

УДК 502:57.022:579.2:622.692.4  
AGRIS P34

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МАЗУТОМ,  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ  
*DENDROBENA VENETA* И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ  
«БАЙКАЛ-ЭМ», «ТАМИР», «ВОСТОК»**

- ©**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  
©**Верба Е. Ю.**, Омский государственный технический университет,  
Газпромнефть-ОМПЗ, г. Омск, Россия  
©**Салыкина Ю. О.**, Омский государственный технический университет,  
Газпромнефть-ОМПЗ, г. Омск, Россия

**BIOLOGICAL RECLAMATION OF SOILS CONTAMINATED WITH FUEL OIL, USING  
VERMICULTURE EARTHWORMS *DENDROBENA VENETA*  
AND MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS BAIKAL-EM, TAMIR, VOSTOK**

- ©**Chachina S.**, SPIN-code: 9530-2880, Scopus Author ID: 57190976453,  
ResearcherID: P-4966-2016, Ph.D., Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia, ksb3@yandex.ru  
©**Verba E.**, Omsk state technical University, Gazpromneft-ONPZ, Omsk, Russia  
©**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. Введение микробиологических препаратов повысило выживаемость и репродуктивный потенциал червей в нефтезагрязненных почвах и способствовало значительному снижению концентрации углеводородов мазута. 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 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./м<sup>2</sup>, в качестве питательной среды использовали навоз крупно рогатого скота 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. 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 *Dendrobaena veneta*. 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./m<sup>2</sup>, 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

Известно, что дождевые черви могут ускорять процесс удаления загрязняющих веществ из почвы. Дождевые черви изменяют физические и химические свойства почвы, смешивая ее с органическими веществами, посредством роющего образа жизни, тем самым улучшают аэрацию и делают загрязняющие вещества доступными для микроорганизмов [1]. Присутствие 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 вермиремидиация применяется для использования червей при удалении загрязняющих веществ из почвы или для ускорения разложения ПАУ соединений [5]. Некоторыми авторами отмечено положительное влияние дождевых червей на удаление из почвы загрязняющих веществ, таких как нефть, ПАУ, ПХБ, пестициды, и тяжелые металлы [1, 6-9].

Итак, дождевые черви облегчают и усиливают контакт между загрязняющими веществами и почвенными микроорганизмами [10]. Наиболее распространенные культивируемые виды в почвах загрязненных тяжелыми металлами и свалками отходов (золы, шлама) и являются *Lumbricus rubellus*, *Dendrobena octaedra* и *Aporrectodea caliginosa* [11].

Накоплен большой опыт использования *Dendrobena veneta* в сельском хозяйстве. В течение последних 25 лет, учеными опытной станции в Ротамстеде исследованы многие аспекты использования дождевых червей в мелиорации и рекультивации земель. *Dendrobena veneta*, так же используется для разложения органических отходов, и в переработке животных и растительных отходов, сточных вод, сельскохозяйственных, бытовых, городских и промышленных источников [12].

Данные по использованию *Dendrobena veneta* для рекультивации нефтезагрязненных почв отсутствуют в отечественной и зарубежной литературе.

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].

М. Р. Marinussen с соавт. (1997) провели эксперименты по накоплению и выведению металлов в лабораторных условиях с использованием почв загрязненных тяжелыми металлами (Cu, Pb, Zn). 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 [15, 16].

E. Erlacher, A. Loibner, R. Kendler, Kerstin E. с соавт. (2013) изучали влияние различных концентраций нефти на выживаемость *Dendrobaena hortensis*. Установлено, что при концентрации 823 мг/кг смертность *Dendrobaena hortensis* увеличивалась до 100%. Но при внесении органического субстрата, смертность не превышала 60% при более высоких концентрациях нефти от 1059 до 2241 мг/кг [16].

Z. A. Hickman, B. J. Reid (2008b) отмечали снижение концентрации 3-метилхлорантрена в почве при культивировании *D. veneta* [16].

*Dendrobaena veneta* потребляет широкий спектр органических отходов. A. Rorat, M. Kasprzak, F. Vandenbulcke, B. Plytycz (2013) 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].

Таким образом, проведенный анализ литературы показывает, что использование дождевых червей *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, *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 Fetida*, *Dendrobaena veneta*, *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.

#### Материалы и методы

Для проведения вермиремедиации нефтезагрязненной были выбраны дождевые (навозные) черви *Dendrobaena veneta*. 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.

Тест-субстратом для трех экспериментов был чернозем выщелоченный среднемогучный 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). Всего было подготовлено 3 серии образцов загрязненных почв.

В образцах серии 1 — в почву была добавлен мазут, взятый с разлива мазута в поселке Степной (50–100 г/кг), *Dendrobaena veneta* и микробиологический препарат «Байкал ЭМ-1»/

В образцах серии 2 — в почву была добавлен мазут 50–100 г/кг, *Dendrobaena veneta* и микробиологический препарат «Тамир»/

В образцах серии 3 — в почву был добавлен мазут (50–100 г/кг), *Dendrobaena veneta* и микробиологический препарат «Восток».

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 углеводов, экстрагированных четыреххлористым углеродом из нефтезагрязненной почвы.

#### Результаты экспериментов

В контрольном варианте 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 50 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 100 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 50 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 100 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 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 1,5 раза. При внесении в почву 100 г/кг мазута и биопрепарата «Восток» общая численность увеличилась в 3,3 раза, достигла 33 экз./сосуд (Таблица 1).

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 60 г/кг почвы процесс рекультивации почвы занимал 5 месяцев, в ходе которого концентрация углеводов снижалась на 70-80 %. Внесение биопрепарата «Байкал», «Тамир», «Восток» оказывало существенное влияние на процесс разрушения углеводов нефти (Таблица 2).

В контрольном варианте, при внесении мазута в почву в количестве 60 г/кг значительного снижения концентрации углеводов в почве не наблюдалось.

В течение пяти месяцев содержание нефтепродуктов в почве снизилось 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%)

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

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%) (Таблица 2).

При внесении в почву мазута в количестве 100 г/кг почвы процесс рекультивации почвы занимал 5 месяцев, в ходе, которого концентрация углеводов снижалась на 70-80% в присутствие микробиологических препаратов. Внесение биопрепарата «Байкал», «Тамир», «Восток» оказывало существенное влияние на процесс разрушения углеводов (Таблица 2).

Таблица 2

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

Месяц	Байкал+	Восток+	Тамир+	контроль	Байкал+	Восток+	Тамир+	контроль
	<i>D. veneta</i> Мазут 60 г/кг	<i>D. veneta</i> Мазут 60 г/кг	<i>D. veneta</i> Мазут 60 г/кг	Мазут 60 г/кг	<i>D. veneta</i> Мазут 100 г/кг	<i>D. veneta</i> Мазут 100 г/кг	<i>D. veneta</i> Мазут 100 г/кг	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

В контрольном варианте, при внесении мазута в почву в количестве 100 г/кг значительного снижения концентрации углеводов в почве не наблюдалось. В течение пяти месяцев содержание нефтепродуктов в почве снизилась 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 *D. veneta* концентрация мазута в почве снизилась до 19,5 г/кг (эффективность 80%) (Таблица 2).

#### Заключение

Предложена методика рекультивации нефтезагрязненных почв с содержанием мазута до 100 г/кг молочнокислыми, азотофиксирующими, фотосинтезирующими бактериями и дождевыми червями. Способ очистки и восстановления экологических функций субстратов, загрязненных нефтью и 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./м<sup>2</sup>, в качестве питательного субстрата использовали навоз КРС в дозе 1т/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 60-100 г/кг с использованием биопрепаратов «Байкал», «Тамир», «Восток» высокая эффективность 84% отмечена при совместном использовании препарата «Байкал» и *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%.

#### Список литературы:

1. Eijsackers H., Van Gestel C. A. M., De Jonge S., Muijs B., Slijkerman D. Polycyclic aromatic hydrocarbon-polluted dredged peat sediments and earthworms: a mutual interference // *Ecotoxicology*. 2001. Vol. 10. N. 1. P. 35-50.
2. 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. Vol. 79. 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 Biology and Biochemistry*. 2007. Vol. 39. N. 8. P. 1926-1935.
4. Juwarkar A. A., Singh S. K., Mudhoo A. A comprehensive overview of elements in bioremediation // *Reviews in Environmental Science and biotechnology*. 2010. Vol. 9. N. 3. 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 // *The Environmentalist*. 2008. Vol. 28. N. 4. P. 466-475.
6. Binet F., Kersanté A., Munier-Lamy C., Le Bayon R. C., Belguy M. J., Shipitalo M. J. Lumbricid macrofauna alter atrazine mineralization and sorption in a silt loam soil // *Soil Biology and Biochemistry*. 2006. Vol. 38. N. 6. P. 1255-1263.
7. Contreras-Ramos S. M., Alvarez-Bernal D., Dendooven L. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*) // *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40. N. 7. P. 1954-1959.
8. Ma W. C., Immerzeel J., Bodt J. Earthworm and food interactions on bioaccumulation and disappearance in soil of polycyclic aromatic hydrocarbons: studies on phenanthrene and fluoranthene // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1995. Vol. 32. N. 3. P. 226-232.
9. Schaefer M., Juliane F. The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil // *Applied soil ecology*. 2007. Vol. 36. N. 1. 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 Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40. N. 12. P. 2970-2976.
11. Eijsackers H. Earthworms as colonisers: primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits // *Science of the total environment*. 2010. Vol. 408. N. 8. P. 1759-1769.
12. Edwards C. A., Bajer J. E. The use of earthworms in environmental management // *Soil Biology and Biochemistry*. 1992. Vol. 24. N. 12. P. 1683-1689.
13. Viljoen S. A., Reinecke A. J. The temperature requirements of the epigeic earthworm species *Eudrilus eugeniae* (*Oligochaeta*)—a laboratory study // *Soil Biology and Biochemistry*. 1992. Vol. 24. N. 12. P. 1345-1350.
14. Ireland M. P. Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites // *Environmental Pollution* (1970). 1979. Vol. 19. N. 3. P. 201-206.
15. Marinussen M. P., van der Zee S. E., de Haan F. A., 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. N. 1. P. 278-284.
16. Erlacher E., Loibner A. P., Kendler R., Scherr K. E. 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 // *Environment International*. 2008. Vol. 34. N. 7. P. 1072-1081.
18. Rorat A., Kacprzak M., Vandenbulcke F., Płytycz B. Soil amendment with municipal sewage sludge affects the immune system of earthworms *Dendrobaena veneta* // *Applied soil ecology*. 2013. Vol. 64. P. 237-244.

#### References:

1. Eijsackers, H., Van Gestel, C. A. M., De Jonge, S., Muijs, B., & Slijkerman, D. (2001). Polycyclic aromatic hydrocarbon-polluted dredged peat sediments and earthworms: a mutual interference. *Ecotoxicology*, 10(1), 35-50.
2. 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.
3. Hamdi, H., Benzarti, S., Manusadzianas, L., Aoyama, I., & Jedidi, N. (2007). Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(8), 1926-1935.
4. Juwarkar, A. A., Singh, S. K., & Mudhoo, A. (2010). A comprehensive overview of elements in bioremediation. *Reviews in Environmental Science and bio/technology*, 9(3), 215-288.
5. Sinha, R. K., Bharambe, G., & Ryan, D. (2008). Converting wasteland into wonderland by earthworms—a low-cost nature's technology for soil remediation: a case study of vermiremediation of PAHs contaminated soil. *The Environmentalist*, 28(4), 466-475.
6. Binet, F., Kersanté, A., Munier-Lamy, C., Le Bayon, R. C., Belgy, M. J., & Shipitalo, M. J. (2006). Lumbricid macrofauna alter atrazine mineralization and sorption in a silt loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(6), 1255-1263.
7. Contreras-Ramos, S. M., Alvarez-Bernal, D., & Dendooven, L. (2008). Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*). *Soil Biology and Biochemistry*, 40(7), 1954-1959.

8. Ma, W. C., Immerzeel, J., & Bodt, J. (1995). Earthworm and food interactions on bioaccumulation and disappearance in soil of polycyclic aromatic hydrocarbons: studies on phenanthrene and fluoranthene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 32(3), 226-232.
9. Schaefer, M., & Juliane, F. (2007). The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil. *Applied soil ecology*, 36(1), 53-62.
10. Hickman, Z. A., & Reid, B. J. (2008). Increased microbial catabolic activity in diesel contaminated soil following addition of earthworms (*Dendrobaena veneta*) and compost. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(12), 2970-2976.
11. Eijsackers, H. (2010). Earthworms as colonisers: primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits. *Science of the total environment*, 408(8), 1759-1769.
12. Edwards, C. A., & Bajer, J. E. (1992). The use of earthworms in environmental management. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1683-1689.
13. Viljoen, S. A., & Reinecke, A. J. (1992). The temperature requirements of the epigeic earthworm species *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta)—a laboratory study. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1345-1350.
14. Ireland, M. P. (1979). Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites. *Environmental Pollution* (1970), 19(3), 201-206.
15. Marinussen, M. P., van der Zee, S. E., de Haan, F. A., Bouwman, L. M., & Hefting, M. M. (1997). Heavy metal (copper, lead, and zinc) accumulation and excretion by the earthworm, *Dendrobaena veneta*. *Journal of environmental quality*, 26(1), 278-284.
16. Erlacher, E., Loibner, A. P., Kendler, R., & Scherr, K. E. (2013). Distillation fraction-specific ecotoxicological evaluation of a paraffin-rich crude oil. *Environmental pollution*, 174, 236-243.
17. Hickman, Z. A., & Reid, B. J. (2008). Earthworm assisted bioremediation of organic contaminants. *Environment International*, 34(7), 1072-1081.
18. Rorat, A., Kacprzak, M., Vandenbulcke, F., & Plytycz, B. (2013). Soil amendment with municipal sewage sludge affects the immune system of earthworms *Dendrobaena veneta*. *Applied soil ecology*, 64, 237-244.

Работа поступила  
в редакцию 09.09.2018 г.

Принята к публикации  
14.09.2018 г.

Ссылка для цитирования:

Чачина С. Б., Верба Е. Ю., Салыкина Ю. О. Биологическая рекультивация почв, загрязненных мазутом, с использованием вермиккультуры дождевых червей *Dendrobena veneta* и микробиологических препаратов «Байкал-ЭМ», «Тамир», «Восток» // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №10. С. 125-132. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/chachina-verba> (дата обращения 15.10.2018).

Cite as (APA):

Chachina, S., Verba, E., & Salykina, Yu. (2018). Biological reclamation of soils contaminated with fuel oil, using vermiculture earthworms *Dendrobena veneta* and microbiological preparations Baikal-EM, Tamir, Vostok. *Bulletin of Science and Practice*, 4(10), 125-132. (in Russian).