

УДК 634.5: 630.181.7: 546.3

UDC 634.5: 630.181.7: 546.3

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

06.00.00 Agricultural sciences

**МЕЛИОРАТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ  
НАСАЖДЕНИЙ ОРЕХА ГРЕЦКОГО И ОРЕХА  
ЧЕРНОГО АККУМУЛИРОВАТЬ ТЯЖЕЛЫЕ  
МЕТАЛЛЫ В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ****LAND RECLAMATION ABILITY OF THE  
PLANTATIONS OF WALNUT AND BLACK  
NUT ON THE ACCUMULATION OF HEAVY  
METALS IN THE ABOVEGROUND  
PHYTOMASS**

Мальшева Зинаида Георгиевна

д-р с.-х. наук, доцент

РИНЦ SPIN –код=8839-7525

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО  
Донской государственный аграрный университет,  
Новочеркасск, Россия*

Malysheva Zinaida Georgievna

Dr.Sci.Agr., associate professor

РИНЦ SPIN –cod=8839-7525

*Novocherkassk Engineering and Land Reclamation  
Institute named A.K. Kortunova FGBOU VPO of Don  
State Agrarian University, Novocherkassk, Russia*

Цель выполненного научного исследования – оценить возможности ремедиации почв путем аккумуляции тяжелых металлов в надземной фитомассе – листьях, побегах, плодах ореха грецкого и ореха черного. Исследования проводились в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях. В образцах надземной фитомассы древесных растений и почвы под пологом ореха определяли количественное содержание валовых форм тяжелых металлов: Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Pb, Cd, Cr. Данная способность заключается в аккумуляции листьями, побегами и плодами содержащихся в атмосфере тяжёлых металлов. В дальнейшем валовые формы этих металлов с ежегодным опадом поступают в подстилку, а затем в почву

The purpose of the research is to assess the ability of reclamation plantations of walnut and black nut on the accumulation of heavy metals in their phytomass – leaves, shoots, and fruit. The studies were conducted in the Rostov region, the Krasnodar and the Stavropol regions. In the samples of vegetative aboveground and soil (under the canopy nuts) we have defined qualitative content of total forms of heavy metals of Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Pb, Cd, Cr. This ability is the accumulation of heavy metals in leaves, shoots and fruit that fall from the atmosphere. Later, the bulk forms of these metals with the annual litter come to litter, and then – into the soil

Ключевые слова: ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ,  
НАСАЖДЕНИЯ ОРЕХА, ЛИСТЬЯ, ПОБЕГИ,  
ПЛОДЫ, ПОЧВЫ

Keywords: HEAVY METALS, CROPS OF NUTS,  
LEAVES, SHOOTS, FRUITS, SOILS

Почва, как основа экотопа, в значительной мере определяет макро- и микроэлементный состав произрастающих на ней растений. Пути поступления тяжелых металлов в растения разнообразны, основные из них – корневое и фолитарное [1]. Способность металлов проникать в растения через корни зависит от функций самого металла внутри организма, поэтому они поглощаются из почвы избирательно.

Многочисленные исследования показали, что существует определенная связь между химическим составом компонентов среды [2,3,4,5], но прямой корреляции между содержанием тяжелых металлов в растениях и почве обычно не прослеживается [6].

Для оценки условий химического загрязнения в различных экосистемах с доминированием ореха грецкого и ореха черного в условиях степной зоны Северного Кавказа был проведен поэлементный анализ аккумуляции металлов в тех фракциях надземной фитомассы (листья, побеги, околоплодники, ядра), которые участвуют в опаде, а также в слое 0-20 см черноземов и каштановых почв под этими насаждениями. Образцы (массой 1 кг) со всех частей кроны модельных деревьев одинакового возраста отбирали в конце вегетации. Почвенные образцы в трёхкратной повторности отбирали в осенний период под пологом модельных деревьев из слоя 0-20 см.

Анализ содержания валовых форм тяжёлых металлов во всех почвенных и растительных образцах проводился на установке «Перкин-Эльмер» методом плазменной атомно-абсорбционной спектроскопии.

Полученные данные обрабатывали математико-статистическим методом [7] с получением уравнений регрессии и коэффициентов тесноты связей.

На основании математико-статистической обработки получены значения показателей тесноты связей между содержанием тяжелых металлов во взаимосвязанных системах: «листья–почва», «побеги–почва», «околоплодники–почва», «ядра–почва», «околоплодники–ядра» (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели тесноты связей содержания тяжелых металлов в почвах и фракциях фитомассы

Система	Металл							
	Cu	Ni	Co	Zn	Mn	Pb	Cd	Cr
«Лист-почва»	0,503	0,699	0,675	0,444	0,143	0,736	0,637	0,284
«Побег-почва»	0,568	0,799	0,165	0,347	0,059	0,380	0,067	0,459
«Околоплодник-почва»	0,366	0,314	0,264	0,573	0,06	0,105	0,184	0,227
«Ядро-почва»	0,502	He уст.	He уст.	He уст.	0,167	0,372	0,427	0,143
«Околоплодник-ядро»	0,489	0,110	0,778	0,07	0,204	0,385	0,503	0,298

Вещественные связи в первых четырех системах обеспечиваются ежегодным опадом листьев, ветвей и плодов (околоплодников и ядер) с попол-

нением (после перегнивания) тяжелых металлов в верхнем слое почвы. Связь «околоплодник–ядро» осуществляется благодаря биологическим процессам.

Из данных таблицы 1 следует, что показатели тесноты связей изменяются от 0,06 до 0,799. Уравнения были получены только для тесных связей [4]. Так для системы «лист-почва» уравнения связи имеют вид:

$$\text{Cu: } W_{\text{л}} = 4,55 + 0,16Sl \quad \text{при } r = 0,503 \pm 0,167; \quad (1)$$

$$\text{Ni: } W_{\text{л}} = 5,85 \cdot 1,01Sl \quad \text{при } r = 0,699 \pm 0,114; \quad (2)$$

$$\text{Zn: } W_{\text{л}} = 12,80 \cdot \ln Sl - 21,38 \quad \text{при } r = 0,444 \pm 0,180; \quad (3)$$

$$\text{Co: } W_{\text{л}} = 1/(0,32 - 0,007Sl) \quad \text{при } r = 0,675 \pm 0,122; \quad (4)$$

$$\text{Pb: } W_{\text{л}} = 0,33Sl - 2,21 \quad \text{при } r = 0,736 \pm 0,103; \quad (5)$$

$$\text{Cd: } W_{\text{л}} = 0,51 + 0,22 \cdot \ln Sl \quad \text{при } r = 0,637 \pm 0,133, \quad (6)$$

где  $Sl$  – содержание микроэлемента в слое почвы 0-20 см, мг/кг;

$W_{\text{л}}$  – содержание металла в листьях, мг/кг;

$r$  – коэффициент корреляции.

Анализ уравнений (1)-(6) показывает, что существуют прямые связи между содержанием валовых форм Cu, Ni, Zn, Co, Pb и Cd в поверхностном слое почвы и в листьях. По содержанию Mn и Cr тесных связей в системе «лист–почва» не обнаружено (коэффициенты тесноты связей изменяются от 0,142 до 0,284). Эти связи определяются общим воздушным поступлением техногенных поллютантов на поверхность листьев и почвы. Кроме этого связь поддерживается ежегодным опадом, большую часть которого составляют листья.

Данные наблюдений и графическая интерпритация соответствующих уравнений регрессии приведены на рисунках 1-6.

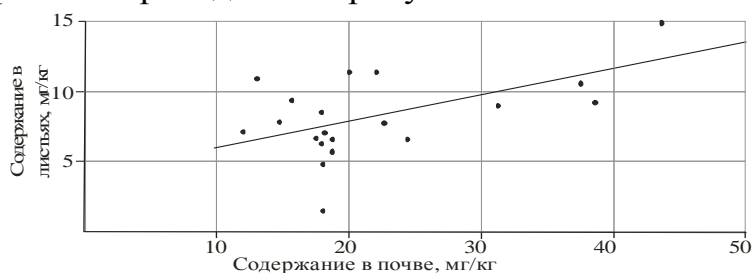


Рисунок 1 – Зависимость содержания валовых форм Cu в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

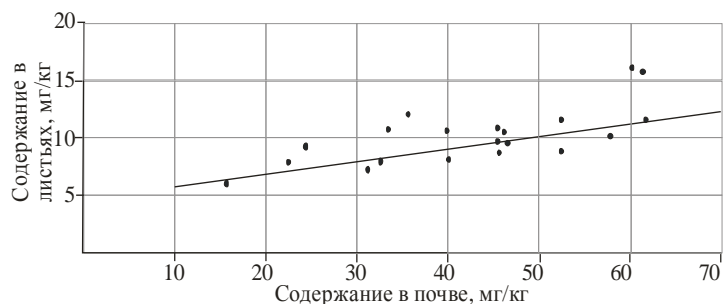


Рисунок 2 – Зависимость содержания валовых форм Ni в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

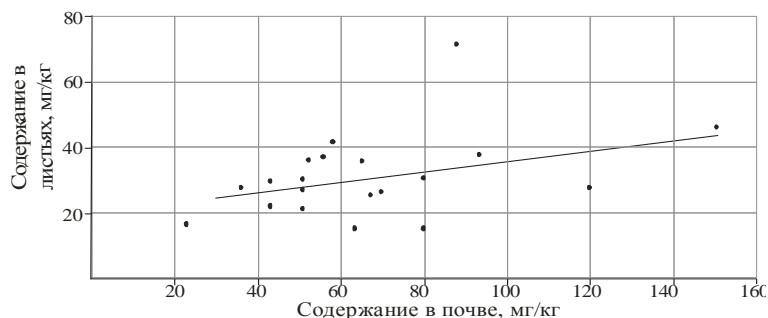


Рисунок 3 – Зависимость содержания валовых форм Zn в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

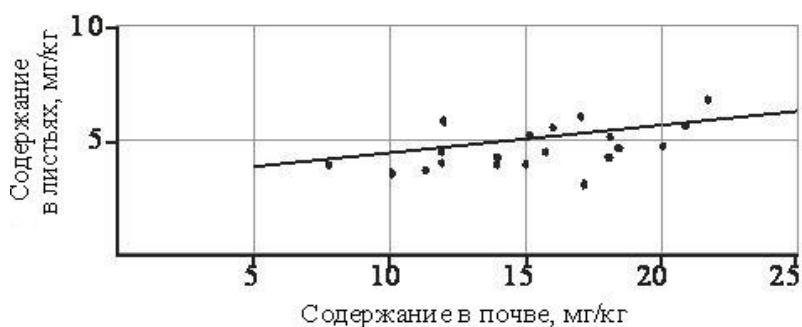


Рисунок 4 – Зависимость содержания валовых форм Co в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

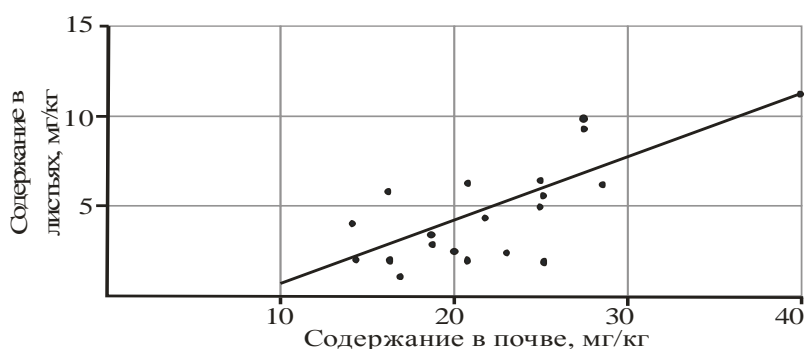


Рисунок 5 – Зависимость содержания валовых форм Pb в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

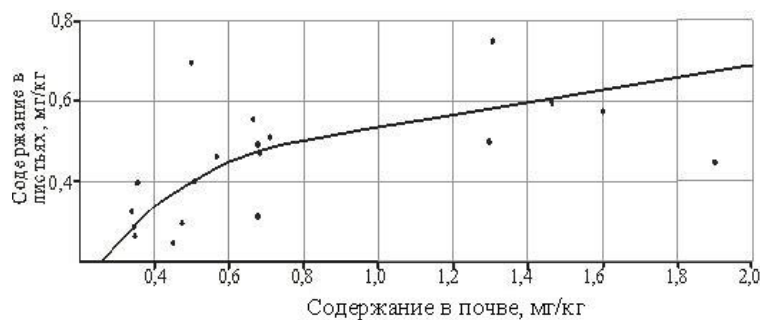


Рисунок 6 – Зависимость содержания валовых форм Cd в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

Из рисунка 1 видно, что по мере увеличения содержания Cu в почве возрастает содержание этого микроэлемента в листьях, т. е. листья орехов активно аккумулируют этот металл.

Аналогичная картина наблюдается и по аккумуляции в листьях Ni и Zn. Следует отметить, что Ni и Zn в листьях накапливаются менее интенсивно по сравнению с Cu (рисунки 2 и 3). Этого нельзя сказать о накоплении в листьях Co (рисунок 4) и Pb (рисунок 5). Эти металлы резко увеличивают свое содержание в листьях по мере их накопления в верхних слоях почвы.

Содержание Cd в листьях увеличивается до 0,57 мг/кг с возрастанием его содержания в почвах до 1 мг/кг. Увеличение содержания Cd в почве свыше 1 мг/кг сопровождается постепенным увеличением его содержания в листьях (рисунок 6).

В целом, содержание валовых форм металлов в листьях и почве, связаны между собой. Эти связи также определяются общим воздушным поступлением техногенных поллютантов на поверхность листьев и почвы. В составе атмосферных выпадений Mn и Cr принимают незначительное участие, поэтому связи содержания этих микроэлементов в листьях и почве не существенны.

Для системы «побег–почва», судя по коэффициентам корреляции, отмечена слабая связь в отношении металлов Co, Mn и Cd, умеренная – Pb и Cr и тесная – Cu и Ni.

В ежегодном опаде побеги занимают менее существенную часть по сравнению с листьями. Кроме этого листва большей частью прикрывает побеги от атмосферных выпадений, поэтому уравнения связи содержания валовых форм тяжелых металлов в побегах ( $W_{\Pi}$ , мг/кг сухого вещества) и почве ( $Sl$ , мг/кг) оказались достоверными только для Cu и Ni:

$$\text{Cu: } W_{\Pi} = 2,37 + 0,11Sl \quad \text{при } r = 0,568 \pm 0,152; \quad (7)$$

$$\text{Ni: } W_{\Pi} = 0,51 + 0,11Sl \quad \text{при } r = 0,799 \pm 0,080. \quad (8)$$

В уравнениях (7) и (8) теснота связей оказалась несущественной для Co ( $r = 0,165$ ), Zn ( $r = 0,347$ ), Mn ( $r = 0,059$ ), Pb ( $r = 0,380$ ), Cd ( $r = 0,067$ ) и Cr ( $r = 0,459$ ).

Графические решения уравнений (7) и (8) приведены на рисунках 7 и 8.

По данным рисунка 7 видно, что увеличение содержания Cu в почве с 10 до 40 мг/кг приводит к существенному возрастанию содержания этого элемента в побегах (с 3,5 до 6,8 мг/кг).

Увеличение содержания Ni в почве с 10 до 60 мг/кг вызывает возрастание его содержания в побегах с 1,6 до 7,5 мг/кг.

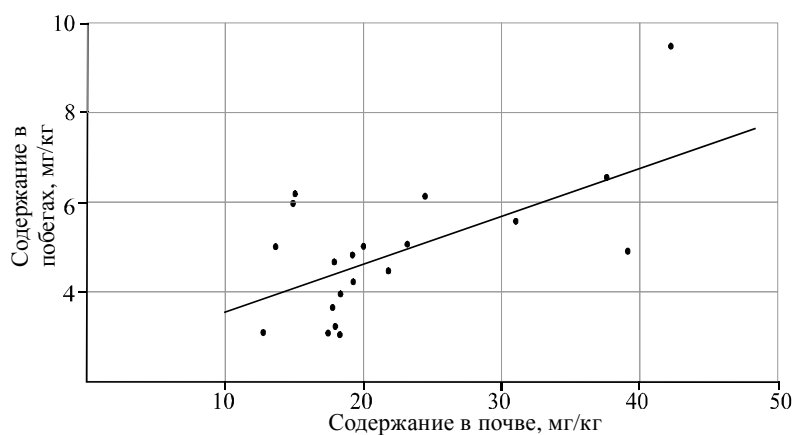


Рисунок 7 – Зависимость содержания валовых форм Cu в побегах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

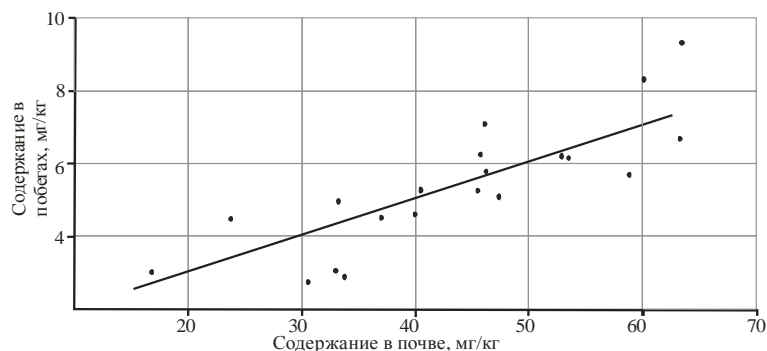


Рисунок 8 – Зависимость содержания валовых форм Ni в побегах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

Можно полагать, что Cu и Ni при импакции аэрозолей частично проникают в побеги, а в дальнейшем с опадом и перегниванием подстилки – в почву соответствующего местообитания. В формировании подстилки околоплодники и ядра участвуют незначительно, поэтому существенная связь в системе «околоплодник–почва» получена только для Zn:

$$W_o = 6,51 \cdot \ln Sl - 16,24 \quad \text{при } r = 0,573 \pm 0,150, \quad (9)$$

где  $W_o$  – содержание металлов в околоплодниках, мг/кг.

В системе «ядро–почва» существенная связь получена только для Cu:

$$W_y = 4,07 + 0,60Sl \quad \text{при } r = 0,502 \pm 0,163, \quad (10)$$

где  $W_y$  – содержание металлов в ядрах, мг/кг.

Графические решения уравнений (9), (10) показаны на рисунках 9, 10.

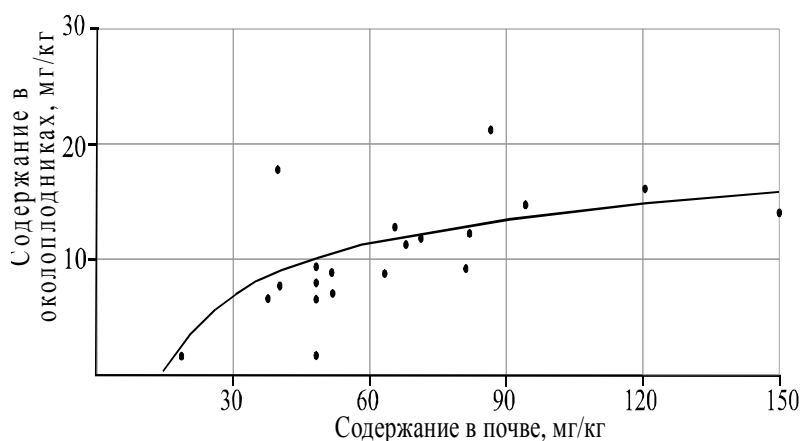


Рисунок 9 – Зависимость содержания валовых форм Zn в околоплодниках ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

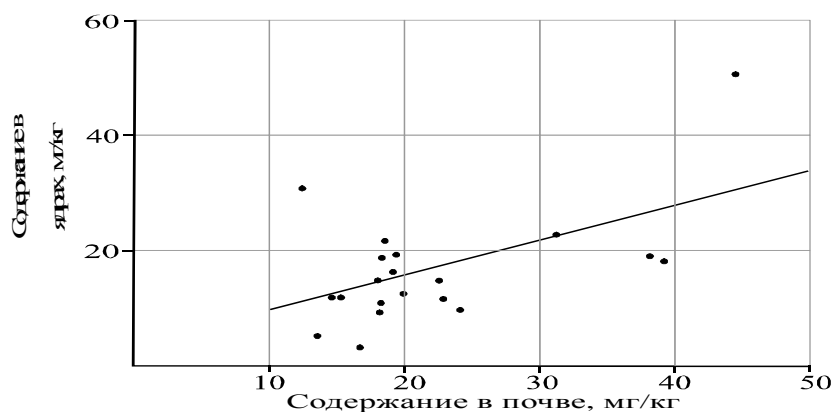


Рисунок 10 – Зависимость содержания валовых форм Cu в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

Из рисунка 9 видно, что с увеличением содержания в почве Zn до 60 мг/кг происходит значительное увеличение содержания этого химического элемента в околоплоднике. Превышение содержания Zn свыше 70 мг/кг в почве уже не оказывает существенного влияния на содержание этого элемента в околоплодниках. Можно полагать, что накопление Zn до 15 мг/кг в перикарпе является предельным.

Из рисунка 10 видно, что при увеличении содержания Cu в почве с 10 до 40 мг/кг происходит резкое возрастание содержания его в ядрах, что указывает на опасную способность значительного накопления этого элемента.

Связи содержания других техногенных металлов в околоплодниках и почвах являются слабыми, а в ядрах они отсутствуют. Из околоплодников тяжелые металлы попадают, главным образом, не в почву (с опадом), а в ядра, что подтверждается уравнениями связи содержания их валовых форм в околоплодниках ( $W_o$ , мг/кг) и ядрах ( $W_я$ , мг/кг):

$$\text{Co: } W_я = 4,37 \ln W_o - 2,38 \quad \text{при } r = 0,778 \pm 0,090; \quad (11)$$

$$\text{Cd: } W_я = 0,05 - 0,00010 / W_o^2 \quad \text{при } r = 0,503 \pm 0,167; \quad (12)$$

$$\text{Cu: } W_я = 11,41 \ln W_o - 3,11 \quad \text{при } r = 0,489 \pm 0,170. \quad (13)$$

Кроме этого относительно тесные связи получены для Pb ( $r = 0,385$ ), указывающие на тенденцию проникновения металлов из перикарпа в ядра через эндокарп. Графические решения уравнений (11)-(13) приведены на



рисунках 11-13.

Представленная на рисунке 11 зависимость характеризует постепенное проникновение валовых форм  $\text{Co}$  через эндокарп и вызывает резкое возрастание этого металла в ядрах, что указывает на опасность его накопления.

Накопление  $\text{Cd}$  в ядрах (рисунок 12) происходит следующим образом: при увеличении его содержания в околоплодниках до 0,2 мг/кг происходит основная аккумуляция этого элемента в ядрах. Дальнейшее количественное увеличение металла в околоплодниках не приводит к накоплению  $\text{Cd}$  в плодах (ядрах).

Из рисунка 13 видно, что накопление  $\text{Cu}$  в околоплодниках до 6 мг/кг приводит к резкому возрастанию этого элемента в ядрах. При превышении данного порога в околоплодниках содержание  $\text{Cu}$  в ядрах достигает 20 мг/кг и в дальнейшем изменяется незначительно.

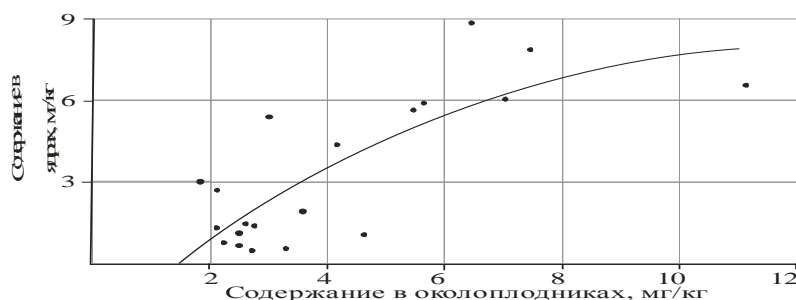


Рисунок 11 – Зависимость содержания валовых форм  $\text{Co}$  в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в околоплодниках

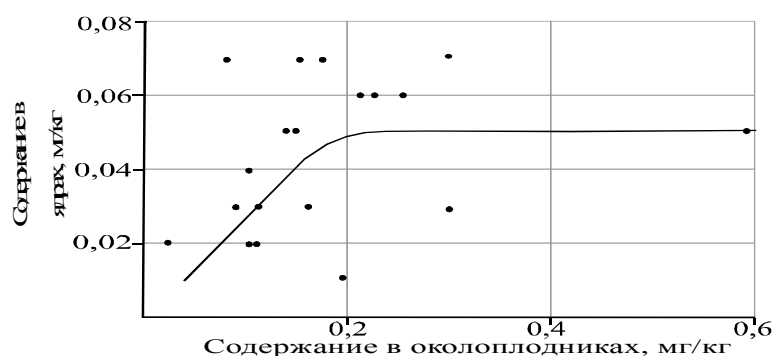


Рисунок 12 – Зависимость содержания валовых форм  $\text{Cd}$  в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в околоплодниках

Зависимости, отображенные на рисунках 12, 13, характеризуют

проникновение валовых форм тяжелых металлов в ядра на ранних стадиях развития плодов, когда эндокарп не является препятствием на путях миграции. На последующих стадиях (кривая после точки перегиба) эндокарп увеличивает свою толщину и прочность и перекрывает миграцию. Поэтому являются необходимыми исследования толщин и прочности эндокарпа для орехов грецкого и черного.

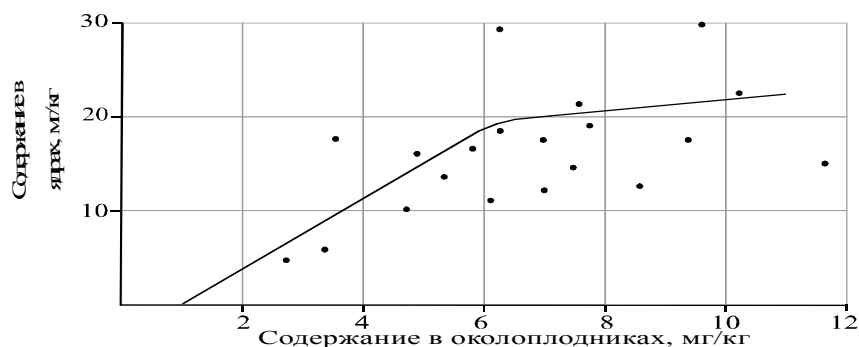


Рисунок 13 – Зависимость содержания валовых форм Cu в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в околоплодниках

В целом, тяжелые металлы (Cu, Ni, Zn, Co, Pb, Cd), накапливаются в листьях, побегах и околоплодниках. В дальнейшем валовые формы этих металлов с ежегодным опадом поступают в подстилку, а затем – в почву.

## Литература

1. Виноградов, А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой / А. П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Наука, 1985. – С. 7-20.
2. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Ивонин, В.М. Приоритетные функции орехоплодных насаждений в степной зоне Северного Кавказа / В.М. Ивонин, З.Г. Малышева // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. - №3. – С. 52-55.
4. Ивонин, В.М. Орехоплодные при биопродуктивных мелиорациях ландшафтов / В.М. Ивонин, З.Г. Малышева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. - № 6. – С. 34-36.
5. Малышева, З.Г. Мелиорация урбанизированной среды с помощью зелёных насаждений / З.Г. Малышева, Е.Г. Павлова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012. - № 2. –С. 27-29.
6. Малышева, З. Г. Содержание тяжелых металлов в почве и биомассе ореха черного на территории Краснодарского края / З. Г. Малышева // Брянщина – Родина отечественного и мирового высшего лесного образования: мат. междунар. науч.-практ. конф. – Брянск: БГИТА, 2005. – С. 85-87.

7. Ивонин, В. М. Лесомелиорация ландшафтов / В. М. Ивонин, Н. Д. Пеньковский. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2003. – 151 с.

### References

1. Vinogradov, A. P. Osnovnye zakonomernosti v raspredelenii mikrojelementov mezhdru rastenijami i sredoj / A. P. Vinogradov // Mikrojelementy v zhizni rastenij i zivotnyh. – M.: Nauka, 1985. – S. 7-20.

2. Kabata-Pendias, A. Mikrojelementy v pochvah i rastenijah / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. – M.: Mir, 1989. – 439 s.

3. Ivonin, V.M. Prioritetnye funkcii orehoplodnyh nasazhdenij v stepnoj zone Severnogo Kavkaza / V.M. Ivonin, Z.G. Malysheva // Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk. – 2006. - №3. – S. 52-55.

4. Ivonin, V.M. Orehoplodnye pri bioproduktivnyh melioracijah landshaftov / V.M. Ivonin, Z.G. Malysheva // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. – 2006. - № 6. – S. 34-36.

5. Malysheva, Z.G. Melioracija urbanizirovannoj sredy s pomoshh'ju zeljonyh nasazhdenij / Z.G. Malysheva, E.G. Pavlova // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. – 2012. - № 2. –S. 27-29.

6. Malysheva, Z. G. Soderzhanie tjazhelyh metallov v pochve i biomasse oreha chernogo na territorii Krasnodarskogo kraja / Z. G. Malysheva // Brjanshhina – Rodina otechestvennogo i mirovogo vysshego lesnogo obrazovanija: mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Brjansk: BGITA, 2005. – S. 85-87.

7. Ivonin, V. M. Lesomelioracija landshaftov / V. M. Ivonin, N. D. Pen'kovskij. – Rostov n/D.: SKNC VSh, 2003. – 151 s.