

### ОЧИСТКА ПОЧВЫ ЗАВОЛЖСКОГО РЕГИОНА ОТ ХРОМА (III) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ И ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Л.Н. Ольшанская, Н.А. Шевляков, Е.М. Баканова

Любовь Николаевна Ольшанская\*, Никита Александрович Шевляков, Екатерина Михайловна Баканова  
Кафедра экологии и дизайна, Энгельский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, пл. Свободы, 17, Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413100  
E-mail: ecos123@mail.ru\*, catinca77@mail.ru

*В работе проведены исследования роста и развития высших растений сои и фасоли в процессе очистки почв от ионов хрома (III) методом фиторемедиации при воздействии на семена растений-фиторемедиантов (соя и фасоль) УФ- и ИК-облучением. Показано, что эффективность очистки почв, загрязненных ионами  $Cr^{3+}$ , составила 93 – 98 %, и ее величина увеличивалась с ростом концентрации металла. Это обусловлено тем, что хром является микроэлементом, необходимым для роста и развития растений, и его концентрация в фитомассе контролируется. Определена адсорбционная емкость (Ai) растений по отношению к хрому. При увеличении концентрации металла она увеличивалась и составила для сои 80 – 126 мкг/кг сухой фитомассы после обработки семян УФ- излучением, и 74 – 91 мкг/кг после ИК-облучения. Адсорбционная емкость фасоли (Ai) оказалась ниже, в сравнении с соей, ее максимальные значения не превышали  $55 \pm 5$  мкг/кг сухой фитомассы. Отличие в величинах Ai после обработки семян УФ- и ИК – излучением оказалось незначительным.*

**Ключевые слова:** хром (III), высшие растения фасоль, соя, рост, почва, фиторемедиация, УФ-ИК-облучение, эффективность очистки, адсорбционная емкость

### TECHNOLOGY OF SOIL PURIFICATION OF LEFT BANK OF VOLGA RIVER FROM CHROMIUM (III) BY HIGHER PLANTS AND EXTERNAL PHYSICAL FIELDS

L.N. Olshanskaya, N.A. Shevlyakov, E.M. Bakanova

Lubov N. Olshanskaya\*, Nikita A. Shevlyakov, Ekaterina M. Bakanova  
Department of Ecology and Design, Engels Technological Institute (branch) of Gagarin Saratov State Technical University, Svobody sq., 17, Engels, Saratov region, 413100, Russia  
E-mail: ecos123@mail.ru\*, catinca77@mail.ru

*The studies of the growth and development of higher plants of soybean and beans in a process of soil purification from ions of chromium (III) by the method of phytoremediation exposing phytoremediation plant seeds (soybean and beans) to UV - and IR-radiation were carried out. It was shown that the efficiency of cleaning up the soils polluted with ions of  $Cr^{3+}$ , is 93 – 98 % and its value increased with metal concentration increasing. It is caused by the fact, that chromium is a trace element which is necessary for the growth and development of plants, and its concentration in biomass is controlled. Adsorption capacity ( $A_i$ ) of plants toward chromium was determined. As metal concentration increased,  $A_i$  was increased and for soybean it was 80 h (126  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) of dry biomass after treating the seeds with UV - radiation, and 74 ч (91  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) after IR radiation. Adsorption capacity of beans  $A_i$  was lower in comparison with soybean and the maximum values did not exceed  $55 \pm 5 \text{ mkg}/\text{kg}$  of dry biomass. The difference in  $A_i$  values after treating seeds with UV - and IR- radiation were insignificant.*

**Key words:** chromium (III), higher plants, beans, soybean, growth, soil, phytoremediation, UV-, IR - radiation, cleaning efficiency, adsorption capacity

**Для цитирования:**

Ольшанская Л.Н., Шевляков Н.А., Баканова Е.М. Очистка почвы заволжского региона от хрома (III) с использованием высших растений и внешних физических полей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2017. Т. 60. Вып. 3. С. 90–96.

**For citation:**

Olshanskaya L.N., Shevlyakov N.A., Bakanova E.M. Technology of soil purification of left bank of volga river from chromium (III) by higher plants and external physical fields. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 3. P. 90–96.

Саратовская область входит в десятку крупнейших промышленных регионов России, где развита добывающая и перерабатывающая промышленность. Установлено, что одними из основных загрязнителей почвогрунтов в районах расположения промышленных предприятий являются тяжелые металлы и нефтепродукты. В Саратовской области имеются три завода по изготовлению источников тока (ОАО «Электроисточник», ПАО «Завод автономных источников тока (ЗАИТ)», ОАО «НИИ химических источников тока»), имеется большое количество предприятий машиностроения (ОАО «Роберт-Бош Саратов», ОАО «Троллебусный завод», ОАО «Авиационный завод», ОАО «Трансмаш» и др.) где используются гальванические процессы для обработки деталей. Эти предприятия являются основными источниками техногенных загрязнений биосферы *тяжелыми металлами*. Степень загрязнения почв тяжелыми металлами (свинец, кадмий, кобальт, никель и др.) на территории отдельных предприятий достигает 30-40 ПДК. Максимальное загрязнение свинцом отмечено на территории ОАО «Электроисточник» (41 ПДК); на территории ПАО «ЗАИТ» отмечено загрязнение подземных вод кадмием (40 ПДК); высокое содержание никеля (18 ПДК) отмечено на территории предприятия ОАО «Роберт-Бош Саратов» [1].

Почва является основной средой, в которую попадают тяжелые металлы (ТМ), нефть и другие поллютанты, в том числе из атмосферы и водной среды. Из почвы ТМ усваиваются растениями. В фиторемедиационных технологиях, особенно в процессах очистки биосферных комплексов от ионов тяжелых металлов (ИТМ), огромную роль играет растительная клетка, которая выступает в качестве биоэлектрохимического сенсора-реактора, распознающего и извлекающего катионы металлов из сточных, промывных вод и почв [2]. На эти процессы оказывают воздействие внешние физические поля (ВФП: постоянные магнитные (ПМП), электрические поля, ультрафиолетовое (УФ), инфракрасное (ИК) и лазерное излучения (ЛИ) и их сочетание), которые могут изменять течение процессов роста и развития организмов [3], оказывая как стимулирующее, так и тормозящее влияние. Применение ВФП для обработки семян растений является прогрессивным способом их подготовки к посеву, позволяющим не только вывести семена из состояния покоя, но и активизировать работу разнообразных биологических катализаторов – ферментов, обеспечивающих быстрый рост и развитие растений [4].

Целью работы явилось исследование роста и развития высших растений сои и фасоли в процессе очистки почв от ионов хрома (III) методом фиторе-

медиации при воздействии на семена растений-фиторемедиантов (соя, фасоль) УФ и ИК излучения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тестовые культуры (фиторемедианты) – соя (*Glycinemax*) сорт Самер 2 и зерновая красная фасоль (*Phaseolus vulgaris*) сорт Рубин, районированы в Саратовской области. Выбор обусловлен тем, что в целях фиторемедиации обычно используют высокопродуктивные культуры. Загрязняющими веществами служили модельные растворы сульфата хрома  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , которые содержали 1, 5 и 10 ПДК (ПДК общесанитарный для  $\text{Cr}^{3+}$  6 мг/кг почвы) катионов хрома (III). В настоящем исследовании за систему отсчета концентрации катионов в почве в соответствии с литературными данными [5, 6] была принята величина ПДК, а не количество элемента в мг/кг почвы. Это сделано из соображения, что разные металлы содержатся в почве в различных несопоставимых, если их выражать в мг, количествах, различающихся зачастую на два по-

рядка, и, кроме того, они обладают различной степенью токсичности. Такой подход позволил сопоставить силу негативного воздействия различных ИТМ на растения. Брали подвижную форму металла в почве [7].

В качестве источника УФ-излучения выступала бактерицидная лампа, марки СБПе 3×30 Вт, с длиной волны  $\lambda = 257$  нм; источником ИК-излучения служила синяя лампа «Минина» с  $\lambda = 780-1400$  нм. Обработку семян проводили в течение 6 ч [2, 8].

Проведенные исследования по влиянию природы и концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  на высоту растений и развитие листовых пластин сои и фасоли (табл. 1), рис. 1-5 показали, что по истечении 14-21 сут у растений фасоли и сои не проявлялись значительные признаки угнетения роста и отмирания листьев. На 28 день эти процессы начали проявляться, и они усилились с увеличением концентрации токсикантов. Растения уменьшились по высоте, выглядели увядшими, поникшими, проявились признаки плазмолиза и некроза.

Таблица 1

Влияние концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  на рост и развитие сои  
Table 1. Effect of  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration on the growth and development of soybean

Высота растения, мм. УФ/ИК				Длина листа, мм. УФ/ИК				Ширина листа, мм. УФ/ИК				
Дни	К*	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК	К*	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК	К*	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК
7	80	$\frac{30}{0}$	$\frac{0}{36}$	$\frac{10}{21}$	0	$\frac{0}{11}$	$\frac{0}{8}$	$\frac{0}{6}$	0	$\frac{0}{8}$	$\frac{0}{6}$	$\frac{0}{4}$
14	220	$\frac{50}{0}$	$\frac{32}{100}$	$\frac{33}{60}$	30	$\frac{10}{14}$	$\frac{0}{18}$	$\frac{0}{11}$	25	$\frac{10}{16}$	$\frac{7}{11}$	$\frac{5}{9}$
21	280	$\frac{184}{110}$	$\frac{120}{270}$	$\frac{80}{160}$	40	$\frac{20}{26}$	$\frac{10}{30}$	$\frac{0}{25}$	30	$\frac{20}{29}$	$\frac{14}{28}$	$\frac{11}{16}$
28	290	$\frac{210}{140}$	$\frac{172}{270}$	$\frac{100}{180}$	35	$\frac{25}{31}$	$\frac{20}{25}$	$\frac{0}{20}$	25	$\frac{23}{24}$	$\frac{15}{22}$	$\frac{9}{20}$

Примечание: К\*-контроль без ВФП и ТМ  
Note: К\*-reference without the EPF and NM

Следует отметить, что ИК облучение оказало более положительное влияние на ростовые характеристики фасоли (рис. 1 и 2). Растения были на 80-100 мм выше, по сравнению с УФ-облучением. Худшие ростовые показатели растения проявили при концентрации иона  $\text{Cr}^{3+}$  равной 5 ПДК и УФ. Присутствие хрома оказывает положительное действие на рост растений [9, 10]. Даже небольшие концентрации хрома (0,0005-0,005%) стимулируют активность каталазы и протеолиз, известно о его участии в ферментативных реакциях растений [11]. В [12] установлено, что концентрация этого элемента в нуклеотидах семян примерно в 100 раз выше, чем в общей массе растительной клетки, что, возможно, обусловлено его функциональной ролью.

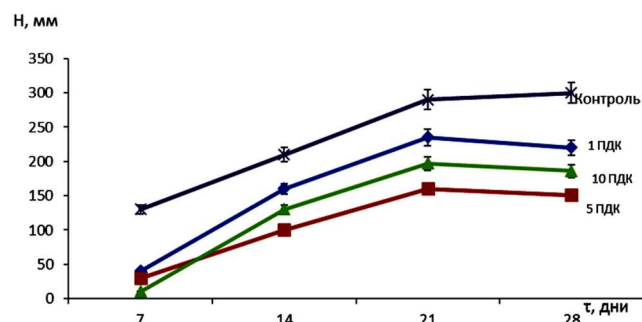


Рис. 1. Совместное влияние концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и УФ облучения семян на высоту растений фасоли  
Fig. 1. The joint influence of  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration and UV radiation of seeds on the height of beans plants

Хром способствует росту содержания хлорофилла и продуктивности фотосинтеза в листьях

[13, 14]. Например, у выросших растений кукурузы продуктивность увеличивалась на 24–40%, содержание хлорофилла – на 16–29%, вес зеленой и сухой массы – на 34–65% [14].

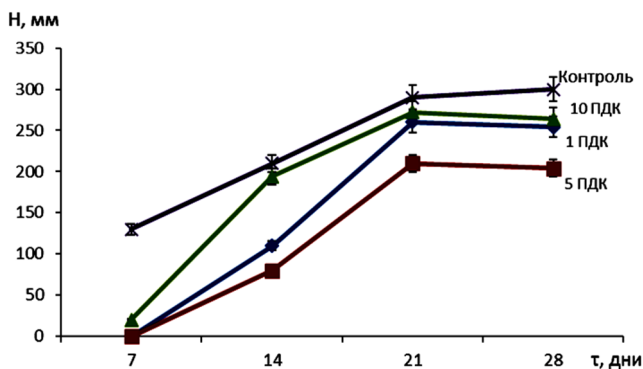


Рис. 2. Совместное влияние концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и ИК облучения семян на высоту растений фасоли  
 Fig. 2. The joint influence of  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration and IR radiation of seeds on the height of beans plants

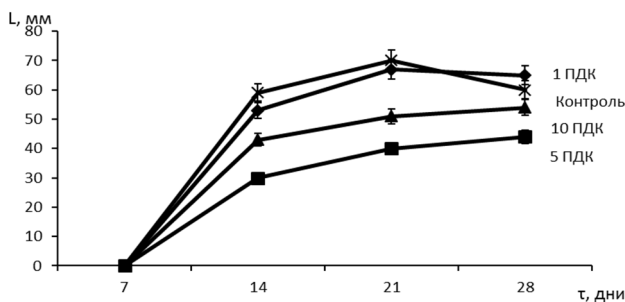


Рис. 3. Изменение длины листовой пластины фасоли во времени в зависимости от концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и УФ облучения семян  
 Fig. 3. The change in the length of a leaf plate of beans during the time depending on  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration and UV radiation of seeds

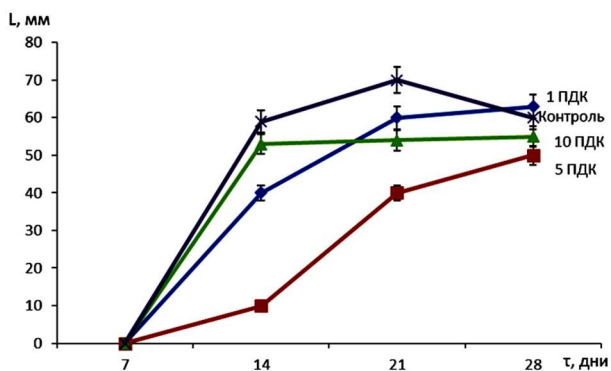


Рис. 4. Изменение длины листовой пластины фасоли во времени в зависимости от концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и ИК облучения семян  
 Fig. 4. The change in the length of a leaf plate of beans during the time depending on  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration and IR radiation of seeds

Авторами [15] установлено, что даже незначительные количества трехвалентного хрома

стимулируют рост растений и образование клубеньков у бобовых растений, что объясняется строением атома хрома, его близостью по положению в периодической системе элементов к марганцу и молибдену, физиологическая активность которых общеизвестна [16].

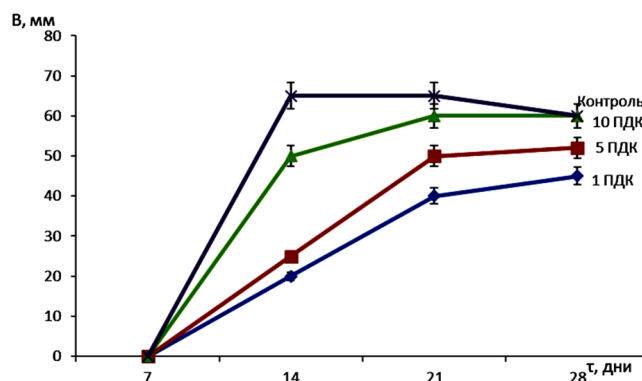


Рис. 5. Изменение ширины листовой пластины фасоли во времени в зависимости от концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и УФ облучения семян  
 Fig. 5. The change in the width of a leaf plate of beans during the time depending on  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration and UV radiation of seeds

#### Фиторемедиационная способность растений фасоли и сои по отношению к хрому

Через 28 дней после внесения  $\text{Cr}^{3+}$  в почву растения сои и фасоли были извлечены из почвы, высушены и взвешены. Отделяли корневую часть растений, так как по ранее проведенным гистохимическим исследованиям, накопление металлов происходило в основном в корнях растений-исключателей, к которым относятся фасоль и соя [17].

Для оценки влияния концентрации ионов хрома, и его совместного воздействия с внешними физическими полями (ВФП:УФ и ИК) на процессы фиторемедиации почвы проводили определение остаточных концентраций ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в почве на спектрофотометре Промэколаб ПЭ 5300 В по ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы почвы общие требования к отбору проб» [18].

Готовили почвенные вытяжки и анализировали содержание в них остаточных концентраций металла фотометрическим методом.

Результаты по величинам эффективности ( $\Theta = \frac{c_{\text{нач.}} - c_{\text{кон.}}}{c_{\text{нач.}}} \cdot 100\%$ ) очистки почв от ионов хрома растениями-фитомедиантами, семена которых были обработаны УФ и ИК излучениями, представлены в табл. 2.

Установлено, что лучшую эффективность очистки почв от ионов хрома показали растения фасоли и сои при применении ВФП. При этом следует отметить, что при низких концентрациях  $\text{Cr}^{3+}$  (1 ПДК) эффективность очистки почв растениями

фасоли снижалась. Фасоль проявила лучшую эффективность очистки при концентрации хрома в почве 10 ПДК. У растений сои наблюдалась та же тенденция, что и у растений фасоли. Лучше всего соя извлекала хром из загрязненной почвы при концентрации 10 ПДК.

**Таблица 2**

**Влияние концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  без и при воздействиях УФ и ИК облучений на эффективность (Э, %) очистки почвы фасолью и соей (после 28 дней)**

**Table 2. The effect of  $\text{Cr}^{3+}$  ions concentration without and with the UV- and IR radiation on the efficiency (Э, %) of cleaning up soil using beans and soybean (after 28 days)**

Концентрация $\text{Cr}^{3+}$	Фасоль Э, %			Соя Э, %		
	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК
Без ВФП	71,6	90,8	93,4	68,4	91,3	93,3
УФ	87,0	93,7	97,4	69,2	93,5	95,7
ИК	73,4	94,9	97,3	72,6	94,1	96,2

На следующем этапе определяли адсорбционную способность растений фасоли и сои по отношению к хromу.

Адсорбционную емкость растений ( $A_i$ , табл. 3) устанавливали по количеству поглощенного ими металла после сушки и мокрого озоления фитомассы (в расчете на абсолютно сухой вес массы растений).

**Таблица 3**

**Адсорбционная емкость растений (28 дней) по хromу при воздействии УФ и ИК излучений в течение 6 ч**

**Table 3. The adsorption capacity of plants (28 days) on chromium at action UV and IR radiation for 6 h**

Растение	ПДК	$A_i$ , мкг/кг		Растение	ПДК	$A_i$ , мкг/кг	
		УФ	ИК			УФ	ИК
Фасоль	1	11	37	Соя	1	80,7	74,1
	5	59,8	57,6		5	98,5	99,8
	10	22,9	23,6		10	125,3	86,4

Выявлено, что при концентрации хрома 5 ПДК адсорбционная емкость фасоли оказалась наибольшей как при УФ, так и при ИК облучениях семян.

Рассчитанные величины адсорбционной емкости для сои (мкг/кг абсолютно сухого веса растений) несколько отличались. Если для ИК тенденция была аналогичной данным, полученным для фасоли, то при УФ-облучении наиболее высокая  $A_i$  достигнута при 10 ПДК  $\text{Cr}^{3+}$ .

Известно, что хром (III) поглощается корневыми системами в виде анионных комплексов, которые выявлены в тканях растений и соке кислоты авторами [19]. Оптимальными значениями

pH для поглощения хрома является интервал 5,4-6,1, что наблюдается в нашем случае. Выделено три фазы поглощения ионов хрома. Поглощение начинается сразу после контакта корней с раствором, содержащим ионы  $\text{Cr}^{3+}$  с высокой скоростью и сопровождается чисто физико-химической адсорбцией ионов поверхностью корней. Эта фаза, как правило, продолжается не больше 6 мин. На протяжении следующей фазы, которая продолжается 8-10 ч, идет химическое взаимодействие ионов хрома с веществами, которые активно его связывают (белки, аминокислоты, углеводы), при этом скорость поглощения постепенно снижается. Через 10 ч поглощение хрома практически прекращается здесь происходит последующее взаимодействие хрома с метаболитами, которые образуются корнями с более или менее постоянной скоростью [14].

Нормальное содержание хрома в растениях равняется 0,1-0,5 мг/кг сухой массы и предположительно максимальное – 2 мг/кг сухой массы. ПДК хрома для растений, по данным разных авторов, составляет от 0,1 до 2,0 мг/кг сухой массы [20]. Согласно результатам исследований критическая концентрация металла, выше которой нарастание надземной массы растений снижается на 10%, варьирует от 1,0 до 2,0 мг/кг сухой массы, а фитотоксическая концентрация хрома (снижение надземной фитомассы на 50%) равна 100 мг/кг сухой массы [21]. В больших количествах, по сравнению с другими органами, хром накапливается в корнях растений, в значительных количествах в листьях и стеблях [22, 23], при этом преобладающая его часть содержится в растворимой форме в вакуолях, образуя комплексы, которые частично иммобилизованы с донор-лигандами. В растениях семейства бобовых (горох, фасоль) обнаружено более высокое содержание хрома по сравнению с зерновыми культурами [24]. В [25] показано, что  $\text{Cr}^{3+}$ , хоть и является фитотоксичным, но он слабо накапливается в корнях и, особенно, в стеблях растений, но может поглощаться непосредственно листьями.

## ВЫВОДЫ

Изучено влияние содержания хрома (III) на процессы роста и развития высших растений и фиторемедиацию ими почвы. Установлено, что с увеличением концентрации  $\text{Cr}^{3+}$  в почве, сильнее проявляется его токсическое действие на растения-фиторемедианты.

Установлено, что эффективность очистки почв, загрязненных ионами  $\text{Cr}^{3+}$ , составила 93-98%, и ее величина возрастала с ростом концентрации металла. Это обусловлено тем, что хром является

микроэлементом, необходимым для роста и развития растений, и его концентрация в фитомассе контролируется.

Определена адсорбционная емкость растений по отношению к хрому. Обнаружена интересная зависимость, при увеличении концентрации металла  $A_i$  увеличивалась и составила для сои 80–126 мкг/кг сухой фитомассы после обработки семян УФ излучением и 74–91 мкг/кг после ИК облучения.

Адсорбционная емкость фасоли имела экстремальную зависимость – максимум наблюдался

при концентрации ионов  $Cr^{3+}$  равной 5 ПДК. Следует отметить, что  $A_i$  для фасоли оказалась ниже, в сравнении с соей максимальные значения не превышали  $55 \pm 5$  мкг/кг сухой фитомассы. Отличие в величинах  $A_i$  после обработки семян УФ- и ИК-излучениями оказалось незначительным.

*Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части государственного задания № госрегистрации № 114112570078.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Почвы и земельные ресурсы Саратовской области <http://www.protown.ru/russia/obl/articles/6103.html>.
2. **Ольшанская Л.Н., Титоренко О.В., Халиева А.С.** Влияние постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения на процессы роста высших наземных растений и фиторемедиацию ими почв от тяжелых металлов и нефтепродуктов. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2015. 124 с.
3. **Савельев В.А.** Физические способы обработки семян и эффективность их использования. *Сибирский вестн. науки*. 1981. № 5. С. 26 – 29.
4. **Алтухов И.В., Федотов В.А., Очиров В.Д.** Изменение основных качественных показателей семян пшеницы после воздействия различными облучателями. *Вестн. ИрГСХА*. 2010. Вып. 40. С. 107-115.
5. **Колесников С.И., Жаркова М.Г., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф.** Моделирование загрязнения чернозема свинцом с целью установления экологически безопасной концентрации. *Экология и промышленность России*. 2009. август. С. 34-36.
6. Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы. М.: ГК СЭНР РРИАЦ. 1993. С. 35.
7. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». М.: Изд-во стандартов. 2006. 8 с. <http://www.opengost.ru>.
8. **Ольшанская Л.Н., Титоренко О.В., Еремеева Ю.А.** Влияние постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения на рост высших растений и фиторемедиацию почвы от нефтепродуктов. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2015. № 5. С. 43-45.
9. **Добровольский О.К.** Биогеохимия растений. Улан-Уде: Бурятск. книжное изд-во. 1969. С.29–38.
10. **Щеглов А.Т.** Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Л.: Наука. 1970. Т. 1. 230 с.
11. **Диксон М., Уэбб Э.** Ферменты. М.: Мир. 1982. 1120 с.
12. **Мусиенко Н.Н., Тернавский А.И.** Корневое питание растений. К.: Вища школа. 1989. 203 с.
13. **Протасова Н.А., Копеева М.Г., Шелаяева Г.Б.** Техногенное воздействие на химический и физико-химический состав лугово - сероземных почв. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоздат. 1989. С. 272–278.
14. **Щеглов А.Т.** Влияние хрома на некоторые физиологические показатели у кукурузы. Применение удобрений, микроэлементов и регуляторов роста в сельском хозяйстве. Ставрополь: Науч. труды Ставропольского сельскохоз. ин-та. 1981. Т. 1. В. 44. С. 35–40.
15. **Алексеев Ю.В.** Тяжелые металлы в почве и растениях. Л.: Агропромиздат. 1987. 142 с.

#### REFERENCES

1. Soils and land resources of Saratov region <http://www.protown.ru/russia/obl/articles/6103.html>.
2. **Olshanskaya L.N., Titorenko O.V., Haliyeva A.S.** The Influence of Constant Magnetic Field and UV-Radiation on the Growth Processes in Higher Terrestrial Plants and on the Phytoremediation of Soil from Heavy Metals and Petroleum Products by Them. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 2015. 124 p. (in Russian)
3. **Savelyev V.A.** Physical methods of seed treatment and the effectiveness of their usage. *Sibir Vest. Nauki*. 1981. N 5. P. 26 – 29 (in Russian).
4. **Altukhov I.V., Fedotov V.A., Ochirov V.D.** Change in the Main Qualitative Characteristics of Wheat Seeds after Treating them with Various Irradiators. *Vest. IrGSKHA*. 2010. N 40. P. 107-115 (in Russian).
5. **Kolesnikov S.I., Zharkova M.G., Kazeev K.Sh., Valkov V.F.** Modeling of black earth pollution by lead in order to establish an environmentally safe concentration. *Ecologiya i Promysh. Rossii*. 2009. August. P. 34-36 (in Russian).
6. Guidelines on Sanitary and Chemical Research of Soil. М.: GK SINR, RIAZ. 1993. P. 35 (in Russian).
7. GN 2.1.7.2041-06 «Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemical Substances in Soil». М.: Publishing House of Standards. 2006. 8 p. <http://www.opengost.ru>. (in Russian).
8. **Olshanskaya L.N., Titorenko O.V., Eremeeva Yu.A.** Static magnetic fields and ultraviolet radiation influence on the growth of higher plants and phytoremediation of soil from oil products. *Khim i Neftgaz. Mashinostroenie*. 2015. N 5. P. 43-45 (in Russian).
9. **Dobrovolsky O.K.** Biogeochemistry of Plants. Ulan-Ude: Buryat Publishing House. 1969. P. 29-38 (in Russian).
10. **Shcheglov A.T.** Biological Role of Trace Elements and Their Treatment in Agriculture and Medicine. Л.: Nauka. 1970. V. 1. 230 p (in Russian).
11. **Dixon M., Webb E.** Enzymes. М.: Mir. 1982. 1120 p (in Russian).
12. **Musienko N.N., Ternavsky A.I.** Root Nutrition of Plants. Kiev.: Vyshcha Shkola. 1989. 203 p (in Russian).
13. **Protasova N.A., Kopeeva M.G., Shelayeva G.B.** Technological Impact on the Chemical and Physical and Chemical Composition of Meadow – Gray Soils. Migration of Pollutants in Soils and Adjacent Environments. Л.: Hidrometeoizdat. 1989. P. 272-278 (in Russian).
14. **Shcheglov A.T.** The Influence of Chromium on Some Physiological Characteristics for Maize. Application of Fertilizers, Trace Elements and Growth Regulators in Agriculture. Stavropol: Scientific Works of Stavropol agricultural Institute. 1981. V. 1. N 44. P. 35-40 (in Russian).

16. **Ноздриухина Л.Р., Гринкевич Н.И.** Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М.: Наука. 1980. 280 с.
17. **Ольшанская Л.Н., Халиева А.С., Титоренко О.В.** Локализация тяжелых металлов (Pb, Ni) в тканях и органах фасоли и сои в процессе их извлечения из почвы без воздействия и при действии магнитного поля и Уф-облучения на семена растений. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2015. Т. 58. Вып. 6. С. 89 - 94.
18. ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы почвы общие требования к отбору проб». М.: Изд-во стандартов. 1983. 6 с.
19. **Tiffin L.O.** Proc. Hanford Life Symp. V.S. Department of Energy, Symposium Series, Washington, D.C. 1977. P. 315-319.
20. **Негруцкий С.Ф., Попов В.А., Приседский Ю.Г., Еремка Е.В.** Проблемы фитогигиены и охрана окружающей среды. Л.: Наука. 1981. С. 104-108.
21. **Vazquez M.D., Poschenrieder C.H., Barcelo J.** Chromium VI induced structural and ultrastructural changes in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ant. Bot. (USA)*. 1987. V. 59. N 4. P. 427-438.
22. **Shewry P.R., Peterson P.J.** The uptake and transport of chromium by barley seedling (*Hordeumvulgare* L.). *J. Exp. Bot.* 1974. V. 25. N 87. P. 785-797.
23. **Wallace A., Soufi S.M., Cha J.W., Romney E.M.** Some effects of chromium toxicity on bush bean plants grown in soil. *Plant and soil.* 1976. V. 44. N 2. P. 421-473.
24. **Schroeder H.A. Balassa J.J., Tipton I.M.** Abnormal trace metals in man: chromium. *J. Chron. Dis.* 1967. N 20. P. 147-151.
25. **Рогозинский М.С., Шемэфост А.Е., Костышин С.С., Волков Р.А.** Действие ионов тяжелых металлов на растения в культуре *in vitro*. *Физиология и биохимия культурных растений.* 1998. Т. 30. № 6. С. 465-471.
15. **Alekseev Yu.V.** Heavy Metals in Soil and Plants. L.: Agropromizdat. 1987. 142 p (in Russian).
16. **Nozdryukhina L.R., Grinkevich N.I.** Breach of Microelement Metabolism and Ways of his. M.: Nauka. 1980. 280 p (in Russian).
17. **Olshanskaya L.N., Khaliyeva A.S., Titorenko O.V.** Localization of heavy metals (Pb, Ni) in tissues and organs of beans and soya in process of their removal from the soil without impact and under the action of the magnetic field and the UV irradiation to the seeds of the plants. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2015. V. 58. N 6. P. 89 – 94 (in Russian).
18. GOST (RF State Standard) 17.4.3.01-83 «Protection of the Nature of Soil. General Requirements to Sampling». M.: Publishing House of Standards. 1983. 6 p (in Russian).
19. **Tiffin L.O.** Proc. Hanford Life Symp. V.S. Department of Energy, Symposium Series, Washington, D.C. 1977. P. 315-319.
20. **Negrutskiy S.F., Popov V.A., Prisedskiy Yu.G., Yermaka E.V.** The Issues of Phytohygiene and Environmental Protection. L.: Nauka. 1981. P. 104-108 (in Russian).
21. **Vazquez M.D., Poschenrieder C.H., Barcelo J.** Chromium VI induced structural and ultrastructural changes in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ant. Bot. (USA)*. 1987. V. 59. N 4. P. 427-438.
22. **Shewry P.R., Peterson P.J.** The uptake and transport of chromium by barley seedling (*Hordeumvulgare* L.). *J. Exp. Bot.* 1974. V. 25. N 87. P. 785-797. DOI: 10.1093/jxb/25.4.785
23. **Wallace A., Soufi S.M., Cha J.W., Romney E.M.** Some effects of chromium toxicity on bush bean plants grown in soil. *Plant and soil.* 1976. V. 44. N 2. P. 421-473. DOI:10.1007/BF00015901.
24. **Schroeder H.A. Balassa J.J., Tipton I.M.** Abnormal trace metals in man: chromium. *J. Chron. Dis.* 1967. N 20. P. 147-151.
25. **Rogozinsky M.S., Shemefost A.E., Kostyshin S.S., Volkov R.A.** Effect of heavy metal ions on the plants in the culture of *in vitro*. *Fiziologiya I biokhimiya Kulturnykh Rasteniy.* 1998. V. 30. N 6. P. 465-471 (in Russian).

Поступила в редакцию 07.10.2016

Принята к опубликованию 22.12.2016

Received 07.10.2016

Accepted 22.12.2016