

УДК 502:57.022:579.2:622.692.4
AGRIS P34

ПОТЕНЦИАЛ *EISENIA ANDREI* В КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКЕ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МАЗУТОМ

©**Чачина С. Б.**, SPIN-код: 9530-2880, Scopus Author ID: 57190976453,
ResearcherID: P-4966-2016, канд. биол. наук,
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия, ksb3@yandex.ru
©**Салыкина Ю. О.**, Омский государственный технический университет,
Газпромнефть-ОМПЗ, г. Омск, Россия

POTENTIAL OF *EISENIA ANDREI* IN COMPLEX CLEANING OF SOILS CONTAMINATED WITH FUEL OIL

©**Chachina S.**, SPIN-код: 9530-2880, Scopus Author ID: 57190976453,
ResearcherID: P-4966-2016, Ph.D., Omsk State Technical University,
Omsk, Russia, ksb3@yandex.ru
©**Salykina Yu.**, Omsk state technical University, Gazpromneft-ONPZ, Omsk, Russia

Аннотация. Разработана технология рекультивации почв, загрязненных мазутом в концентрации 150 г/кг почвы в течение одного года в условиях Западной Сибири с использованием микробиологических препаратов и дождевых червей. Дождевые черви имеют большой потенциал для удаления углеводородов из почвы, даже при высоких концентрациях до 100 г/кг. Введение микробиологических препаратов повысило выживаемость и репродуктивный потенциал червей в нефтезагрязненных почвах и способствовало значительному снижению концентрации углеводородов мазута в течение 20-22 недель в лабораторном и полевом эксперименте. Эти результаты позволяют предположить, что дождевые черви эффективны в биоремедиации даже очень загрязненных почв с концентрацией мазута до 100 г/кг при совместном использовании микробиологических препаратов, содержащих культуры бактерий *Paenibacillus pabuli*, *Azotobacter vinelandii*, *Lactobacillus casei*, *Clostridium limosum*, *Cronobacter sakazakii*, *Rhodotorulla mucilaginosa*, *Cryptococcus albidus*, дрожжей *Saccharomyces*, *Candida lipolitica*, *Candida norvegensis*, *Candida guilliermondii*, грибов *Aspergillus* и *Penicillium*, а также *Actinomycetales*. КОЕ = 2×10^{11} микроорганизмов на мл. Предложена методика рекультивации нефтезагрязненных почв с содержанием мазута до 150 г/кг микроорганизмами (молочнокислые, азотофиксирующие, фотосинтезирующие бактерии) и *Eisenia andrei*. Способ очистки и восстановления экологических функций субстратов, загрязненных мазутом и другими нефтепродуктами, заключался в том, что субстрат обрабатывали биопрепаратами, проводили отвальную обработку почвы и паровали в течение одного месяца, затем вносили дождевые черви в количестве 1000 шт./м², в качестве питательной среды использовали навоз крупно рогатого скота (КРС) в дозе 1 т/га загрязненного полигона.

Abstract. The technology of soil remediation contaminated with fuel oil at a concentration of 150 g/kg of soil for one year in Western Siberia using microbiological preparations and earthworms was developed. Earthworms have great potential for removing hydrocarbons from the soil, even at high concentrations up to 100 g / kg. The introduction of microbiological preparations increased the survival and reproductive potential of worms in oil-contaminated soils and contributed to a significant reduction in the concentration of hydrocarbons of fuel oil for 20-22 weeks in

the laboratory and field experiment. These results suggest that earthworms are effective in bioremediation of even very contaminated soils with a concentration of fuel oil up to 100 g/kg when combined with microbiological preparations containing cultures of bacteria *Paenibacillus pabuli*, *Azotobacter vinelandii*, *Lactobacillus casei*, *Clostridium limosum*, *Cronobacter sakazakii*, *Rhodospirillum rubrum*, *Cryptococcus albidus*, yeast *Saccharomyces*, *Candida lipolitica*, *Candida norvegensis*, *Candida guilliermondii*, fungi *Aspergillus* and *Penicillium* as well as actinomycetales. CFU = 2×10^{11} microorganisms per ml. Method of remediation of oil-contaminated soils with fuel oil content up to 150 g/kg by microorganisms (lactic acid, nitrogen-fixing, photosynthetic bacteria) and earthworms *Eisenia andrei* is proposed. A method for cleaning and restoring the environmental functions of substrates contaminated with fuel oil and other petroleum products, was that the substrate was treated with biologics, carried out dump soil treatment and steamed for one month, then introduced earthworms in an amount of 1000 PCs./m², as a nutrient medium used cattle manure (cattle) in a dose of 1 t/ha of contaminated landfill.

Ключевые слова: рекультивация, дождевые черви, микроорганизмы.

Keywords: reclamation, earthworms, microorganisms.

Введение

Разливы мазута встречаются реже, чем разливы нефти, но наносят серьезный урон природным экосистемам и труднее поддаются рекультивации.

В 2011 г. в г Омске в поселке Степной произошел взрыв котельной №127. Сотни тонн некачественного мазута были слиты в близлежащие котлованы. В 2012 году Октябрьский райсуд города Омск обязал организацию, эксплуатирующую котельную, произвести рекультивацию земель. Однако проблема с разливом мазута на территории котельной № 127 до сих пор не решена. Около 700 тонн нефтепродуктов образовали настоящее озеро, а площадь загрязнения превысила тысячу квадратных метров. Нефтепродукты загрязняют подземные воды и поверхностные водные региона.

В настоящее время для рекультивации нефтезагрязнённых почв разработаны и широко используются достаточно много способов очистки почвы от разливов нефти, различающиеся по эффективности и трудоемкости.

Известен приём технической рекультивации, включающий снятие загрязнённого слоя почвы, транспортировку и складирование его на специально отведённые для этой цели участка, т.е. замена почвы [1]. Безусловно, этот приём пригоден не для всех случаев загрязнения почвогрунтов. Он может быть рекомендован только при небольших разливах нефти на ограниченных участках и при проникновении нефти на глубину не более 10 см.

Другим распространенным методом ликвидации нефтяного загрязнения является сжигание углеводородов [1], которое не только не обеспечивает полного удаления нефти, но и наносит значительный экологический ущерб: при этом разрушается почвенная экосистема, гибнет растительность, накапливаются токсичные и канцерогенные вещества.

Задержание распространения нефти и удаление нефтяного разлива может быть эффективно проведено при использовании природных или синтетических сорбентов: торф, сапропель, песок, полимерные материалы [2]. Известны физико-химические методы обработки почвы и извлечения загрязнений [3]. К ним относятся промывка, выщелачивание, экстракция и др. Для удаления нефтяных загрязнений обычно используют воду, ацетон, этилацетат, гексан жидкий, CO₂. Скорость извлечения может быть повышена при облучении

почвы ультразвуком или микроволнами. Однако все перечисленные методы не обеспечивают восстановления биоравновесия в почве после обработки.

Более перспективным методом рекультивации нефтезагрязненных почв является метод биоремедиации, основанный на использовании микроорганизмов, способных утилизировать углеводороды в процессе своей жизнедеятельности [4]. Как показали исследования последних лет, более высокая эффективность биоремедиации почвы может быть достигнута при введении в загрязненную почву дождевых червей, т.е. при использовании в этом случае метода вермиремедиации [5]. Дождевые черви ускоряют процесс удаления загрязняющих веществ из почвы и изменяют физические и химические свойства почвы, смешивая ее с органическим веществом и улучшая аэрацию почвы, что делают загрязняющие вещества доступными для микроорганизмов.

J. L. Gomez-Eyles, T. Sizmur, C. D. Collins, M. E. Hodson (2011) отметили 97% уровень выживаемости для *E. fetida* при внесении в почву смеси Пау (от 2 до 6 колец) при концентрации 773 мг/кг. Отмечено снижение массы червей на 31% за 56 дней, откладка коконов не была обнаружена [6].

M. Saint-Denis, J. F. Narbonne, C. Arnaud, E. Thybaud, D. Ribera (1999) изучали воздействие бенз(а)пирена (в концентрации до 1 г/кг почвы) на биохимические реакции *Eisenia andrei*. Отмечено изменение биохимических реакций [7].

C. L. Potter с соавт (1999), изучали отношение между приростом биомассы *Eisenia andrei* и деградацией полициклических ароматических углеводородов (Пау) в почвах с использованием *Eisenia andrei* при внесении пяти дополнительных источников питания: 1) C:N:P = 100:5:1, 2) C:N:P = 100:5:1, 1% коровьего навоза, 3) C:N:P = 100:5:1, 1% коровьего навоза, 1% активного ила, 4) 5% активного ила, 5) 5% автоклавного шлама. Отмечено снижение концентрации пяти–шести колец полициклических ароматических углеводородов в течение 12-недель исследования. Начальная концентрация общего полициклических ароматических углеводородов составляла от 1606 мг/кг до 4445 мг/кг, а окончательная концентрации варьировались от 888 мг/кг до 1556 мг/кг в почве [8].

Исследования показали, что внесение органического материала оказывало положительное влияние на выживаемость дождевых червей в загрязненных почвах, но отмечено снижение веса дождевых червей.

A. C. Buch (2013) отметил 90% выживаемость *Eisenia andrei* при концентрации карбендазима в почве от 1 до 100 мг/кг и снижение веса на 60% без добавления органического вещества [9].

M. J. G. Santos, V. Ferreira, A. M. Soares, S. Loureiro (2011) отметили 100% выживаемость *Eisenia andrei* при внесении в почву диметоата 0,06–0,6 мг/кг, спиродиклофена 0,3–3,0 мг/кг и снижение веса на 20-60% [10].

De Silva и Van Gestel (2009) отметили 100% выживаемость *Eisenia andrei* при внесении хлоропирифоса в концентрации от 1 до 300 г/кг [11].

Учитывая вышеизложенное, задачей настоящего исследования было изучение эффективности биоремедиации нефтезагрязненной почвы при использовании дождевых червей в присутствии фотосинтезирующих бактерий *Thiorhodaceae*, *Athiorhodaceae* и *Chlorobacteriaceae*, азотофиксирующих бактерий *Azotobacter* и *Clostridium*, дрожжей *Saccharomyces*, грибов *Aspergillus* и *Penicillium*, *Actinomycetales* и оценка выживаемости дождевых червей в почве, загрязненной мазутом.

Материал и методы

Таким образом, проведенный анализ литературы показывает, что использование дождевых червей *Eisenia andrei* для биоремедиации нефтезагрязненных почв, при содержании углеводов в почве не более 4 г/кг, является эффективным приемом. Учитывая вышеизложенное, задачей настоящего исследования было изучение эффективности биоремедиации нефтезагрязненной почвы при использовании дождевых червей *Eisenia andrei* и биопрепаратов «Байкал ЭМ-1», «Тамир», «Восток», загрязненной различными концентрациями нефти (от 50 г/кг до 100 кг) при температуре $15\pm 2^\circ$ в течение 18 недель. Данные условия соответствуют температурным условиям вегетационного периода Западной Сибири, который составляет 120-150 дней.

Для проведения вермиремедиации нефтезагрязненной были выбраны дождевые (навозные) черви *Eisenia andrei*. В эксперименте использовались только половозрелые особи. Взрослые особи были приобретены в ЛПХ Ермак (Россия, г. Саратов). Средняя масса червей составляла 0,41-0,92 г. Взрослые особи были приобретены в ЛПХ Ермак (Россия, г. Саратов).

В качестве источника молочнокислых, азотофиксирующих бактерий использовали биопрепарат «Байкал-Эм» (Изготовлен ООО «НПО ЭМ-Центр», Россия) (Номер государственной регистрации 226-19.156-1), биопрепарат «Тамир» (Изготовлен ООО «НПО ЭМ-Центр», Россия) (Номер государственной регистрации 77.01.03.929), в количестве 5 мл на 1 кг субстрата при уровне загрязнения нефтепродуктами выше 50 г/кг почвы. Биопрепараты содержат большое количество микроорганизмов, обитающих в почве: молочнокислые, азотфиксирующие, нитрифицирующие бактерии, актиномицеты, дрожжи и ферментирующие грибы.

Биологически активный препарат «Тамир» (серии ЭМ) предназначен для утилизации органических отходов. Применение его широко, от возрождения плодородия почвы до утилизации органических отходов. Препарат «Тамир» — это живое сообщество 86 полезных почвенных микроорганизмов с усиленной способностью к переработке и ферментации органических отходов.

Препарат «Восток» — это концентрированная культура эффективных микроорганизмов, содержащая полезные микробы в устойчивом неактивном состоянии. Основу препарата составляют фотосинтетические и молочнокислые бактерии, дрожжи, актиномицеты и ферментные грибки. Применение ЭМ-препаратов позволяет решать проблемы загрязнения окружающей среды и других негативных последствий индустриализации естественными методами. ЭМ-препараты существенно улучшают экологическое состояние биосферы.

Состав микроорганизмов биопрепарата «Байкал-ЭМ1»: бактерии *Paenibacillus pabuli*, *Azotobacter vinelandii*, *Lactobacillus casei*, *Clostridium limosum*, *Cronobacter sakazakii*, *Rhodotorulla mucilaginosa*, *Cryptococcus albidus*, дрожжи *Saccharomyces*, *Candida lipolitica*, *Candida norvegensis*, *Candida guilliermondii*, грибы *Aspergillus*, *Penicillium* и *Actinomycetales*. (КОЕ)= $2\cdot 10^{11}$ микроорганизмов в 1 мл.

Состав микроорганизмов биопрепарата «Тамир» — *Paenibacillus pabuli*, *Rhodotorulla mucilaginosa*, *Cryptococcus albidus*, дрожжи *Saccharomyces*, *Candida lipolitica*, *Enterobacter cloacae*, грибы *Aspergillus*, *Penicillium* и *Actinomycetales*. (КОЕ)= $2\cdot 10^{11}$ микроорганизмов в 1 мл. (КОЕ)= $2\cdot 10^{11}$ микроорганизмов в 1 мл.

Состав микроорганизмов биопрепарата «Восток»: *Mycobacterium intracelulara*, *Lactobacteria paracasei*, *Lactobacteria casei*, *Sacharomyces*. (КОЕ)= $2\cdot 10^{10}$ микроорганизмов в 1 мл.

Тест-субстратом для трех экспериментов был чернозем выщелоченный среднемогучий среднегумусный. Для того чтобы спроектировать реальные условия рекультивации была подобрана подобная почва. Почва была загрязнена в эксперименте мазутом (начальные концентрации: 50 г/кг, конечные — 100 г/кг).

Состав субстрата: содержание гумуса — 6,5%, азот общий — 0,3%, фосфор валовый — 1980 мг/кг, фосфор подвижный — 92 мг/кг, калий обменный — 420 г/кг, pH — 6,45.

Перед проведением эксперимента почва была подготовлена в соответствии с ISO (ISO International Standard 11268-1, 1993, ISO International Standard 11268-2, 1998). Почву высушивали до постоянного веса и просеивали через сито с размером ячейки 5 мм, после чего ее гомогенизировали вручную, добавляли карбонат кальция в количестве, достаточном для достижения pH = 6.0±0.5 и дистиллированную воду, в количестве, необходимом для достижения влажности почвы 60%. Подготовленная почва раскладывалась в полипропиленовые емкости объемом 2 л слоем толщиной 15 см (1 кг почвы).

Всего было подготовлено 3 серии образцов загрязненных почв.

В образцах серии 1, для получения образцов нефтезагрязненных почв, в почву был добавлен мазут (50–100 г/кг), *Eisenia andrei* и микробиологический препарат «Байкал ЭМ-1».

В образцах серии 2, для получения образцов нефтезагрязненных почв, в почву был добавлен мазут в количестве 50–100 г/кг, *Eisenia andrei* и микробиологический препарат «Тамир».

В образцах серии 3, для получения образцов нефтезагрязненных почв, в почву был добавлен мазут, в количестве 50–100 г/кг, *Eisenia andrei* и микробиологический препарат «Восток».

В полипропиленовые емкости, объемом 2 литра, на дно укладывали дренаж. В качестве дренажа использовался керамзит с диаметром частиц 2 см., на дренаж насыпали слой почвы толщиной 15 см (1 кг). В каждую емкость вносили по 10 половозрелых червей. На протяжении всего эксперимента почву увлажняли один раз в неделю, добавляя в каждую емкость по 100 мл дистиллированной воды. Сосуды с почвой накрывали хлопчатобумажной тканью. Червей подкармливали свежим тертым картофелем по 5 г 1 раз в неделю. Червей инкубировали при температуре 15°C в течение 5 месяцев. Инкубирование экспериментальных образцов загрязненных почв с введенными червями и добавлением микробиологического препарата, а также контрольных образцов почвы проводилось в течение 5 месяцев с ноября 2015 г. по май 2016 г. Для каждого образца, повторность трехкратная.

Для определения содержания нефти или нефтепродуктов в почве была использована методика, предложенная институтом экспериментальной метрологии (МУК 4.1.1956-05). Данная методика основана на определении количества углеводородов, экстрагированных четыреххлористым углеродом из нефтезагрязненной почвы.

Результаты экспериментов

В контрольном варианте общая численность *E. andrei* увеличилась в 1,5 раза, а при внесении биопрепарата «Байкал-ЭМ-1» в 2,5 раз и достигла 25 особей на сосуд. В варианте с концентрацией мазута 50 г/кг без биопрепарата выживаемость червей была 50%, а с микробиологическим препаратом — 100%, и общая численность увеличилась в 1,6 раза.

При внесении в почву 100 г/кг мазута и биопрепарата «Байкал-ЭМ-1» общая численность увеличилась в 1,4 раза, достигла 14 экз./сосуд.

При внесении биопрепарата «Тамир» общая численность *E. andrei* увеличилась в 3,2 раз. В варианте с концентрацией мазута 50 г/кг без биопрепарата выживаемость червей была 50%, а с микробиологическим препаратом — 100%, и общая численность увеличилась в 1,2 раза.

При внесении в почву 100 г/кг мазута и биопрепарата «Тамир» общая численность увеличилась в 1,4 раза, достигла 14 экз./сосуд.

При внесении биопрепарата «Восток» общая численность *E. andrei* увеличилась в 2,3 раз.

В варианте с концентрацией мазута 50 г/кг без биопрепарата выживаемость червей была 50% ,а с микробиологическим препаратом — 100%, и общая численность увеличилась в 1,4 раза.

При внесении в почву 100 г/кг мазута и биопрепарата «Байкал-Эм-1» общая численность достигла 10 экз./сосуд (Таблица 1).

Таблица 1.

ВЫЖИВАЕМОСТЬ, ОБЩАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ
 ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ *E. ANDREI* ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ МАЗУТА В ПОЧВЕ

Вариант	Общая		Индивидуальная продуктивность коконов/особь
	Численность экз./сосуд	Продуктивность коконов/сосуд	
Контроль	15±0,2	0	0,25
Байкал	25±0,4	1,3	0
Тамир	32±0,8	3,6	0,35
Восток	23±0,3	3	0,25
Мазут 60 г/кг+Байкал	16±0,2	0,6	0,05
Мазут 100 г/кг+Байкал	14±0,2	2	0,25
Мазут 60 г/кг+Тамир	12±0,2	0	0
Мазут 100 г/кг+Тамир	14±0,2	2	0,2
Мазут 60 г/кг+Восток	14±0,2	3	0,25
Мазут 100 г/кг+Восток	10±0,1	1	0,2

В контрольном варианте, при внесении мазута в почву в количестве 60 г/кг значительного снижения концентрации углеводородов в почве не наблюдалось. В течение пяти месяцев содержание нефтепродуктов в почве снизилось до 57 г/кг (эффективность 4%). В варианте с внесением червей *E. andrei* концентрация мазута в почве снизилась до 7,15 г/кг (эффективность 87%).

При введении в почву биопрепарата «Тамир» и червей *E. andrei* концентрация мазута в почве снизилась до 9,5 г/кг (эффективность 82%) в варианте с внесением червей *E. andrei* концентрация мазута в почве снизилась до 12,55 г/кг (эффективность 78%) (Таблица 2).

При внесении в почву мазута в количестве 100 г/кг почвы процесс рекультивации почвы занимал 5 мес, в ходе которого концентрация углеводородов снижалась на 70-80% в присутствие микробиологических препаратов. Внесение биопрепарата «Байкал», «Тамир», «Восток» оказывало существенное влияние на процесс разрушения углеводородов. В контрольном варианте, при внесении мазута в почву в количестве 100 г/кг значительного снижения концентрации углеводородов в почве не наблюдалось. В течение пяти месяцев содержание нефтепродуктов в почве снизилось до 96 г/кг.(эффективность 4%)

Таблица 2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ МАЗУТА (КОНЦЕНТРАЦИЯ 60-100 г/кг ПОЧВЫ)
 ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ПРИМЕНЕНИИ ВЕМИКУЛЬТУРЫ
 И БИОПРЕПАРАТОВ «БАЙКАЛ», «ВОСТОК», «ТАМИР»

Месяц	Байкал+ <i>E. andrei</i> +Мазут 60 г/кг	Восток+ <i>E. andrei</i> + Мазут 60 г/кг	Тамир+ <i>E. andrei</i> + Мазут 60 г/кг	Конт роль Мазут 60 г/кг	Байк	Вост	Там	Кон
					ал+ <i>E. andrei</i> +Ма зут 100 г/кг	ок+ <i>E. andrei</i> Мазут 100 г/кг	ир+ <i>E. andrei</i> Маз ут 100 г/кг	тро ль Маз ут 100 г/кг
декабрь	60	60	60	60	100	100	100	100
январь	36	40	43	60	74	81	90	100
февраль	21,62	31,44	18,89	59	65	68	69,9 5	100
март	15,44	20,99	12,95	58	36,4 9	44,39	36,7 4	98
апрель	7,15	12,55	9,48	56,9	17,5 4	21,84	16,7 4	96
Эффект ивность, %	87	78	82	6	82	77	82	4

При введении в почву биопрепарата «Байкал-Эм» и *E. andrei*, концентрация мазута в почве снизилась до 17,5г/кг (эффективность 82%).

В варианте с внесением *E. andrei* концентрация мазута в почве снизилась до 17 г/кг (эффективность 82%).

При введении в почву биопрепарата «Восток» и *E. andrei* концентрация мазута в почве снизилась до 22 г/кг (эффективность 77%) (Таблица 2).

Заключение

Таким образом, в результате исследований было подтверждено, что дождевые черви имеют большой потенциал для удаления углеводов из почвы, даже при высоких концентрациях до 100 г/кг. Введение микробиологического препарата повысило выживаемость и репродуктивный потенциал червей в нефтезагрязненных почвах и способствовало значительному снижению концентрации углеводов в течение 20-22 недель в лабораторном эксперименте. Эти результаты позволяют предположить, что дождевые черви могут быть рекомендованы для биоремедиации даже очень загрязненных почв с концентрацией нефти до 100 г/кг при совместном использовании с микробиологическими препаратами, содержащими культуры бактерий *Paenibacillus pabuli*, *Azotobacter vinelandii*, *Lactobacillus casei*, *Clostridium limosum*, *Cronobacter sakazakii*, *Rhodotorulla mucilaginosa*, *Cryptococcus albidus*, дрожжей *Saccharomyces*, *Candida lipolitica*, *Candida norvegensis*, *Candida guilliermondii*, грибов *Aspergillus* и *Penicillium*, *Actinomycetales*. (КОЕ)= $2 \cdot 10^{11}$ per mL).

В процессе рекультивации почв, загрязненных мазутом 60-100 г/кг с использованием биопрепаратов «Байкал», «Тамир», «Восток» высокая эффективность 86% отмечена при совместном использовании препарата «Байкал» и *E. andrei*.

В процессе рекультивации почв, загрязненных нефтью 100 г/кг хорошо зарекомендовал себя препарат «Тамир» совместно с *E. andrei* — эффективность 80-82%

Препарат «Восток» имел низкую эффективность рекультивации со всеми видами дождевых червей.

Список литературы:

1. Кузнецов А. Е. Прикладная экобиотехнология. М.: Бином. Лаб. знаний, 2012. 629 с.
2. Han M., Ji G., Ni J. Washing of field weathered crude oil contaminated soil with an environmentally compatible surfactant, alkyl polyglucoside // *Chemosphere*. 2009. Vol. 76. N. 5. P. 579-586.
3. Silva A., Delerue-Matos C., Fiúza A. Use of solvent extraction to remediate soils contaminated with hydrocarbons // *Journal of hazardous materials*. – 2005. – Т. 124. – №. 1-3. – С. 224-229.
4. Yeung A. T., Gu Y. Y. A review on techniques to enhance electrochemical remediation of contaminated soils // *Journal of hazardous materials*. 2011. Vol. 195. P. 11-29.
5. Rodriguez-Campos, J., Dendooven, L., Alvarez-Bernal, D., & Contreras-Ramos, S. M. Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: a review // *Applied Soil Ecology*. 2014. T. 79. C. 10-25.
6. Gomez-Eyles J. L., Sizmur T., Collins C. D., Hodson M. E. Effects of biochar and the earthworm *Eisenia fetida* on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic elements // *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159. N 2. P. 616-622.
7. Saint-Denis M., Narbonne J. F., Arnaud C., Thybaud E., Ribera D. Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil: effects of benzo (a) pyrene // *Soil Biology and Biochemistry*. 1999. Vol. 31. N 13. P. 1837-1846.
8. Potter C. L., Glaser J. A., Chang L. W., Meier J. R., Dosani M. A., Herrmann R. F. Degradation of polynuclear aromatic hydrocarbons under bench-scale compost conditions // *Environmental science & technology*. 1999. Vol. 33. N. 10. P. 1717-1725.
9. Buch A. C., Brown G. G., Niva C. C., Sautter K. D., Sousa J. P. Toxicity of three pesticides commonly used in Brazil to *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) and *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) // *Applied soil ecology*. 2013. Vol. 69. P. 32-38.
10. Santos M. J., Ferreira V., Soares A. M., Loureiro S. Evaluation of the combined effects of dimethoate and spirodiclofen on plants and earthworms in a designed microcosm experiment // *Applied soil ecology*. 2011. Vol. 48. N. 3. P. 294-300.
11. De Silva P. M. C. S., van Gestel C. A. M. Comparative sensitivity of *Eisenia andrei* and *Perionyx excavatus* in earthworm avoidance tests using two soil types in the tropics // *Chemosphere*. 2009. Vol 77. N. 11. P. 1609-1613.

References:

1. Kuznetsov, E. A. (2012). Applied ecobiotechnology. Moscow: BINOM. 629.
2. Han, M., Ji, G., & Ni, J. (2009). Washing of field weathered crude oil contaminated soil with an environmentally compatible surfactant, alkyl polyglucoside. *Chemosphere*, 76(5), 579-586.
3. Silva, A., Delerue-Matos, C., & Fiúza, A. (2005). Use of solvent extraction to remediate soils contaminated with hydrocarbons. *Journal of hazardous materials*, 124(1-3), 224-229.
4. Yeung, A. T., & Gu, Y. Y. (2011). A review on techniques to enhance electrochemical remediation of contaminated soils. *Journal of hazardous materials*, 195, 11-29.

5. Rodriguez-Campos, J., Dendooven, L., Alvarez-Bernal, D., & Contreras-Ramos, S. M. (2014). Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: a review. *Applied Soil Ecology*, 79, 10-25.
6. Gomez-Eyles, J. L., Sizmur, T., Collins, C. D., & Hodson, M. E. (2011). Effects of biochar and the earthworm *Eisenia fetida* on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, 159(2), 616-622.
7. Saint-Denis, M., Narbonne, J. F., Arnaud, C., Thybaud, E., & Ribera, D. (1999). Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil: effects of benzo (a) pyrene. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(13), 1837-1846.
8. Potter, C. L., Glaser, J. A., Chang, L. W., Meier, J. R., Dosani, M. A., & Herrmann, R. F. (1999). Degradation of polynuclear aromatic hydrocarbons under bench-scale compost conditions. *Environmental science & technology*, 33(10), 1717-1725.
9. Buch, A. C., Brown, G. G., Niva, C. C., Sautter, K. D., & Sousa, J. P. (2013). Toxicity of three pesticides commonly used in Brazil to *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) and *Eisenia andrei* (Bouché, 1972). *Applied soil ecology*, (69), 32-38.
10. Santos, M. J., Ferreira, V., Soares, A. M., & Loureiro, S. (2011). Evaluation of the combined effects of dimethoate and spirodiclofen on plants and earthworms in a designed microcosm experiment. *Applied soil ecology*, 48(3), 294-300.
11. De Silva, P. M. C., & van Gestel, C. A. (2009). Comparative sensitivity of *Eisenia andrei* and *Perionyx excavatus* in earthworm avoidance tests using two soil types in the tropics. *Chemosphere*, 77(11), 1609-1613.

Работа поступила
в редакцию 09.09.2018 г.

Принята к публикации
14.09.2018 г.

Ссылка для цитирования:

Чачина С. Б., Салыкина Ю. О. Потенциал *Eisenia andrei* в комплексной очистке почв, загрязненных мазутом // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №10. С. 116-124. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/chachina-salykinaoipya> (дата обращения 15.10.2018).

Cite as (APA):

Chachina, S., & Salykina, Yu. (2018). Potential of *Eisenia andrei* in complex cleaning of soils contaminated with fuel oil. *Bulletin of Science and Practice*, 4(10), 116-124. (in Russian).