

МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 579.66+58.04+58.02

DOI: 10.17072/1994-9952-2018-4-385-392.

А. В. Тищенко^a, Л. В. Литвиненко^b, И. Б. Ившина^{a, b}

^a Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

^b Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ФГБУН ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ КАДМИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *RHODOCOCCUS*-БИОСУРФАКТАНТОВ

Изучено влияние кадмия на прорастание семян сельскохозяйственных растений: вики полевой (*Vicia sativa* L.), горчицы белой (*Sinapis alba* L.) и овса посевного (*Avena sativa* L.) в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов. Биосурфактанты способствуют ослаблению негативного воздействия кадмия за счёт их десорбции от компонентов почвы с последующим образованием стабильных комплексов «биосурфактант-металл», а также стимулируют рост корневой системы растений. Кадмий в концентрации 50 ПДК и выше оказывает выраженное угнетающее действие на прорастание семян. Обработка семян и их прорастание в присутствии биосурфактантов способствуют значительному (от 1.2 до 8.7 раз) увеличению всхожести, энергии прорастания и жизнеспособности проростков в условиях загрязнения среды солями кадмия. Разработан экологически безопасный способ снижения токсического действия кадмия на рост сельскохозяйственных культур растений: *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L. и *Vicia sativa* L. в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов.

Ключевые слова: *Rhodococcus*-биосурфактанты; тяжелые металлы; фитотоксичность.

A. V. Tishchenko^a, L. V. Litvinenko^b, I. B. Ivshina^{a, b}

^a Perm State University, Perm, Russian Federation

^b Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS, Perm, Russian Federation

DECREASE OF PHYTOTOXICITY OF CADMIUM ASSISTED WITH *RHODOCOCCUS*-BIOSURFACTANTS

The effect of cadmium on the germination of seeds of agricultural plants common vetch (*Vicia sativa* L.), white mustard (*Sinapis alba* L.) and oats (*Avena sativa* L.) in the presence of *Rhodococcus*-biosurfactants was studied. Cadmium in concentrations from 50 MPC and above had a pronounced inhibitory effect on the germination of seeds. It has been found that pretreatment of seeds and their germination in the presence of biosurfactants contributed to a significant (up to 8.7 times) increase in germination, germinative energy and viability of *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L. and *Vicia sativa* L. An ecologically safe method has been developed for reducing the toxic effect of copper on the growth of plant crops: *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L. and *Vicia sativa* L. in the presence of *Rhodococcus* biosurfactants.

Key words: *Rhodococcus*-biosurfactants; heavy metals; phytotoxicity.

Введение

Выбросы промышленных предприятий существенно увеличивают загрязнение окружающей природной среды (в том числе земель сельскохозяйственного назначения) тяжелыми металлами (ТМ). Токсическое действие ТМ заключается в их аккумулярующем эффекте и нарушении метаболических процессов живых организмов [Яблокова, Стародумов, Лазарев, 2011; Воднянский, 2012].

Одним из наиболее токсичных металлов является кадмий, который относится к первому классу опасности. Ежегодно в окружающую среду попа-

дает около 25 000 т кадмия. Он присутствует в цинковых рудах и в качестве побочного продукта образуется при добыче цинка. Кадмий по механизму воздействия на организм аналогичен ртути. Водорастворимые соединения кадмия после всасывания в кровь поражают центральную нервную систему, печень и почки, подавляют работу ферментативных систем, нарушают фосфорно-кальциевый обмен и синтез ДНК [Ульяненко и др., 2010; Коротченко, Львова, 2015; Слабко, Лопатина, 2016]. Накопление кадмия высшими растениями приводит к ингибированию их роста, укорачиванию побегов, подавлению процесса корнеобра-

зования, снижению тургорного давления, а также к снижению содержания каротиноидов и хлорофилла [Аветисян, Колесников, Аветисян, 2017].

В настоящее время актуален поиск экологически безопасных способов снижения токсического действия ТМ на рост и развитие сельскохозяйственных культур растений. Перспективными соединениями, способствующими увеличению устойчивости растений к ТМ, являются экологически безопасные *Rhodococcus*-биосурфактанты. Ранее нами было показано влияние *Rhodococcus*-биосурфактантов на снижение фитотоксичности свинца [Литвиненко, Тищенко, 2017].

Цель настоящего исследования – оценка влияния *Rhodococcus*-биосурфактантов на фитотоксичность кадмия.

Материал и методы исследования

Материал

В работе использовали семена овса посевного (*Avena sativa* L.), горчицы белой (*Sinapis alba* L.) и вики полевой (*Vicia sativa* L.), которые проращивали в водном растворе кадмия уксуснокислого 2-водного, а также штамм актинобактерий *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 231 – активный продуцент биосурфактантов из Региональной профилированной коллекции алкнотрофных микроорганизмов (акроним коллекции ИЭГМ, номер 768 во Всемирной федерации коллекций культур http://www.iegmcoll.ru/strains/rhodoc/ruber/r_ruber231.html).

Методы исследования

Растворы соли кадмия ($\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) вносили в количестве 1, 10, 50, 100 и 200 предельно-допустимых концентраций (ПДК), что составило по Cd – 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 и 2.0 мг/кг почвы с учетом фона (кларка), соответственно. Дозы кадмия определяли по содержанию элемента в химически чистой соли. Содержание металла рассчитывали на основании атомных масс. Уровень фитотоксичности определяли в соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности (Фитотест)» [МР 2.1.7.2297-07, 2007].

Исследования проводили на базе учебного ботанического сада Пермского государственного национального исследовательского университета. Условия проращивания: подсветка белыми люминесцентными лампами, спектр которых максимально приближен к дневному свету; температура 23–25°C; pH 6.3–6.5.

Для получения сурфактантов бактериальные клетки выращивали в минеральной среде “*Rhodococcus Sufactant*” (г/л): Na_2HPO_4 – 2.0; KH_2PO_4 – 2.0; KNO_3 – 1.0; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 2.0; NaCl –

1.0; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.2; $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ – 0.02; $\text{FeCl}_3 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.01 [Ivshina et al., 1998] в течение 7 сут. (160 об/мин, 28°C). В качестве источника углерода использовали *n*-додекан (C_{12}) и *n*-гексадекан (C_{16}) в концентрации 3 об.%. Неочищенные *Rhodococcus*-биосурфактантные комплексы гликолипидной природы, продуцируемые родококками при росте на жидких углеводородах, получали методом [Kuyukina et al., 2001]. Для этого 5–7-суточную бактериальную культуру, выращенную в среде RS, отстаивали в делительной воронке, после чего сливали нижний прозрачный водный слой. Оставшуюся однородную гидрофобную маслянистую массу подвергали ультразвуковому озвучиванию (30 мин.) в условиях обязательного охлаждения. Для разграничения биосурфактантов (БС), полученных при росте родококков на *n*-алканах C_{12} и C_{16} , использовали обозначения: *Rhodococcus*-биосурфактанты C_{12} / БС C_{12} и *Rhodococcus*-биосурфактанты C_{16} / БС C_{16} , соответственно.

Эксперименты по проращиванию семян проводили в трёхкратной повторности. В чашку Петри помещали по 25 сухих здоровых семян и добавляли 5 мл эмульсии *Rhodococcus*-биосурфактантов и ацетата кадмия в разных концентрациях. В качестве контроля использовали: (1) дистиллированную воду; (2) водные растворы биосурфактантов в концентрациях 2.0, 4.0 и 8.0 г/л; (3) водные растворы ацетата кадмия. Энергию прорастания определяли на третьи сутки, всхожесть и длину проростков – на седьмые сутки эксперимента.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с вычислением среднего арифметического, стандартной ошибки, среднеквадратичного отклонения и доверительного интервала с помощью пакета компьютерных программ Microsoft Excel 2007 (Microsoft Inc., 2007).

Результаты и их обсуждение

Выявлена прямая зависимость влияния обработки семян *Rhodococcus*-биосурфактантами на снижение (до 8.7 раз) фитотоксичности кадмия. Энергия прорастания семян всех использованных в работе видов растений в присутствии биосурфактантов до 8.5 раз выше, по сравнению с таковой в условиях загрязнения кадмием (табл. 1).

По нашим данным, *Rhodococcus*-биосурфактанты стимулируют всхожесть семян сельскохозяйственных растений. Как видно из рис. 1–3, всхожесть семян в условиях загрязнения кадмием после обработки их биосурфактантами до 5 раз превышает таковую без обработки. Внесение кадмия в концентрации 100 ПДК привело к снижению всхожести семян горчицы, тогда как после обработки их биосурфактантами до 48% семян проросло в присутствии данного уровня загрязнения

среды кадмием.

Таблица 1

Влияние кадмия на энергию прорастания (%) семян в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов

Вариант эксперимента	Овёс посевной		Горчица белая		Вика полевая	
	БС С ₁₂	БС С ₁₆	БС С ₁₂	БС С ₁₆	БС С ₁₂	БС С ₁₆
Контроль	90		75		68	
Cd ²⁺ 1 ПДК	85		62		14	
Cd ²⁺ 10 ПДК	57		45		8	
Cd ²⁺ 50 ПДК	26		26		8	
Cd ²⁺ 100 ПДК	14		0		4	
Cd ²⁺ 200 ПДК	9		0		0	
БС 2 г/л	92	91	74	82	87	74
БС 4 г/л	94	92	82	83	90	70
БС 8 г/л	89	96	91	78	84	69
1 ПДК / 2 г/л	92	88	74	77	67	62
1 ПДК / 4 г/л	89	93	78	87	75	76
1 ПДК / 8 г/л	84	86	62	79	68	65
10 ПДК / 2 г/л	70	71	70	78	50	51
10 ПДК / 4 г/л	75	76	72	72	59	53
10 ПДК / 8 г/л	65	67	66	74	50	50
50 ПДК / 2 г/л	36	42	48	45	30	32
50 ПДК / 4 г/л	62	47	50	44	35	34
50 ПДК / 8 г/л	54	43	44	40	29	30
100 ПДК / 2 г/л	46	44	35	30	18	20
100 ПДК / 4 г/л	48	34	38	34	24	28
100 ПДК / 8 г/л	32	29	34	32	20	16
200 ПДК / 2 г/л	30	25	0	0	0	0
200 ПДК / 4 г/л	36	27	0	0	0	0
200 ПДК / 8 г/л	35	24	0	0	0	0

Примечание. В графе “Вариант эксперимента” представлены использованные в работе растворы в виде концентраций кадмия, ПДК / *Rhodococcus*-биосурфактантов, г/л.

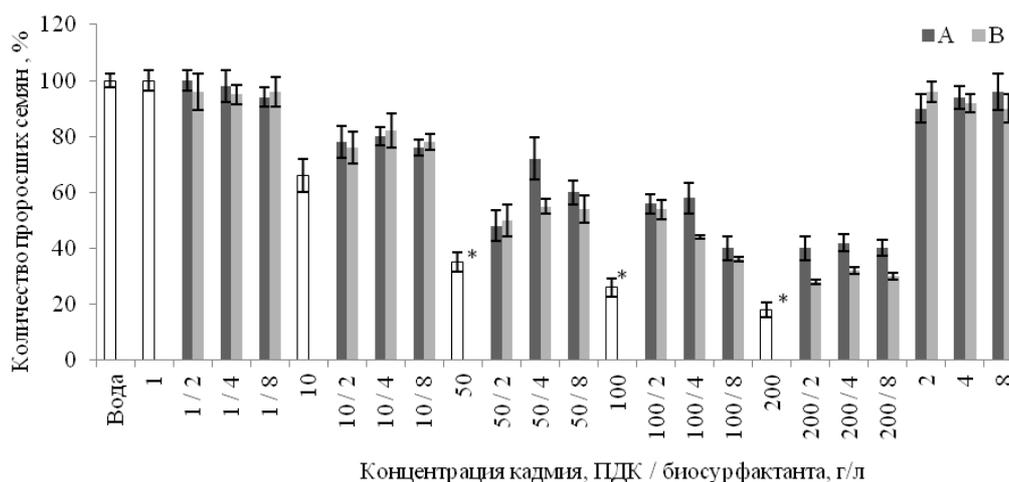


Рис. 1. Влияние кадмия на всхожесть семян *Avena sativa* L. в присутствии биосурфактантов: А – БС С₁₂, В – БС С₁₆, Вода – контроль; 1, 10, 50, 100, 200 – кадмий в концентрации 1, 10, 50, 100, 200 ПДК; 1/2, 1/4, 1/8 – концентрация биосурфактантов, г/л. *Статистически достоверно (p < 0.05) от *Rhodococcus*-биосурфактантов

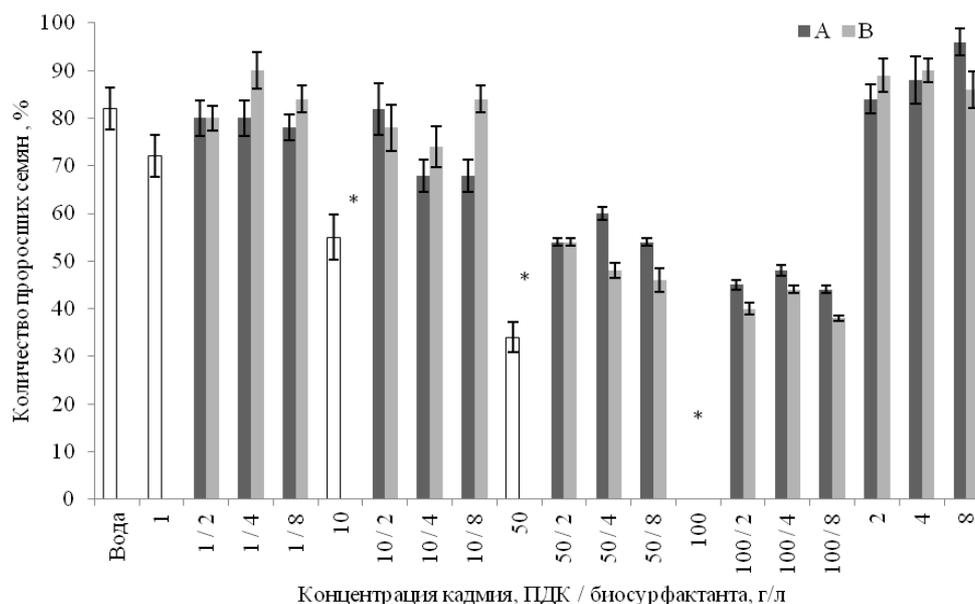


Рис. 2. Влияние кадмия на всхожесть семян *Sinapis alba* L. в присутствии биосурфактантов: А – БС С₁₂, В – БС С₁₆, Вода – контроль; 1, 10, 50, 100 – кадмий в концентрации 1, 10, 50, 100 ПДК; 1/2, 1/4, 1/8 – концентрация биосурфактантов, г/л. *Статистически достоверно ($p < 0.05$) от *Rhodococcus*-биосурфактантов

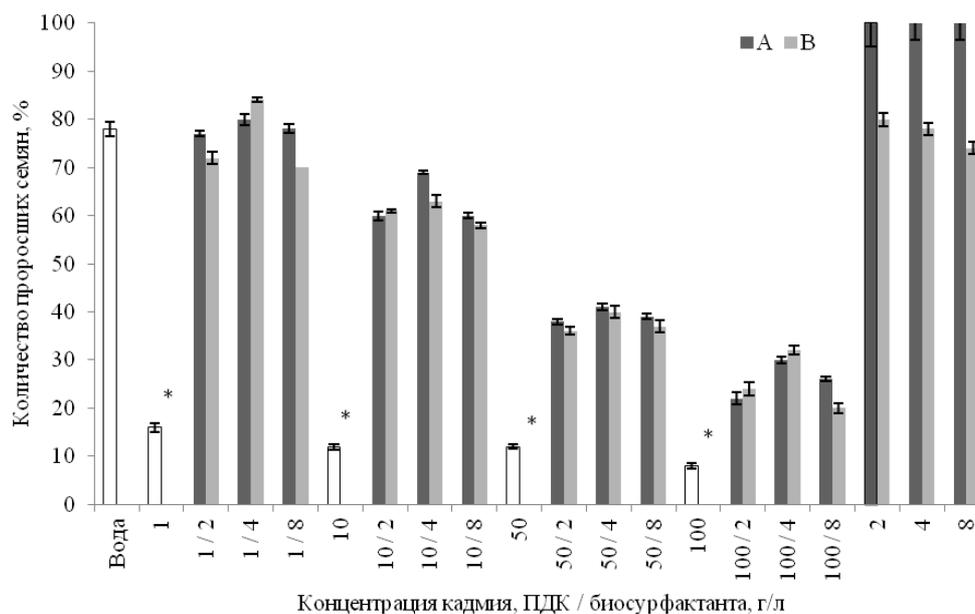


Рис. 3. Влияние кадмия на всхожесть семян *Vicia sativa* L. в присутствии биосурфактантов: А – БС С₁₂, В – БС С₁₆, Вода – контроль; 1, 10, 50, 100 – кадмий в концентрации 1, 10, 50, 100 ПДК; 1/2, 1/4, 1/8 – концентрация биосурфактантов, г/л. *Статистически достоверно ($p < 0.05$) от *Rhodococcus*-биосурфактантов

Влияние *Rhodococcus*-биосурфактантов С₁₂ на длину побегов и корней проростков семян растений в условиях загрязнения кадмием представлены в табл. 2. Наиболее интенсивное прорастание корней и побегов выявлены у семян овса посевного. Следует отметить ингибирование прорастания корней у вики полевой в присутствии ионов кадмия. Данная закономерность выявлена при всех

использованных в работе концентрациях кадмия. Тогда как обработка семян вики полевой биосурфактантами С₁₂ стимулировала рост корневой системы в условиях загрязнения кадмием до 50 ПДК. Предварительная обработка семян биосурфактантами С₁₂ в 1.2–2.5 раз стимулировала рост проростков в условиях загрязнения кадмием по сравнению с таковым без обработки.

Таблица 2

Влияние кадмия на длину побегов и корней (мм) проростков овса, горчицы и вики в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{12}

Вариант эксперимента	Овёс посевной		Горчица белая		Вика полевая	
	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня
Контроль	14.0±8.5	28.8±11.7	25.3±7.4	27.4±18.1	12.1±6.7	13.0±3.5
Cd ²⁺ 1 ПДК	41.2±2.8	28.7±10.5	30.8±4.1	20.3±13.6	7.2±2.5	—
Cd ²⁺ 10 ПДК	46.5±10.6	14.4±6.2	16.2±6.7	—	6.0±1.5	—
Cd ²⁺ 50 ПДК	26.6±7.1	8.1±4.2	10.8±5.2	—	7.5±2.1	—
Cd ²⁺ 100 ПДК	23.6±9.1	6.8±4.6	5.1±1.4	—	6.5±2.7	—
Cd ²⁺ 200 ПДК	12.8±5.6	3.0±0.9	—	—	—	—
БС 2 г/л	55.7±14.4	48.4±9.5	33.2±4.7	31.7±3.0	30.8±2.6	18.2±3.0
БС 4 г/л	67.4±5.7	53.0±6.1	39.7±6.7	37.0±3.8	32.5±1.8	19.3±3.4
БС 8 г/л	45.1±5.2	35.1±3.2	24.6±5.0	26.2±8.0	27.0±2.0	12.3±3.4
1 ПДК / 2 г/л	63.3±7.2	40.3±5.9	40.3±3.4	37.1±7.0	17.5±3.3	10.2±0.5
1 ПДК / 4 г/л	76.9±18.8	43.7±4.8	37.0±4.2	22.5±5.7	17.9±3.1	8.6±0.4
1 ПДК / 8 г/л	78.3±29.1	34.1±3.5	28.4±5.3	24.1±6.4	12.9±4.5	9.3±1.5
10 ПДК / 2 г/л	77.3±4.5	26.8±2.5	26.8±4.3	5.7±1.5	12.0±2.5	5.1±0.5
10 ПДК / 4 г/л	86.4±16.1	23.1±3.4	23.1±5.1	8.3±5.5	14.2±4.8	3.4±0.8
10 ПДК / 8 г/л	62.0±10.8	22.7±4.4	26.8±5.6	8.6±3.3	11.8±1.6	6.5±1.1
50 ПДК / 2 г/л	55.0±8.9	15.3±5.0	17.8±3.1	4.6±0.4	12.0±1.4	4.4±0.6
50 ПДК / 4 г/л	58.0±7.3	18.6±5.1	15.6±1.9	5.6±1.2	13.6±2.6	4.6±1.2
50 ПДК / 8 г/л	77.8±2.7	10.1±4.4	15.4±1.5	5.0±0	11.0±1.2	5.7±0.8
100 ПДК / 2 г/л	38.3±3.5	15.8±3.1	10.1±2.5	—	12.2±1.3	—
100 ПДК / 4 г/л	48.7±4.5	15.0±2.4	12.3±1.6	—	10.0±0.5	—
100 ПДК / 8 г/л	42.1±4.0	13.4±2.1	7.3±1.8	—	7.5±2.1	—
200 ПДК / 2 г/л	27.3±3.8	9.4±2.8	—	—	—	—
200 ПДК / 4 г/л	31.3±5.1	14.2±1.8	—	—	—	—
200 ПДК / 8 г/л	31.6±4.5	8.0±7.1	—	—	—	—

Примечание. В графе “Вариант эксперимента” представлены использованные в работе растворы в виде концентраций кадмия, ПДК / *Rhodococcus*-биосурфактантов, г/л. Угнетение роста корней и побегов показано символом “—”.

Как видно из табл. 3, *Rhodococcus*-биосурфактанты C_{16} стимулируют рост побегов и корней проростков в условиях загрязнения кадмием. После обработки семян биосурфактантами растения

развивались до 2.5 раз более эффективно. Данные биосурфактанты стимулировали рост корней проростков горчицы в условиях загрязнения кадмием даже в концентрации 100 ПДК.

Таблица 3

Влияние кадмия на длину побегов и корней (мм) проростков овса, горчицы и вики в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{16}

Вариант эксперимента	Овёс посевной		Горчица белая		Вика полевая	
	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня
БС 2 г/л	59.5±6.0	61.8±1.3	40.5±4.1	43.6±16.3	10.2±0.8	9.4±1.5
БС 4 г/л	33.5±3.5	33.9±3.6	27.9±8.7	33.8±20.1	14.8±1.7	11.3±1.9
БС 8 г/л	41.9±9.3	45.3±8.3	20.5±7.4	60.2±9.7	16.8±1.7	13.6±2.5
1 ПДК / 2 г/л	50.3±3.9	33.1±4.2	34.1±3.4	30.9±1.9	23.3±11.2	—
1 ПДК / 4 г/л	66.8±9.7	46.4±1.8	35.4±1.7	47.6±4.9	10.8±2.9	—
1 ПДК / 8 г/л	76.5±9.8	40.8±4.2	29.9±1.4	42.3±4.3	—	—
10 ПДК / 2 г/л	56.4±5.2	24.9±3.4	22.6±2.6	11.1±6.4	1.7±1.7	—
10 ПДК / 4 г/л	79.1±9.4	19.0±4.3	27.8±2.3	14.3±5.4	—	—
10 ПДК / 8 г/л	67.5±3.0	29.9±4.1	19.5±4.9	15.4±1.9	4.0±0	—
50 ПДК / 2 г/л	67.9±4.3	14.9±2.8	18.5±2.5	9.1±1.6	6.5±0.7	—
50 ПДК / 4 г/л	53.9±8.5	15.0±3.2	21.4±1.8	10.4±0.9	—	—
50 ПДК / 8 г/л	53.5±8.9	16.7±1.8	19.7±2.1	8.6±1.2	—	—

Окончание табл. 3

Вариант эксперимента	Овёс посевной		Горчица белая		Вика полевая	
	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня
100 ПДК / 2 г/л	38.1±3.2	19.4±2.3	15.6±2.4	3.7±0.6	—	—
100 ПДК / 4 г/л	44.5±6.3	10.5±2.3	16.2±1.8	5.9±1.3	—	—
100 ПДК / 8 г/л	32.0±4.8	7.2±1.6	10.3±2.5	4.4±1.5	—	—
200 ПДК / 2 г/л	32.3±2.5	10.1±1.2	—	—	—	—
200 ПДК / 4 г/л	23.4±2.3	12.0±0.9	—	—	—	—
200 ПДК / 8 г/л	21.1±1.5	8.4±1.9	—	—	—	—

Примечание. В графе “Вариант эксперимента” представлены использованные в работе растворы в виде концентраций кадмия, ПДК / *Rhodococcus*-биосурфактантов, г/л. Угнетение роста корней и побегов показано символом “—”.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее устойчивым растением к действию ионов Cd^{2+} является овес посевной, менее устойчивым – вика полевая. По степени устойчивости семян к ионам Cd^{2+} растения могут быть распределены в следующий ряд: *Avena sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Vicia sativa* L. Выявлено значительное снижение фитотоксичности кадмия после обработки семян *Rhodococcus*-биосурфактантами. После предварительной обработки семян *Rhodococcus*-биосурфактантами всхожесть и энергия прорастания семян исследованных растений возрастает до 8.7 раз и до 4.7 раз увеличивается интенсивность роста корней и побегов проростков семян исследуемых растений в условиях загрязнения среды кадмием. Известно [Костина, Куюкина, Ившина, 2010], что функциональная активность *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{12} выше в условиях низких (до 15°C) температур, так как *Rhodococcus*-биосурфактанты C_{16} при температуре окружающей среды застывают. Поскольку температура прорастания семян многих сельскохозяйственных растений варьирует от 2 до 5°C, для проращивания семян в условиях низких ($\geq 15^\circ C$) температур целесообразно использовать обработку семян *Rhodococcus*-биосурфактантами C_{12} , тогда как при температуре окружающей среды выше 15°C – применять *Rhodococcus*-биосурфактанты C_{16} . Таким образом, обработку семян биосурфактантами (2.0–4.0 г/л) можно использовать в качестве экологически безопасного способа снижения токсического действия кадмия на рост сельскохозяйственных культур растений, а также для улучшения кондиционных свойств семян.

Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН (номер 18-4-8-21) и Госзадания (номер госрегистрации темы: 01201353247).

Библиографический список

- Аветисян А.А., Колесников В.А., Аветисян А.Т. Содержание тяжелых металлов (свинец и кадмий) в почвах и растениях нетрадиционных кормовых культур и их экологотоксикологическая оценка в лесостепи Восточной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. № 6. С. 17–27.
- Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
- Коротченко И.С., Львова В.А. Миграция кадмия и никеля в растениях-фиторемедиантах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11, ч. 2. С. 251–254.
- Костина Л.В., Куюкина М.С., Ившина И.Б. Биосорбция, аккумуляция и способы извлечения тяжелых металлов. LAP Lambert Academic Publ., 2010. 254 с.
- Литвиненко Л.В., Тищенко А.В. Влияние *Rhodococcus*-биосурфактантов на фитотоксичность ионов свинца // Вестник Пермского Университета. Сер. Биология. 2017. Вып. 1. С. 80–87.
- MP 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. 2007. URL: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normnorm/data_normativ/52/52957/.
- Слабко Ю.И., Лопатина А.А. Аккумуляция кадмия в почве и растениях сои под влиянием минеральных удобрений // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2. С. 19–24.
- Ульяненко Л.Н. и др. Влияние загрязнения почв кадмием на его накопления растениями ячменя в онтогенезе // Агрехимия. 2010. № 3. С. 70–74.
- Яблокова И.С., Стародумов В.Л., Лазарев О.А. Опасность поступления свинца и кадмия с пищевыми продуктами в организм детей // Вестник Ивановской медицинской академии. 2011. Т. 16, № 1. С. 30–33.

Ivshina I.B. et al. Oil desorption from mineral and organic materials using biosurfactant complexes produced by *Rhodococcus* species // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 1998. Vol. 14. P. 711–717.

Kuyukina M.S. et al. Recovery of *Rhodococcus* biosurfactants using methyl-tertiary butyl ether extraction // *Journal Microbiology Method*. 2001. Vol. 46. P. 149–156.

References

Avetisyan A.A., Kolesnikov V.A., Avetisyan A.T. [The content of heavy metals (lead and cadmium) in soils and plants on nonconventional forage crops and their ecological and toxicological assessment in forest steppe on Eastern Siberia]. *Vestnik KrasGAU*. N 6 (2017): pp. 17-27. (In Russ.).

Ivshina I.B. et al. Oil desorption from mineral and organic materials using biosurfactant complexes produced by *Rhodococcus* species. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. V. 14 (1998): pp. 711-717.

Korotchenko I.S., Lvova V.A. [Migration of cadmium and nickel in plants-phytoremediants]. *Medicinskij žurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. N 11, p. 2 (2015): pp. 251-254. (In Russ.).

Kostina L.V., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. *Biosorbicija, akumuljacija i sposoby izvlečenija tjaželyh metallov* [Biosorption, accumulation and

extraction of heavy metals]. LAP Lambert Academic Publ., 2010. 254 p. (In Russ.).

Kuyukina M.S. et al. Recovery of *Rhodococcus* biosurfactants using methyl-tertiary butyl ether extraction. *Journal Microbiology Method*. V. 46 (2001): pp. 149-156.

Litvinenko L.V., Tishchenko A.V. [Effects of *Rhodococcus*-biosurfactants on the lead ion phytotoxicity]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2017): pp. 80-87. (In Russ.).

MR 2.1.7.2297-07. [Justification of the hazard class of production and consumption waste on the ground of its phytotoxicity] Available at: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/dat_a_normativ/52/52957/. (In Russ.).

Slabko Y.I., Lopatina A.A. [Cadmium accumulation in soil and plants of soybean under the influence of mineral fertilizers]. *Vestnik KrasGAU*. N 2 (2016): pp. 19-24. (In Russ.).

Vodnyanskii Y.N. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils. *Eurasian soil science*. V. 45, N 3 (2012): pp. 321-328. (In Russ.).

Ul'yanenko L.N. et al. [Effect of soil contamination with cadmium on its accumulation by barley plants in ontogenesis]. *Agrochimija*. N 3 (2010): pp. 70-74. (In Russ.).

Yablokova I.S., Starodumov V.L., Lazareva O.A. [Danger of lead and cadmium transition with food into children organism]. *Vestnik Ivanovskoj medicinskoj akademii*. V. 16, N 1 (2011): pp. 30-33. (In Russ.).

Поступила в редакцию 05.10.2018

Об авторах

Тищенко Артём Валерьевич, аспирант биологического факультета ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: 0000-0003-2558-4789
 614990, Пермь, ул. Букирева, 15;
 arty.tishchenko@gmail.com; (342)2808114

Литвиненко Людмила Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории алканотрофных микроорганизмов «Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН
ORCID: 0000-0003-3138-3035
 614081, Пермь, ул. Голева, 13
 lkostina@list.ru; (342)2808114

About the authors

Tishchenko Artyom Valerevich, graduate student of the biological faculty Perm State University.
ORCID: 0000-0003-2558-4789
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;
 arty.tishchenko@gmail.com; (342)2808114

Litvinenko Lyudmila Viktorovna, candidate of biology, researcher of the Laboratory of Alkanotrophic Microorganisms “Institute of Ecology and Genetics of Microorganism Ural Branch Russian Academy of Sciences” – Branch of the FSBIS of the Perm Federal Research Centre of the Branch of the RAS.
ORCID: 0000-0003-3138-3035
 13, Golev str., Perm, Russia, 614081;
 lkostina@list.ru; (342)2808114

Ившина Ирина Борисовна, доктор биологических наук, академик РАН, зав. лаборатории алканотрофных микроорганизмов «Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН
ORCID: 0000-0003-2558-4789
614081, Пермь, ул. Голева, 13; ivshina@iegm.ru; (342)2808114
профессор кафедры микробиологии и иммунологии
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990 Пермь, ул. Букирева, 15

Ivshina Irina Borisivna, doctor of biology, academic of RAS, Chief of Laboratory of Alkanotrophic Microorganisms
“Institute of Ecology and Genetics of Microorganism Ural Branch Russian Academy of Sciences” – Branch of the FSBIS of the Perm Federal Research Centre of the Branch of the RAS.
ORCID: 0000-0003-2558-4789
13, Golev str., Perm, Russia, 614081; ivshina@iegm.ru; (342)2808114
Professor of Department of microbiology and Immunology
Perm State University.
15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990

Информация для цитирования:

Тищенко А.В., Литвиненко Л.В., Ившина И.Б. Снижение фитотоксичности кадмия с использованием *Rhodococcus*-биосурфактантов // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2018. Вып. 4. С. 385–392. DOI: 10.17072/1994-9952-2018-4-385-392.

Tishchenko A.V., Litvinenko L.V., Ivshina I.B. [Decrease of phytotoxicity of cadmium assisted with *Rhodococcus*-biosurfactants]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 4 (2018): pp. 385-392. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2018-4-385-392.

