УДК 502/504 : 57.022 : 579.2 : 631.61

Биологическая рекультивация почв, загрязненных мазутом, с использованием вермикюльтуры дождевых червей *Dendrobena veneta* и микробиологических препаратов «Байкал-Эм», «Тамир», «Восток»

Поступила 20.09.2018 г.

© Чачина Светлана Борисовна¹, Верба Елена Юрьевна^{1,2}¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Омский государственный технический университет», г. Омск, Россия

² Акционерное общество «Газпромнефть-ОНПЗ», г. Омск, Россия

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 обладают огромными возможностями для удаления углеводородов нефти и нефтепродуктов из почвенного покрова, и в том числе при достаточно высоких их концентрациях – 100 г/кг. В случае использования микробиологических препаратов, выживаемость и потенциал репродукции червей повышаются в мазутозагрязненных почвах, что приводит к достаточно сильному уменьшению концентрации компонентов мазута в условиях лабораторного и полевого эксперимента в течение 20–22 недель. Полученные результаты дают возможность предполагать высокую эффективность дождевых червей в процессе биоремедиации даже очень загрязненных почв, с концентрацией мазута до 100 г/кг, в том числе 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* and *Penicillium* as well as *Actinomycetales*. (КОЕ) = $2 \cdot 10^{11}$ микроорганизмов на мл. Предложена методика рекультивации нефтезагрязненных почв с содержанием мазута до 150 г/кг микроорганизмами (молочнокислые, азотофиксирующие, фотосинтезирующие бактерии) и дождевыми червями *Dendrobaena veneta*. Способ очистки и восстановления экологических функций субстратов, загрязненных мазутом заключался в том, что субстрат обрабатывали биопрепаратами, проводили отвальную обработку почвы и паровали в течение одного месяца, затем вносили дождевых червей в количестве 1000 шт./м², в качестве питательной среды использовали навоз крупно рогатого скота (КРС) в дозе 1 т/га загрязненного полигона.

Ключевые слова. Рекультивация, дождевые черви, микроорганизмы, загрязнение почвы.

Biological recultivation of soils contaminated with fuel oil, using vermiculture earthworms *Dendrobena veneta* and microbiological preparations «Baikal-Em», «Tamir», «East»

Received on September 20, 2018

© CHachina Svetlana Borisovna¹, Verba Elena YUr'evna^{1,2}¹ Omsk State Technical University, Omsk, Russia² Joint stock company «Gazpromneft-ONPZ», Omsk, Russia

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*, *Rhodotorulla mucilaginosa*, *Cryptococcus albidus*, yeast *Saccharomyces*, *Candida lipolitica*, *Candida norvegensis*, *Candida guilliermondii*, fungi *Aspergillus* and *Penicillium* as well as *actinomycetales*. (CFU) = $2 \cdot 10^{11}$ microorganisms per ml a 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.

Keywords. Reclamation, earthworms, microorganisms, soil pollution.

Введение. Известны факты ускорения процесса удаления дождевыми червями загрязняющих веществ из почвенного покрова. Дождевые черви способны изменять физико-химические свойства почвы, смешивая ее с органическими веществами, посредством роющего образа жизни, тем самым улучшая аэрацию и делая загрязняющие вещества доступными для микроорганизмов [1]. Нахождение дождевых червей в почвах, загрязненных различными органическими соединениями подтверждает тот факт, что черви могут выживать в присутствии пестицидов, гербицидов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), полихлорированных бифенилов (ПХБ), и нефти, при невысоких концентрациях загрязняющих веществ [2].

Ремедиация почв, загрязненных углеводородами, основана на химической обработке или физическом удалении загрязняющих веществ, но в последнее время все чаще используют биостимуляцию, биоаугментацию или фиторемедиацию, поскольку они оказывают меньшее разрушительное воздействие на окружающую среду [3, 4]. Термин вермиремедиация применяется для использования червей в качестве способа удаления загрязняющих веществ из почвенного слоя [5] или для ускорения разложения ПАУ соединений. Некоторыми авторами отмечено положительное воздействие червей на извлечение из почвы загрязняющих веществ, в том числе нефти, ПАУ, ПХБ, пестицидов, и тяжелых металлов [1, 6–9]. Дождевые черви облегчают и усиливают взаимодействие загрязнителей с почвенными микроорганизмами [10]. Наиболее распространенные культивируемые виды в почвах с тяжелыми металлами и в свалках отходов (зола, шлама) и являются *Lumbricus rubellus*, *Dendrobena octaedra* и *Aporrectodea caliginosa* [11].

Отмечен серьезный опыт применения *Dendrobena veneta* в сельском хозяйстве. Последние 25 лет, ученые опытной станции в Ротамстеде исследовали разнообразные аспекты применения дождевых червей в мелиорации и рекультивации почв. *Dendrobena veneta* также способен разлагать органические отходы и перерабатывать животные и растительные отходы, сточные воды, сельскохозяйственные, бытовые, городские и промышленные загрязнители [12]. В литературе как отечественной, так и зарубежной отсутствуют данные о применении *Dendrobena veneta* в рекультивации нефтезагрязненного почвенного покрова.

Жизненный цикл *Dendrobena veneta* протекает при 15 °C и завершается за 100–150 дней, но при 25 °C созревание идет быстрее, черви производят коконы в более молодом возрасте и больше коконов на сосуд, чем при 15 °C. Инкубационный период коконов был короче при более высокой температуре [13].

Имеются данные об использовании *Dendrobena veneta* для извлечения свинца из почвы, содержащей высокую концентрацию свинца и кадмия [14]. Накоплены материалы о кинетике тяжелых металлов в дождевых червях *Dendrobena veneta*. Marinussen M.P. с соавт. провели эксперименты по накоплению и выведению металлов в лабораторных условиях с использованием почв загрязненных тяжелыми металлами (Cu, Pb, Zn) [15]. Червей выдерживали в течение 28–112 дней в почве, загрязненной тяжелыми металлами (Cu 242 мг/кг, Pb: 109 мг/кг, Zn 72 мг/кг). На 112-й день наблюдали неожиданное увеличение в ткани червей концентрации Cu и Zn [16].

Erlacher с соавт. изучали влияние различных концентраций нефти на выживаемость *Dendrobena hortensis*. При концентрации 823 мг/кг смертность *Dendrobena hortensis* увеличилась до

100%. Но при внесении органического субстрата, смертность не превышала 60% при более высоких концентрациях нефти от 1059 до 2241 мг/кг [17]. Hickman Z.A., Reid отмечали снижение концентрации 3-метилхлорантрена в почве при культивировании *D. veneta* [17].

Dendrobaena veneta способна потреблять широкий спектр органических отходов. Rorat A, Kasprzak M. изучали выживаемость дождевых червей в почве с осадком муниципальных сточных вод. Были заложены варианты 0%, 25% и 50% и 100% осадка сточных вод. В варианте 0% обнаружены 3 ювенильные особи и 2 кокона, в варианте 50% – 2 кокона, в варианте 25% – 44 кокона и 41 ювенильных особей, а в варианте 100% ОСВ – погибли все черви. Максимальная биомасса червей отмечена при концентрации ОСВ 25% – 1,5 г [18].

Материалы и методы исследований. Проведенный авторами настоящей статьи литературный анализ доказывает, что сам способ использования дождевых червей *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, *Eisenia andrei* для проведения биоремедиации загрязненных нефть и нефтепродуктами почв (в случае содержания углеводов в исследуемой почвенной пробе не более четырех г/кг), довольно эффективный прием. Принимая во внимание все вышеизложенное, актуальная задача данного исследования заключалась в изучении эффективности биоремедиации мазутозагрязненной почвы при использовании червей *Eisenia Fetida*, *Dendrobaena veneta*, *Eisenia andrei* и биопрепаратов «Байкал ЭМ-1», «Тамир», «Восток», с различными концентрациями внесенного мазута (от пятидесяти до ста г/кг), при температуре испытания $15 \pm 20^\circ \text{C}$, в течение 18 недель. Данные условия полностью согласуются с температурными условиями вегетационного периода в Западной Сибири, который протекает 120–150 дней.

Для реализации вермиремедиации мазутозагрязненного почвенного образца выбирались дождевые (навозные) черви *Dendrobaena veneta*. В процессе осуществления эксперимента использовали исключительно половозрелых особей. Взрослые экземпляры червей закупались в ЛПХ «Ермак» (см. рис. 1, г. Са-

ратов, Россия). Усредненная масса червей составляла 0,41...0,92 г.

Рис. 1. Культура дождевых червей

С целью получения молочнокислых, азотфиксирующих бактерий использовался биологический препарат «Байкал ЭМ-1» (изготовлен ООО «НПО ЭМ-Центр, Россия, номер гос. регистрации 226-19.156-1), микробиологический препарат «Тамир» (изготовлен ООО «НПО ЭМ-Центр, Россия, номер гос.регистрации 77.01.03.929), в количестве пять миллилитров на один килограмм субстрата при уровне загрязнения нефтепродуктами свыше пятидесяти г/кг почвы. Биопрепараты содержат в себе достаточное количество микроорганизмов, которые в свою очередь обитают в образце: молочнокислые, азотфиксирующие, нитрифицирующие бактерии, актиномицеты, дрожжи и ферментирующие грибки.

Биоактивный препарат «Тамир» подходит для утилизации органических отходов. Применение его достаточно обширно: от возобновления плодородности почвенного покрова до окончательной утилизации орготходов. Препарат «Тамир» (серии ЭМ) – это настоящий живой микромир из восьмидесяти шести полезных почвенных микроорганизмов с повышенной способностью преобразовывать и ферментировать органические отходы.

Биопрепарат «Восток» – это высококонцентрированная культура высокоэффективных микроорганизмов, содержит очень полезные микробы в неактивном, но достаточно устойчивом состоянии. Базой препарата являются молочнокислые и фотосинтетические бактерии,

дрожжи, актиномицеты и ферментные грибы. Само использование ЭМ-препаратов позволяет успешно решать проблемы загрязненности окружающей среды, а также устранять негативные последствия индустриализации совершенно естественными методами. ЭМ-препараты существенно оздоравливают биосферу.

Состав микроорганизмов биопрепарата «Байкал ЭМ-1»: 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* and *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* and *Penicillium* и *Actinomycetales*. (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 среднемогучный среднегумусный, отобранный на территории поселка Степной (г. Омск). Для того чтобы спроектировать реальные условия рекультивации была подобрана подобная почва. Почвенную пробу загрязнили в ходе эксперимента мазутом от начальных концентраций 60 г/кг до конечных 100 г/кг. Данные концентрации соответствуют уровню загрязнения почвы, в районах прилегающих к месту разлива мазута в пос. Степной.

Субстрат имел следующие характеристики: pH 6,45, азот общий 0,3%, гумус 6,5%, калий обменный 420 мг/кг, фосфор валовый 1980 мг/кг, фосфор подвижный 92 мг/кг. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества). Для определения общего азота использовали ГОСТ Р 53219-2008 (ИСО 14255:1998) «Качество почвы». Определение содер-

жания нитратного азота, аммонийного азота и общего азота в воздушно-сухих почвах проводили с помощью хлорида кальция в качестве экстрагирующего вещества. Определение обменного калия по методу Масловой (ГОСТ 26210-91 «Почвы»). Метод определения валового фосфора и валового калия – по ГОСТ 26261-84 «Почвы».

Перед тем, как начать эксперимент почвенную пробу подготавливали согласно ISO [ISO International Standard 11268-1, 1993, ISO International Standard 11268-2, 1998]. Почвенную пробу высушивали до постоянного веса в течение 3 часов при температуре 105 °C в сушильном шкафу, просеивали через сито с размером ячейки пять мм, после чего вручную гомогенизировали, добавляли карбонат кальция до достижения pH $6,00 \pm 0,50$ и дистиллированную воду, до достижения уровня влажности порядка 60 %. Затем, подготовленная таким образом почва (рис. 2), выкладывалась в полипропиленовые емкости объемом два литра, в слой толщиной пятнадцать сантиметров (что соответствует одному килограмму почвы).

Рис. 2. Образцы почв для исследований

Таким образом, подготовили четыре серии образцов мазутозагрязненной почвы по три повторности в каждой.

В образцах серии *1*, для получения образцов мазутозагрязненных почв, вносили мазут, взятый с разлива мазута в поселке Степной в количестве 50...100 г/кг, червей *Dendrobaena veneta* и микробиопрепарат «Байкал ЭМ-1».

В образцах серии *2*, для получения образцов мазутозагрязненных почв, вносили мазут, взятый с разлива мазута в поселке Степной в количестве 50...100 г/кг, червей *Dendrobaena veneta* и микробиопрепарат «Тамир».

В образцах серии *3*, для получения образцов мазутозагрязненных почв, вносили мазут, взятый с разлива мазута в поселке Степной в количестве 500...100 г/кг, червей *Dendrobaena veneta* и микробиопрепарат «Восток».

В образцах серии *4*, контрольный вариант, вносили мазут, взятый с разлива мазута в поселке Степной в количестве 50...100 г/кг

Подготовка образцов почвы велась следующим образом. В емкости из полипропилена, объемом два литра, укладывали дренаж на дно (дренаж – керамзит с диаметром частиц два см.), на дренаж насыпали слой почвы толщиной пятнадцать см (что соответствует одному килограмму). Затем в каждую емкость вносили половозрелые особи. В ходе всего исследования пробу почвы увлажняли один раз в неделю, за счет добавления в каждую емкость по сто мл дистиллированной воды. Емкости были накрыты хлопчатобумажной тканью. Дождевых червей подкармливали свежим тертым картофелем по пять грамм один раз в неделю. В течение пяти месяцев червей инкубировали при температуре 15 °С ящичным методом на стеллажах. Таким образом, все последовательные операции проводились в течение пяти месяцев с ноября 2015 г. по май 2016 г.

Для определения содержания нефтепродуктов в почве была использована методика, предложенная Институтом экспериментальной метрологии [МУК 4.1.1956-05]. Данная методика основана на определении количества углеводов, экстрагированных четыреххлористым углеродом из мазутозагрязненной почвы [19].

Результаты и обсуждение. В контрольном эксперименте общая численность *D. Veneta* увеличилась в 2,3 раза, а при внесении биопрепарата «Байкал-ЭМ-1» – в 3,2 раз. В варианте с концентрацией мазута пятьдесят г/кг без биопрепарата выживаемость червей была 50%, а с микробиологическим препаратом – 100%, и общая численность увеличилась в 3,0 раза. При внесении в почву ста г/кг мазута и биопрепарата «Байкал-ЭМ-1» общая численность увеличилась в 1,8 раза, достигла 18 экз./сосуд. При внесении биопрепарата «Тамир» общая численность *D. Veneta* увеличилась в 2,7 раз. В варианте с концентрацией мазута пятьдесят г/кг без биопрепарата выживаемость червей была 50%, а с микробиологическим препаратом – 100%, и общая численность увеличилась в 2,7 раза. При внесении в почву сто г/кг мазута и биопрепарата «Тамир» общая численность увеличилась в 1,2 раза, достигла 12 экз./сосуд. При внесении биопрепарата «Восток» общая численность *D. Veneta* увеличилась в 2 раза. В варианте с концентрацией мазута пятьдесят г/кг без биопрепарата выживаемость червей была 50%, а с микробиологическим препаратом – 100%, и общая численность увеличилась в 1,5 раза. При внесении в почву сто г/кг мазута и биопрепарата «Восток» общая численность увеличилась в 3,3 раза, достигла 33 экз./сосуд (табл. 1).

Таблица 1

Выживаемость, общая численность дождевых червей *D. veneta* при различных концентрациях мазута в почве

Вариант	Общая		Индивидуальная продуктивность коконов/особь
	численность экз./сосуд	продуктивность коконов/сосуд	
Контроль	23 ± 0,3	3	0,1
Байкал	32 ± 0,4	3,5	0,3
Тамир	27 ± 0,4	3	0,2
Восток	21 ± 0,3	2,5	0,5
Мазут 60 г/кг+Байкал	30 ± 0,3	2	0,1
Мазут 100 г/кг+Байкал	18 ± 0,2	5	0,5
Мазут 60 г/кг+Тамир	27 ± 0,3	3	0,3
Мазут 100 г/кг+Тамир	20 ± 0,3	4	0,4
Мазут 60 г/кг+Восток	2,3	0,3	0
Мазут 100 г/кг+Восток	4	0,5	0

Концентрация мазута была значительно снижена в образцах почвы с дождевыми червями по сравнению с образцами почвы без червей. Эффективность и скорость разрушения углеводов мазута зависит от концентрации в почве и присутствия в почве биопрепарата «Байкал-Эм», «Тамир», «Восток». При внесении в почву мазута в количестве шестьдесят г/кг почвенной пробы процесс рекультивации занимал пять месяцев, в результате концентрация мазутных углеводов снижалась на 70...80 %. Добавление биопрепарата «Байкал», «Тамир», «Восток» существенно влияло на процесс разрушения углеводов мазута (табл. 2). В контрольном эксперименте, при внесении мазута в

почву в количестве шестьдесят г/кг значительного снижения концентрации углеводов в почве не наблюдалось. В течение пяти месяцев содержание мазутных углеводов в почве снизилась до 57 г/кг (эффективность 4%). При введении в почву биопрепарата «Байкал-Эм» и червей *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась до 8,6 г/кг (эффективность 84%). При введении в почву биопрепарата «Тамир» и червей *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась до 14 г/кг (эффективность 75%) При введении в почву биопрепарата «Восток» и червей *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась до 14 г/кг (эффективность 75%) (табл. 2).

Таблица 2

Эффективность удаления мазута (концентрация 60...100 г/кг почвы) при комплексном применении вемикультуры и биопрепаратов «Байкал», «Восток», «Тамир»

Месяц	«Байкал» + <i>D.veneta</i> Мазут 60 г/кг	«Восток» + <i>D.veneta</i> Мазут 60 г/кг	«Тамир» + <i>D.veneta</i> Мазут 60 г/кг	Контроль Мазут 60 г/кг	«Байкал» + <i>D.veneta</i> Мазут 100 г/кг	«Восток» + <i>D.veneta</i> Мазут 100 г/кг	«Тамир» + <i>D.veneta</i> Мазут 100 г/кг	Контроль Мазут 100 г/кг
Декабрь	60	60	60	60	100	100	100	100
Январь	36	40	43	60	74	81	90	100
Февраль	20,01	36,14	29,09	59	65	68	73,61	100
Март	14,91	21,22	23,07	58	46,44	31,81	37,86	98
Апрель	8,59	14,04	12,31	56,9	18,67	19,45	17,86	96
Эффективность, %	84	75	78	6	80	80	80	4

При внесении в почву мазута в количестве сто г/кг почвы процесс рекультивации почвы занимал пять месяцев, в результате концентрация мазутных углеводов снижалась на 70...80 % в присутствие микробиопрепаратов. Внесение биопрепарата «Байкал», «Тамир», «Восток» существенно воздействовало на процесс разрушения углеводов (табл. 2). В контрольном эксперименте, при внесении мазута в почву в количестве сто г/кг значительного снижения концентрации углеводов в почве не наблюдалось. За пять месяцев содержание мазута в почве снизилось до 96 г/кг (эффективность 4%). При введении в почву биопрепарата «Байкал-Эм» и червей *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась до 18,6 г/кг (эффективность 80%). При введении в почву биопрепарата «Тамир» и *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась

до 18 г/кг (эффективность 80%). При введении в почву биопрепарата «Восток» и червей *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась до 19,5 г/кг (эффективность 80%) (табл. 2).

Выводы

Предложена методика рекультивации мазутозагрязненных почв с содержанием мазута до 100 г/кг молочнокислыми, азотфиксирующими, фотосинтезирующими бактериями и дождевыми червями. Способ очистки и восстановления экологических функций субстратов, загрязненных нефтепродуктами, заключался в обработке субстрата биопрепаратом, затем отвальная обработка почвы полигона, парование в течение одного месяца. После чего почву заселяют дождевыми червями в количестве 1000 шт./м², в качестве питательного субстрата использовали навоз крупного рогатого скота в дозе 1 т/га. В

результате эксперимента, проводимого в течение 5 месяцев, установлено значительное (на 95...97%) снижение концентрации углеводородов в почве, содержащей червей и биопрепарат Байкал-Эм-1.

В процессе рекультивации почв, загрязненных мазутом в концентрации 60...100 г/кг, с использованием биопрепаратов «Байкал», «Тамир», «Восток» высокая эффективность 84 % отмечена при совместном использовании препарата «Байкал» и дождевых червей *D. veneta*.

В процессе рекультивации почв, загрязненных нефтью 100 г/кг хорошо зарекомендовал себя препарат «Тамир» и «Восток» совместно с дождевыми червями *D. veneta* – эффективность 80 %.

Библиографический список

1. Eijsackers, H., van Gestel, C., De Jonge, S., Muijs, B., Slijkerman, D. Polycyclic aromatic hydrocarbons-polluted dredged peat sediments and earthworms: a mutual interference // *Ecotoxicology*, 2001. Vol. 10. P. 35–50.
2. Jacobo Rodriguez-Campos, Luc Dendooven, Dioselina Alvarez-Bernal, Silvia Maribel Contreras-Ramos, Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: A review // *Applied Soil Ecology*. 79 (2014). P. 10–25.
3. Hamdi, H., Benzarti, S., Manusadzianas, L., Aoyama, I., Jedidi, N. Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions // *Soil Biol. Biochem.* 2007. Vol. 39. P. 1926–1935.
4. Juwarkar, A.A., Singh, S.K., Mudhoo, A. A comprehensive overview of elements in bioremediation // *Rev. Environ. Sci. Biotechn.* 2010. Vol. 9. P. 215–288.
5. Sinha, R.K., Bharambe, G., Ryan, D. Converting wasteland into wonderland by earthworms a low-cost nature's technology for soil remediation: a case study of vermiremediation of PAHs contaminated soil // *Environment*. 2008. Vol. 28. P. 466–475.
6. Binet, F., Kersanté, A., Munier-Lamy, C., Le Bayon, R.C., Belgé, M.J., Shipitalo, M.J. Lumbricid macrofauna alter atrazine mineralization and sorption in a silt loam soil // *Soil Biol. Biochem.* 2006. Vol. 38. P. 1255–1263.
7. Contreras-Ramos, S.M., Blvarez-Bernal, D., Dendooven, L. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*) // *Soil Biol. Biochem.* 2008. Vol. 40. P. 1954–1959.
8. Ma, W.C., Immerzeel, J., Bodt, J. Earthworms and food interactions on bioaccumulation and disappearance in soil of polycyclic aromatic hydrocarbons: studies on phenanthrene and fluoranthene // *Ecotox. Environ. Saf.* 1995. Vol. 32. P. 226–232.
9. Schaefer, M., Filser, J. The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil // *Appl. Soil Ecol.* 2007. Vol. 36. P. 53–62.
10. Hickman, Z.A., Reid, B.J. Increased microbial catabolic activity in diesel contaminated soil following addition of earthworms (*Dendrobaena veneta*) and compost // *Soil Biol. Biochem.* 2008c. Vol. 40. P. 2970–2976.
11. Eijsackers, H. Earthworms as colonisers: primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits // *Sci. Total Environ.* 2010. Vol. 408. P. 1759–1769.
12. Edwards, C.A., Bajer, J.E. The use of earthworms in environmental management // *Soil Biology and Biochemistry*. 1992. Vol. 24 (12). pp. 1683–1689.
13. Viuoen, S.A., Reinecke, A.J., Hartman, L. The influence of temperature on the life-cycle of *Dendrobaena veneta* (*Oligochaeta*) // *Soil Biology and Biochemistry*. 1992. Vol. 24 (12). pp. 1341–1344.
14. Ireland, M.P. Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites // *Environmental pollution*. 1979. Vol. 19 (3). pp. 201–206.
15. Marinussen, M.P.J.C., Van Der Zee, S.E.A.T.M., De Haan, F.A.M., Bouwman, L.M., Hefting, M.M. Heavy metal (copper, lead, and zinc) accumulation and excretion by the earthworm, *Dendrobaena veneta* // *Journal of Environmental Quality*. 1997. Vol. 26 (1). pp. 278–284.
16. Elisabeth Erlacher, Andreas P. Loibner, Romana Kendler, Kerstin E. Scherr. Distillation fraction-specific ecotoxicological evaluation of a paraffin-rich crude oil //

Environmental Pollution. 2013. Vol. 174. P. 236–243.

17. Hickman, Z.A., Reid, B.J. Earthworm assisted bioremediation of organic contaminants // Environ. Int. 2008. Vol. 34. P. 1072–1081.

18. Rorat, A., Kacprzak, M., Vandenbulcke, F., Plytycz, B. Soil amendment with municipal sewage sludge affects the immune system of earthworms *Dendrobaena veneta* // Applied Soil Ecology. 2013. Vol. 64. pp. 237–244.

19. Чачина С.Б. Рекультивация почв, загрязненных битумом, с использованием навозных червей *Eisenia Fetida*, и микробиологических препаратов «Байкал ЭМ-1», «Восток ЭМ» и «Тамир» // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. №1, Том 4. С.405–411.

References in roman script

1. Eijsackers, H., van Gestel, C., De Jonge, S., Muijs, B., Slijkerman, D. Polycyclic aromatic hydrocarbons-polluted dredged peat sediments and earthworms: a mutual interference // Ecotoxicology, 2001. Vol.10. P. 35–50.

2. Jacobo Rodriguez-Campos, Luc Dendooven, Dioselina Alvarez-Bernal, Silvia Maribel Contreras-Ramos, Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: A review // Applied Soil Ecology. 79 (2014). P. 10–25.

3. Hamdi, H., Benzarti, S., Manusadzianas, L., Aoyama, I., Jedidi, N. Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions // Soil Biol. Biochem. 2007. Vol. 39. P. 1926–1935.

4. Juwarkar, A.A., Singh, S.K., Mudhoo, A. A comprehensive overview of elements in bioremediation // Rev. Environ. Sci. Biotechn. 2010. Vol. 9. P. 215–288.

5. Sinha, R.K., Bharambe, G., Ryan, D. Converting wasteland into wonderland by earthworms a low-cost nature's technology for soil remediation: a case study of vermiremediation of PAHs contaminated soil // Environment. 2008. Vol. 28. P. 466–475.

6. Binet, F., Kersanté, A., Munier-Lamy, C., Le Bayon, R.C., Belgé, M.J., Shipitalo, M.J. Lumbricid macrofauna alter atrazine mineralization and sorption

in a siltloam soil // Soil Biol. Biochem. 2006. Vol. 38. P. 1255–1263.

7. Contreras-Ramos, S.M., Blvarez-Bernal, D., Dendooven, L. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*) // Soil Biol. Biochem. 2008. Vol. 40. P. 1954–1959.

8. Ma, W.C., Immerzeel, J., Bodt, J. Earthworms and food interactions on bioaccumulation and disappearance in soil of polycyclic aromatic hydrocarbons: studies on phenanthrene and fluoranthene // Ecotox. Environ. Saf. 1995. Vol. 32. P. 226–232.

9. Schaefer, M., Filser, J. The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil // Appl. Soil Ecol. 2007. Vol. 36. P. 53–62.

10. Hickman, Z.A., Reid, B.J. Increased microbial catabolic activity in diesel contaminated soil following addition of earthworms (*Dendrobaena veneta*) and compost // Soil Biol. Biochem. 2008c. Vol. 40. P. 2970–2976.

11. Eijsackers, H. Earthworms as colonisers: primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits // Sci. Total Environ. 2010. Vol. 408. P. 1759–1769.

12. Edwards, C.A., Bajer, J.E. The use of earthworms in environmental management // Soil Biology and Biochemistry. 1992. Vol. 24 (12). pp. 1683–1689.

13. Viuoen, S.A.a, Reinecke, A.J.b, Hartman, L.a The influence of temperature on the life-cycle of *Dendrobaena veneta* (*Oligochaeta*) // Soil Biology and Biochemistry. 1992. Vol. 24 (12). pp. 1341–1344.

14. Ireland, M.P. Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites // Environmental pollution. 1979. Vol. 19 (3). pp. 201–206.

15. Marinussen, M.P.J.C., Van Der Zee, S.E.A.T.M., De Haan, F.A.M., Bouwman, L.M., Hefting, M.M. Heavy metal (copper, lead, and zinc) accumulation and excretion by the earthworm, *Dendrobaena veneta* // Journal of Environmental Quality. 1997. Vol. 26 (1). pp. 278–284.

16. Elisabeth Erlacher 1, Andreas P. Loibner, Romana Kendler, Kerstin E. Scherr Distillation fraction-specific ecotoxicological evaluation of a paraffin-

rich crude oil // *Environmental Pollution*. 2013. Vol. 174. P. 236–243.

17. Hickman, Z.A., Reid, B.J. Earthworm assisted bioremediation of organic contaminants // *Environ. Int.* 2008. Vol. 34. P. 1072–1081.

18. Rorat, A., Kacprzak, M., Vandenbulcke, F., Plytycz, B. Soil amendment with municipal sewage sludge affects the immune system of earthworms

Dendrobaena veneta // *Applied Soil Ecology*. 2013. Vol. 64. pp. 237–244.

19. CHachina S.B. Rekul'tivaciya pochv, zagryaznennyh bitumom, s ispol'zovaniem navoznyh chervej *Eisenia Fetida*, i mikrobiologicheskikh preparatov «Bajkal EHM-1», «Vostok EHM» i «Tamir» // *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*. 2016. №1, Tom 4. С.405–411.

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Чачина Светлана Борисовна, кандидат биологических наук, доцент; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»; Российская Федерация, г.Омск, пр-т Мира, д. 11; e-mail: ksb3@yandex.ru.

Верба Елена Юрьевна, Акционерное общество «Газпромнефть-ОНПЗ»; Российская Федерация, г.Омск, пр. Губкина, д. 1.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Чачина С.Б., Верба Е.Ю. Биологическая рекультивация почв, загрязненных мазутом, с использованием вермикюльтуры дождевых червей *Dendrobaena veneta* и микробиологических препаратов «Байкал-Эм», «Тамир», «Восток» // *Экология и строительство*. 2018. № 3. С. 27–35. doi: [10.24411/2413-8452-2018-10012](https://doi.org/10.24411/2413-8452-2018-10012).

Additional Information

Information about the authors:

CHachina Svetlana Borisovna, candidate of biological sciences, docent; Omsk State Technical University; PR. Mira 11, Omsk, 644011, Russia; e-mail: ksb3@yandex.ru.

Verba Elena YUr'evna, Joint stock company «Gazpromneft-ONPZ»; 1 Gubkina, Omsk, 644040, Russia.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: CHachina S.B., Verba E.YUr. Biological recultivation of soils contaminated with fuel oil, using vermiculture earthworms *Dendrobaena veneta* and microbiological preparations «Baikal-Em», «Tamin», «East» // *Ekologiya i stroitelstvo*. 2018. № 3. P. 27–35. doi: [10.24411/2413-8452-2018-10012](https://doi.org/10.24411/2413-8452-2018-10012).