

УДК 579.66(58.02/04)

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ МЕДИ С ПОМОЩЬЮ *RHODOCOCCLUS*-БИОСУРФАКТАНТОВ

Л. В. Литвиненко¹, А. В. Тищенко², И. Б. Ившина^{1,2}

¹ *Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН
Россия, 614081, Пермь, Голева, 13*

² *Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, Пермь, Букирева, 15
E-mail: lkostina@list.ru*

Поступила в редакцию 4.05.2017 г., после доработки 27.11.2017 г., принята 3.06.2018 г.

Литвиненко Л. В., Тищенко А. В., Ившина И. Б. Снижение фитотоксичности ионов меди с помощью *Rhodococcus*-биосурфактантов // Поволжский экологический журнал. 2018. № 3. С. 290 – 299. DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-3-290-299>

Изучено влияние меди на прорастание семян сельскохозяйственных растений: вики полевой, горчицы белой и овса посевного в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее устойчивым растением к действию меди является овёс посевной, менее устойчивы семена вики полевой. По степени устойчивости к меди использованные в работе растения можно распределить в ряд: *Avena sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Vicia sativa* L. Медь в концентрации 50 ПДК и выше оказывает выраженное угнетающее действие на прорастание семян. Установлено, что в условиях загрязнения медью предварительная обработка семян *Rhodococcus*-биосурфактантами, а также прорастание семян в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов способствуют значительному (до 4.5 раз) увеличению всхожести, энергии прорастания и жизнеспособности проростков овса, горчицы и вики. Разработан экологически безопасный способ снижения токсического действия меди 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, ионы меди, загрязнение, *Avena sativa*, *Sinapis alba*, *Vicia sativa*.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-3-290-299>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из самых динамичных и развивающихся отраслей промышленности является добыча и переработка тяжелых металлов (ТМ). Деятельность данных предприятий неизбежно приводит к поступлению соединений ТМ в окружающую среду. Загрязнение окружающей среды ТМ является одним из самых распространенных и экологически опасно для живых организмов. В России для отходов в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов РФ от 04.12.2014 года № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I – V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» установлено пять классов опасности, в соответствии с которыми медь и ее соединения относятся к третьему классу опасности (Об утверждении Критериев..., 2015).

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ МЕДИ

Несмотря на то, что микроконцентрации ионов меди являются важным компонентом для нормального метаболизма большинства клеточных организмов, постоянное взаимодействие с высокими концентрациями соединений меди приводит к негативным последствиям для живых организмов. Влияние избытка меди на организм человека вызывает раздражение слизистых оболочек, поражение желудочно-кишечного тракта и печени, снижение интенсивности клеточного дыхания и нарушение целостности и проницаемости мембран митохондрий (Титов и др., 2007). Тогда как у высших растений в результате интоксикации ионами меди наблюдаются угнетение роста, опадение листьев и замедление связывания молекул хлорофиллов с белками в светособирающих комплексах фотосистем (Петухов, Петухова, 2015).

Известно, что предложенные методы очистки почв от ксенобиотиков, которые базируются на физико-химических приемах, не обеспечивают полноты удаления ионов ТМ и не отвечают экологическим стандартам ГОСТа 17.2.1.04-77 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы»*, поэтому актуален поиск перспективных экологически безопасных способов извлечения ТМ из объектов окружающей среды, а также возможность использования экологически безопасных способов снижения токсического действия ТМ на рост и развитие сельскохозяйственных культур растений. Ранее нами было показано влияние экологически безопасных *Rhodococcus*-биосурфактантов на снижение фитотоксичности ионов свинца, а также эффективность их применения для усиления фиторемедиации (Литвиненко, Тищенко, 2017; Костина и др., 2014).

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

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В сравнительных исследованиях изучено влияние *Rhodococcus*-биосурфактантов (в концентрациях 2.0, 4.0 и 8.0 г / л) на фитотоксичность сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$) в отношении всхожести семян растений: овса посевного (*Avena sativa* L.), горчицы белой (*Sinapis alba* L.) и вики полевой (*Vicia sativa* L.). Уровень фитотоксичности определяли в соответствии со стандартными методическими рекомендациями МР 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности (Фитотест)» (Методические рекомендации..., 2007). Эксперименты по определению фитотоксичности проводили в лаборатории 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 среды проращивания семян 6.3 – 6.5. Как видно из табл. 1, сульфат меди добавляли из расчета кратности уровня предельно-допустимой концентрации (ПДК) ионов Cu^{2+} с учетом фона по Кларк (Гигиенические нормы..., 2006).

* ГОСТ 17.2.1.04-77 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004384> (дата обращения: 18.03.2017).

В работе использовали штамм актинобактерий *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 231, хранящийся в Региональной профилированной коллекции алканотрофных микроорганизмов (ИЭГМ, № 768 во Всемирной федерации коллекций культур; www.iegmcoll.ru; реестровый номер УНУ www.ckr-rf.ru/usu/73559). Бактериальную культуру выращивали в среде RS (*Rhodococcus* Surfactant) на орбитальном шейкере в течение 7 сут. (160 об. / мин, 28°C). Состав среды RS (г / л): Na₂HPO₄ – 2.0; KH₂PO₄ – 2.0; KNO₃ – 1.0; (NH₄)₂SO₄ – 2.0; NaCl – 1.0; MgSO₄×7H₂O – 0.2; CaCl₂×2H₂O – 0.02; FeCl₃×7H₂O – 0.01 (Ivshina et al., 1998). В качестве единственного источника углерода и энергии использовали *n*-додекан (C₁₂) либо *n*-гек-

Таблица 1

Соотношение ПДК с концентрациями ионов меди	
Уровень ПДК	Концентрация Cu ²⁺ с учетом фона по Кларк, мг / кг почвы
1 ПДК	3.0
10 ПДК	30.0
50 ПДК	150.0
100 ПДК	300.0
200 ПДК	600.0

садекан (C₁₆) в концентрации 3 об.%. В качестве источника витаминов и фактора роста добавляли раствор микроэлементов по Пфеннигу – 1.0 мл / л и 10%-ный дрожжевой экстракт – 1.0 мл / л. Неочищенные *Rhodococcus*-биосурфактант-ные комплексы гликолипидной природы, продуцируемые родококками, получали методом М. С. Куюкиной с соавторами (Куyukina et al., 2001). Предварительную обработку семян препаратами биосурфактантов осуществляли в течение 30 минут, после чего проводили эксперименты по фитотоксичности меди.

В каждую чашку Петри помещали по 25 сухих здоровых семян и вносили по 5 мл водного раствора *Rhodococcus*-биосурфактантов и сульфата меди. Энергию прорастания определяли на третьи сутки, всхожесть и длину проростков – на седьмые сутки эксперимента. В качестве контроля использовали дистиллированную воду, водные растворы биосурфактантов и водные растворы сульфата меди.

В тексте статьи для условного обозначения *Rhodococcus*-биосурфактантов, продуцируемых родококками в жидкой минеральной среде с *n*-додеканом, нами использован термин *Rhodococcus*-биосурфактанты C₁₂; для *Rhodococcus*-биосурфактантов, продуцируемых родококками в среде с *n*-гексадеканом, – термин *Rhodococcus*-биосурфактанты C₁₆.

Статистическую обработку полученных результатов проводили стандартными методами с вычислением среднего арифметического, стандартной ошибки, среднеквадратичного отклонения и доверительного интервала с помощью пакета компьютерных программ Microsoft Excel 2007. Все эксперименты проводили в трехкратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовано влияние ионов меди на прорастание семян сельскохозяйственных растений в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов, продуцируемых при выращивании родококков в среде с *n*-додеканом и *n*-гексадеканом. Энергия прорастания семян всех использованных в работе видов растений в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов до двух раз выше по сравнению с таковой в условиях загрязнения медью (рис. 1). Следует отметить, что данная закономерность сохранялась для всех, используемых в работе, вариантах эксперимента.

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ МЕДИ

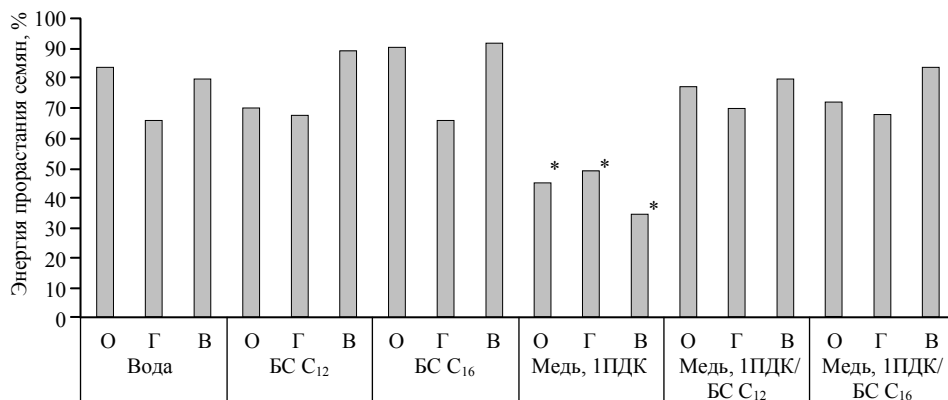


Рис. 1. Влияние *Rhodococcus*-бисурфактантов (БС) на энергию прорастания семян: О – овёс посевной, Г – горчица белая, В – вика полевая; * – статистически достоверно ($p < 0.05$) от *Rhodococcus*-бисурфактантов

В табл. 2 показано влияние ионов Cu^{2+} на длину побегов и корней овса, горчицы и вики в присутствии *Rhodococcus*-бисурфактантов C_{12} . Как видно из табл. 2, наиболее интенсивное прорастание корней и побегов выявлено у семян овса посевного. Семена данного растения прорастали при концентрациях ионов меди в среде до 50 ПДК. Следует отметить, ингибирование прорастания корней и побегов у вики полевой и горчицы белой в присутствии ионов меди в концентрациях ≥ 10 ПДК, тогда как после обработки *Rhodococcus*-бисурфактантами их семена прорастали в условиях загрязнения медью в данной концентрации. После обработки семян *Rhodococcus*-бисурфактантами C_{12} длина корней увеличивалась в 1.2 – 3.2, побегов – до 7.2 раз.

Таблица 2

Влияние меди на длину побегов и корней овса, горчицы и вики
в присутствии *Rhodococcus*-бисурфактантов C_{12} , мм

Варианты эксперимента	Овёс посевной		Горчица белая		Вика полевая	
	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня
1	2	3	4	5	6	7
Контроль	14.0±4.2	28.8±5.8	25.3±3.7	27.4±9.1	12.1±1.9	13.0±1.8
Cu^{2+} 1 ПДК	8.0±2.5	7.1±1.8	15.5±3.4	5.4±1.8	4.1±0.8	20.6±1.7
Cu^{2+} 10 ПДК	10.4±3.1	3.0±0	–	–	–	–
Cu^{2+} 50 ПДК	5.4±1.4	–	–	–	–	–
Cu^{2+} 100 ПДК	–	–	–	–	–	–
БС 2 г/л	55.7±14.4	48.4±9.5	32.2±8.7	31.7±3.0	30.8±2.6	28.2±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	29.3±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	22.3±3.4
1 ПДК / 2 г/л	26.4±4.8	17.0±2.5	22.2±2.4	22.4±3.3	26.2±4.0	26.3±3.2
1 ПДК / 4 г/л	12.0±1.7	13.8±2.4	25.6±2.1	18.8±2.1	29.6±0.8	29.1±1.4
1 ПДК / 8 г/л	13.8±1.8	17.1±3.2	18.8±1.4	14.6±1.8	16.8±2.3	24.6±1.7

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
10 ПДК / 2 г/л	20.4±2.4	7.2±0.8	5.6±1.4	2.6±0.5	11.6±1.2	–
10 ПДК / 4 г/л	23.4±3.1	10.4±0.2	7.2±1.2	3.8±0.6	13.6±0.8	–
10 ПДК / 8 г/л	19.6±1.8	9.4±3.2	3.6±0.8	2.1±0.1	9.1±0.6	–
50 ПДК / 2 г/л	12.6±2.1	3.6±1.1	–	–	–	–
50 ПДК / 4 г/л	16.8±3.2	2.8±0.7	–	–	–	–
50 ПДК / 8 г/л	10.4±1.6	–	–	–	–	–

Примечание. В разделе «Варианты эксперимента» представлены используемые в работе растворы в виде концентрации ионов меди, ПДК / *Rhodococcus*-биосурфактантов, г/л. Угнетения роста корней и побегов в экспериментах указаны символом “–”.

Аналогичная тенденция наблюдалась нами при проведении экспериментов по изучению влияния ионов Cu^{2+} на длину побегов и корней овса, горчицы и вики в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{16} (табл. 3). Стоит заметить, что ионы меди в концентрации ≥ 10 ПДК ингибировали всхожесть семян горчицы и вики. Обработка семян *Rhodococcus*-биосурфактантами C_{16} снижала степень токсичности ионов меди и способствовала удлинению как корневой системы, так и побегов исследуемых растений до 4.2 раз.

Таблица 3

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

Варианты эксперимента	Овёс посевной		Горчица белая		Вика полевая	
	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня	Длина побега	Длина корня
БС 2 г/л	39.5±26.0	41.8±21.3	30.5±11.1	33.6±26.3	29.2±2.8	–
БС 4 г/л	31.9±3.5	35.3±6.8	27.9±4.3	33.8±10.1	31.8±1.7	–
БС 8 г/л	23.5±7.0	23.9±9.1	20.5±3.7	40.2±14.8	30.8±1.8	–
1 ПДК / 2 г/л	51.4±8.0	11.7±2.6	17.2±2.6	8.5±2.3	6.8±2.1	–
1 ПДК / 4 г/л	58.9±8.9	19.0±2.5	19.5±1.8	9.2±0.6	8.9±1.4	–
1 ПДК / 8 г/л	43.7±8.1	12.0±3.0	14.8±4.8	5.0±1.0	6.1±1.2	–
10 ПДК / 2 г/л	25.4±7.4	11.7±2.7	7.1±0.7	8.4±1.2	4.6±0.2	–
10 ПДК / 4 г/л	24.8±5.4	6.3±2.3	10.4±1.7	13.5±0.6	6.3±1.2	–
10 ПДК / 8 г/л	45.1±7.3	5.8±1.8	4.5±1.3	–	3.1±0.4	–
50 ПДК / 2 г/л	17.4±3.3	8.0±1.6	–	–	–	–
50 ПДК / 4 г/л	19.6±2.1	6.7±1.5	–	–	–	–
50 ПДК / 8 г/л	8.6±0.8	3.2±1.2	–	–	–	–

Примечание. В разделе «Варианты эксперимента» представлены используемые в работе растворы в виде концентрации ионов меди, ПДК / *Rhodococcus*-биосурфактантов, г/л. Угнетения роста корней и побегов в экспериментах указаны символом “–”.

Как видно из рис. 2, наиболее высокая всхожесть (94%) семян *Avena sativa* L. выявлена в присутствии ионов меди в концентрации 1 ПДК, тогда как в присутствии ионов меди в концентрации 50 ПДК прорастало лишь 26% семян овса.

Всхожесть семян овса до 1.5 раз выше в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{16} по сравнению с таковой *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{12} (рис. 3). Тогда как всхожесть обработанных биосурфактантами семян в условиях загрязнения ионами меди до 2.2 раз выше в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов C_{12}

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ МЕДИ

по сравнению с таковой *Rhodococcus*-биосурфактантов С₁₆. Обработка семян овса биосурфактантами до 2.5 раз увеличивает всхожесть в среде, загрязненной ионами меди, по сравнению с таковой без обработки.

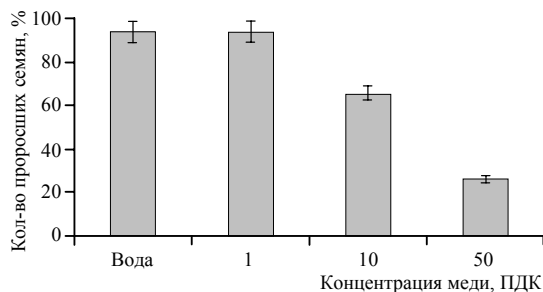


Рис. 2. Всхожесть семян *Avena sativa* L. в присутствии ионов меди (ПДК, мг / кг почвы)

С₁₆ на 20 – 58% выше по сравнению с таковым после обработки *Rhodococcus*-биосурфактантами С₁₂ в присутствии Cu^{2+} в концентрации 10 ПДК.

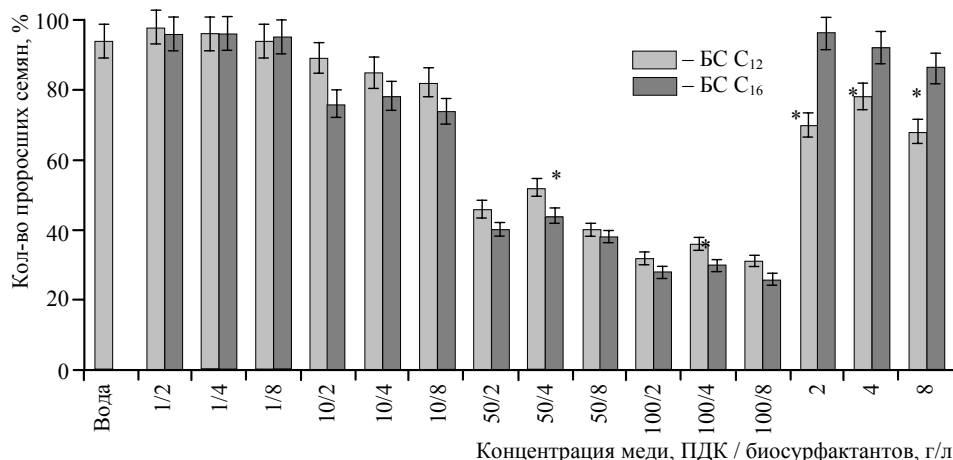


Рис. 3. Влияние биосурфактантов (БС) на всхожесть семян *Avena sativa* L. в присутствии ионов меди (ПДК, мг / кг почвы / г / л). *Статистически достоверно ($p < 0.05$) от *Rhodococcus*-биосурфактантов С₁₂

Прорастание семян вики полевой в присутствии сульфата меди в концентрации 1 ПДК составило 100%, тогда как более высокие концентрации меди ингибировали всхожесть семян (рис. 6).

Всхожесть семян *Vicia sativa* L. увеличивается на 19 – 41% после обработки их растворами биосурфактантов. Как видно из рис. 7, всхожесть семян вики полевой при обработке их *Rhodococcus*-биосурфактантами С₁₂ до 1.5 раз выше по сравнению с таковой после обработки семян *Rhodococcus*-биосурфактантами С₁₆.

Как видно из рис. 4, семена горчицы белой прорастали только в присутствии ионов меди в концентрации 1 ПДК (всхожесть 90%); при более высоких концентрациях прорастания семян горчицы нами не выявлено. Обработка семян *Rhodococcus*-биосурфактантами способствовала всхожести (до 54%) семян при загрязнении меди в среде до 10 ПДК (рис. 5). Количество проросших семян при обработке их *Rhodococcus*-биосурфактантами

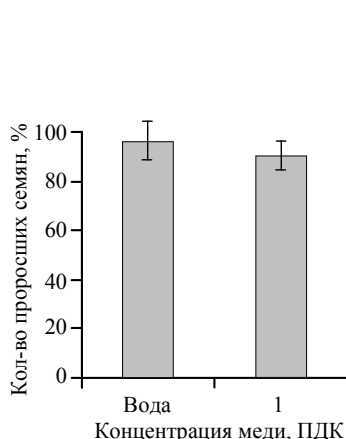


Рис. 4. Всхожесть семян *Sinapis alba* L. в присутствии ионов меди (ПДК, мг / кг почвы)

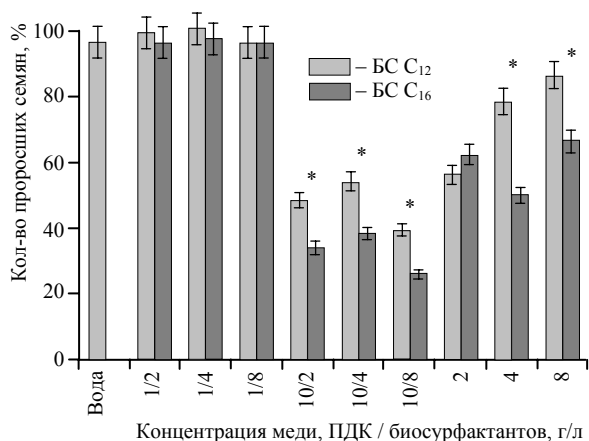


Рис. 5. Влияние биосурфактантов (BC) на всхожесть семян *Sinapis alba* L. в присутствии ионов меди (ПДК, мг / кг почвы / г / л). *Статистически достоверно ($p < 0.05$) от *Rhodococcus*-биосурфактантов C₁₆

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований изучено влияние *Rhodococcus*-биосурфактантов на прорастание семян сельскохозяйственных культур растений *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L. и *Vicia sativa* L. в условиях загрязнения медью. Установлено, что наиболее устойчивым растением к действию ионов Cu^{2+} является овес посевной, менее устойчива вика полевая. По степени устойчивости к ионам

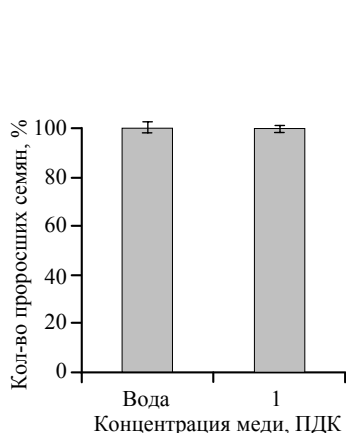


Рис. 6. Всхожесть семян *Vicia sativa* L. в присутствии ионов меди (ПДК, мг / кг почвы)

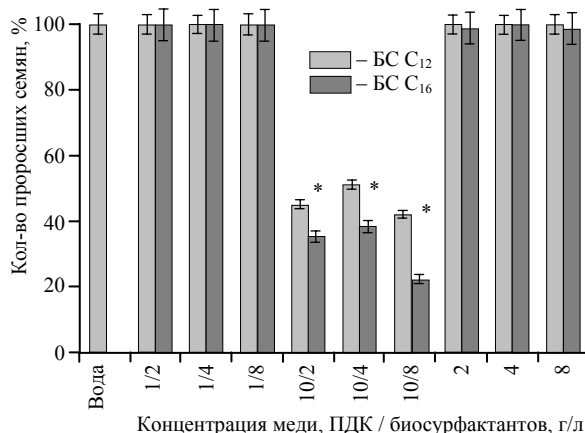


Рис. 7. Влияние биосурфактантов на всхожесть семян *Vicia sativa* L. в присутствии ионов меди (ПДК, мг/кг почвы / г/л). *Статистически достоверно ($p < 0.05$) от *Rhodococcus*-биосурфактантов C₁₆

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ МЕДИ

Cu^{2+} изученные растения можно распределить в ряд *Avena sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Vicia sativa* L. Следует отметить, что аналогичная закономерность выявлена нами при изучении фитотоксичности свинца в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов (Литвиненко, Тищенко, 2017).

Выявлена зависимость снижения фитотоксичности ионов меди после обработки семян *Rhodococcus*-биосурфактантами, продуцируемыми родококками при росте на *n*-додекане и *n*-гексадекане. Так, после предварительной обработки семян *Rhodococcus*-биосурфактантами энергия прорастания и всхожесть семян исследуемых растений возрастает в 1.5 – 4.5 раза; происходит увеличение устойчивости исследуемых сельскохозяйственных растений к ионам меди, а также наблюдается более интенсивный рост корней и побегов проростков сельскохозяйственных растений в условиях загрязнения медью. Обработку семян *Rhodococcus*-биосурфактантами (2.0 – 4.0 г/л) можно использовать в качестве экологически безопасного способа снижения токсического действия меди на рост сельскохозяйственных культур растений, а также для улучшения кондиционных свойств семян.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 18-4-8-21) и рамках государственного задания (№ госрегистрации темы 01201353247).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гигиенические нормы 2.1.7.2041-06 «Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». 2006. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/GN217204106Predelnodo-pust.html> (дата обращения: 23.03.2017).

Костина Л. В., Куюкина М. С., Ившина И. Б. Оценка возможности использования *Rhodococcus*-биосурфактантов для снижения присутствия тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах Свердловской области // Вестн. Перм. гос. ун-та. Сер. Биология. 2014. Вып. 4. С. 73 – 78.

Литвиненко Л. В., Тищенко А. В. Влияние *Rhodococcus*-биосурфактанта на фитотоксичность ионов свинца // Вестн. Перм. гос. ун-та. Сер. Биология. 2017. Вып. 1. С. 80 – 87.

Методические рекомендации 2.1.7.2297-07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности». 2007. URL: http://www.oхранatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/52/52957/ (дата обращения: 18.03.2017).

Об утверждении Критериев отнесения отходов к I – V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду : приказ Министерства природных ресурсов РФ от 04.12.2014 года № 536. М., 2015. URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (дата обращения: 23.03.2017).

Петухов А. С., Петухова Г. А. Ответные морфофизиологические реакции растений на загрязнение среды тяжелыми металлами // APRIORI. Сер. естественные и технические науки. 2015. № 3. С. 1 – 6.

Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск : Карельский науч. центр РАН, 2007. 172 с.

Ivshina I. B., Kuyukina M. S., Philp J. C., Christofi N. Oil desorption from mineral and organic materials using biosurfactant complexes produced by *Rhodococcus* species // World J. of Microbiology and Biotechnology. 1998. Vol. 14. P. 711 – 717.

Kuyukina M. S., Ivshina I. B., Philp J. C., Christofi N., Dunbar S. A., Ritchkova M. I. Recovery of *Rhodococcus* biosurfactants using methyl-tertiary butyl ether extraction // J. Microbiological Methods. 2001. Vol. 46. P. 149 – 156.

**DECREASING THE COPPER ION PHYTOTOXICITY
USING *RHODOCOCCUS* BIOSURFACTANTS**

Lyudmila V. Litvinenko¹, Artem V. Tishchenko², and Irina B. Ivshina^{1,2}

¹ *Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Russian Academy of Sciences
13 Golev Str., Perm 614081, Russia*

² *Perm State University
15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia
E-mail: lkostina@mail.ru*

Received 4 May 2017, revised 27 November 2017, accepted 3 June 2018

Litvinenko L. V., Tishchenko A. V., Ivshina I. B. Decreasing the Copper Ion Phytotoxicity Using *Rhodococcus* Biosurfactants. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 3, pp. 290 – 299 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-3-290-299>

The effect of copper on the germination of seeds of several agricultural plants, namely, common vetch, white mustard and oats in the presence of *Rhodococcus*-biosurfactants was studied. As a result of the conducted studies it was established that *Avena sativa* L. was the most stable plant to the action of copper, and *Vicia sativa* L. was a less stable plant. By the copper resistance degree, the plants used in the work could be arranged in the series: *Avena sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Vicia sativa* L. Copper in concentrations from 50 MPC and above had a pronounced inhibitory effect on the germination of seeds. The pretreatment of seeds with *Rhodococcus* biosurfactants and seed germination under the conditions of copper contamination have been established to contribute to an increase (up to 4.5 times) in the germination, germinative energy and viability of oats, mustard and vetch sprouts. An ecologically safe method has been developed for reducing the toxic effect of copper on the growth of the following plant crops: *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L., and *Vicia sativa* L. in the presence of *Rhodococcus* biosurfactants.

Key words: *Rhodococcus* biosurfactants, heavy metals, copper, *Avena sativa*, *Sinapis alba*, *Vicia sativa*.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-3-290-299>

Acknowledgments: This work was supported by the Complex program of Fundamental research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (project no. 18-4-8-21) and the state task (state registration no. 01201353247).

REFERENCES

Gigiyenicheskiye normy 2.1.7.2041-06. “Pochva, ochistka naseleennykh mest, otkhody proizvodstva i potrebleniya, sanitarnaya okhrana pochvy. Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve” (GN 2.1.7.2041-06. Soil, purification of populated areas, residuals. Threshold limit concentration of chemical substances in the soil), 2006. Available at: http://www.gosthelp.ru/text/GN217204106_Predelnodopust.html (accessed 23 March 2017) (in Russian).

Kostina L.V., Kuyukina M.S., Ivshina I. B. Evaluation of *Rhodococcus* biosurfactant potential towards the remediation of heavy metals from contaminated soils of Sverdlovsk region. *Bulletin of Perm University. Biology*, 2014, iss. 4, pp. 73 – 78 (in Russian).

СНИЖЕНИЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ИОНОВ МЕДИ

Litvinenko L. V., Tishchenko A. V. Effects of *Rhodococcus*-biosurfactants on the lead ion phytotoxicity. *Bulletin of Perm University. Biology*, 2017, iss. 1. pp. 80–87 (in Russian).

Metodicheskiye rekomendatsii 2.1.7.2297-07. "Obosnovaniye klassa opasnosti otkhodov proizvodstva i potrebleniya po fitotoksichnosti" (MR 2.1.7.2297-07. Justification of the hazard class of production and consumption waste on the ground of its phytotoxicity), 2007. Available at: http://www.oхранatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/52/52957/ (accessed 18 March 2017) (in Russian).

"Ob utverzhenii Kriteriyev otneseniya otkhodov k I – V klassam opasnosti po stepeni negativnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu" : Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov RF ot 04.12.2014 goda no. 536 ("On Approval of the Criteria for the Recognition of Waste to I-V Classes of Danger by the Level of Negative Impact on the Environment": Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation no. 536 of 04.12.2014). Moscow, 2015. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru> (accessed 23 March 2017) (in Russian).

Petukhov A. S., Petukhova G. A. Morphophysiological response of plants to environmental pollution by heavy metals. *APRIORI, Ser. Natural and Technical Sciences*, 2015, no. 3, pp. 1–6 (in Russian).

Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Laidinen G. F. *Ustoychivost rasteniy k tyazhelym metallam* [Plants' resistance to heavy metals]. Petrozavodsk, Karelskiy nauchnyy tsentr RAN, 2007. 172 p. (in Russian).

Ivshina I. B., Kuyukina M. S., Philp J. C., Christofi N. Oil desorption from mineral and organic materials using biosurfactant complexes produced by *Rhodococcus* species. *World J. of Microbiology and Biotechnology*, 1998, vol. 14, pp. 711 – 717.

Kuyukina M. S., Ivshina I. B., Philp J. C., Christofi N., Dunbar S. A., Ritchkova M. I. Recovery of *Rhodococcus* biosurfactants using methyl-tertiary butyl ether extraction. *J. Microbiological Methods*, 2001, vol. 46, pp. 149–156.