

# СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

DOI 10.12737/

УДК 631.95:633.3:631.86

## АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЗЕРНОБОБОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

**Троц Наталья Михайловна**, д-р с.-х. наук, проф. кафедры «Садоводство, ботаника и физиология растений», ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: troz\_shi@mail.ru

**Пахомов Алексей Александрович**, аспирант кафедры «Садоводство, ботаника и физиология растений», ФГБОУ ВО Самарский государственный аграрный университет.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский ул. Учебная, 2.

E-mail: pakhomov\_school2@mail.ru

**Ключевые слова:** почва, зерно, горох, соя, металлы, препараты.

*Цель исследования – снижение аккумуляции тяжелых металлов в агроценозах зернобобовых культур за счет действия биологически активных веществ в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Эксперимент по изучению влияния предпосевной обработки семян биологически активными веществами на накопление тяжелых металлов почвами и растениями в агроценозах гороха и сои проводился в 2013-2015 гг. Представлены результаты предпосевной обработки семян сои сорта Самер 3 и гороха сорта Флагман 12 биологически активным веществом Ризоторфин и Ризоторфином в сочетании с аналогами – Агрикой и Гумаризом. Анализ содержания тяжелых металлов в почвенных и растительных образцах проводили в лаборатории ФГУ «Станция агрохимической службы «Самарская» методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Установлено, что внесение биологически активных веществ в почву, содержащую тяжелые металлы, позволяет снизить концентрацию их подвижных форм и ограничить доступ в зерно растений. Содержание подвижных форм элементов в почве под участками выращивания сои, в сравнении с контролем, уменьшается: свинца – в 1,14 раза при обработке препаратами Ризоторфин+Гумариз, кадмия – в 1,18 раза при обработке Ризоторфином, меди – в 1,2 раза и кобальта – в 2,0 раза под воздействием сочетания Ризоторфина и Агрики. По коэффициентам биологического поглощения зерном гороха и сои изученные тяжелые металлы отнесены к элементам биологического захвата КПБ<1. Эффективное инактивирующее действие на тяжелые металлы оказывает предпосевная обработка семян гороха и сои биологически активными веществами в сочетании Ризоторфин+Агрика и Ризоторфин+Гумариз.*

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY PULSE CROPS UNDER THE APPLICATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN THE VOLGA REGION FOREST-STEPPE

**N. M. Trots**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department «Gardening, Botany and Physiology of Plants», FSBEI HE Samara SAU.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelskiy, Uchebnaya street, 2.

E-mail: troz\_shi@mail.ru

**A. A. Pakhomov**, Graduate Student of the Department «Gardening, Botany and Physiology of Plants», FSBEI HE Samara SAU.

446442, Samara region, settlement Ust-Kinelskiy, Uchebnaya street, 2.

E-mail: pakhomov\_school2@mail.ru

**Keywords:** soil, grain, peas, soy, metals, preparation.

The aim of study is reduction of accumulation of heavy metals in agrocenosis of pulse crops due to the action of biologically active substances in the conditions of the middle Volga forest. An experiment study in order to reveal the effect of pre-sowing seed treatment with biologically active substances on the accumulation of heavy metals by soils and plants in agrocenoses of peas and soybeans was conducted in 2013-2015. The results of pre – sowing treatment of soybean seeds of the Samer 3 breed and peas of the Flagman 12 with the Rizotorfin and Rizotorfin in combination with analogues – Agrica and Humariz biologically active substance are presented. The analysis of heavy metals content in soil and plant samples was performed in the laboratory of the «Samara agrochemical service» Station by method of atomic adsorption spectroscopy. It is established that the introduction of biologically active substances into the soil containing heavy metals can reduce the concentration of their mobile forms and restrict access to grain. The content of mobile forms of elements in the soil under soybean growing areas, in comparison with the control, decreases: lead by 1.14 times when treated with Rhizotorphin+Humariz, cadmium – 1.18 times when treated with Rhizotorphin, copper – 1.2 times and cobalt – 2.0 times under the influence of the combination of Rhizotorphin and Agrica. According to the coefficients of biological absorption of pea and soy grains, the studied heavy metals are referred to the elements of biological capture of  $CAB < 1$ . An effective inactivating effect on heavy metals is provided by pre-sowing treatment of pea and soy seeds with biologically active substances combined with Rhizotorphin+Agrica and Rhizotorphin+Humariz.

Горох является ведущей бобовой культурой Самарской области. В последнее время занимает первое место по урожайности и обеспечивает до 80% валовых сборов высокобелкового зерна [3, 4]. Соя в свою очередь признана лидером среди важнейших белково-маслянистых культур. Посевная площадь сои в Самарской области составляет 16895 га.

Полиметаллическое загрязнение Самарской области от воздействия деятельности человека на природные комплексы и отдельные компоненты природной среды достигло высокого уровня. Существенное влияние на загрязнение оказали развитая инфраструктура и добыча полезных ископаемых. Сельскохозяйственные угодья превращаются в места поступления токсичных веществ, среди которых тяжелые металлы. Повышенные концентрации тяжелых металлов оказывают негативное влияние на рост и развитие сельхозкультур, вследствие чего существенно снижается качество продукции растениеводства. Исследованиями ученых установлено, что бобовые растения чувствительны к избытку тяжелых металлов в почве и активно аккумулируют их. На корнях растений этого семейства имеются особые клубеньковые наросты, в которых живут и размножаются микробы, аккумулирующие азот. Симбиотическая связь играет значительную роль в жизни растений, способствует их росту и созреванию. Кроме того, использование симбиотического комплекса гороха может способствовать восстановлению загрязненных биоценозов и очищению почвы [2, 5]. Это требует проведения постоянного контроля содержания тяжелых металлов в почве и растительной продукции и разработки адекватных технологических приемов, минимизирующих негативные последствия привнесения токсикантов [1, 6].

**Цель исследований** – снижение аккумуляции тяжелых металлов в агроценозах зернобобовых культур за счет действия биологически активных веществ в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

**Задача исследований** – оценить уровень накопления валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почве под участками растений и в зерне гороха и сои при внесении биологически активного препарата Ризоторфин и его сочетаний с препаратами Агрика и Гумариз.

**Материал и методы исследований.** В 2013-2015 гг. проводился эксперимент по изучению влияния предпосевной обработки семян биологически активными веществами Ризоторфин, Агрика и Гумариз на накопление тяжелых металлов почвами и растениями в агроценозах гороха и сои. Опыт проводился в центральной агроклиматической зоне Самарской области на территории с типичными для данной зоны почвенными и погодными условиями, а также рельефом и режимом увлажнения. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в лаборатории ФГУ «Станция агрохимической службы «Самарская» (аттестат аккредитации испытательной лаборатории № РОСС RU.0001.510565). Подготовку образцов почвы и растений для определения валового содержания в них тяжёлых металлов проводили традиционным методом [1]. Подвижные формы соединений извлекались ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 (ААБ).

**Результаты исследований.** Проведенные исследования показали, что превышения ПДК валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов не происходит.

При использовании препаратов под участками гороха и сои отмечено накопление следующих элементов: свинец, кадмий, медь, цинк, кобальт (табл. 1). Под участками гороха минимальные концентрации свинца обнаруживаются при внесении сочетания препаратов Ризоторфин+Агрика, его показатели в 3,8 раза ниже ПДК; в 1,29 раза – фонового значения и в 1,9 раза – кларка. Минимальные концентрации кадмия и меди отмечены при использовании сочетания препаратов Ризоторфин+Гумариз, значения концентрации уменьшаются в сравнении с ПДК в 2,9 и 5,0 раза соответственно, в 2,2 и 2,44 раза ниже фона, у меди в 2,5 раза ниже кларка. Показатель содержания кадмия превышает показатель кларка в 3,07 раза. Минимальные концентрации цинка и кобальта в варианте опыта с внесением Ризоторфина снижаются в 1,76 и 2,02 раза соответственно в сравнении с ПДК; в 1,42 и 1,55 раза соответственно в сравнении с фоном, в 1,6 и 2,2 раза соответственно в сравнении с кларком.

Таблица 1

Содержание валовых форм тяжелых металлов под участками зернобобовых культур, 2013-2015 гг.

Вариант опыта	Элемент, мг/кг				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Co
Контроль (без обработки)	8,40*	0,37	18,0	48,5	5,90
	12,0	0,60	22,4	58,7	5,62
+ Ризоторфин	9,15	0,45	19,0	49,5	7,95
	12,2	0,60	23,9	59,5	5,15
+ Ризоторфин+Агрика	8,35	0,48	20,0	50,0	8,20
	13,0	0,62	24,0	60,0	5,68
+ Ризоторфин+Гумариз	10,80	0,40	18,5	54,0	9,30
	12,1	0,63	24,7	60,3	7,38
ПДК	32,00	2,00	55,00	100,00	14,00
ФОН	10,80	0,80	45,30	76,80	11,30
Кларк	16,00	0,13	47,00	83,00	18,00

Примечание. \* – в числителе – содержание валовых форм тяжелых металлов под участками гороха сорта Флагман 12, в знаменателе – содержание валовых форм тяжелых металлов под участками сои сорта Самар 3.

Под участками сои минимальные концентрации свинца обнаруживаются при внесении сочетания препаратов Ризоторфин+Гумариз, его показатели в 2,6 раза ниже ПДК; в 1,3 раза – кларка. Показатель содержания свинца превышает фоновый показатель в 1,1 раза. Минимальные концентрации кадмия, меди, цинка и кобальта отмечены при использовании препарата Ризоторфин, значения уменьшаются следующим образом: в 1,6 раза у цинка, в 2,3 раза у меди, в 2,7 раза у кобальта, в 3,3 раза у кадмия, в сравнении с ПДК; концентрации снижаются в 1,29 раза у цинка, в 1,3 раза у кадмия, в 1,89 раза у меди и в 2,19 раза у кобальта в сравнении с фоном; в сравнении с кларком значения уменьшаются – в 1,39 раза у цинка, в 1,96 раза у меди, в 3,49 раза у кобальта, показатель содержания кадмия превышает показатель кларка в 4,6 раза.

Внесение препарата Ризоторфин максимально влияет на снижение содержание валовых форм тяжелых металлов как для гороха сорта Флагман 12, так и для сои сорта Самар 3.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов (табл. 2) не превышает ПДК при использовании всех препаратов под участками гороха и сои. Под участками гороха минимальные концентрации свинца, кадмия и меди отмечены при использовании сочетания препаратов Ризоторфин+Гумариз. В сравнении с ПДК значения уменьшаются в 12,2 раза у свинца, в 10,2 раза – у кадмия, в 25,0 раз – у меди. Показатель содержания свинца и кадмия превышает фоновый показатель в 1,22 и 13,2 раза соответственно. Минимальные концентрации цинка и кобальта отмечены при использовании сочетания препаратов Ризоторфин+Агрика, значения уменьшаются в 52 раза у цинка и в 33 раза у кобальта в сравнении с ПДК; в 1,33 раза у кобальта в сравнении с фоном, показатель содержания цинка превышает фоновый уровень в 1,1, раза.

Таблица 2

Содержание подвижных форм тяжелых металлов под участками зернобобовых культур, 2013-2015 гг.

Вариант опыт	Элемент, мг/кг				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Co

Контроль (без обработки)	$\frac{0,33}{0,24}$	$\frac{0,050}{0,051}$	$\frac{0,18}{0,12}$	$\frac{0,43}{0,44}$	$\frac{0,09}{0,16}$
+ Ризоторфин	$\frac{1,05}{0,55}$	$\frac{0,053}{0,043}$	$\frac{0,26}{0,15}$	$\frac{0,54}{0,54}$	$\frac{0,16}{0,26}$
+ Ризоторфин+Агрика	$\frac{0,52}{0,24}$	$\frac{0,051}{0,054}$	$\frac{0,15}{0,10}$	$\frac{0,44}{0,77}$	$\frac{0,15}{0,08}$
+ Ризоторфин+Гумариз	$\frac{0,49}{0,21}$	$\frac{0,049}{0,057}$	$\frac{0,12}{0,14}$	$\frac{0,48}{0,57}$	$\frac{0,16}{0,24}$
ПДК	6,00	0,500	3,00	23,00	5,00
ФОН	0,40	0,037	0,13	0,40	0,20

Примечание. \* – в числителе – содержание подвижных форм тяжелых металлов под участками гороха сорта Флагман 12, в знаменателе – содержание подвижных форм тяжелых металлов под участками сои сорта Самер 3.

Под участками сои минимальные концентрации свинца обнаруживаются при внесении сочетания препаратов Ризоторфин+Гумариз, его показатели в 28,5 раза ниже ПДК; в 1,9 раза ниже фона. Минимальные концентрации кадмия и цинка отмечены при использовании препарата Ризоторфин, в сравнении с ПДК значения уменьшаются в 11,6 раза у кадмия, в 42,5 раза – у цинка. Показатель содержания кадмия и цинка превышает показатель фона в 1,16 и 1,35 раза соответственно. Минимальные концентрации меди и кобальта отмечены при использовании сочетания препаратов Ризоторфин+Агрика, значения уменьшаются в 30 раз у меди, в 62,5 раза у кобальта в сравнении с ПДК; в 1,3 раза у меди и в 2,5 раза у кобальта в сравнении с фоном. Внесение препаратов в сочетании Ризоторфин+Агрика и Ризоторфин+Гумариз максимально влияет на содержание подвижных форм тяжелых металлов как для гороха сорта Флагман 12, так и для сои сорта Самер 3.

Расчет коэффициентов биологического поглощения (табл. 3) тяжелых металлов позволил вывести убывающие ряды для исследованных культур.

Таблица 3

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов зерном зернобобовых культур, 2013-2015 гг.

Вариант опыта	Элемент, мг/кг				
	Pb	Cd	Cu	Zn	Co
Контроль (без обработки)	$\frac{0,017}{0,10}$	$\frac{0,07}{0,031}$	$\frac{0,17}{2,84}$	$\frac{0,32}{45,3}$	$\frac{0,10}{0,11}$
+ Ризоторфин	$\frac{0,016}{0,10}$	$\frac{0,06}{0,032}$	$\frac{0,13}{2,26}$	$\frac{0,28}{42,2}$	$\frac{0,05}{0,18}$
+ Ризоторфин+Агрика	$\frac{0,022}{0,07}$	$\frac{0,08}{0,039}$	$\frac{0,11}{2,48}$	$\frac{0,32}{45,9}$	$\frac{0,03}{0,19}$
+ Ризоторфин+Гумариз	$\frac{0,010}{0,10}$	$\frac{0,07}{0,027}$	$\frac{0,12}{1,95}$	$\frac{0,25}{45,9}$	$\frac{0,03}{0,59}$

Примечание. \* – в числителе – коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов зерном гороха сорта Флагман 12, в знаменателе – коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов зерном сои сорта Самер 3.

Изученные тяжелые металлы в средних концентрациях по интенсивности накопления образуют следующие убывающие ряды: в зерне гороха – Zn < Cu < Cd < Co < Pb, в зерне сои – Zn < Cu < Co < Pb < Cd. Все изученные металлы относятся к элементам, захватываемым растениями гороха и сои, но не накапливающимся в них.

**Заключение.** При возделывании гороха сорта Флагман 12 и сои сорта Самер 3 в лесостепной зоне Поволжья при внесении биологически активного вещества Гумариз и его сочетаний с препаратами Агрика и Ризоторфин максимальный эффект снижения валового содержания тяжелых металлов достигается действием препарата Ризоторфин. Уменьшение концентраций наблюдается у кадмия, меди, цинка и кобальта. Снижение концентраций подвижных форм тяжелых металлов достигается внесением сочетаний препаратов Ризоторфин+Агрика и Ризоторфин+Гумариз. Уменьшение концентраций наблюдается у свинца, кадмия и меди при использовании сочетания Ризоторфин+Агрика; у меди, цинка и кобальта – при использовании сочетания Ризоторфин+Гумариз.

1. Троц, Н. М. Экологическая устойчивость в посевах основных групп сельскохозяйственных культур в Самарской области / Н. М. Троц, Г. И. Чернякова, С. В. Ишкова, А. В. Батманов // *Аграрная Россия*. – 2017. – № 5 – С. 38-44.
2. Зубов, А. Е. Селекция и технология возделывания гороха в среднем Поволжье / А. Е. Зубов. – Самара, 2012. – 217 с.
3. Зубов, А. Е. Методы и результаты селекции гороха в Самарском НИИСХ / А. Е. Зубов, А. И. Катюк // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2014. – Т.16, №5 (3). – С. 1127-1130.
4. Майстренко, О. А. Оценка сортов гороха разных морфотипов по урожайности и качеству зерна в условиях степной зоны Самарской области / О. А. Майстренко, Н. И. Колесник, Н. В. Анисимкина, Е. Н. Шаболкина // *Молодой ученый*. – 2015. – №22.2 – С. 41-44.
5. Троц, Н. М. Применение адсорбентов для регулирования накопления тяжелых металлов в почве и зерне сои сорта Самер 3, возделываемой при различных видах обработки почвы / М. Н. Скворцова, Н. М. Троц // *Перспективы развития АПК в работах молодых ученых : материалы региональной научно-практической конференции молодых ученых*. – Тюмень : ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Зауралья», 2014. – С. 145-150.
6. Горшкова, О. В. Тяжелые металлы в нефтезагрязненных черноземах Самарской области / О. В. Горшкова, А. А. Пахомов // *Экология и мелиорация агроландшафтов: перспективы и достижения молодых ученых : материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых*. – Волгоград : ФНЦ агроэкологии РАН, 2019. – С. 365-366.

#### References

1. Trots, N. M., Chernyakova, G. I., Ishkova, S. V., & Batmanov, A. V. (2017). *Ekologicheskaiia ustoichivost v posevah osnovnikh grup seliskohoziaistvennikh kultur v Samarskoi oblasti* [Ecological sustainability in crops of the main groups of crops in the Samara region]. – *Agrarnaya Rossiya*, 5, 38-44 [in Russian].
2. Zubov, A. E. (2012). *Selekciia i tekhnologiiia vozdelivaniia goroha v srednem Povolzhie* [Selection and technology of pea cultivation in the middle Volga region]. Samara [in Russian].
3. Zubov, A. E., & Katyuk A. I. (2014). *Metody i rezulitati selekcii goroha v Samarskom Nauchnom Institute seliskogo hozyaistva* [Methods and results of selection of peas in the Samara Research Institute of Agriculture]. *Izvestiia Samaraskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk – Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 16, 5 (3), 1127-1130 [in Russian].
4. Maistrenko, O. A., Kolesnik, N. I., Anisimkina, N. V., & Shabolkina, E. N. (2015). *Ocenka sortov goroha raznikh morfo-tipov po urozhainosti i kachestvu zerna v usloviiah stepnoi zoni Samarskoi oblasti* [Assessment of pea varieties of different morphotypes by yield and grain quality in the conditions of the steppe zone of the Samara region]. *Molodoi uchenii – Young Scientist*, 22.2, 41-44 [in Russian].
5. Trots, N. M., & Skvortsova M. N. (2014). *Primenenie adsorbentov dlia regulirovaniia nakopleniia tiazhelikh metallov v pochve i zerne soi sorta Samer 3, vozdelivae soi pri razlichnikh vidah obrabotki pochvi* [The use of adsorbents for regulating the accumulation of heavy metals in the soil and grain of soybean variety Samer 3, cultivated with various types of tillage]. *Prospects for the development of agriculture in the works of young scientists '14: materiali regionalinoi nauchno-prakticheskoi konferencii molodikh uchenikh – materials of the regional scientific-practical conference of young scientists*. (pp. 145-150). Tyumen: FSBEI HPE State Agrarian University of Trans-Urals [in Russian].
6. Gorshkova, O. V., & Pakhomov, A. A. (2019). *Tiazhelie metalli v neftezagriaznennikh chernozemah Samarskoi oblasti* [Heavy metals in oil-contaminated chernozems of the Samara region]. *Ecology and land reclamation of agro-landscapes: prospects and achievements of young scientists '19: materiali VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii molodikh uchenikh – materials of the VII International scientific and practical conference of young scientists*. (pp. 365-366). Volgograd: Federal research center of Agroecology RAS [in Russian].