

УДК 634.5: 630.181.7: 546.3

UDC 634.5: 630.181.7: 546.3

**МЕЛИОРАТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ НАСАЖДЕНИЙ ОРЕХА ГРЕЦКОГО И ОРЕХА ЧЕРНОГО АККУМУЛИРОВАТЬ ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ**

**LAND RECLAMATION ABILITY OF WALNUT AND BLACK NUT PLANTATIONS TO ACCUMULATE HEAVY METALS IN ABOVEGROUND PHYTOMASS**

Малышева Зинаида Георгиевна  
д-р с.-х. наук, доцент  
*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО  
Донской государственной аграрный университет,  
Новочеркасск, Россия*

Malysheva Zinaida Georgievna  
Dr.Sci.Agr., associate professor  
*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 – насаждений ореха грецкого и ореха черного. Исследования проводились в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях

The purpose of this research is to assess the ability of reclamation plantations of walnut and black nut to accumulate heavy metals in phytomass – leaves, shoots, fruits. The studies were conducted in the Rostov region, as well as in the Krasnodar and the Stavropol regions

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 фолиарное [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-Эль-мер» методом плазменной атомно-абсорбционной спектрометрии.

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).

Вещественные связи в первых четырех системах обеспечиваются ежегодным опадом листьев, ветвей и плодов (околоплодников и ядер) с пополнением (после перегнивания) тяжелых металлов в верхнем слое почвы. Связь «околоплодник–ядро» осуществляется благодаря биологическим процессам.

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

Из данных таблицы 1 следует, что показатели тесноты связей изме-

няются 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 интерпретация соответствующих уравнений регрессии приведены на рисунках 1-6.

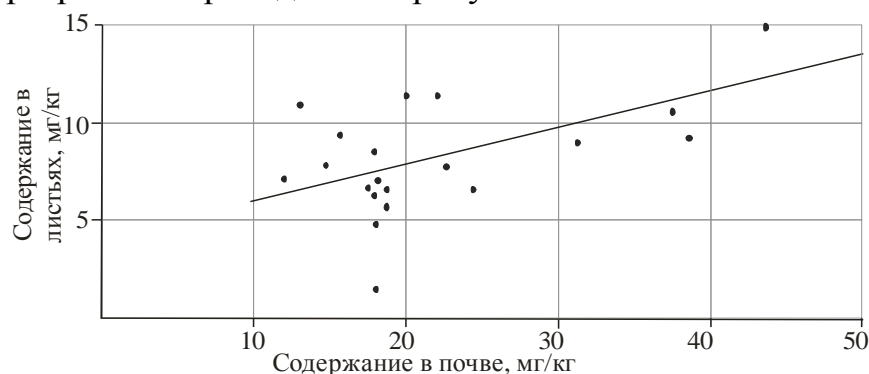


Рисунок 1 – Зависимость содержания валовых форм Cu в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

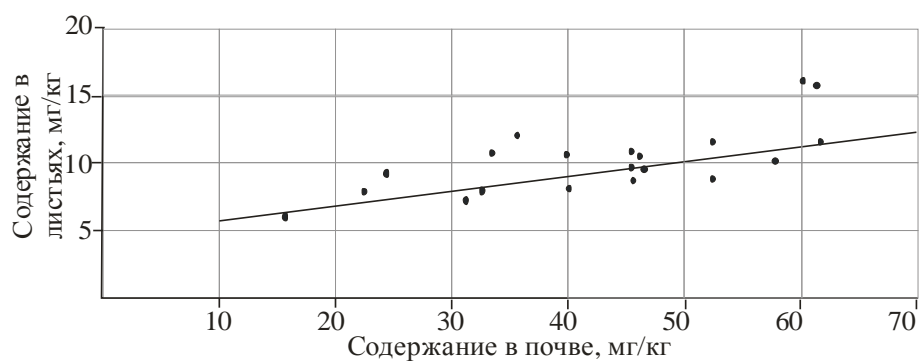


Рисунок 2 – Зависимость содержания валовых форм Ni в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

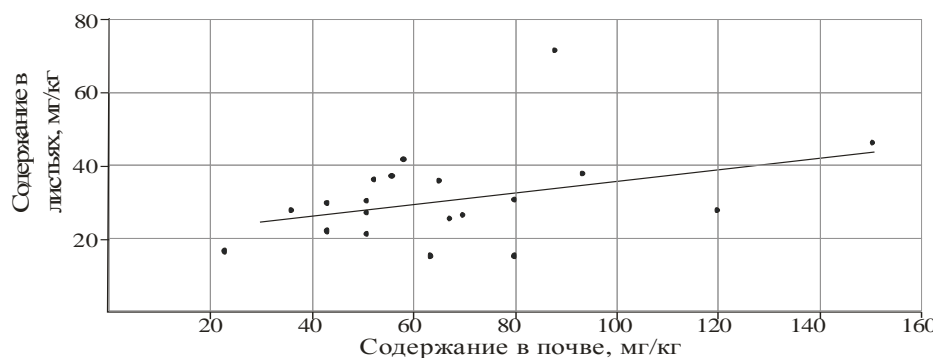


Рисунок 3 – Зависимость содержания валовых форм Zn в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

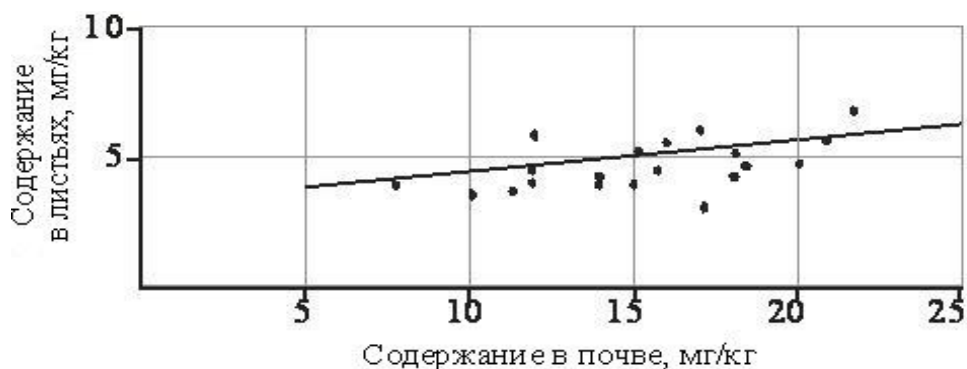


Рисунок 4 – Зависимость содержания валовых форм Co в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

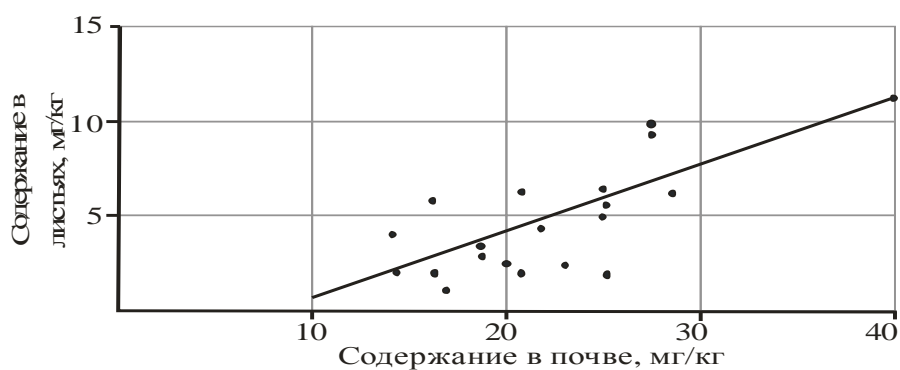


Рисунок 5 – Зависимость содержания валовых форм Pb в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

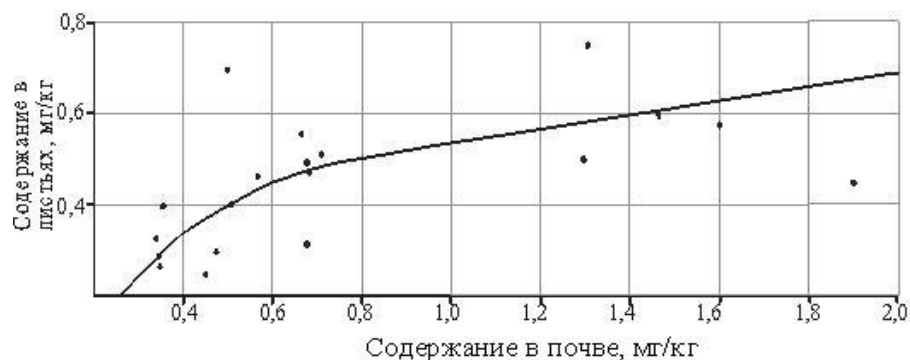


Рисунок 6 – Зависимость содержания валовых форм Cd в листьях ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

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 связано 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.

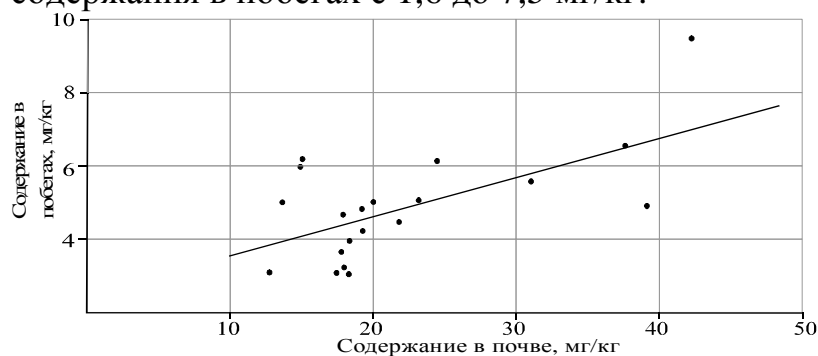


Рисунок 7 – Зависимость содержания валовых форм Cu в побегах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

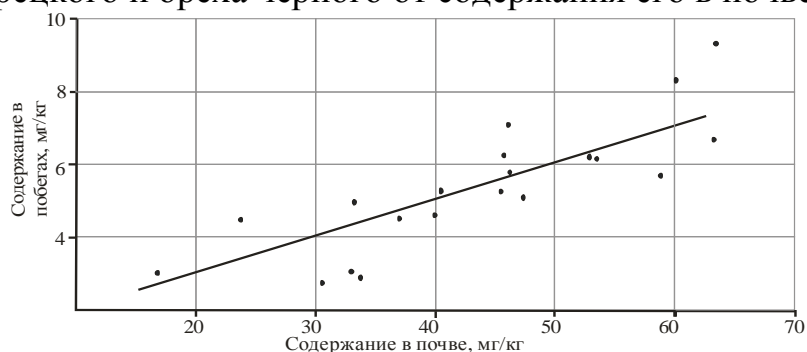


Рисунок 8 – Зависимость содержания валовых форм Ni в побегах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

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.

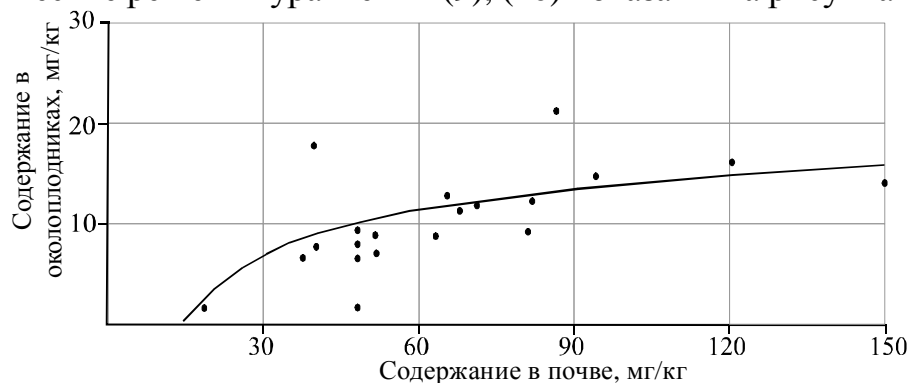


Рисунок 9 – Зависимость содержания валовых форм Zn в околоплодниках ореха грецкого и ореха черного от содержания его в почве

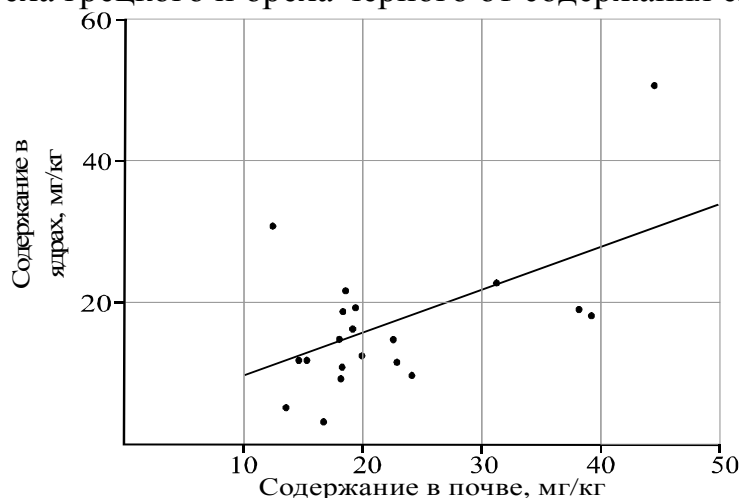


Рисунок 10 – Зависимость содержания валовых форм Cu в ядрах ореха

## 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 это-го 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 Co через эндокарп и вызывает резкое возрастание этого металла в ядрах, что указывает на опасность его накопления.

Накопление 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 Cd в плодах (ядрах).

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

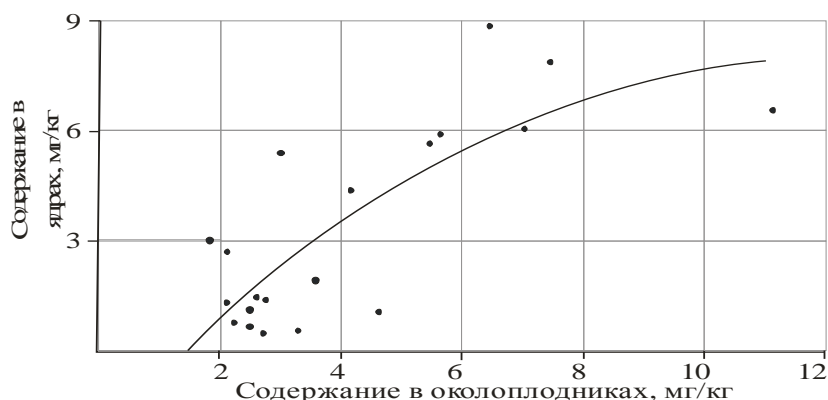


Рисунок 11 – Зависимость содержания валовых форм Pb в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в околоплодниках

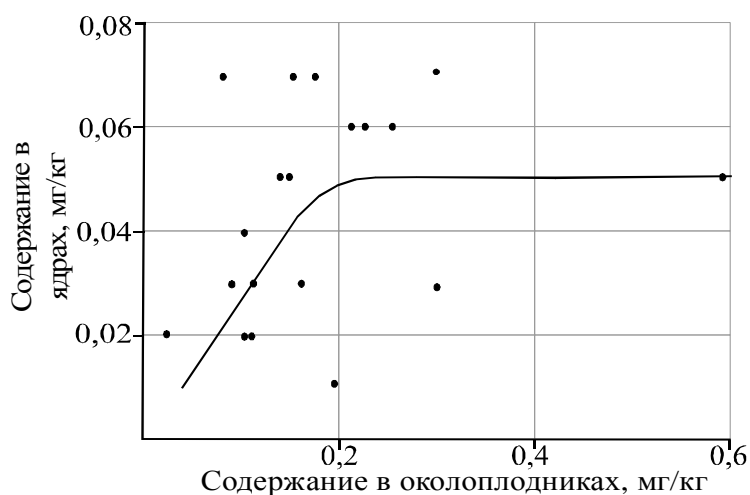


Рисунок 12 – Зависимость содержания валовых форм Cd в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в околоплодниках

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) эндодерма увеличивает свою толщину и прочность и перекрывает миграцию. Поэтому являются необходимыми исследования толщины и прочности эндодермы для орехов грецкого и черного.

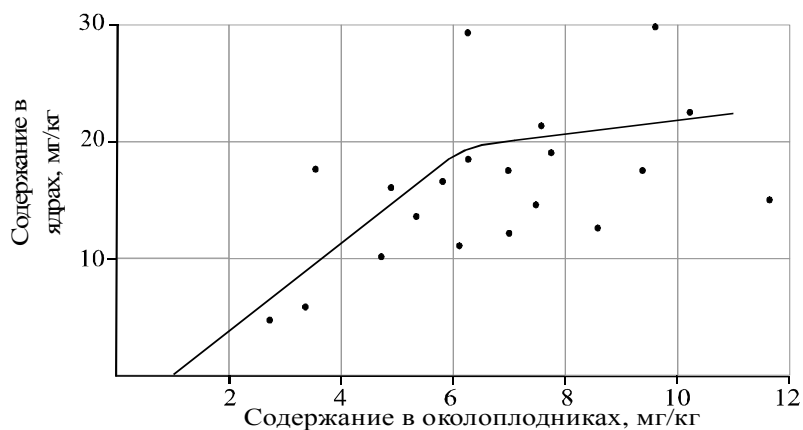


Рисунок 13 – Зависимость содержания валовых форм Cu в ядрах ореха грецкого и ореха черного от содержания его в околоплодниках

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 mezhdurastenijami i sredoj / A. P. Vinogradov // Mikrojelementy v zhizni rastenij i zhivotnyh. – 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.