

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Pb, Cu) В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ ДЕТОКСИКАНТОВ**

*В статье представлены результаты вегетационно-полевого эксперимента по оценке влияния уровня загрязнения чернозема Pb, Cu на накопление их в системе почва-растение.*

*Установлено, что концентрация подвижной формы металлов в почвах зависит от дозы их внесения и достоверно снижается при применении исследуемых детоксикантов. Наиболее эффективный детоксикант – гумат натрия в дозе 0,3 г/кг почвы.*

**Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, свинец, медь, детоксиканты, катионит, суперфосфат, гумат натрия, птичий помет, аккумуляция, коэффициент поглощения подвижной формы тяжелого металла.

I.S. Korotchenko, E.N. Eskova

**HEAVY METAL (Pb, Cu) ACCUMULATION IN THE SOIL-PLANT SYSTEM WHEN USING VARIOUS DETOXICANTS**

*The vegetative-field experiment results on influence estimation of chernozem pollution level by Pb, Cu on accumulation of them in the soil-plant system are given in the article. It is determined that concentration of the metal mobile fractions in soils depends on the dose of their application and authentically decreases when using the re-searched detoxicants. The most efficient detoxicant is sodium humate in the dose of 0,3 g/kg of soil.*

**Key words:** leached chernozem, lead, copper, detoxicants, cationite, superphosphate, sodium humate, bird dung, cumulation, heavy metal mobile fraction absorption factor.

**Введение.** Красноярск – крупный индустриальный центр Сибири с высокоразвитой металлургической, химической, топливно-энергетической промышленностью и автотранспортом, в атмосферу которого выбрасываются значительные количества загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов. Поступая в атмосферу, они постепенно оседают на поверхности земли и депонируются в основном в верхней части почвенного покрова.

При попадании тяжелых металлов в почву происходит трансформация их первичных форм, вертикальное и горизонтальное перераспределение. Способность металлов к миграции приводит к более быстрому поступлению к корневищам растений, попадая тем самым в пищевую цепочку почва – растение – животное – человек.

Токсичное действие тяжелых металлов проявляется, как правило, при высоком уровне техногенного загрязнения почв и во многом зависит от свойств и особенностей поведения конкретного металла. Поступление тяжелых металлов в растения через корневую систему зависит прежде всего от количества этих металлов в почве [1, 5, 6].

Все вышесказанное свидетельствует о том, что большая степень загрязнения тяжелыми металлами касается почвы как основной среды, депонирующей тяжелые металлы. Продукция растениеводства, выращенная даже на слабозагрязненных почвах, способна вызвать кумулятивный эффект, что приобретает особую важность, поскольку в основном с растительной пищей тяжелые металлы поступают в организм человека и травоядных животных.

В связи с необходимостью разработки подходов к решению непростой задачи охраны почвенных ресурсов от загрязнения тяжелыми металлами активизировались исследования по изучению природоохранного значения детоксикантов, поиску путей предотвращения и снижения степени негативного влияния загрязнителей на систему почва – растение. Актуализация изучения экологического значения применения мелиорантов связана со способностью мелиорантов выполнять функцию восстановления естественного состояния почвенной системы, влияя на реакцию почвы, весь комплекс физико-химических свойств почв, на дозирование поступления химических элементов в почвенный раствор, миграционные процессы в системе почва – растение. Мелиоранты следует рассматривать как антидоты в системе почва – растение, применение которых способствует предотвращению, снижению или ликвидации токсических процессов, вызванных загрязнением [4, 7, 8].

**Цель исследований** заключалась в оценке накопления тяжелых металлов (Pb, Cu) в системе почва–растение при использовании разных детоксикантов.

**Объекты и методы исследований.** Поведение свинца и меди в системе почва – растение изучали в вегетационно-полевом эксперименте. Свинец и медь вносились в 0–20 слой почвы в виде  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , в концентрациях 1–5 ПДК по фону  $\text{N}_{40}\text{P}_{50}\text{K}_{50}$ . Расчет концентрации проводили согласно данным ПДК [2]. Одновременно, согласно схеме опыта, вносились детоксиканты: гумат натрия в количестве 0,15, 0,3; суперфосфат – 3,75, 7,5; катионит – 1,5, 3; птичий помет – 15, 30 г/кг. Почва на опытном участке имеет следующую характеристику: гумус – 7,7%,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 7,5, гидролитическая кислотность – 6,3 мг-экв/100 г почвы, сумма обменных оснований – 42 мг-экв/100 г, подвижный фосфор – 300 мг/кг, обменный калий – 150 мг/кг, ЕКО – 57,6 мг-экв/100 г почвы. Полевые эксперименты проведены в 2011 году на опытном поле в с. Зыково (Березовский район Красноярского края). Содержание тяжелых металлов в образцах почвы и растениях определялся атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре (ААС) «Спектр-5». Анализ проводился в соответствии с ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов». Извлечение подвижной формы тяжелых металлов из почвы проведено ацетатно-аммонийным буферным раствором с  $\text{pH}$  4,8 по методу Крупского-Александровой [3]. Коэффициент перехода подвижных форм тяжелых металлов из почвы в растения рассчитан по формуле  $\text{КП} = \text{I}/\text{N}$ , где I – содержание элемента в золе растений, мг/кг; N – содержание подвижной формы тяжелого металла в почве, мг/кг. Статистическая обработка эмпирического материала осуществлялась с помощью методов дисперсионного и регрессионного анализов на персональном компьютере с использованием пакета прикладных статистических программ «Snedecor».

**Результаты исследований и их обсуждение.** Особенно важным является определение содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве как более доступных для растений, так и наиболее опасных. Содержание подвижного свинца варьировало от 3,06 (контроль) до 46,20 мг/кг (табл. 1). Для меди содержание подвижных форм изменялось от 1,80 до 29,95 мг/кг (табл. 2). Внесение Pb и Cu в чернозем выщелоченный в дозах 1–5 ПДК приводило к резкому повышению содержанию их подвижных форм.

В результате исследований наблюдается обратная зависимость между уровнем концентрации подвижной формы свинца в почве и дозами детоксикантов. Установлено, что происходит достоверное ( $P \leq 0,01$ ) снижение до предельно-допустимого уровня концентрации свинца в почве при использовании гумата натрия в дозе 0,3 г/кг, птичьего помета – 30 г/кг – при внесении до 3 ПДК свинца включительно (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание подвижных форм свинца в почве при использовании детоксикантов, после уборки урожая, мг/кг**

| Детоксикант      | Доза внесения детоксиканта, г/кг почвы | Доза внесения в почву Pb |       |       |        |        |
|------------------|--|--------------------------|-------|-------|--------|--------|
|                  |  | 1 ПДК                    | 2 ПДК | 3 ПДК | 4 ПДК  | 5 ПДК  |
| Без детоксиканта | –                                      | 3,06                     | 4,67* | 9,31* | 19,23* | 46,20* |
| Гумат натрия     | 0,15                                   | 2,08*                    | 4,41* | 7,12* | 16,84* | 41,60* |
|                  | 0,3                                    | 1,26*                    | 2,96  | 5,21* | 12,79* | 27,15* |
| Суперфосфат      | 3,75                                   | 2,31*                    | 4,44* | 8,17* | 17,74* | 44,05* |
|                  | 7,5                                    | 2,02*                    | 3,14* | 5,38* | 13,38* | 30,05* |
| Катионит         | 1,5                                    | 2,39*                    | 4,05* | 7,31* | 17,04* | 34,45* |
|                  | 3,0                                    | 1,33*                    | 2,78* | 4,82* | 11,86* | 28,65* |
| Птичий помет     | 15                                     | 2,38*                    | 4,08* | 7,18* | 17,47* | 43,20* |
|                  | 30                                     | 1,28*                    | 2,78* | 5,41* | 10,68* | 30,05* |
| ПДК**            |  | 6                        |       |       |        |        |

\* Значения, достоверно отличающиеся от контроля (Фон+1ПДК Pb) при  $P \leq 0,01$ .

\*\* Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве, 2006.

Выявлено, что происходит достоверное ( $P \leq 0,01$ ) снижение до предельно-допустимого уровня концентрации меди в почве при использовании гумата натрия в дозе 0,3 г/кг, птичьего помета – 30 г/кг – при внесении до 3–4 ПДК меди (табл. 2).

Содержания подвижных форм меди в почве при использовании детоксикантов после уборки урожая, мг/кг

| Детоксикант      | Дозы внесения детоксиканта, г/кг почвы | Доза внесения в почву Cu |       |       |        |        |
|------------------|--|--------------------------|-------|-------|--------|--------|
|                  |  | 1 ПДК                    | 2 ПДК | 3 ПДК | 4 ПДК  | 5 ПДК  |
| Без детоксиканта | –                                      | 1,80                     | 2,70* | 5,20* | 11,90* | 29,95* |
| Гумат натрия     | 0,15                                   | 1,00*                    | 2,20* | 3,00* | 7,95*  | 19,50* |
|                  | 0,3                                    | 0,40*                    | 1,25* | 2,00* | 2,85*  | 9,10*  |
| Суперфосфат      | 3,75                                   | 1,40*                    | 2,35* | 2,95* | 8,20*  | 21,05* |
|                  | 7,5                                    | 0,75*                    | 1,75  | 2,35* | 3,35*  | 9,35*  |
| Катионит         | 1,5                                    | 0,85*                    | 2,00* | 2,85* | 7,00*  | 18,75* |
|                  | 3,0                                    | 0,45*                    | 1,15* | 2,00* | 2,75*  | 7,70*  |
| Птичий помет     | 15                                     | 1,60*                    | 1,75  | 2,65* | 9,60*  | 17,95* |
|                  | 30                                     | 0,60*                    | 1,05* | 1,85  | 3,25*  | 8,20*  |
| ПДК**            |  | 3                        |       |       |        |        |

\* Значения, достоверно отличающиеся от контроля (Фон+1ПДК Cu) при  $P \leq 0,01$ .

\*\* Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве, 2006.

При увеличении содержания свинца в почве происходит и некоторое повышение его концентраций в корнеплодах растений моркови. Так, поступление свинца в морковь возрастало линейно, пропорционально концентрациям подвижных форм элемента ( $r=0,82...0,90$ ,  $P \leq 0,01$ ), достигнув максимума при самом высоком уровне загрязнения. В корнеплодах моркови наиболее высокое его количество (0,70 мг/кг) установлено при содержании подвижного свинца 46,20 мг/кг в почве (рис. 1).

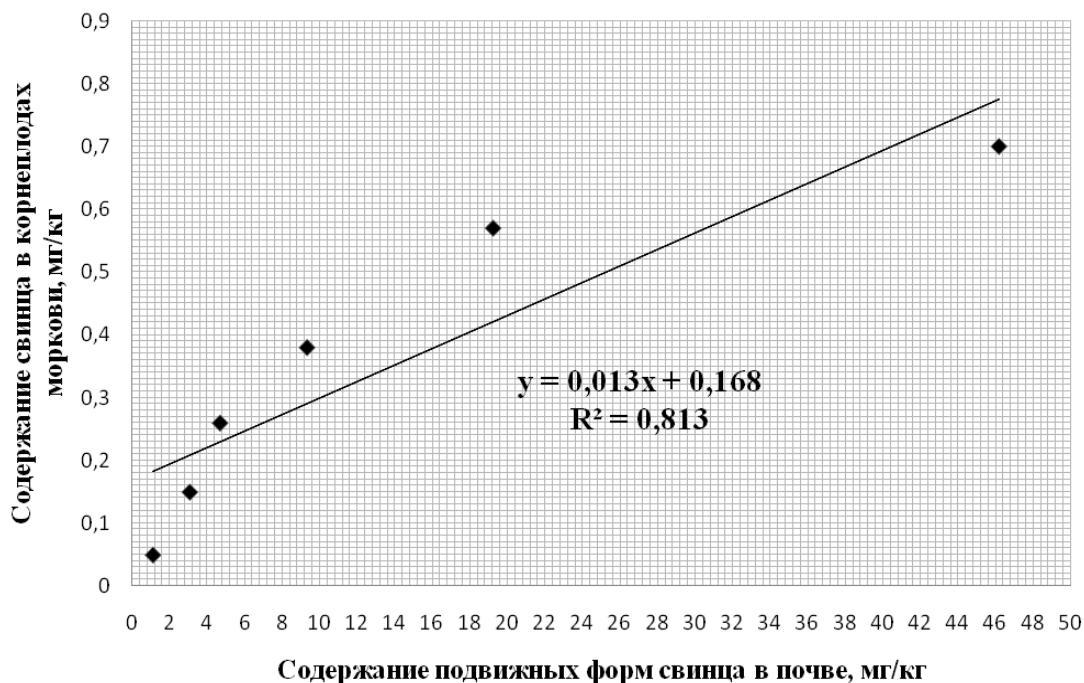


Рис. 1. Зависимость содержания свинца в корнеплодах моркови от его концентрации в почве

При увеличении содержания меди в почве происходит повышение ее концентраций в корнеплодах растений моркови. Поступление меди в морковь возрастало линейно, пропорционально концентрациям подвижных форм элемента ( $r=0,86...0,93$ ,  $P \leq 0,01$ ), достигнув максимума при самом высоком уровне загрязнения. Наиболее высокое ее количество (9,45 мг/кг) в корнеплодах моркови установлено при содержании подвижной меди 29,95 мг/кг в почве (рис. 2).

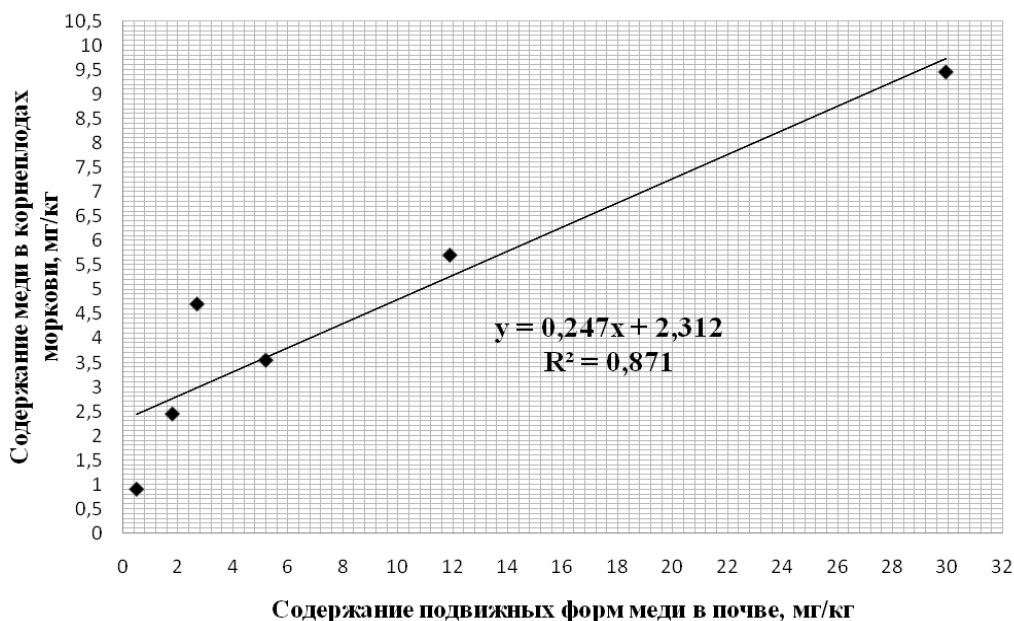


Рис. 2. Зависимость содержания меди в корнеплодах моркови от ее концентрации в почве

Одной из характеристик, отражающей уровень потребления тяжелых металлов культурами, является коэффициент поглощения подвижных форм тяжелых металлов. На фоновом образце коэффициент поглощения подвижной формы свинца составляет 0,022 с повышением уровня загрязнения значение коэффициента увеличивается по сравнению с вариантом внесения свинца в дозе 1 ПДК (табл. 3).

Детоксиканты способствовали снижению коэффициента поглощения подвижной формы свинца. Под влиянием гумата натрия в дозе 0,3 г/кг разница с фоном отсутствовала до 3 ПДК свинца. Суперфосфат позволил эффективно снизить данный показатель при загрязнении почвы свинцом до 2 ПДК.

Таблица 3

**Влияние свинца и детоксикантов на коэффициент перехода его подвижных форм из почвы в растения**

| Детоксикант      | Дозавнесения детоксиканта, г/кг почвы | Доза внесения в почву Pb |       |       |       |       |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                  |                                       | 1 ПДК                    | 2 ПДК | 3 ПДК | 4 ПДК | 5 ПДК |
| Гумат натрия     | 0,15                                  | 0,026                    | 0,035 | 0,057 | 0,112 | 0,155 |
|                  | 0,3                                   | 0,021                    | 0,022 | 0,022 | 0,083 | 0,092 |
| Суперфосфат      | 3,75                                  | 0,034                    | 0,047 | 0,068 | 0,137 | 0,161 |
|                  | 7,5                                   | 0,021                    | 0,023 | 0,032 | 0,113 | 0,143 |
| Катионит         | 1,5                                   | 0,028                    | 0,041 | 0,061 | 0,132 | 0,157 |
|                  | 3,0                                   | 0,022                    | 0,022 | 0,027 | 0,098 | 0,126 |
| Птичий помет     | 15                                    | 0,031                    | 0,042 | 0,064 | 0,126 | 0,153 |
|                  | 30                                    | 0,022                    | 0,023 | 0,028 | 0,096 | 0,124 |
| Без детоксиканта |                                       | 0,051                    | 0,082 | 0,113 | 0,154 | 0,183 |
| Фон              |                                       | 0,022                    |       |       |       |       |

Коэффициент поглощения подвижной формы меди на фоновом образце составляет 0,448 с повышением дозы внесения в почву меди значение коэффициента увеличивается (табл. 4).

Также детоксиканты способствовали снижению коэффициента поглощения подвижной формы меди. Под влиянием гумата натрия в дозе 0,3 г/кг разница с фоном отсутствовала до 4 ПДК меди. Суперфосфат позволил эффективно снизить данный показатель при загрязнении почвы медью до 3 ПДК.

**Влияние меди и детоксикантов на коэффициент перехода ее подвижных форм из почвы в растения**

| Детоксикант      | Доза внесения детоксиканта, г/кг почвы | Доза внесения в почву Cu |       |       |       |       |
|------------------|--|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                  |  | 1 ПДК                    | 2 ПДК | 3 ПДК | 4 ПДК | 5 ПДК |
| Гумат натрия     | 0,15                                   | 0,445                    | 0,441 | 0,475 | 0,512 | 0,534 |
|                  | 0,3                                    | 0,431                    | 0,438 | 0,442 | 0,447 | 0,517 |
| Суперфосфат      | 3,75                                   | 0,443                    | 0,452 | 0,483 | 0,532 | 0,553 |
|                  | 7,5                                    | 0,437                    | 0,443 | 0,445 | 0,517 | 0,534 |
| Катионит         | 1,5                                    | 0,441                    | 0,448 | 0,481 | 0,518 | 0,542 |
|                  | 3,0                                    | 0,434                    | 0,437 | 0,446 | 0,448 | 0,523 |
| Птичий помет     | 15                                     | 0,437                    | 0,445 | 0,477 | 0,515 | 0,538 |
|                  | 30                                     | 0,432                    | 0,437 | 0,443 | 0,447 | 0,521 |
| Без детоксиканта |  | 0,463                    | 0,482 | 0,512 | 0,543 | 0,576 |
| Фон              |  | 0,448                    |       |       |       |       |

### Выводы

1. Полученные результаты показали, что внесение свинца и меди (1–5 ПДК) в почву приводило к резкому повышению ( $P \leq 0,01$ ) содержания в ней подвижных форм этих элементов, а также происходило увеличение ( $P \leq 0,01$ ) их содержания в корнеплодах моркови.

2. Выявлено, что наиболее эффективный детоксикант – гумат натрия в дозе 0,3 г/кг почвы, позволивший снизить содержание подвижных форм свинца и меди в почве и получить корнеплоды моркови, отвечающие гигиеническим требованиям при уровне загрязнения почвы свинцом, равном 3–4 ПДК.

Таким образом, в наших экспериментах установлено, что концентрация подвижной формы металлов в почвах зависит от дозы их внесения и достоверно снижается при применении исследуемых детоксикантов. Наблюдается обратная зависимость между уровнем концентрации подвижной формы тяжелых металлов в почвах и дозами детоксикантов. Совместное внесение свинца и меди с детоксикантами способствовало их большему связыванию почвенно-поглощающим комплексом. Предположительно снижение концентрации свинца и меди в почве и растениях обусловлено связыванием их гуминовыми кислотами, отрицательными ионами, входящими в состав катионита, а также в образовании сложных фосфоросодержащих органоминеральных соединений с ионами свинца и меди, в том числе комплексной природы, которые могут выпадать в осадок.

### Литература

1. Гасанов С.Г. Содержание ртути и свинца в почвах и растениях в Лачинском районе Азербайджанской ССР // Тез. докл. 8-го Всесоюз. съезда почвоведов. – М., 1989. – Кн.2. – С. 166–167
2. Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – Введ. 2006–01–04. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 11с.
3. Ермохин А.И. Руководство по оценке загрязнения объектов окружающей природной среды химическими веществами и методами их контроля. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 96с.
4. Самохвалова В.Л. Применение антидотов при загрязнении системы почва – растение тяжелыми металлами. Сообщение 2. Зарубежный опыт детоксикации тяжелых металлов. Обзор результатов исследований за период 1995–2000 гг. // Грунтознавство. – 2006. – Т.7, № 3. – С.450–466.
5. Федоров А.С., Потапова Н.Е. Влияние техногенных факторов на содержание тяжелых металлов в гумусовом горизонте почв и растениях // Почвоведение. – 1988. – №3. – С. 135–137.
6. Brummer G.W. Heavy metal species, mobility and availability in soil // Importance Chem. Environ. Process. Rept. – Berlin, 1986. – P. 169–192.
7. Stilwell D.E., Gorny K.D. Contamination of soil with Cu, Cr, and As under decks built from pressure treated wood // Bull. Environ. Contam. And Toxicol. – 1997. – Vol. 58, № 1. – P. 22–29.
8. Van Den Bos Valerie Depollution des sols: Cing biocentres en projet // Usine nouv. – 1997. – № 2605. – P. 28.