоплении и распределении тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные».

Цель работы - изучить особенности распределения тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степных биогеоценозах в условиях техногенной нагрузки.

Для достижения обозначенной цели были поставлены следующие **задачи:**

- 1) изучить содержание тяжелых металлов в почве, растительности и беспозвоночных животных степного биогеоценоза, испытывающего техногенную нагрузку (окрестности автомагистрали);
- 2) изучить содержание тяжелых металлов в почве, растительности и

беспозвоночных животных степного биогеоценоза на территории относительно ненарушенной деятельностью человека (контрольный биогеоценоз);

3) выявить особенности распределения тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные».

Объект исследования: система «почва-растения-беспозвоночные животные».

Предмет исследования: тяжелые металлы.

Гипотеза. В системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степных биогеоценозах окрестностей крупной автомагистрали *происходит накопление тяжелых металлов*, при этом в тканях беспозвоночных животных следует ожидать повышенного содержания тяжелых металлов.

Практическая значимость работы. Изучены особенности накопления некоторых тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные». Результаты могут быть использованы для оценки экологического состояния окружающей среды, могут быть использованы в качестве примеров на уроках экологии, общей биологии, химии.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в окрестностях крупной автомагистрали Троицк-Челябинск, имеющей федеральное значение, в 10 км от г. Троицка, в июне-июле 2018 г. Были изучены почва, растительность и беспозвоночные животные на двух участках. Первый участок - **степной биогеоценоз в окрестностях автомагистрали** на расстоянии 15-20 метров от дороги, второй - **степной биогеоценоз контрольный** на расстоянии 500 м от автомагистрали.

В каждом биоценозе были взяты пробы почвы, образцы растительности, были установлены ловушки Барбера для поимки беспозвоночных-герпетобионтов (это те, которые передвигаются и живут на поверхности почвы) и были выполнены укусы растительности энтомологическим сачком для сбора беспозвоночных-хортобионтов (т.е. передвигающихся и живущих среди растительности).

Определение тяжелых металлов в почве, растительности и тканях животных было проведено методом атомно-абсорбционной спектроскопии в межкафедральной лаборатории ЮУрГАУ ИВМ (г.Троицк Челябинской области). Нам были переданы готовые, представленные уже с рассчитанной ошибкой средней арифметической, средние значения содержания тяжелых металлов в пробах. Мы рассчитали критерий достоверности разности между средними арифметическими [4]. Это делается для того, чтобы доказать математически, есть ли различия в содержании тяжелых металлов между аналогичными пробами, взятыми в окрестностях автомагистрали, и на контрольном участке). Мы проанализировали полученные результаты, мы интерпретировали их, опираясь на литературные источники.

Построение графиков выполнено с использованием программы Excel.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мы изучили содержание тяжелых металлов в почве двух рассмотренных биогеоценозов, мы рассчитали критерий достоверности разности содержания тяжелых металлов в почве в биогеоценозе в условиях антропогенной нагрузки и в почве степного контрольного биогеоценоза (табл. 1).

Оказалось, что среди шести рассмотренных элементов, являющихся тяжелыми металлами, в почве в биоценозе возле автомагистрали содержание у **пяти** из них – меди, цинка, свинца, марганца и никеля - математически **достоверно выше**, чем содержание этих металлов в почве в биоценозе, находящемся в 500 метрах от автомагистрали (табл. 1). Совершенно очевидно, что в почве вблизи автомагистрали происходит накопление этих тяжелых металлов. Особенно заметным явилось увеличение содержания свинца в почве биоценоза вблизи автомагистрали: более чем 2 раза по сравнению с содержанием этого элемента в почве контрольного биоценоза, который был удален от автомагистрали на 500 м.

Однако ни в одном случае накопление изученных тяжелых металлов в почве не превысило установленные предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания тяжелых металлов в почве (табл. 1). Под предельно допустимой концентрацией тяжелых металлов следует понимать такие их концентрации, которые при длительном воздействии на почву и произрастании на ней растений не вызывает каких-либо патологических изменений или аномалий, а так же не приводит к накоплению токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах [3].

Мы изучили содержание тяжелых металлов в растениях двух рассмотренных биогеоценозов (табл. 2). Мы рассчитали критерий достоверности разности содержания тяжелых металлов в растениях в биогеоценозе в условиях антропогенной нагрузки и степном контрольном биогеоценозе.

Оказалось, что в растениях в биоценозе возле автомагистрали содержание **четырех** изученных элементов – меди, свинца, марганца и никеля -

математически **достоверно выше**, чем содержание этих металлов в растительности в биоценозе, находящемся в 500 метрах от автомагистрали (табл. 2). Значит, в растениях, произрастающих возле автомагистрали, накапливаются медь, свинец и никель. Различия в содержании марганца, цинка и кадмия было математически не достоверным.

Мы получили данные о содержании изученных тяжелых металлов в тканях (в телах) беспозвоночных животных (табл. 3,4). И вот: накопления тяжелых металлов в тканях беспозвоночных животных, обитающих возле автомагистрали, мы не обнаружили. Во всех случаях различия в содержании изученных тяжелых металлов в тканях животных рассмотренных биоценозов были математически **не достоверными** (табл. 3,4).

Мы предприняли попытку проследить распределение тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» (табл. 5).

Оказалось, что содержание меди, свинца, марганца и никеля в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» закономерно снижается от звена к звену, т.е. накопления эти элементы в рассмотренной системе не обнаруживают (рис. 1, 2, 3, 4).

А вот тяжелые металлы цинк и кадмий обнаружили **накопление** в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» (рис. 5, 6). Так, содержание цинка в тканях беспозвоночных-хортобионтов, большая часть из которых – растительноядные – почти **в 2 раза выше**, чем содержание этого элемента в растениях. Содержание кадмия в тканях беспозвоночных-хортобионтов в биоценозе в окрестностях автомагистрали **в 1,8 раз**, а в биоценозе контрольном **в 1,6 раза выше**, чем содержание кадмия в растениях, которыми питаются хортобионты.

Тяжелый металл кадмий вообще представляет собой один из самых опасных токсикантов (токсичнее свинца) [2]. В природной среде кадмий встречается лишь в очень малых количествах, поэтому его отравляющее действие выявлено сравнительно недавно. Он содержится в мазуте и дизельном топливе. Кадмий способен сравнительно легко поступать в растения из почвы

через корневую систему, а также через атмосферу через листья [2]. Кадмий вызывает нарушения активности ферментов, тормозит фотосинтез. Кадмий имеет отчетливую тенденцию к накоплению в организме [9] и, как показало наше исследование, в экосистеме. Цинк же наименее токсичен из всех тяжёлых металлов [8]. Как и кадмия, в почве содержание цинка в нашем исследовании не превысило допустимые нормы. Но в литературе мы нашли сведения о том, что цинк способен накапливаться в тканях растений совместно с кадмием, т.е. накопление одного способствует накоплению другого металла, даже если в среде цинк присутствует в незначительных количествах [7]. Именно поэтому мы в нашем исследовании обнаружили накопление цинка в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные»

4. ВЫВОДЫ

1. В почве в биоценозе возле автомагистрали содержание меди, цинка, свинца, марганца и никеля - математически достоверно выше, чем содержание этих металлов в почве контрольного биоценоза. Но ни в одном случае накопление не превысило установленные предельно допустимые концентрации содержания тяжелых металлов в почве.
2. В растениях в биоценозе возле автомагистрали содержание меди, свинца, марганца и никеля математически достоверно выше, чем содержание этих металлов в растительности контрольного биоценоза.
3. Различий в содержании тяжелых металлов в тканях беспозвоночных животных, обитающих возле автомагистрали и в контрольном биоценозе нет.
4. В системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» медь, свинец, марганец и никель накопления не обнаруживают. Цинк и кадмий, напротив, продемонстрировали накопление в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные», при этом содержание этих элементов в тканях беспозвоночных животных до 2 раз выше, чем содержание их в растениях.
5. Выдвинутая нами гипотеза о том, что в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степных биогеоценозах окрестностей крупной автомагистрали происходит накопление тяжелых металлов, при этом в тканях беспозвоночных животных следовало бы ожидать повышенное содержание тяжелых металлов, подтвердилась лишь для двух изученных тяжелых металлов - кадмия и цинка.

5. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евгенийев, И.Я. Автомобильные дороги и охрана окружающей среды [Текст] / И.Я. Евгенийев, А.А. Миронов. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 1986. - 281 с.
2. Загрязнение кадмием окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://otherreferats.allbest.ru/ecology/00201332_0.html
3. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение [Текст] / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
4. Лакин, Г. Ф. Биометрия [Текст] / Г.Ф.Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
5. Монин, А. С. Глобальные экологические проблемы [Текст] / А. С. Монин, Ю. А. Шишков. – М.: Знание, 1990. – 48 с.
6. Одум, Ю. Экология [Текст] / Ю.Одум. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
7. Плеханова, В.А. Характер сопряжения накоплений цинка и кадмия растениями в условиях фитоценоза и агрокультуры: дисс. ... канд. биол. наук / В.А. Плеханова. – Уфа, 2007.
8. Соловьева, Д.Ю. Экологические проблемы круговорота цинка. Загрязнение цинком городской среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018014733>
9. Ягодин, Б.А. Тяжелые металлы и здоровье человека [Текст] / Б.А.Ягодин // Химия в с/х. – 1996. – №5. – С. 18-20.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов **в пробах почвы** (мг/кг) в двух изученных степных биоценозах, критерий достоверности разности (при $P=0,95$) и величины предельно допустимых концентраций содержания тяжелых металлов в почве (ПДК, по Ильину, 2001)

	Металлы	Степной биоценоз в окрестностях автомагистрали (n=3)	Степной биоценоз Контрольный (n=3)	Критерий достоверности разности	ПДК
1	Медь (Cu)	13,17±0,68	9,28±0,63	4,18	100
2	Цинк (Zn)	42,50±1,23	31,27±1,24	6,42	110
3	Свинец (Pb)	14,54±0,26	6,61±0,24	22,66	32
4	Марганец (Mn)	360,5±18,8	528,8±17,4	6,6	1500
5	Кадмий (Cd)	0,016±0,008	0,015±0,006	0,1	50
6	Никель (Ni)	32,71±1,52	25,83±1,49	3,23	50

Примечание: **жирным шрифтом** выделены математически достоверные различия.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов **в пробах растительности** (мг/кг) в двух изученных степных биоценозах и критерий достоверности разности (при $P=0,95$)

	Металлы	Степной биоценоз в окрестностях автомагистрали (n=3)	Степной биоценоз Контрольный (n=3)	Критерий достоверности разности
1	Медь (Cu)	2,06±0,01	1,30±0,13	5,85
2	Цинк (Zn)	13,32±0,84	11,52±0,84	1,51
3	Свинец (Pb)	1,37±0,05	0,42±0,11	7,92
4	Марганец (Mn)	35,00±6,50	20,37±1,32	2,26
5	Кадмий (Cd)	0,028±0,006	0,016±0,001	1,9
6	Никель (Ni)	0,83±0,04	0,60±0,01	5,75

Примечание: **жирным шрифтом** выделены математически достоверные различия.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в беспозвоночных-герпетобионтах (мг/кг)
в двух изученных степных биоценозах и критерий достоверности разности
(при $P=0,95$)

	Металлы	Степной биоценоз в окрестностях автомагистрали (n=3)	Степной биоценоз Контрольный (n=3)	Критерий достоверности разности
1	Медь (Cu)	1,19±0,37	0,98±0,34	0,42
2	Цинк (Zn)	15,50±1,60	13,88±1,18	0,81
3	Свинец (Pb)	0,82±0,38	0,44±0,06	1,00
4	Марганец (Mn)	12,84±0,84	17,73±3,83	1,25
5	Кадмий (Cd)	0,032±0,017	0,023±0,004	0,53
6	Никель (Ni)	0,16±0,03	0,32±0,15	1,07

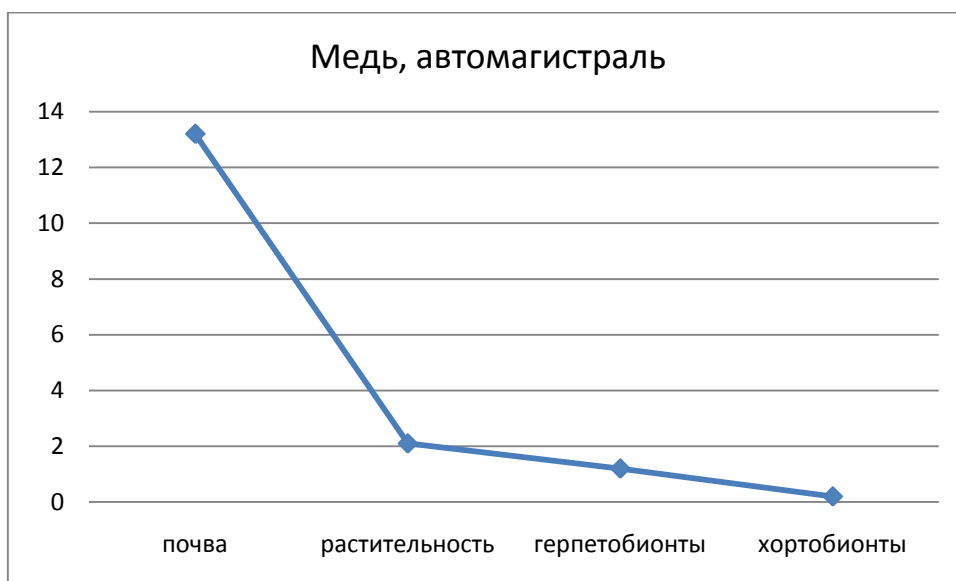
Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в беспозвоночных-хортобионтах (мг/кг)
в двух изученных степных биоценозах и критерий достоверности разности
(при $P=0,95$)

	Металлы	Степной биоценоз в окрестностях автомагистрали (n=3)	Степной биоценоз Контрольный (n=3)	Критерий достоверности разности
1	Медь (Cu)	0,19±0,07	0,22±0,12	0,21
2	Цинк (Zn)	26,44±7,38	22,94±4,93	0,39
3	Свинец (Pb)	0,42±0,04	0,25±0,18	0,94
4	Марганец (Mn)	15,33±1,43	10,69±3,07	1,37
5	Кадмий (Cd)	0,050±0,004	0,026±0,015	1,50
6	Никель (Ni)	1,09±0,38	0,63±0,24	1,02

Распределение тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» (мг/кг) двух изученных степных биогеоценозов

	Металлы	Почва	Растительность	Беспозвоночные животные герпетобионты	Беспозвоночные животные хортобионты
Степной биогеоценоз в окрестностях автомагистрали					
1	Медь (Cu)	13,17±0,68	2,06±0,01	1,19±0,37	0,19±0,07
2	Цинк (Zn)	42,50±1,23	13,32±0,84	15,50±1,60	26,44±7,38
3	Свинец (Pb)	14,54±0,26	1,37±0,05	0,82±0,38	0,42±0,04
4	Марганец (Mn)	360,5±18,8	35,00±6,50	12,84±0,84	15,33±1,43
5	Кадмий (Cd)	0,016±0,008	0,028±0,006	0,032±0,017	0,050±0,004
6	Никель (Ni)	32,71±1,52	0,83±0,04	0,16±0,03	1,09±0,38
Степной биогеоценоз контрольный					
1	Медь (Cu)	9,28±0,63	1,30±0,13	0,98±0,34	0,22±0,12
2	Цинк (Zn)	31,27±1,24	11,52±0,84	13,88±1,18	22,94±4,93
3	Свинец (Pb)	6,61±0,24	0,42±0,11	0,44±0,06	0,25±0,18
4	Марганец (Mn)	528,8±17,4	20,37±1,32	17,73±3,83	10,69±3,07
5	Кадмий (Cd)	0,015±0,006	0,016±0,001	0,023±0,004	0,026±0,015
6	Никель (Ni)	25,83±1,49	0,60±0,01	0,32±0,15	0,63±0,24

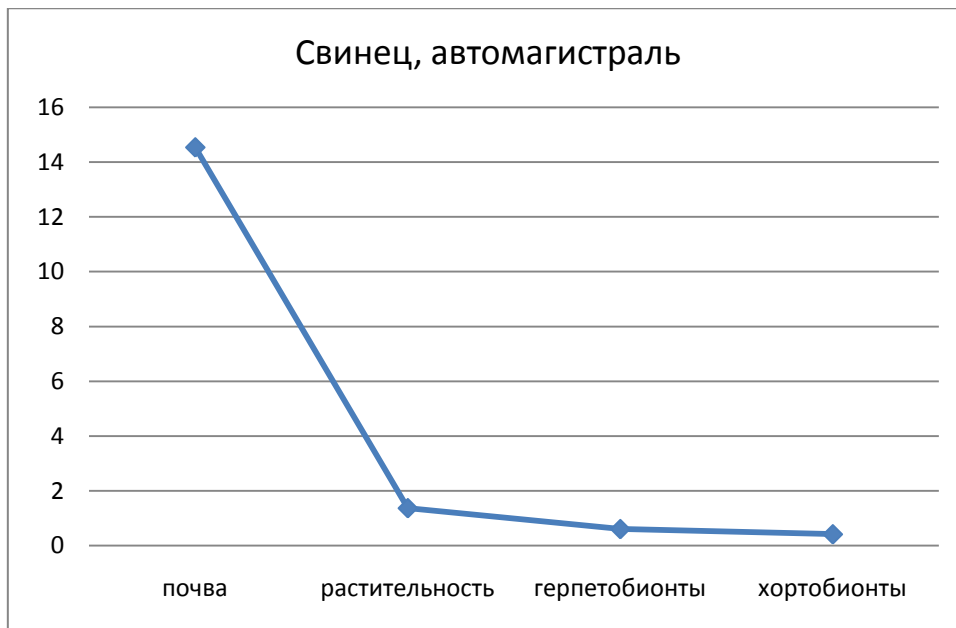


А.

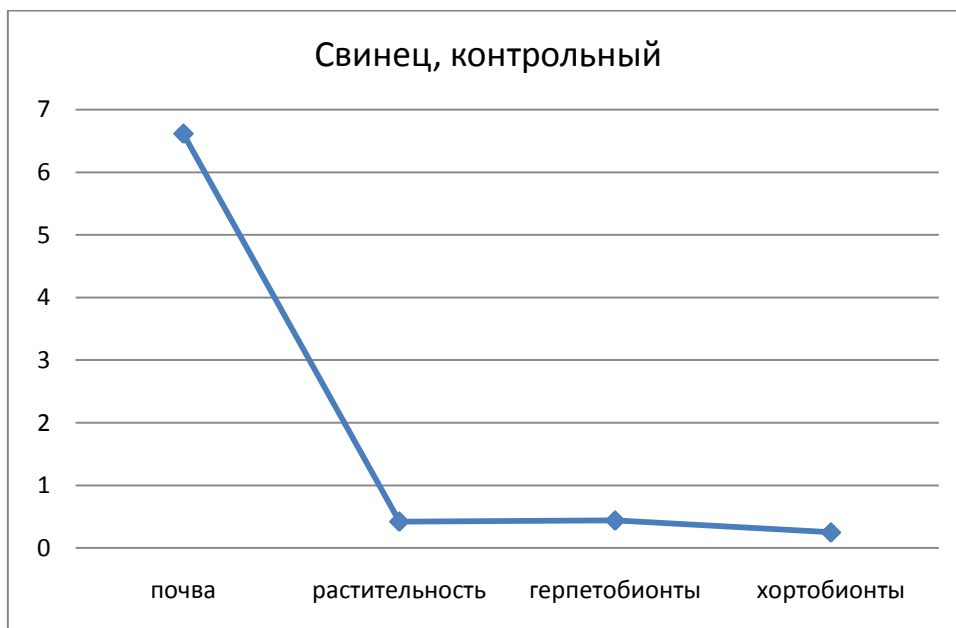


Б.

Рисунок 1 – Распределение содержания меди (мг/кг) в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степном биогеоценозе в окрестностях автомагистрали (А) и в степном биогеоценозе контрольном (Б).



А.

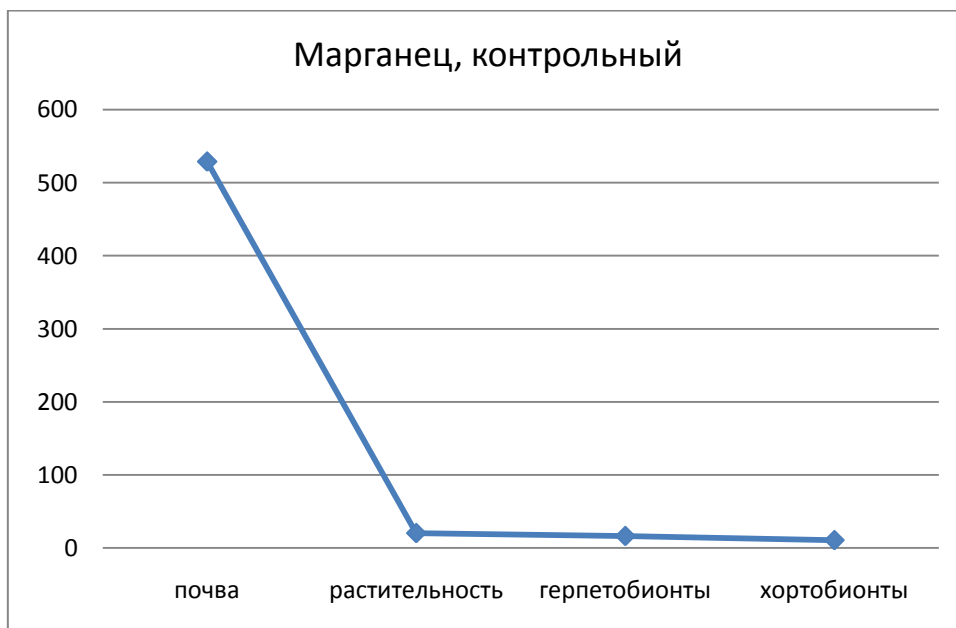


Б.

Рисунок 2 – Распределение содержания свинца (мг/кг) в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степном биогеоценозе в окрестностях автомагистрали (А) и в степном биогеоценозе контрольном (Б).

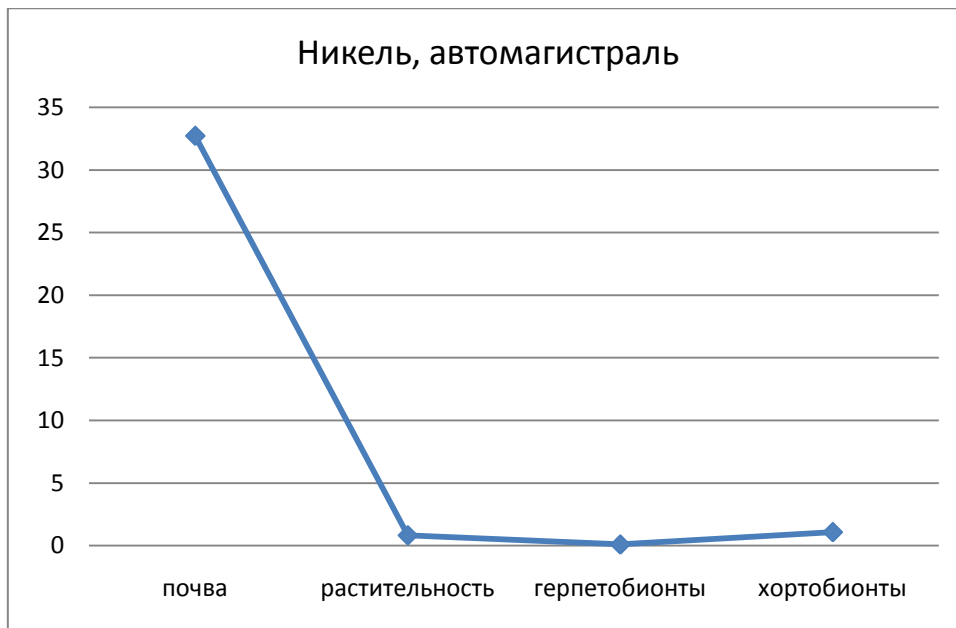


А.



Б.

Рисунок 3 – Распределение содержания марганца (мг/кг) в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степном биogeоценозе в окрестностях автомагистрали (А) и в степном биogeоценозе контрольном (Б).

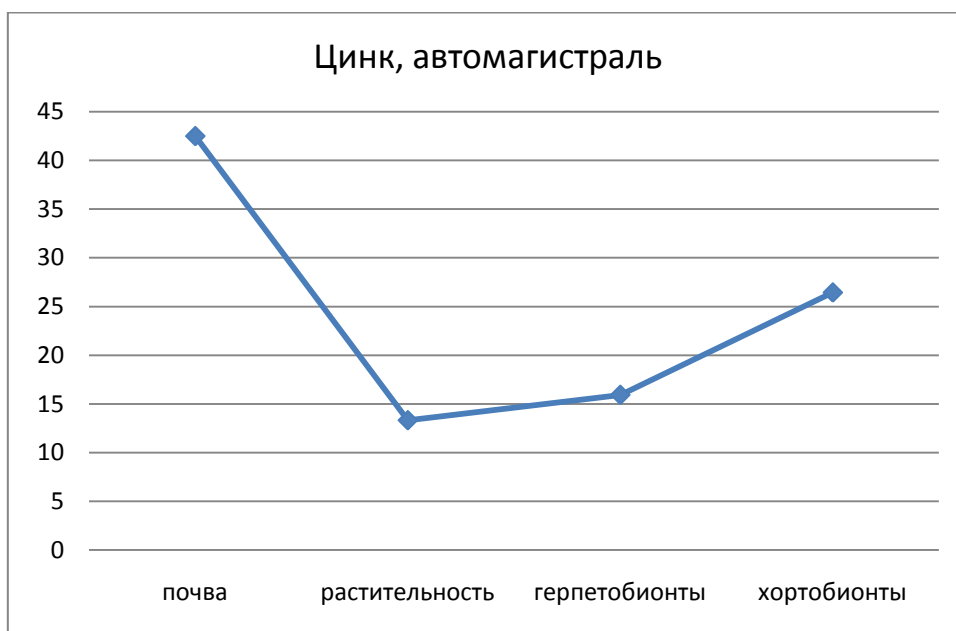


А.



Б.

Рисунок 4 – Распределение содержания никеля (мг/кг) в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степном биогеоценозе в окрестностях автомагистрали (А) и в степном биогеоценозе контрольном (Б).

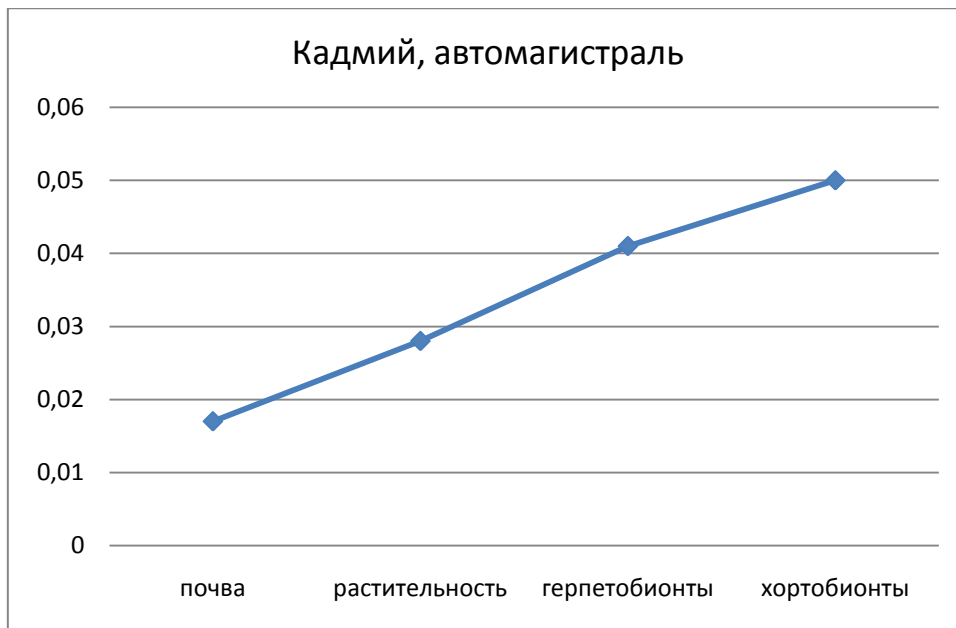


А.

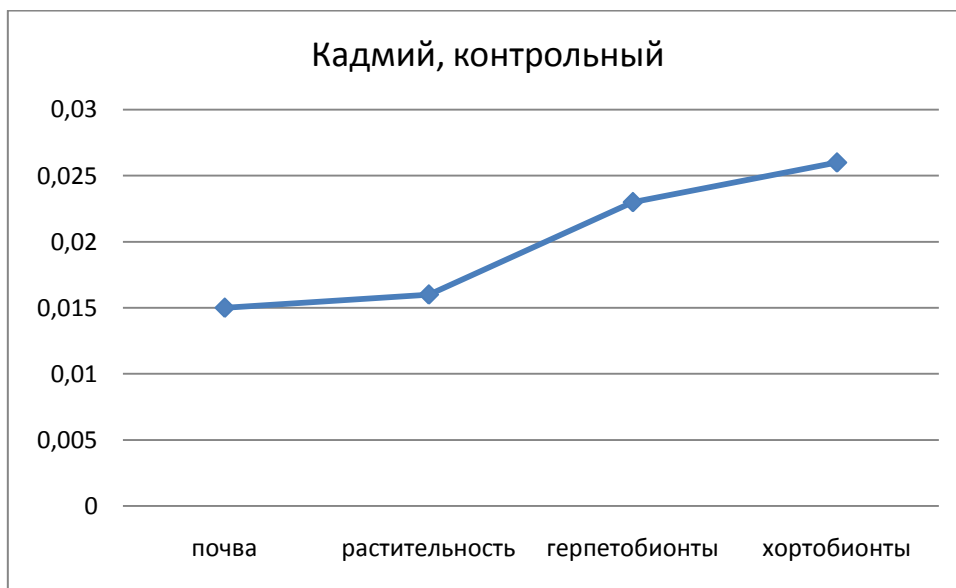


Б.

Рисунок 5 – Распределение содержания цинка (мг/кг) в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степном биогеоценозе в окрестностях автомагистрали (А) и в степном биогеоценозе контрольном (Б).



А.



Б.

Рисунок 6 – Распределение содержания кадмия (мг/кг) в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степном биогеоценозе в окрестностях автомагистрали (А) и в степном биогеоценозе контрольном (Б).