

9. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv.* – M.: Agropromizdat, 1986. – 416 s.

10. Makarychev S.V., Zaykova N.I., Patrushev V.Yu. *Regulirovanie vodnogo rezhima chernozema pri oroshenii ovoshchnykh kultur // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2017. – № 2. – S. 56-61.

11. van Genuchten M.Th. *A slosed-form equation for predicting the hydraulic conduc-*

tivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – Vol. 44. – P. 892-898.

12. Shein E.V. *Kurs fiziki pochv.* – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.

13. Bolotov A.G., Shein E.V., Milanovskiy E.Yu., Tyugay Z.N., Pochatkova T.N. *Osnovnye gidrofizicheskie kharakteristiki kashtanovykh pochv sukhoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2014. – № 9. – S. 36-41.



УДК 542.6:546.56:633.853.494



М.Т. Койгельдинова, А.С. Торопов
M.T. Koygeldinova, A.S. Toropov

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТОРОВ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯ *BRASSICA NAPUS*

USE OF PHYTOEXTRACTION EFFECTORS TO INCREASE HEAVY METALS INTAKE BY *BRASSICA NAPUS* PLANTS

Ключевые слова: тяжелые металлы, фитоэкстракция, фиторемедиация, хелатообразующие агенты, загрязнение почвы, полиэлементное загрязнение, рапс яровой (*Brassica napus*), Na-ЭДТА, вынос металлов, аккумуляция.

Представлены данные по индуцируемой фитоэкстракции тяжелых металлов рапсом яровым (*Brassica napus*), выращенных в условиях моно- и полиэлементного загрязнения почвы. Цель исследования – провести сравнительное изучение влияния лимонной, щавелевой кислот и Na-ЭДТА на повышение накопления и выноса тяжелых металлов растениями *Brassica napus* в условиях модельного загрязнения темно-каштановой почвы. Накопление токсичных элементов в побегах *B. napus* зависело от типа и дозы применяемого хелатообразующего агента. Внесение Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг способствовало увеличению содержания меди в побегах *B. napus* при медном загрязнении почвы в дозе 1 ПДК в 6,5 раза и в дозе 3 ПДК – в 8,3 раза относительно контроля. При цинковом загрязнении почвы (1 и 3 ПДК) максимальное накопление цинка в побегах *B. napus* зафиксировано при использовании лимонной кислоты и Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг.

При кадмиевом загрязнении почвы (1 и 3 ПДК) значительная аккумулялирующая способность кадмия *B. napus* выявлена при внесении щавелевой кислоты в дозе 5 ммоль/кг (концентрация Cd увеличивается по отношению к контролю в 3,9 и 18 раз соответственно). Значительное увеличение содержания свинца при свинцовом загрязнении почвы отмечено при применении Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг и в дозе 5 ммоль/кг (концентрация свинца увеличивалась в 9,8-16,4 раза). В условиях полиэлементного загрязнения почвы (1 ПДК) наиболее оптимальным эффектором фитоэкстракции Cu, Zn, Pb побегами *B. napus* является Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг (концентрация меди увеличилась в среднем в 4 раза, цинка и свинца – в 2 раза). Повышение накопления кадмия *B. napus* не наблюдалось.

Keywords: heavy metals, phytoextraction, phytoremediation, chelating agents, soil contamination, multi-element contamination, spring rape (*Brassica napus*), Na-EDTA, metal removal, accumulation.

Induced phytoextraction of heavy metals by spring rape (*Brassica napus*) growing under the condition of mono- and multi-element soil contamination

is discussed. The research goal is a comparative study of the effect of citric acid, oxalic acid and Na-EDTA on increased accumulation and removal of heavy metals by seedlings of *Brassica napus* under model contamination of dark chestnut soil. The accumulation of toxic elements in *B. napus* sprouts depended on the dose and type of chelating agent applied. The application of Na-EDTA at a dose of 2 mmol kg increased copper content in the *B. napus* seedlings at copper pollution of soil of MPC excess up to 6.5 times (Dose 1) and MPC excess up to 8.3 times (Dose 3) as compared to the control. In the experiment with zinc-contaminated soil (1 and 3 MPC), the maximum zinc accumulation in the shoots of *B. napus* was recorded with application of citric acid and Na-EDTA in a dose of 2 mmol kg. Under

cadmium soil contamination of 1 and 3 MPC, significant cadmium accumulation by *B. napus* was detected with oxalic acid applied in a dose of 5 mmol kg (3.9 and 18 times increase, respectively). Significant increase of lead content in mono-element soil contamination was found with the use of Na-EDTA at a dose of 2 mmol kg, and at a dose of 5 mmol kg (lead content increased 9.8-16.4 times). Under multi-element soil contamination (1 MPC), 2 mmol kg Na-EDTA application increased copper removal on average 4 times and zinc and lead – up to 2 times respectively. It was the most optimal option for chelate-induced phytoextraction of Cu, Zn, Pb by *B. napus* seedlings. No increased cadmium accumulation by *B. napus* under multi-element contamination was observed.

Койгельдинова Мадина Талгатовна, к.б.н., зав. лаб. элементного анализа, Институт радиационной безопасности и экологии (филиал), Национальный ядерный центр РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: koigeldinova@nnc.kz.

Торопов Андрей Сергеевич, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет; инженер, отдел разработки систем мониторинга окружающей среды, Институт радиационной безопасности и экологии (филиал), Национальный ядерный центр РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: torop990@gmail.com.

Koigeldinova Madina Talgatovna, Cand. Bio. Sci., Head, Elemental Analysis Lab., Institute of Radiation Safety and Ecology (Branch), Natl. Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: koigeldinova@nnc.kz.

Toropov Andrey Sergeevich, post-graduate student, Natl. Research Tomsk Polytechnic University; Engineer, Institute of Radiation Safety and Ecology (Branch), Natl. Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: torop990@gmail.com.

Введение

Огромный потенциал в целях фитомелиорации почв имеют растения, способные аккумулировать тяжелые металлы (ТМ). Суть технологии фитоэкстракции состоит в интенсивном накоплении ТМ корневой частью растений и их транслокации в надземную часть, с их последующей переработкой.

Метод фитоэкстракции сравнительно недорогой; отсутствует вредное химическое воздействие на почву; в практическом применении прост, а главное, в основе данной технологии лежит естественный природный процесс биологического круговорота [1-4].

Для повышения накопления тяжелых металлов в растениях применяют различные хелатообразующие агенты (ХА). Наиболее широко изучены такие ХА, как ЭДТА и ее соли, которые способны образовывать прочные водорастворимые хелатные соединения многих металлов [5, 6].

Цель исследования – провести сравнительное изучение влияния лимонной, щавелевой кислот и Na-ЭДТА на повышение накопления и выноса ТМ растениями *Brassica napus* в условиях моно- и полиэлементного загрязнения темно-каштановой почвы.

Методы исследования

Для модельных опытов отобраны пробы темно-каштановой почвы Семипалатинского Прииртышья Республики Казахстан с глубины 0-20 см.

Путем просеивания выделялась фракция < 3 мм, из которой квартованием отбирался образец весом 1 кг в пластмассовые сосуды. Для эксперимента с моноэлементным загрязнением почвы азотнокислые соли всех элементов (Cu, Zn, Cd, Pb) в виде водных растворов вносили в почву отдельно; для имитации полиэлементного загрязнения – совместно. Использованы дозы металлов 1, 3, 5 ПДК: Cu=100, 300 и 500 мг/кг, Zn=300, 900 и 1500 мг/кг, Cd=3, 9, 15 мг/кг [7], Pb=32, 96, 160 мг/кг [8]. Почву выдерживали в течение 7 дней при температуре (22±1)°C в условиях полной полевой влагоемкости.

В качестве посевной культуры использовали высокоурожайный и районированный по Восточно-Казахстанской области сорт кормовой культуры – рапс яровой сорта «Кубанский» (*Brassica napus*).

Вегетационные опыты были заложены по методике Журбицкого [9]. На сосуд высаживали 30 семян. Полив осуществлялся дистиллированной водой. Уборка растений производилась через 4 недели.

Для экспериментов использовали такие агенты, как лимонная кислота (ЛК), щавелевая кислота (ЩК), а также динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Na-ЭДТА). Водные растворы исследуемых ХА вносили в почву в дозах 1, 2, 5, 10 ммоль/кг за 7 дней до уборки вегетативной массы.

Концентрацию меди, цинка, свинца и кадмия в почве и растениях определяли фотоколориметрическим дитизоновым методом Ринькиса [10] с использованием спектрофотометра СФ-2000. Повторность опытов – трехкратная. Достоверность различий между вариантами опыта оценивали с использованием t-критерия Стьюдента [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Содержание ТМ в проростках *Brassica parus* в условиях индуцируемой фитоэкс-

тракции. При моноэлементных загрязнений почвы (5 ПДК) и в условиях полиэлементного загрязнения почвы в дозе 3 и 5 ПДК зафиксирована гибель проростков *B. parus*.

Медное загрязнение почвы. В варианте медного загрязнения почвы (1 ПДК) воздействие ЛК (1 и 2 ммоль/кг) на повышение накопления меди побегами было малоэффективным (табл. 1). С увеличением концентрации ЛК (5 и 10 ммоль/кг) выявлено увеличение транслокации меди в побеги в среднем в 2,6 раза.

При повышении медного загрязнения почвы до 3 ПДК максимальная концентрация меди в побегах наблюдалась при использовании ЛК в дозе 2 ммоль/кг (208 мг/кг), что было в 3 раза выше содержания металла в варианте без внесения агента.

Таблица 1

Содержание ТМ (мг/кг) в *Brassica parus* при добавке исследуемых эффекторов фитоэкстракции в дозе 1, 2, 5 и 10 ммоль/кг

Вариант	Cu-1 ПДК	Cu-3 ПДК	Zn-1 ПДК	Zn-3 ПДК	Cd-1 ПДК	Cd-3 ПДК	Pb-1 ПДК	Pb-3 ПДК
Без внесения ХА	32,0±1,60	67,0±3,40	340±16,0	1600±100	3,65±0,20	4,40±0,20	6,40±0,30	16,6±0,70
	98,0±7,00	202±16,5	670±47,0	1900±140	14,0±0,90	15,0±0,60	10,0±0,50	29,0±1,50
ЛК-1	27,6±1,00	78,0±5,60	506±19,0	1810±120	4,10±0,30	6,30±0,30	7,80±0,40	19,0±0,90
	104±6,30	107±6,80	302±16,0	1710±130	7,20±0,30	12,0±0,50	15,0±0,65	46,0±2,00
ЛК-2	37,0±0,90	208±16,0	880±35,0	2800±215	4,60±0,20	19,0±0,80	6,90±0,30	27,0±1,20
	72,0±4,00	112±6,70	176±5,80	1390±81	16,5±1,00	7,10±0,30	8,50±0,40	34,0±1,70
ЛК-5	89,0±3,6	101±7	410±17,0	3100±230	10,0±0,4	12,0±0,5	9,80±0,30	58,0±2,90
	212±15,6	306±24	260±9,50	860±53	12,0±0,6	15,6±0,8	12,0±0,60	46,0±2,20
ЛК-10	76,4±3,00	81,6±3,70	426±30,0	2450±160	5,0±0,2	8,2±0,4	10,6±0,40	36,2±1,4
	181±12,0	219±14,5	312±20,0	1710±93	10,0±0,5	21,0±1,2	14,2±0,70	19,2±1,0
ЩК-1	50,4±1,7	91,3±7,2	360±15,0	1880±100	3,20±0,14	5,80±0,20	7,9±0,4	18,5±0,8
	69,2±6,0	111,0±7,0	523±29,0	1690±86	5,70±0,20	18,0±0,75	14,3±0,7	37,2±1,4
ЩК-2	82,0±5,60	40,5±2,00	414±28,0	2420±114	6,5±0,2	42,2±2,50	8,70±0,30	53,0±2,20
	70,5±4,10	90,0±5,00	272±12,0	805±31	12,2±0,6	9,16±0,40	11,6±0,50	16,8±0,85
ЩК-5	51±3	76,2±5,2	592±34	2050±120	14,1±0,8	78,6±4,2	19,0±0,8	88,5±4,4
	307±19	341±20	473±29	972±47	10,5±0,5	13,2±0,5	6,7±0,3	102,0±5,0
ЩК-10	46,8±3,0	70,3±3,5	671±46	2640±100	13,2±0,8	20,5±0,7	25,3±1,1	62,7±2,8
	80,0±6,0	134,0±9,5	415±26	1100±55	16,1±0,9	18,0±0,8	8,6±0,4	26,1±1,3
Na-ЭДТА-1	74,3±4,8	71±4	602±34	2320±110	3,4±0,2	5,0±0,2	14,1±0,5	52,4±2,4
	85,4±5,0	315±14	461±23	1580±65	12,2±0,5	17,5±1,0	15,6±0,7	165,0±7,0
Na-ЭДТА-2	205±16	552±28	715±49	3250±178	9,8±0,4	32,0±1,4	82,0±4,3	163±7
	70±3	105±6	296±16	958±46	20,0±1,0	13,0±0,5	15,8±0,6	122±4
Na-ЭДТА-5	187±10	612±34	967±62	1800±100	6,1±0,3	8,3±0,3	105±6,0	208±10
	336±16	247±21	454±24	1505±92	14,8±0,8	9,4±0,4	17,0±0,8	39,0±1,6
Na-ЭДТА-10	270±13	408±37	981±45	2100±110	9,1±0,4	10,0±0,5	97±5	137±7
	243±12	302±20	506±27	1620±100	17,1±0,8	16,0±0,8	20±0,9	51±2

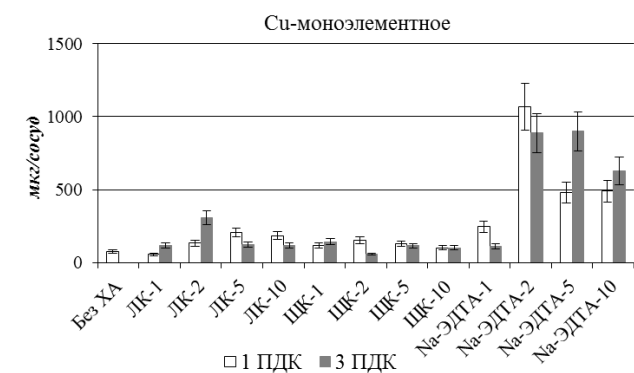
Примечание (табл. 1, 2). В числителе – содержание ТМ в побегах; знаменателе – в корнях.

Увеличение дозы ЦК от 1 до 10 ммоль/кг не оказало значительного стимулирующего воздействия на аккумуляцию меди *B. napus*.

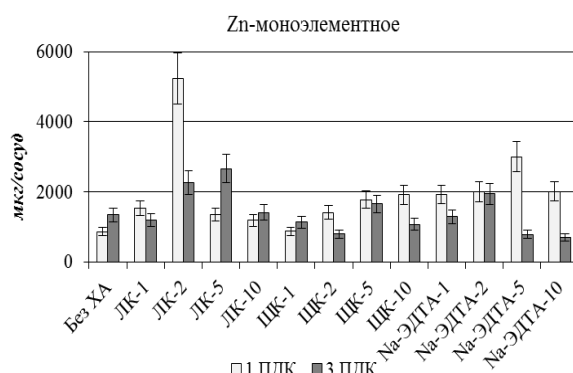
При медном загрязнении почвы (1 ПДК) внесение в почву Na-ЭДТА (1-10 ммоль/кг) привело к повышению концентрации меди в побегах в 2,0-8,5 раза относительно варианта без внесения агента (табл. 1). В варианте загрязнения Cu-3 ПДК увеличение меди в побегах зафиксировано при внесении Na-ЭДТА до 5 ммоль/кг (612 мг/кг), где превышение составило в 9 раз. По эффек-

тивности воздействия исследуемые факторы составили убывающий ряд: Na-ЭДТА > ЛК > ЦК. В вариантах опыта для *Brassica napus* выявлен акропетальный характер накопления меди.

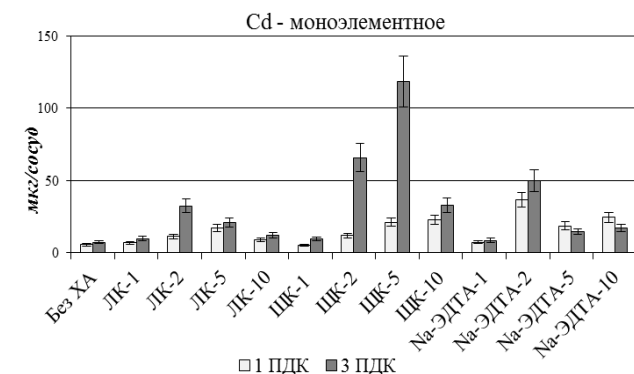
Максимальный вынос меди в случае загрязнения почвы Cu-1 ПДК выявлен при использовании Na-ЭДТА в дозе 2 ммоль/кг (рис.). При повышении медного загрязнения почвы (3 ПДК) значительный вынос меди обеспечило применение Na-ЭДТА в дозе 2 и 5 ммоль/кг.



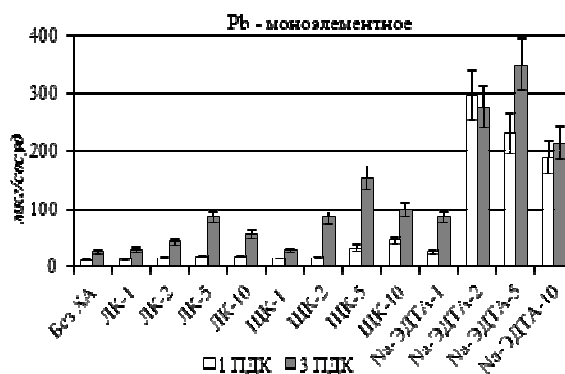
а



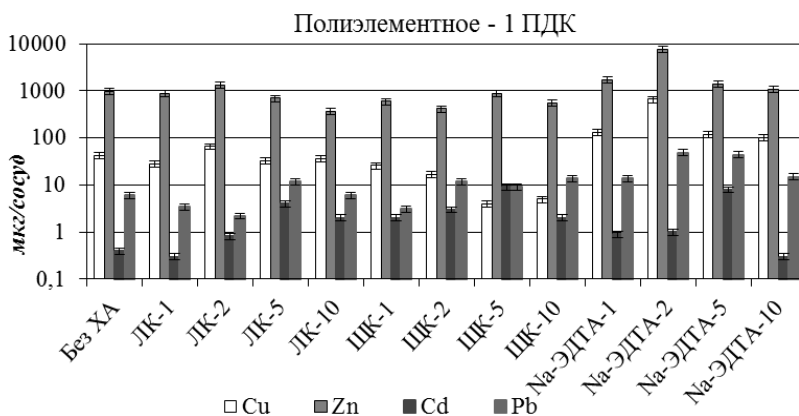
б



в



г



д

Рис. Вынос ТМ побегами *B. napus* при внесении хелатообразующих агентов: а – цинковое загрязнение; б – медное загрязнение; в – кадмиевое загрязнение; г – свинцовое загрязнение; д – полиэлементное загрязнение

Цинковое загрязнение почвы. В условиях цинкового загрязнения (1 ПДК) наибольшее содержание данного металла выявлено в вариантах с внесением Na-ЭДТА и ЛК (табл. 1). В варианте Zn-3 ПДК наиболее эффективно усиление накопления цинка *V. parus* наблюдалось при добавлении Na-ЭДТА в дозировке 2 ммоль/кг и ЛК в дозировке 5 ммоль/кг.

Таким образом, культура *V. parus* имеет огромный потенциал для применения в целях фитомелиорации почв, загрязненных цинком (рис.).

Внесение ЛК в дозе 2 ммоль/кг при цинковом загрязнении почвы (1 ПДК) привело к максимальному увеличению выноса цинка *V. parus*. При увеличении загрязнения почвы (Zn-3 ПДК) наибольшее отчуждение цинка отмечено в случаях добавки ЛК в дозировке 2 и 5 ммоль/кг и Na-ЭДТА в дозировке 2 ммоль/кг.

Анализ данных показал, что в исследованных вариантах одноэлементного загрязнения почвы высокий вынос цинка растениями *V. parus* можно осуществлять при внесении минимальных (2 ммоль/кг) и средних доз агентов (5 ммоль/кг). Более высокие дозы эффекторов фитоэкстракции (10 ммоль/кг) для накопления ТМ являются экономически и экологически неоправданными. Применение высоких концентраций хелатообразующих агентов может привести к загрязнению грунтовых вод вследствие повышения подвижности металлов в грунте [6]. Таким образом, *V. parus* можно применять для фитомелиорации почв, загрязненных цинком (300 мг/кг), с использованием ЛК в дозировке 2 ммоль/кг, либо Na-ЭДТА в дозировке 2 и 5 ммоль/кг. Отмечено, что значительное увеличение выноса цинка в вариантах опыта Zn-3ПДК идет за счет высокого содержания цинка в побегах (1800-3250 мкг/сосуд). Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что культура *V. parus* не пригодна для фитомелиорации почв с высоким уровнем цинкового загрязнения (900 мг/кг и более). В технологии фитоэкстракции экологически более верным путем является увеличение относительной скорости выноса металлов из загрязненной почвы за счет инициирования роста массы надземной части растений [12].

Кадмиевое загрязнение почвы. Наиболее эффективной в увеличении накопления кадмия *V. parus* была ЩК по сравнению с другими эффекторами (табл. 1). Наибольший эффект накопления Cd в условиях

кадмиевого загрязнения почвы (1 ПДК) побегами *V. parus* выявлен в основном при внесении ЩК 5 ммоль/кг (14 мг/кг), затем в варианте ЛК 5 ммоль/кг (10 мг/кг) и Na-ЭДТА 2 ммоль/кг (9,8 мг/кг). В данных случаях установлено превышение концентрации кадмия в надземной части *V. parus* относительно варианта без внесения агента в среднем в 3 раза, а в случае с ЩК – в 4 раза.

При кадмиевом загрязнении почвы (3 ПДК) наибольшее накопление Cd побегами *V. parus* установлено при добавлении ЩК. Так, при использовании ЩК в дозе от 1 до 10 ммоль/кг концентрация кадмия в побегах (5,8-78,6 мг/кг) была выше варианта без внесения агента в 1,3-18 раз.

Как видно из рисунка, в условиях кадмиевого загрязнения почвы (1 ПДК) высокие показатели выноса кадмия побегами *V. parus* наблюдались в варианте применения Na-ЭДТА (2 и 10 ммоль/кг) и в варианте использования ЩК (5 и 10 ммоль/кг). При повышении кадмиевого загрязнения почвы до 3 ПДК максимальный вынос кадмия побегами *V. parus* выявлен в вариантах внесения ЩК 5 ммоль/кг.

Свинцовое загрязнение почвы. Выявлено, что в условиях свинцового загрязнения (1 ПДК) наиболее эффективным среди исследуемых хелатообразующих агентов оказался Na-ЭДТА. При использовании Na-ЭДТА от 1 до 10 ммоль/кг концентрация свинца в побегах *V. parus* составила от 14-105 мг/кг, что было выше варианта опыта без внесения агента в 2,2-16 раз (табл. 1).

Применение Na-ЭДТА в дозировке от 1 до 10 ммоль/кг обусловило повышение содержания свинца в побегах (52,4 до 208 мг/кг), где увеличение относительно варианта опыта без внесения агента составило в 3-13 раз. Выявлено, что при свинцовом загрязнении почвы (3 ПДК) внесение ЛК увеличивало содержание свинца в побегах только до 3,5 раза относительно варианта без внесения агента, а при добавке ЩК – до 5 раз. По эффективности воздействия исследуемые эффекторы составили ряд от более к менее эффективным: Na-ЭДТА > ЩК > ЛК. Значительное увеличение выноса свинца (рис.) при свинцовом загрязнении почвы выявлено при использовании Na-ЭДТА в дозах 2 и 5 ммоль/кг.

Результаты применения исследуемых эффекторов фитоэкстракции в условиях полиэлементного загрязнения почвы в дозе 1 ПДК представлены в таблице (табл. 2).

Содержание ТМ (мг/кг) в *V. parvis* при использовании эффекторов фитоэкстракции в условиях полиэлементного загрязнения почвы в дозе 1 ПДК

Вариант	Cu	Zn	Cd	Pb
Без внесения агента	$28,5 \pm 1,17$	$655 \pm 33,5$	$0,30 \pm 0,02$	$4,40 \pm 0,20$
	$42,7 \pm 2,16$	$835 \pm 42,3$	$2,40 \pm 0,12$	$8,02 \pm 0,41$
ЛК-1	$22,1 \pm 0,88$	$714 \pm 34,3$	$0,26 \pm 0,01$	$2,70 \pm 0,10$
	$72,5 \pm 3,75$	$472 \pm 17,2$	$3,10 \pm 0,14$	$14,6 \pm 0,70$
ЛК-2	$45,4 \pm 1,80$	$908 \pm 43,7$	$0,57 \pm 0,03$	$1,54 \pm 0,07$
	$193 \pm 10,5$	$583 \pm 22,7$	$2,40 \pm 0,15$	$13,5 \pm 0,55$
ЛК-5	$20,4 \pm 0,77$	$435 \pm 17,8$	$2,50 \pm 0,12$	$7,20 \pm 0,35$
	$144 \pm 6,58$	$357 \pm 14,0$	$0,61 \pm 0,03$	$16,1 \pm 0,80$
ЛК-10	$31,4 \pm 1,02$	$326 \pm 13,2$	$2,10 \pm 0,10$	$5,30 \pm 0,28$
	$156 \pm 8,90$	$518 \pm 29,0$	$3,40 \pm 0,14$	$15,0 \pm 0,65$
ЩК-1	$17,3 \pm 0,74$	$401 \pm 22,5$	$1,64 \pm 0,07$	$2,04 \pm 0,10$
	$68,1 \pm 3,05$	$556 \pm 27,0$	$3,01 \pm 0,14$	$11,6 \pm 0,48$
ЩК-2	$10,1 \pm 3,80$	$239 \pm 10,1$	$2,00 \pm 0,10$	$6,70 \pm 0,31$
	$95,0 \pm 5,41$	$406 \pm 21,1$	$2,05 \pm 0,10$	$15,6 \pm 0,70$
ЩК-5	$2,40 \pm 0,09$	$560 \pm 31,7$	$5,50 \pm 0,28$	$5,81 \pm 0,26$
	$63,0 \pm 2,68$	$538 \pm 26,3$	$3,12 \pm 0,13$	$10,3 \pm 0,42$
ЩК-10	$3,10 \pm 0,09$	$320 \pm 22,5$	$1,02 \pm 0,04$	$8,40 \pm 0,35$
	$26,4 \pm 1,05$	$462 \pm 32,2$	$2,14 \pm 0,11$	$19,1 \pm 1,01$
Na-ЭДТА-1	$60,2 \pm 6,17$	$831 \pm 52,4$	$0,41 \pm 0,02$	$6,40 \pm 0,25$
	$87,7 \pm 4,38$	$506 \pm 23,8$	$2,30 \pm 0,12$	$5,60 \pm 0,22$
Na-ЭДТА-2	$124 \pm 8,71$	1419 ± 108	$0,36 \pm 0,02$	$9,20 \pm 0,28$
	$160 \pm 6,56$	$441 \pm 22,5$	$1,47 \pm 0,07$	$20,1 \pm 0,87$
Na-ЭДТА-5	$41,8 \pm 2,62$	$482 \pm 30,5$	$2,80 \pm 0,12$	$15,1 \pm 0,09$
	$210 \pm 12,2$	$512 \pm 24,1$	$0,55 \pm 0,03$	$30,6 \pm 1,08$
Na-ЭДТА-10	$56,2 \pm 2,56$	$581 \pm 37,4$	$0,18 \pm 0,01$	$7,80 \pm 0,35$
	$143 \pm 6,02$	$344 \pm 13,5$	$0,91 \pm 0,04$	$24,2 \pm 1,02$

При полиэлементном загрязнении почвы в условиях воздействия изучаемых хелатообразующих агентов выявлено значительное уменьшение содержания в побегах *V. parvis* Pb, Cd, Cu сравнительно с моноэлементными вариантами загрязнения почвы (табл. 2). Вероятно, понижение накопления связано с конкурентным механизмом транслокации исследуемых элементов в побеги, в частности, с антагонистичным влиянием образуемых комплексов с Zn, так как содержание цинка в почве значительно превышало концентрацию других элементов ($Cu_{100}Zn_{300}Cd_3Pb_{32}$). При полиэлементном загрязнении почвы (1 ПДК) максимальный вынос цинка, меди и свинца побегами *V. parvis* происходило при использовании Na-ЭДТА в дозировке 2 ммоль/кг [13].

Заключение

Накопление исследуемых элементов побегами *V. parvis* зависело от вида и дозы применяемого хелатообразующего агента. Внесение Na-ЭДТА в дозировке 2 ммоль/кг способствовало увеличению содержания меди в побегах *V. parvis* при медном загрязнении почвы в дозе 1 ПДК в 6 раз и в дозе 3 ПДК – в 8 раз относительно контрольного варианта. При цинковом загрязнении почвы (1 и 3 ПДК) максимальное накопление цинка в побегах *V. parvis* зафиксировано при использовании лимонной кислоты и Na-ЭДТА в дозировке 2 ммоль/кг. При кадмиевом загрязнении почвы (1 и 3 ПДК) значительная аккумулярующая способность кадмия *V. parvis* зафиксирована при использовании щавелевой кислоты в дозировке 5 ммоль/кг

(содержание Cd увеличивалось по отношению к контролю в 3,9 и 18 раз соответственно). Значительное увеличение содержания свинца при свинцовом загрязнении почвы выявлено при применении Na-ЭДТА в дозировке 2 и 5 ммоль/кг (содержание свинца увеличивалась в 9,8-16,4 раза).

В условиях полиэлементного загрязнения почвы (1 ПДК) наиболее оптимальным фактором фитоэкстракции Cu, Zn, Pb побегами *V. parvis* является Na-ЭДТА в дозировке 2 ммоль/кг (содержание меди увеличилось в среднем в 4 раза, цинка и свинца – в 2 раза). Повышение накопления кадмия *V. parvis* не наблюдалось.

Библиографический список

1. Башмаков Д.И., Лукаткин А.С. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 236 с.
2. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Фитоэкстракция тяжелых металлов из загрязненных почв // Агрехимия. – 2003. – № 3. – С. 77-85.
3. Chaney R.L., Malik M., Li Y.M., et al. Phytoremediation of soil metals // Current Opin. Biotechnol. – 1997. – Vol. 8 (3). – P. 279-284.
4. Prasad M.N.V. Metal-tolerant plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology / M.N.V. Prasad, H. Freitas // Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation. – Boca Raton, London. – New York: CRC Press, Taylor & Fransis Group, 2006. – Chapter 25. P. 483-506.
5. Peters R.W. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils // J. Hazard Mater. – 1999. – Vol. 66 (1-2). – P. 151-210.
6. Huang J.W.W., Chen J.J., Berti W.R., Cunningham S.D. Phytoremediation of lead contaminated soils – role of synthetic chelates in lead phytoextraction // Env. Sci. Technol. – 1997. – Vol. 31. – P. 800-805.
7. Kloke A. Richwerte '80, Orientierungsdaten fuer tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturbeden // Mitt. VDLUFA. – 1980. – Nr. 2. – S. 9-11.
8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы (ГН 2.1.7.2041-06). – М.: Информ.-издат. центр Госкомсанэпиднадзора России, 2006.
9. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука, 1968. – 263 с.

10. Ринькис Г.Я. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов биологических объектов. – Рига: Зинатне, 1987. – 175 с.

11. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

12. Дричко В.Ф., Ефремова М.А., Изосимова А.А. Математическая модель накопления радионуклидов и тяжелых металлов растениями из почвы // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – Т. 49. – № 2. – С. 166-171.

13. Койгельдинова М.Т. Фитоэкстракция тяжелых металлов из искусственно загрязненной темно-каштановой почвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2011. – 20 с.

References

1. Bashmakov D.I., Lukatkin A.S. Ekologo-fiziologicheskie aspekty akkumulyatsii i raspredeleniya tyazhelykh metallov u vysshikh rasteniy. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2009. – 236 s.
2. Galiulin R.V., Galiulina R.A. Fitoekstraksiya tyazhelykh metallov iz zagryaznennykh pochv // Agrokhiimiya. – 2003. – № 3. – S. 77-85.
3. Chaney R.L., Malik M., Li Y.M., et al. Phytoremediation of soil metals // Current Opin. Biotechnol. – 1997. – Vol. 8 (3). – P. 279-284.
4. Prasad M.N.V. Metal-tolerant plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology / M.N.V. Prasad, H. Freitas // Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation. – Boca Raton, London. – New York: CRC Press, Taylor & Fransis Group, 2006. – Chapter 25. P. 483-506.
5. Peters R.W. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils // J. Hazard Mater. – 1999. – Vol. 66 (1-2). – P. 151-210.
6. Huang J.W.W., Chen J.J., Berti W.R., Cunningham S.D. Phytoremediation of lead contaminated soils – role of synthetic chelates in lead phytoextraction // Env. Sci. Technol. – 1997. – Vol. 31. – P. 800-805.
7. Kloke A. Richwerte '80, Orientierungsdaten fuer tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturbeden // Mitt. VDLUFA. – 1980. – Nr. 2. – S. 9-11.
8. Predelno dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: gigienicheskie normativy (GN 2.1.7.2041-06). – М.: Inform.-izdat. tsentr Goskomsanepidnadzora Rossii, 2006.
9. Zhurbitskiy Z.I. Teoriya i praktika vegetatsionnogo metoda. – М.: Nauka, 1968. – 263 s.

10. Rinkis G.Ya. Metody uskorenного kolorimetriceskogo opredeleniya mikroelementov biologicheskikh obektov. – Riga: Zinatne, 1987. – 175 s.

11. Lakin G.F. Biometriya. – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 352 s.

12. Drichko V.F., Efremova M.A., Izosimova A.A. Matematicheskaya model nako-pleniya radionuklidov i tyazhelykh metallov

rasteniyami iz pochvy // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2009. – Т. 49. – № 2. – S. 166-171.

13. Koygeldinova M.T. Fitoekstraktsiya tyazhelykh metallov iz iskusstvenno zagryaznennoy temno-kashtanovoy pochvy: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Novosibirsk, 2011. – 20 s.



УДК 631.618(063)

В.М. Самаров
V.M. Samarov

РОЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ В ОПТИМИЗАЦИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КУЗБАССА

ROLE OF AGRICULTURAL RECLAMATION IN OPTIMIZATION OF KUZBASS ENVIRONMENT

Ключевые слова: сельскохозяйственная рекультивация, многолетние злаковые и бобовые травы, нормы высева, количество побегов, высота растений, урожайность.

Земельные ресурсы составляют основу целостности и базис развития любого государства, а при их эффективном и рациональном использовании являются одной из важнейших предпосылок устойчивого развития. Наряду с этим рациональное использование и охрана земельных ресурсов – одна из главных задач любого общества. В условиях Кузбасса основными типами нарушенных земель являются карьерные выемки, сопутствующие им внешние породные отвалы, формирующиеся при открытой добыче угля, поверхности с преобладанием провальных форм рельефа (проседания, провалы, большие трещины, оползни), карьерные выемки отходов обогащенного угля, гидроотвалы. Особенно велика доля нарушенных земель на территории Кузнецкого угольного бассейна. Площадь обработанных земель, которые подлежат рекультивации ежегодно, растут, составляют более 17 тыс. га, то есть 10,4%. По площади пашни на душу населения, равной 0,85 га, Россия входит в первую пятерку стран планеты Земля и в 3,3 раза превышает среднемировой уровень. Кемеровская область среди регионов Западной Сибири является самой мало-земельной. На каждого жителя приходится всего 0,4 га пашни. Поэтому сохранение плодородной пашни является в области актуальной задачей.

Keywords: agricultural reclamation, perennial cereal grasses and legume grasses, sowing rates, number of shoots, plant height, yield.

Land resources are the basis of integrity and basis of any nation development and provided they are used efficiently and rationally, they may be one of the most important prerequisite for sustainable development. Besides, the rational use and protection of land resources are one of the main tasks of any society. Under the conditions of the Kuzbass, the main types of disturbed lands are open pits along with external rock dumps which are formed at open coal mining, surfaces with a predominance of failed landforms (subsidence, dips, big cracks, and landslides); borrow excavations filled with upgraded coal wastes, and sludge ponds. The proportion of disturbed lands is particularly high in the territory of the Kuznetsk coal basin. The area of disturbed lands which are subject to reclamation is growing from year to year, and at present is more than 17 thousand ha, or 10.4%. According to the area of arable land per capita of 0.85 ha, Russia is among the top five countries of the world; this is 3.3 times higher than the average world level. The Kemerovo Region is considered to have insufficient arable lands among the regions of West Siberia. There are 0.4 ha of arable land only per each inhabitant. Therefore, the preservation of fertile arable land is an important task.

Самаров Виктор Моисеевич, д.с.-х.н., проф., каф. земледелия и растениеводства, Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт. E-mail: agriculture@ksai.ru.

Samarov Viktor Moiseyevich, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Agriculture and Crop Production, Kemerovo State Agricultural Institute. E-mail: agriculture@ksai.ru.