

А.С. Бабенко, Д.В. Безруков, Д.С. Воробьев

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия*

(E-mail: *andrey.babenko.56@mail.ru, bezrukovdv@list.ru,
danilvorobiev@yandex.ru*)

Использование вермикультуры для переработки донных отложений, загрязненных нефтепродуктами

Аннотация. Исследованы динамики численности популяции дождевых компостных червей *Eisenia fetida* в субстрате из донных отложений, загрязненных нефтепродуктами. Вермикультура содержалась в пластиковых контейнерах на смеси илов очистных сооружений нефтешахтного производственного предприятия и торфа. Показано, что загрязненные нефтепродуктами донные отложения могут быть использованы в качестве компонента вермикомпостируемой смеси. В процессе переработки содержание нефтепродуктов в компостируемой смеси значительно сокращалось, однако уровень сокращения варьировал в зависимости от соотношения ила и торфа в смесях для вермикомпостирования. К оптимальным вариантам смесей, при которых происходит более быстрая переработка субстрата, следует отнести смесь загрязненных илов и наполнителя в соотношении 30:70 и 50:50. Репродуктивные показатели дождевых червей, а также прирост численности и биомассы ювенильных особей остаются невысокими во всех вариантах смесей, но близки к оптимальным при 30% содержании ила в компостируемом материале.

Ключевые слова: вермикультура, *Eisenia fetida*, донные отложения, илы, нефтепродукты, динамика численности.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2023-145-4-133-143>

Введение

Вермитехнология способствует решению экологических проблем, возникающих из-за накопления большого количества органических отходов.

Внедрение вермикультуры позволяет, во-первых, уменьшить объём отходов и таким образом снизить затраты на переработку; во-вторых, уничтожить запах; в-третьих, улучшить физические свойства отходов, превратить их за короткий срок в качественно новый вид органического удобрения, способный храниться и удобный для транспортировки и внесения под различные сельскохозяйственные культуры [1].

Чаще всего вермикультура используется для переработки богатых азотом органических субстратов сельскохозяйственного происхождения (навоз крупного рогатого скота, лошадей, свиней, птицы и т.п.) с целью получения вермикомпоста и кормового белка [2-4]. Показана возможность использования вермикультуры для переработки растительного опада [5-7], для переработки биомассы водных растений [8,9]; кроме того, изучалось влияние червей на формирование фунгистатических свойств вермикомпоста и устойчивость растений к заболеваниям [10,11]. В последние годы появляется все больше работ по изучению влияния вермикультуры на процессы биоремедиации почв, в том числе и загрязненных нефтепродуктами [12-17]. Сотрудниками Томского государственного

университета (ТГУ) было установлено, что водные малощетинковые черви имеют повышенную устойчивость к содержанию углеводов нефтяного происхождения в донных отложениях, а процессы биотурбации способствуют активизации процессам деструкции углеводов в донных отложениях. На основании данных исследований было предложено использовать водных олигохет в мероприятиях по очистке донных отложений от нефтяных углеводов [18-19].

В то же время мало исследованным остается процесс переработки жидких субстратов, загрязненных нефтепродуктами (илы, донные отложения); слабо разработаны вопросы совершенствования данных технологий. Так, при использовании вермикультуры для переработки илов приходится решать ряд технологических проблем, связанных с особенностями питания и размножения дождевых червей. Илы могут содержать токсичные компоненты, которые оказывают негативное воздействие на репродуктивные способности червей [20,21]. Кроме того, при переработке осадка вермикультурой в компостируемой смеси необходимо присутствие наполнителей, в качестве которых могут выступать торф, навоз, бумажные отходы, лиственный опад, опил лиственных пород деревьев и другие целлюлозосодержащие материалы [22-25].

Цель работы - изучение возможности использования вермикультуры для переработки загрязнённых илов с целью получения органического удобрения для использования в сельском хозяйстве и наращивания биомассы червя.

Материалы и методики исследования

Илы, использованные в эксперименте, были отобраны на очистных сооружениях нефтешахтного производственного предприятия «Яреганефть» (ООО «ЛУКОЙЛ-Коми») в Усинском районе Республики Коми. Предварительно проведенный анализ показал, что доля нефтепродуктов в илах составляет около 3%.

В работе использовалась вермикультура *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae), поддерживаемая на кафедре сельскохозяйственной биологии ТГУ на протяжении последних 20 лет. Маточная культура дождевых червей состоит из коконов и червей различного возраста, относящихся к роду *Eisenia*, широко распространенных в разлагающихся органических субстратах и являющихся основными потребителями и переработчиками отходов. Представленная в наших экспериментах культура соответствует природному популяционному стандарту кольчатых червей данного рода (соотношение половозрелых особей, молоди и коконов в среднем 2:5:10), свободна от паразитов и конкурирующих видов.

В наших предыдущих экспериментах и в ранее опубликованных работах [21,22] показано, что в составе смеси, кроме ила, должен быть поглотитель (для снижения влажности и повышения структурированности смеси). Нами в качестве поглотителя был выбран верховой торф, так как предварительно проведенные эксперименты по формированию смеси для вермикомпостирования показали, что он более технологичен по сравнению с измельченным листовым опадом, соломой и бумажными отходами (обладает наибольшей абсорбционной способностью). При подготовке смеси для компостирования торф был предварительно измельчен и просеян через сито с диаметром отверстий 3 мм.

При проведении эксперимента использовались 4 варианта смеси (по объему):

- 70% ил + 30% торф
- 50% ил + 50% торф
- 30% ил + 70% торф
- 10% ил + 90% торф

Каждый вариант эксперимента был заложен в пяти повторностях; в эксперименте было задействовано 20 контейнеров. Для оценки способности переработки илов дождевыми червями использовались пластиковые контейнеры с крышками объемом 1 л. В каждый контейнер было помещено по 700 мл смеси и по 10 взрослых червей *E.*

fetida; черви вместе с небольшим количеством субстрата, в котором они находились ранее, размещались в контейнеры через сутки после приготовления смеси. Во время проведения эксперимента контейнеры были закрыты крышками с перфорацией (10-12 отверстиями на крышке диаметром 0,5-1 мм). Контейнеры находились в помещении без освещения, температура поддерживалась в пределах 18–20°C, влажность смесей – на уровне 75-80 %.

Учет численности популяции и степени переработки компостируемой смеси проводился один раз в месяц (отдельно учитывались взрослые черви, мелкие черви и коконы в каждом контейнере). В начале и в конце эксперимента взвешивали червей (общую биомассу на 1 контейнер). Также в начале и в конце эксперимента проводился анализ компостируемой смеси на содержание нефтепродуктов. Общая продолжительность эксперимента составила 3 месяца. Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета программы Microsoft Office Excel. Данные представлены в виде средней арифметической \pm стандартное отклонение ($M \pm SD$).

Адаптивные способности дождевых червей оценивали по следующим показателям: поведение червей в субстратах и их окраска (визуально), численность особей, находящихся на различных стадиях развития.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные эксперименты показали, что черви, содержащиеся в вермиккультуре на субстрате из смеси ила с торфом, с различной степенью успешности адаптируются к компостируемой смеси. В течение первых трех суток после помещения червей в компостируемую смесь они перешли из субстрата, с которым были помещены в контейнер, в подготовленную для компостирования смесь. При этом не наблюдалось признаков угнетения у отдельных особей.

На протяжении эксперимента не произошло увеличение численности половозрелых особей *E. fetida*. В смесях с высоким содержанием загрязненного ила (50 % и выше) численность половозрелых особей сократилась вдвое, при концентрации ила 10 % снизилась на треть, а при концентрации ила 30 % численность взрослых особей изменилась незначительно (рисунок 1).

Та же тенденция отмечена и для динамики численности ювенильных особей. Максимальный пророст численности ювенильных особей (в среднем до 14 экземпляров) отмечен в компостируемых смесях с 30 % содержанием ила; в то же время в смесях с равным содержанием ила и торфа, а также при концентрации ила 10 % численность молодежи снижалась до 9-10 экземпляров. При соотношении ила к торфу 70:30 численность ювенильных особей была вдвое ниже, чем при противоположном соотношении компонентов компостируемой смеси (рисунок 2)

Рассматривая в целом динамику численности компостных червей, следует заметить, что численность ювенильных форм и взрослых в конце эксперимента была максимальной в смеси, где доля загрязненного нефтепродуктами ила была в пределах 30 % и значительно снижалась при повышении концентрации ила до 70 %.

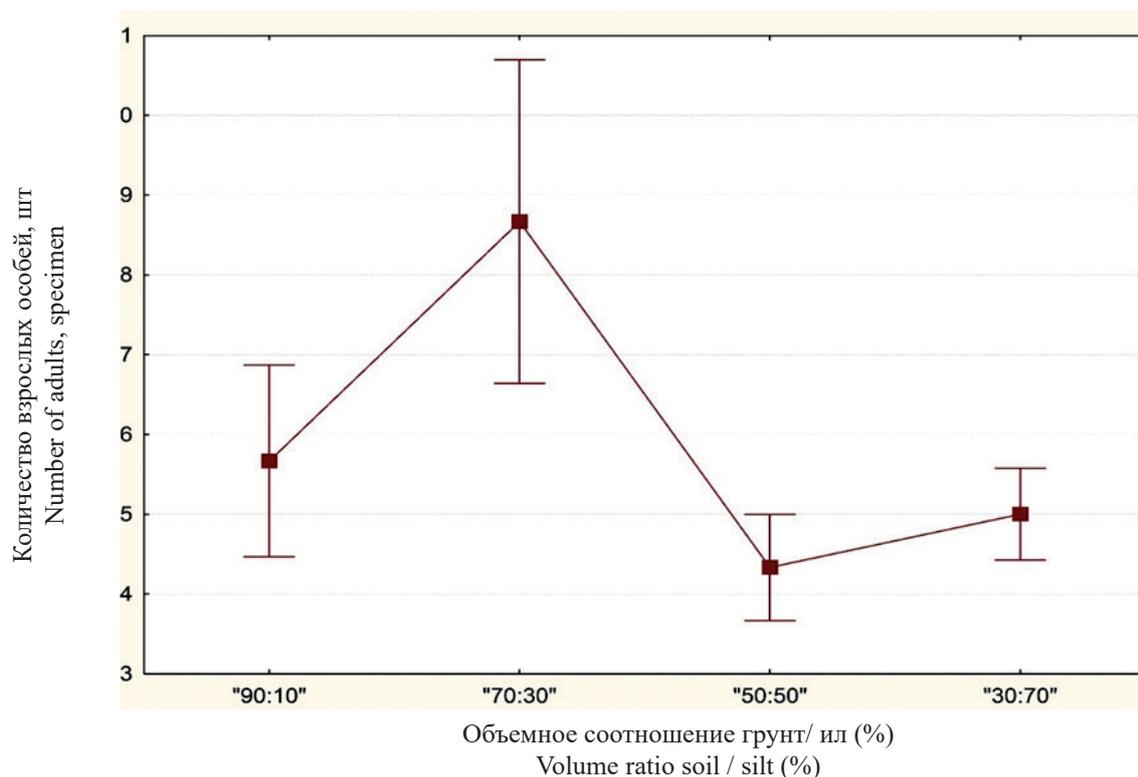


Рисунок 1. Изменение численности половозрелых червей *E. fetida*, культивируемых на субстратах с разным содержанием загрязнённого ила
[Figure 1. Changes in the number of mature *E. fetida* worms cultivated on substrates with different levels of contaminated silt]

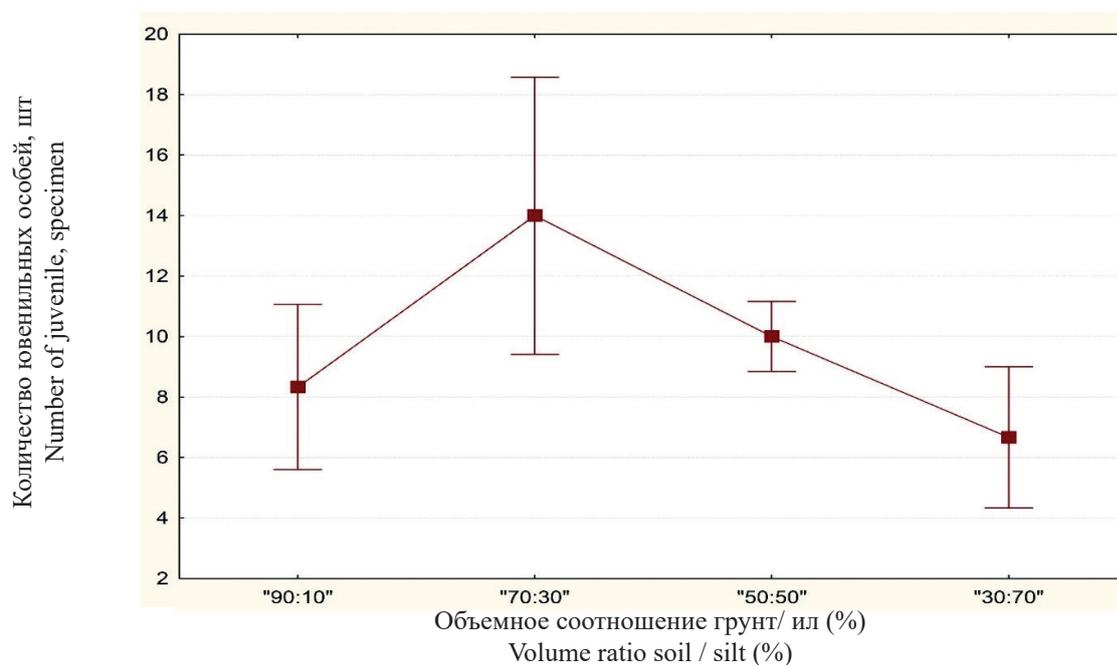


Рисунок 2. Прирост численности ювенильных особей *E. fetida*, культивируемых на субстратах с разным содержанием загрязнённого ила
[Figure 2. Increase in the number of juvenile *E. fetida* individuals cultivated on substrates with different levels of contaminated silt]

При более низкой концентрации ила в компостируемой смеси относительно выше численность отложенных коконов, причем эти показатели практически идентичны как при 10%, так и при 30% концентрации ила в компостируемой смеси. То же самое примерное равенство при практически двойном снижении продуктивности наблюдается и в смесях с 50 % и 70% содержанием ила (рисунок 3).

Полученные данные исследования характерных черт развития популяции дождевых компостных червей в субстрате с различной концентрацией загрязненного нефтепродуктами ила показали, что плодовитость червей, закономерно увеличивается при снижении доли ила до 30%, хотя и при более высоких концентрациях ила репродуктивные возможности червей сохраняются.

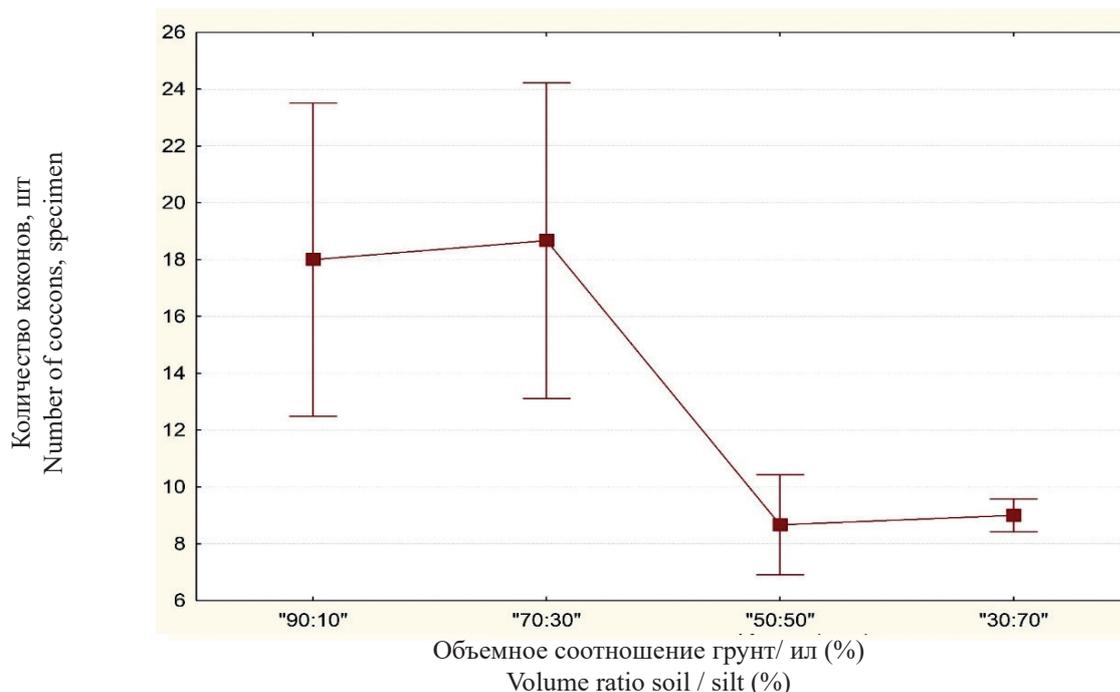


Рисунок 3. Количественный прирост коконов *E. fetida*, культивируемых на субстратах с разным содержанием загрязнённого ила

[Figure 3. Quantitative growth of *E. fetida* cocoons cultivated on substrates with different content of contaminated silt]

При определении динамики биомассы дождевых червей (без учета коконов) выявлено, что в течение первого месяца эксперимента происходило либо снижение общей биомассы вермиккультуры (при концентрации ила 50% и выше), либо ее незначительный прирост (при низких концентрациях ила в смеси). Снижение общей биомассы происходило за счет гибели части взрослых особей из стартовой популяции. По прошествии трех месяцев общая биомасса червей либо немного сократилась по сравнению со стартовой (при концентрации ила 50% и выше), либо увеличилась почти в два раза (при концентрации ила 30% и выше) (таблица 1).

Таблица 1

Изменение биомассы дождевых червей в процессе компостирования смесей на основе илов, загрязненных нефтепродуктами
 [Changes in earthworm biomass during composting of sludge-based mixtures contaminated with petroleum products]

Варианты смеси (соотношение ила и торфа) Mix options (ratio of silt and peat)	Общая биомасса червей в контейнере (г) The total biomass of the worms in the container (g)			
	В начале эксперимента At the beginning of the experiment	Через 30 суток After 30 days	Через 60 суток After 60 days	Через 90 суток After 90 days
70:30	4,85±1,50	3,45±0,85	3,85±0,90	4,28±1,20
50:50	4,78±1,35	3,59±0,72	4,10±1,20	4,70±0,88
30:70	4,89±1,10	5,30±0,65	6,92±2,35	8,94±3,12
10:90	4,82±1,40	5,28±1,25	5,96±1,80	6,24±2,10

В процессе переработки содержание нефтепродуктов в компостируемой смеси значительно сокращалось, однако уровень сокращения варьировал в зависимости от соотношения ила и торфа в смесях для вермикомпостирования. Как при высоком (70%), так и при низком (10%) содержании загрязненного ила в составе компостируемой смеси относительная доля нефтепродуктов после окончания эксперимента снизилась в 2,2 раза. При равных долях ила и торфа в компостируемой смеси, а также при 30% содержании ила доля нефтепродуктов снизилась почти в три раза (Таблица 2).

Таблица 2

Изменение содержания нефтепродуктов в смеси в процессе вермикомпостирования
 [Changes in the content of petroleum products in the mixture during vermicomposting]

Варианты смеси (соотношение ила и торфа) Mix options (ratio of silt and peat)	Нефтепродукты (мг/кг), по окончании эксперимента Petroleum products (mg / kg), at the end of the experiment	
	В полученных образцах In the resulting samples	В пересчете на долю илового субстрата In terms of the proportion of silt substrate
Иловый субстрат до переработки Silt substrate before processing	20488,0	20488,0
70:30	6491,0	9272,8
50:50	3501,2	7002,4
30:70	2062,5	6873,3
90:10	908,5	9085,0

Таким образом, проведенные исследования показывают, что загрязненные нефтепродуктами донные отложения могут быть использованы в качестве компонента вермикомпостируемой смеси. К оптимальным вариантам смесей, при которых происходит более быстрая переработка, следует отнести смесь загрязненных илов и наполнителя в соотношении 30:70 и 50:50. Однако репродуктивные показатели дождевых червей остаются невысокими во всех вариантах смесей, но близки к оптимальным при 30% содержании ила в компостируемом материале.

Заключение

Проведенные исследования показали, что вермиккультура *Eisenia fetida* может быть использована для переработки смесей, включающих загрязненные нефтепродуктами илы и торф. Оптимальные условия для ведения вермиккультуры – соотношение ила и торфа в компостируемой смеси как 30:70. Наиболее эффективными для утилизации илов являются субстраты на их основе, где содержание наполнителя составляет не менее 70%. Так как репродуктивные способности червей значительно снижались при повышении доли ила, нецелесообразно использовать подобные компостируемые смеси для размножения вермиккультуры.

Список литературы

1. Edwards C.A. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes for produce vermicomposts and animal food protein // *Earthworms Ecology* (2nd Edition). – C.R.C. Press, Boca Raton, FL, London, New York, Washington, 2004. – P. 345-438.
2. Коцаев А.Г. Биотехнология вермикюльтивирования органических отходов // *Научный журнал КубГАУ*. – 2014. – № 95(01). – С. 1-28.
3. Tripathi G. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg) // *Bioresource Technology*. – 2004. – Vol. 92. – P. 275-283.
4. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworm. – Algonquin Books, 2004. – 240 p.
5. Nayeem-Shah M., Gajalakshmi S., Abbasi S. A. Direct vermicomposting of vegetable waste using the concept of high-rate vermi-reactor operation // *International Journal of Environmental Science and Engineering Research*. – 2014. – Vol. 4. – P. 59-65.
6. Bressan R.A. Plants use calcium to resolve salt stress // *Trends in Plant Science*. – 1998. – Vol. 3. – P. 411-412.
7. Reich P.B. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species // *Ecology Letters*. – 2005. – Vol. 8. – Is. 8. – P. 811-818.
8. Gajalakshmi S., Ramasamy E.V., Abbasi S.A. Assessment of sustainable vermiconversion of water hyacinth at different reactor efficiencies employing *Eudrilus eugeniae* Kingburg // *Bioresource Technology*. – 2001. – Vol. 80. – P. 131-135.
9. Tereshchenko N.N., Akimova E.E., Pisarchuk A.D., Yunusova T.V., Minaeva O.M. Utilizing heavy metal-laden water hyacinth biomass in vermicomposting // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – Vol. 22. – P. 7147-7154.
10. Терещенко Н.Н. Микробиологические механизмы формирования фунгистатических свойств вермикомпоста и грунтов на его основе // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2007. – № 11. – С. 1-7.
11. Бабенко А.С., Ван Джа Нин. Перспективы использования вермикомпоста в защите растений // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2010. – № 1(9). – С. 105-110.
12. Винник В.В. Перспективы использования вермиккультуры для восстановления нефтезагрязненных почв // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. – 2004. – № 3. – С. 106-107.
13. Смольникова В.В. Особенности биологической очистки субстратов с использованием вермиккультуры в условиях нефтяного загрязнения // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. – 2010. – № 1. – С. 106-109.

14. Хатмуллина А.В., Чачина С.Б., Блохина Е.В., Колпаков З.М. Рекультивация нефтезагрязнённых почв с использованием трех микробиологических препаратов и с помощью дождевых червей *E.fetida* // Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2019. – С. 132-136.
15. 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.
16. Чачина С.Б., Воронкова Н.А., Бакланова О.Н. Биоремедиация нефтезагрязнённых почв с использованием дождевых червей *Eisenia andrei* // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 6-й международной научно-технической конференции. – 2016. – С. 32-33.
17. Чачина С.Б., Поночевная Г.С., Черкашина Н.В. Динамика популяционных показателей трех видов дождевых червей *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobena veneta* в условиях загрязнения почвы отработанным машинным маслом // Омский научный вестник. – 2015. – № 1(138). – С. 226-231.
18. Воробьев Д.С., Франк Ю.А., Залозный Н.А., Лушников С.В., Ступакова Л.П. К вопросу устойчивости *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta, Tubificidae) к нефтяному загрязнению // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2008. – № 2(3). – С. 83-88.
19. Воробьев Д.С., Франк Ю.А., Лушников С.В., Залозный Н.А., Носков Ю.А. Использование *Limnodrilus hoffmeisteri* (Tubificidae, Oligochaeta) в очистке донных отложений от нефти и нефтепродуктов // Сибирский экологический журнал. – 2010. – № 1. – С. 21-27.
20. He X., Zhang Y., Shen M., Zeng G., Zhou M., Li M. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials // Bioresource Technology. – 2016. – Vol. 218. – P. 867-873.
21. Boeres N., Yong F. Effects and promotion of Earthworm on municipal sewage sludge degradation // Int. Journal of Scientific & Engineering Research. – 2019. – Vol. 10. – P. 70-86.
22. Singh J., Kaur A., Vig A.P. Bioremediation of distillery sludge into soil-enriching material through vermicomposting with the help of *Eisenia fetida* // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2014. – Vol. 174. – P. 1403-1419.
23. Xing M., Lv B., Zhao C., Yang J. Towards understanding the effects of additives on the vermicomposting of sewage sludge // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – Vol. 22. – P. 4644-4653.
24. Yadav A., Garg V.K. Influence of stocking density on the vermicomposting of an effluent treatment plant sludge amended with cow dung // Environmental Science and Pollution Research. – 2016. – Vol. 23. – P. 13317-13326.
25. Hait S., Tare V. Optimizing vermicomposting of waste activated sludge using vermicompost as bulking material // Waste management. – 2011. – Vol. 31(3). – P. 502-511.

А.С. Бабенко, Д.В. Безруков, Д.С. Воробьев

Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті, Томск, Ресей

Мұнай өнімдерімен ластанған шөгінділерді өңдеу үшін вермикультураны қолдану

Аңдатпа. Мұнай өнімдерімен ластанған шөгінділердің субстратындағы компост жауын құрты *Eisenia fetida* популяциясының динамикасы зерттелді. Вермикультура мұнай өндіру кәсіпорнының тазарту қондырғыларының лайлары мен торф қоспасы бар пластик контейнерлерде жасалды. Мұнай өнімдерімен ластанған түпкі шөгінділерді вермикомпостты қоспаның құрамдас бөлігі ретінде пайдалануға болатыны көрсетілді. Өңдеу процесінде компост қоспасындағы мұнай өнімдерінің мөлшері айтарлықтай төмендеді, бірақ тотықсыздану деңгейі вермикомпосттау қоспаларындағы лайлар мен торф қатынасына байланысты өзгерді. Субстратты тезірек өңдеуге арналған қоспаның оңтайлы нұсқалары 30:70 және 50:50 қатынасында ластанған лайлар мен толтырғыштардың қоспасын қамтиды. Жауын құрттарының репродуктивті көрсеткіштері, сондай-ақ жас даралардың саны мен биомассасының ұлғаюы қоспалардың барлық нұсқаларында төмен болып қалады, бірақ 30% құрамда немесе компостталған материалда оңтайлыға жақын.

Түйін сөздер: вермикультура, *Eisenia fetida*, түп шөгінділері, лайлар, мұнай өнімдері, популяция динамикасы.

A.S. Babenko, D.V. Bezrukov, D.S. Vorobiev
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Use of vermiculture for processing bottom sediments contaminated with petroleum products

Abstract. The vermiculture was kept in plastic containers on a mixture of sludge from oil mine treatment facilities and peat. It has been shown that bottom sediments contaminated with petroleum products can be used as a component of a vermicompostable mixture. During the processing process, the content of petroleum products in the composting mixture significantly reduced, but the level of reduction varied depending on the ratio of sludge and peat in the vermicomposting mixtures. The optimal mixture options for faster processing of the substrate include a mixture of contaminated sludge and filler in a ratio of 30:70 and 50:50. Reproductive performance of earthworms, as well as the increase in the number and biomass of juveniles, remains low in all variants of mixtures, but is close to optimal at a 30% content or in composted material.

Keywords: vermiculture, *Eisenia foetida*, bottom sediments, silt, oil products, population dynamics.

References

1. Edwards C.A. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes for p1. Edwards C.A. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes for produce vermicomposts and animal food protein, *Earthworms Ecology* (2nd Edition) (C.R.C. Press, Boca Raton, Fl., London, New York, Washington, 2004, 345-438 p.).
2. Koshchaev A.G. Biotekhnologiya vermikul'tivirovaniya organicheskikh othodov, *Nauchnyj zhurnal KubGAU [Biotechnology of vermicultivation of organic waste, Scientific journal of KubSAU]*, 95(01), 1-28 (2014). [in Russian]
3. Tripathi G. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg), *Bioresource Technology*, 92, 275-283 (2004).
4. Stewart A. *The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworm* (Algonquin Books, 2004, 240 p.).
5. Nayeem-Shah M., Gajalakshmi S., Abbasi S. A. Direct vermicomposting of vegetable waste using the concept of high-rate vermi-reactor operation, *International Journal of Environmental Science and Engineering Research*, 4, 59-65 (2014).
6. Bressan R.A. Plants use calcium to resolve salt stress, *Trends in Plant Science*, 3, 411-412 (1998).
7. Reich P.B. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species, *Ecology Letters*, 8(8), 811-818 (2005).
8. Gajalakshmi S., Ramasamy E.V., Abbasi S.A. Assessment of sustainable vermicomposting of water hyacinth at different reactor efficiencies employing *Eudrilus eugeniae* Kingburg, *Bioresource Technology*, 80, 131-135 (2001).
9. Tereshchenko N.N., Akimova E.E., Pisarchuk A.D., Yunusova T.V., Minaeva O.M. Utilizing heavy metal-laden water hyacinth biomass in vermicomposting, *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 7147-7154 (2015).
10. Tereshchenko N.N. Mikrobiologicheskie mekhanizmy formirovaniya fungistaticheskikh svoystv vermikomposta i gruntov na ego osnove, *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki [Microbiological mechanisms of formation of fungistatic properties of vermicompost and soils based on it, Siberian Bulletin of Agricultural Science]*, 11, 1-7 (2007). [in Russian]
11. Babenko A.S., Van Dzha Nin. Perspektivy ispol'zovaniya vermikomposta v zashchite rastenij, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Prospects for the use of vermicompost in plant protection, Bulletin of Tomsk State University. Biology]*, 1(9), 105-110 (2010). [in Russian]
12. Vinnik V.V. Perspektivy ispol'zovaniya vermikul'tury dlya vosstanovleniya neftezagryaznykh pochv, *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki [Prospects for the use of vermiculture for the restoration of oil-contaminated soils, News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical science]*, 3, 106-107 (2004). [in Russian]

13. Smol'nikova V.V. Osobennosti biologicheskoy ochistki substratov s ispol'zovaniem vermikul'tury v usloviyah neftyanogo zagryazneniya, Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki [Features of biological purification of substrates using vermiculture in conditions of oil pollution, News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical science], 1, 106-109 (2010). [in Russian]
14. Hatmullina A.V., CHachina S.B., Blohina E.V., Kolpakov Z.M. Rekul'tivaciya neftezagryaznyonnyh pochv s ispol'zovaniem trekh mikrobiologicheskikh preparatov i s pomoshch'yu dozhdevykh chervej E.fetida. V sbornike: Aktual'nye voprosy energetiki. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem [Reclamation of oil-contaminated soils using three microbiological preparations and with the help of earthworms E. fetida / In the collection: Current issues of energy. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation], 132-136 (2019). [in Russian]
15. CHachina S.B., Salykina YU.O. Potencial Eisenia andrei v kompleksnoj ochistke pochv, zagryaznennyh mazutom, Byulleten' nauki i praktiki [The potential of Eisenia andrei in the complex purification of soils contaminated with fuel oil, Bulletin of Science and Practice], 4(10), 116-124 (2018). [in Russian]
16. CHachina S.B., Voronkova N.A., Baklanova O.N. Bioremediaciya neftezagryaznennyh pochv s ispol'zovaniem dozhdevykh chervej Eisenia andrei. Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva. Materialy 6-j mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Bioremediation of oil-contaminated soils using earthworms Eisenia andrei. Equipment and technology of petrochemical and oil and gas production. Proceedings of the 6th International Scientific and Technical Conference], 32-33 (2016). [in Russian]
17. CHachina S.B., Ponochevnaya G.S., CHerkashina N.V. Dinamika populyacionnyh pokazatelej trekh vidov dozhdevykh chervej Eisenia foetida, Eisenia andrei, Dendrobena veneta v usloviyah zagryazneniya pochvy otrabotannym mashinnym maslom, Omskij nauchnyj vestnik [Dynamics of population indicators of three species of earthworms Eisenia foetida, Eisenia andrei, Dendrobena veneta under conditions of soil contamination with waste machine oil, Omsk Scientific Bulletin], 1(138), 226-231 (2015). [in Russian]
18. Vorob'ev D.S., Frank YU.A., Zaloznyj N.A., Lushnikov S.V., Stupakova L.P. K voprosu ustojchivosti Limnodrilus hoffmeisteri (Oligochaeta, Tubificidae) k neftyanomu zagryazneniyu, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [On the issue of resistance of Limnodrilus hoffmeisteri (Oligochaeta, Tubificidae) to oil pollution, Bulletin of Tomsk State University. Biology], 2(3), 83-88 (2008). [in Russian]
19. Vorob'ev D.S., Frank YU.A., Lushnikov S.V., Zaloznyj N.A., Noskov YU.A. Ispol'zovanie Limnodrilus hoffmeisteri (Tubificidae, Oligochaeta) v ochistke donnyh otlozhenij ot nefti i nefteproduktov, Sibirskij ekologicheskij zhurnal [Use of Limnodrilus hoffmeisteri (Tubificidae, Oligochaeta) in cleaning bottom sediments from oil and oil products, Siberian Ecological Journal], 1, 21-27 (2010). [in Russian]
20. He X., Zhang Y., Shen M., Zeng G., Zhou M., Li M. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials, Bioresource Technology, 218, 867-873 (2016).
21. Boeres N., Yong F. Effects and promotion of Earthworm on municipal sewage sludge degradation, Int. Journal of Scientific & Engineering Research, 10, 70-86 (2019).
22. Singh J., Kaur A., Vig A.P. Bioremediation of distillery sludge into soil-enriching material through vermicomposting with the help of Eisenia fetida, Applied Biochemistry and Biotechnology, 174, 1403-1419 (2014).
23. Xing M., Lv B., Zhao C., Yang J. Towards understanding the effects of additives on the vermicomposting of sewage sludge, Environmental Science and Pollution Research, 22, 4644-4653 (2015).
24. Yadav A., Garg V.K. Influence of stocking density on the vermicomposting of an effluent treatment plant sludge amended with cow dung, Environmental Science and Pollution Research, 23, 13317-13326 (2016).
25. Hait S., Tare V. Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material, Waste management, 31(3), 502-511 (2011).

Сведения об авторах:

Бабенко А.С. – доктор биологических наук, заведующий кафедрой сельскохозяйственной биологии, Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Безруков Д.В. – аспирант Биологического института, Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Воробьев Д.С. – доктор биологических наук, директор Биологического института, Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Babenko A.S. – Doctor of Biology, Head of Department of Agricultural Biology, Tomsk State University, 36 Lenin ave., Tomsk, Russia.

Bezrukov D.V. – PhD Student, Biological Institute of Tomsk State University, 36 Lenin ave., Tomsk, Russia.

Vorobiev D.S. – Doctor of Biology, Director of Biological Institute of Tomsk State University, 36 Lenin ave., Tomsk, Russia.