



УДК 631.81.095.337

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-229-11-39-44

А.А. Коровин, В.В. Голембовский, А.И. Суров

A.A. Korovin, V.V. Golembovskiy, A.I. Surov

ПОЛУЧЕНИЕ ВЕРМИКОМПОСТА ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

PRODUCTION OF VERMICOMPOST FROM AGRICULTURAL WASTES AND SEWAGE SLUDGE

Ключевые слова: отходы сельскохозяйственного производства, иловые осадки сточных вод, вермикомпостирование, *вермикомпост*, дождевые черви семейства *Lumbricidae*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena Veneta*.

В начале XXI в. перед человечеством с особой остротой проявились проблемы восстановления плодородия почв и утилизации отходов производства и потребления. Нерешение хотя бы одной из проблем ставит человечество на грань выживания. Причиной является резко возросшие природно-климатическая и техногенная нагрузки, потенцирование их негативных эффектов, которые привели к значительной деградации почв и угрозе экологической безопасности. В то же время в отходах производства и жизнедеятельности содержатся исключенные из природного кругооборота миллионы тонн органического вещества и микроэлементов. Целью исследования явилось изучение агрохимического, бактериологического и паразитологического состава вермикомпоста, полученного при переработке сельскохозяйственных отходов животного и растительного происхождения и осадков сточных вод городской канализационной системы. Методом вермикомпостирования отходов животного (навоз крупного рогатого скота) и растительного (солома озимой пшеницы) происхождения, а также иловых осадков сточных вод городских очистных сооружений с использованием червей семейства *Lumbricidae* удалось не только утилизировать токсичные отходы, но и получить вермикомпост, использование которого показало способность улучшать рост сельскохозяйственных культур. В результате вермикомпост, полученный вермикомпостированием отходов животного и растительного происхождения, содержал: массовая доля органического вещества – 85%, азот общий – 0,23, фосфор (валовое содержание) – 0,14%, марганец – 37,87 мг/кг, медь – 11,45, цинк – 31,45, свинец – 2,24, мышьяк – 1,22 мг/кг, кадмий – 0,01 мг/кг; из иловых осадков сточных вод:

массовая доля органического вещества – 21,35%, азот общий – 0,30, фосфор (валовое содержание) – 4,36%, марганец – 5,4 мг/кг, медь – 47,0, цинк – 504,0, свинец – 70,0, мышьяк – 2,6, кадмий – 2,9, хром – 1,75 мг/кг. Использование низкочастотной технологии вермикомпостирования позволяет не только перерабатывать отходы производства и жизнедеятельности, но и получать комплексные органоминеральные удобрения, пригодные к использованию в сельскохозяйственном производстве различных урвней.

Keywords: *agricultural wastes, sewage sludge, vermicomposting, vermicompost, earthworm, Lumbricidae family, Eisenia fetida, Dendrobaena veneta.*

At the beginning of the 21st century, the problems of soil fertility restoration and utilization of production and consumption wastes have become particularly topical ones. Failure to solve at least one of the problems puts mankind on the brink of survival. The reason is sharply increased natural-climatic and technogenic load, potentiation of their negative effects which led to significant soil degradation and threat to environmental safety. At the same time, production and life activity wastes contain millions of tons of organic matter and trace elements excluded from the natural cycle. The research goal was to develop an environmentally friendly and low-cost technology for the utilization of organic wastes of animal, vegetable and municipal origin in order to obtain complex organomineral fertilizers. Vermicomposting of animal (cattle manure) and vegetable (winter wheat straw) wastes as well as sewage sludge from municipal wastewater treatment plants by using worms of the *Lumbricidae* family allowed not only utilizing toxic wastes but also obtaining an environmentally friendly organomineral fertilizer - biohumus which use showed the ability to improve crop growth. The biohumus obtained by vermicomposting of animal and plant wastes contained the following: organic matter weight percentage -

85%; total nitrogen - 0.23%; phosphorus (gross content) - 0.14%; manganese - 37.87 mg kg; copper - 11.45 mg kg; zinc - 31.45 mg kg; lead - 2.24 mg kg; arsenic - 1.22 mg kg; cadmium - 0.01 mg kg. Vermicomposting of sewage sludge: organic matter weight percentage - 21.35%, total nitrogen - 0.30%; phosphorus (gross content) - 4.36%; manganese - 5.4 mg kg; copper - 47.0 mg kg; zinc - 504.0

mg kg; lead - 70.0 mg kg; arsenic - 2.6 mg kg; cadmium - 2.9 mg kg; chromium - 1.75 mg kg. The use of low-cost vermicomposting technology makes it possible not only to process production and life waste, but also to obtain complex organomineral fertilizers suitable for agricultural production at various levels.

Коровин Андрей Анатольевич, д.м.н., вед. науч. сотр., ВНИИОК – филиал, ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Ставропольский край, Российская Федерация, e-mail: abv20korovin@yandex.ru.

Голембовский Владимир Владимирович, к.с.-х.н., вед. науч. сотр., ВНИИОК – филиал, ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Ставропольский край, Российская Федерация, e-mail: vvh26@yandex.ru.

Суров Александр Иванович, д.с.-х.н., директор, ВНИИОК – филиал, ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Ставропольский край, Российская Федерация, e-mail: vniiook@fnac.center.

Korovin Andrey Anatolevich, Dr. Med. Sci., Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – Branch, North Caucasus Federal Agricultural Research Center, Stavropol Region, Russian Federation, e-mail: abv20korovin@yandex.ru.

Golembovskiy Vladimir Vladimirovich, Cand. Agr. Sci., Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – Branch, North Caucasus Federal Agricultural Research Center, Stavropol Region, Russian Federation, e-mail: vvh26@yandex.ru.

Surov Aleksandr Ivanovich, Dr. Agr. Sci., Director, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – Branch, North Caucasus Federal Agricultural Research Center, Stavropol Region, Russian Federation, e-mail: vniiook@fnac.center.

Введение

Современное природно-антропогенное взаимодействие, характеризующееся дисбалансом между развивающейся техносферой и теряющей свою устойчивость биосферой, получило название «глобальный экологический вызов XXI в.» [1].

При этом проблема деградации земель сельскохозяйственного назначения на рубеже XXI в. признана главным вызовом продовольственной и экологической безопасности [2].

Современные модели интенсификации сельхозпроизводства экологически и экономически неустойчивы, поскольку скорость деградации почвы часто превышает скорость естественного восстановления почвы [3].

Внесенные в значительных количествах традиционные удобрения часто уже не могут восполнить потребности почв и сельскохозяйственных культур, становясь угрозой плодородию почв и экологической безопасности [4]. В то же время в качестве удобрения издревле использовались отходы животноводства и сапропель, к которым в последние годы добавились осадки коммунально-бытовых и промышленных стоков [5, 6].

Все большее внимание ученых привлекает проблема использования технологий вермикомпостирования отходов различного происхождения в качестве сырья для получения комплексных органоминеральных удобрений. Очевидно, что

если более эффективно использовать сельскохозяйственные отходы и иловые осадки сточных вод в качестве сырья для производства органоминеральных удобрений, то это не только решит множество экологических проблем, но и даст возможность стать более конкурентоспособными на рынке [7, 8].

Целью исследования явилось изучение агрохимического, бактериологического и паразитологического состава вермикомпоста, полученного при переработке сельскохозяйственных отходов животного и растительного происхождения и осадков сточных вод городской канализационной системы.

Объекты и методы

Объекты исследований – сырье для производства вермикомпоста и вермикомпост, полученный в результате переработки червями семейства Lumbricidae Eisenia fetida и Dendrobaena Veneta специально приготовленного субстрата – смеси отходов сельскохозяйственного производства растительного (солома озимой пшеницы – 40 мас.%) и животного (навоз крупного рогатого скота – 60 мас.%) происхождения (сельскохозяйственные отходы) и иловых осадков сточных вод городских коммунальных очистных сооружений, выдержанных на открытых площадках около 2 лет.

После приготовления субстрат выкладывался в вермиреакторы, куда заселялись черви.

Плотность заселения компостной массы дождевыми червями производилась из расчета 3,0 тыс. особей на 1 м².

Эксперименты проводились в условиях помещения при температуре 18-25°C и влажности субстрата в пределах 70-75%.

Забор проб вермикомпоста осуществлялся однократно спустя 2 мес. от начала эксперимента по результатам полного вермикомпостирования субстрата.

Исследования проводили по стандартным методикам, утвержденным ГОСТ и ведомственными методическими указаниями.

Отбор показателей при агрохимических исследованиях производился с учетом их включения в технические требования ГОСТ Р 56004-2014.

Агрохимические анализы вермикомпоста были выполнены в условиях аттестованных лабораторий ФГБУ «Государственный центр агрохимической службы «Ставропольский» согласно требованиям, отраженным в ГОСТ Р 56004-2014, ГОСТ 27980-88, ГОСТ 26717-85, М-МВИ-80-2008, ГОСТ 27979-88, Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (ЦИНАО. М., 1992) и Методическим указаниям по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом (МСХ., ЦИНАО. М., 1993).

В качестве объектов исследования, характеризующих состояние иловых осадков, были выбраны показатели, утвержденные природоохранными нормативными документами федерального уровня и рекомендованные к использованию в условиях лабораторий предприятий жилищно-коммунального комплекса в целях государственного экологического контроля.

Исследования вермикомпоста, полученного в результате переработки иловых осадков, выполнены в условиях специализированной лаборатории МУП «Водоканал» г. Ставрополя согласно требованиям, отраженным в ГОСТ 26213-91, ГОСТ Р 58596-2019, ГОСТ 26261-84 и ПНДФ 16.1:2:2.2:3.63-09.

Бактериологические и паразитологические анализы вермикомпоста получены в условиях Испытательного центра ФГБУ «Северо-Кавказская межрегиональная ветеринарная лаборатория» согласно требованиям, отраженным в МУ 2.1.7.2657-10, МУК 4.2.3695-21, ГОСТ Р 54001-2010 и ГОСТ Р 57782-2017.

В качестве агрохимических характеристик полученного вермикомпоста исследовали наиболее показательные ингредиенты, которые бы позволили характеризовать полученный продукт как комплексное органоминеральное удобрение: массовая доля органического вещества (%), азот общий (%), фосфор (валовое содержание) (%), марганец (мг/кг), медь (мг/кг), цинк (мг/кг), а также элементы, которые кроме микроудобрений могут быть причислены к «примесям отдельных токсичных элементов» – кадмий (мг/кг), мышьяк (мг/кг), свинец (мг/кг).

Полученные результаты содержания микроэлементов в вермикомпосте соотносили к такому, отнесенным ГОСТ к «примесям загрязняющих веществ (мышьяк, свинец, медь, цинк), с целью соответствия удобрениям с улучшенными экологическими характеристиками, а также сравнили с требованиями к химическому составу органических (ГОСТ Р 56004-2014, ГОСТ Р 53117-2008) и минеральных удобрений (ГОСТ Р 51520-99).

Результаты и их обсуждение

Агрохимические исследования сырья для производства вермикомпоста выявили его пригодность к жизнедеятельности червей (табл.).

Исследования показали, что черви хорошо прижились как в смеси сельскохозяйственных отходов, так и в иловых осадках, дали потомство и активно перерабатывали субстрат в вермикомпост.

Предусмотренные для проведения эксперимента температурный режим (18-25°C) и влажность субстрата (70-75%) оказались оптимальными для жизнедеятельности и продуктивности червей.

Значимых различий в измерениях результатов агрохимических исследований вермикомпоста от вида червей, использованных в переработке субстрата, установлено не было.

Результаты бактериологического и паразитологического исследования вермикомпоста свидетельствуют, что личинки и куколки синантропных мух, личинки гельминтов, цисты кишечных простейших, яйца гельминтов и сальмонеллы не обнаружены.

Индекс бактерий группы кишечной палочки и индекс энтерококков находятся в пределах допустимых нормативов (колониеобразующие единицы КОЕ/г = 0-1).

Агрехимические показатели

Показатели	Сырье для производства вермикомпоста				Вермикомпост	
	навоз КРС	солома пшеницы	смесь с.-х. отходов	иловые осадки	с.-х. отходы	иловые осадки
Массовая доля органического вещества, %	20,5	72,7	41,48	14,2	85	21,35
Азот общий, %	0,52	0,21	0,39	0,23	0,23	0,3
Фосфор (валовое содержание), %	0,24	0,06	0,168	2,14	0,14	4,36
Марганец, мг/кг	37,87	5,2	24,8	3,6	37,87	5,4
Медь, мг/кг	5,7	0,51	3,62	64,0	11,45	47,0
Цинк, мг/кг	18,9	0,62	11,59	663	31,45	504
Мышьяк, мг/кг	0,55	1,0	0,73	3,2	1,22	2,6
Свинец, мг/кг	3,52	1,4	2,67	123,3	2,24	70,0
Кадмий, мг/кг	0,084	0,14	0,1	6,4	0,01	2,9
Хром, мг/кг	Не определялся			7,8	Не определялся	1,75

Результаты агрохимического исследования вермикомпоста, полученного в условиях эксперимента, выявили определенные различия химического состава, обусловленные, по нашему мнению, природой и условиями хранения первичного субстрата (табл.).

В вермикомпосте, полученном при переработке сельскохозяйственных отходов, массовая доля органического вещества в 3,98 раза превышала показатель вермикомпоста, полученного из иловых осадков (85 и 21,35% соответственно).

Числовые значения показателя «азот общий» вермикомпоста были почти равны в обоих экспериментах (0,23 и 0,30% соответственно).

В то же время в вермикомпосте, полученном при переработке сельскохозяйственных отходов, содержание фосфора было в 31,1 раза меньше, чем в вермикомпосте, полученном из иловых осадков (0,14 и 4,36% соответственно).

Аналогичная картина наблюдалась и в результатах исследований на содержание микроэлементов.

Так, содержание марганца в вермикомпосте, полученном в результате переработки сельскохозяйственных отходов, было в 7,01 раза больше, чем в вермикомпосте, полученном из иловых отложений (37,87 и 5,4 мг/кг соответственно), а меди и цинка – в 4,1 и 16,0 раза меньше (11,45; 47,0; 31,45; 504,0 мг/кг соответственно).

Содержание кадмия, мышьяка и свинца, отнесенных к токсичным элементам, в вермиком-

посте, полученном при переработке сельскохозяйственных отходов, было, соответственно, в 290, 2,13 и 31,25 раза меньше, чем в вермикомпосте, полученном в результате переработки иловых осадков (0,01; 2,9; 1,22; 2,6; 2,24; 70,0 мг/кг соответственно).

Показатель pH независимо от вида червей имел нейтральную реакцию – от 6,67 до 6,84 ед.

Полученные результаты содержания микроэлементов соответствуют требованиям к химическому составу органических и минеральных удобрений.

Исследования подтверждают, что агрохимический состав полученного вермикомпоста зависит от исходного состава субстрата. Наличие повышенного содержания органического вещества в сельскохозяйственных отходах в сравнении с таковым в иловых осадках, а также содержание отдельных микроэлементов в растениях и почвах, попадающих в нее с вносимыми удобрениями и агрохимикатами, приводят к их повышенному содержанию в выработанном вермикомпосте. Вместе с тем иловые осадки содержат повышенное содержание микроэлементов, попадающих с промышленными и бытовыми стоками (прежде всего бытовая нефтехимия), что также отражается на химическом составе выработанного вермикомпоста. Однако содержание микроэлементов в вермикомпосте оказывается значительно ниже, чем предусмотрено ГОСТ, что подтверждает их экологичность

и возможность безопасного применения в растениеводстве.

Полученный вермикомпост может быть использован в качестве предпосевной обработки почв, так и непосредственно в качестве прикорневой подкормки. Сельхозпроизводитель может вносить вермикомпост в почву как подсушенный (в естественных условиях или при помощи сушильного оборудования) до состояния влажности 40-50%, так и путем гранулирования при наличии технологического оборудования по производству гранул. Дозы внесения на 1 га напрямую зависят от агрохимического состояния почв и потребностей сельскохозяйственных культур.

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют, что в условиях закрытых помещений, в качестве которых могут выступать фермы и другие хозяйственные постройки, при соблюдении режимов температуры в 18-25°C и влажности субстрата 70-75% черви семейства Lumbricidae способны активно перерабатывать сельскохозяйственные отходы и иловые осадки сточных вод городских коммунальных учреждений и вырабатывать органоминеральное удобрение – вермикомпост.

Применение простой, эффективной и малозатратной технологии вермикомпостирования позволяет в течение 2 мес. из общей массы субстрата получать до 80% органоминерального удобрения, снимает проблему утилизации сельскохозяйственных отходов и иловых осадков. Предприятие только на переработке отходов сохраняет средства, которые оно должно было бы выплатить в качестве экологического сбора и платы за загрязнение окружающей среды. Кроме этого сельхозпроизводитель существенно экономит на приобретении органоминеральных удобрений, замещённых произведенным вермикомпостом, эффективность которого для восстановления плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур сохраняется в течение 3-5 лет с момента внесения. Получение лицензии на утилизацию отходов позволит предприятию выйти на рынок органоминеральных удобрений и белковой биомассы, потенциал которого при современном развитии сельскохозяйственных технологий безграничен.

Библиографический список

1. Журавлева Е.В. Экологический принцип техносферного развития / Е. В. Журавлева, А. Н. Цедилин, С. И. Воронов. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 11. – С. 9-14.
2. Bueno, L. O., Anjinho, P. D. S., Bolleli, et al. (2022). Erosion susceptibility mapping in the Central-Eastern Region of São Paulo in the last few decades. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194 (12), 927. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10632-5>.
3. Zucca, C., Fleiner, R., Bonaiuti, E., Kang, U. (2022). Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena*. 219. 106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575.
4. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полевом севообороте / Н. А. Селезнева, А. Г. Тишкова, Т. Н. Федорова [и др.]. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 6. – С. 5-10.
5. Singh, S., Singh, J., Kandoria, A., et al. (2020). Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9 (4), 423-439. DOI: 10.30486/ijrowa.2020.1893367.1037.
6. Межевова, А. С. Практическое применение осадка сточных бытовых вод на примере возделывания сафлора красильного / А. С. Межевова. – Текст: непосредственный // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 53-67.
7. Обзор активных методов биологической переработки органических отходов / А. Д. Горбенко, М. А. Каплан, Е. П. Севостьянова [и др.]. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2023. – № 3. – С. 36-40.
8. Urionabarrenetxea, E., Garcia-Velasco, N., Anza, M., et al. (2021). Application of in situ bioremediation strategies in soils amended with sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 766, 144099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144099>.

References

1. Zhuravleva E.V., Tsedilin A.N., Voronov S.I. *Ekologicheskii printsip tekhnosfernogo razvitiia // Dostizheniia nauki i tekhniki APK*. – 2021. – Т. 35. – No. 11. – S. 9-14.

2. Bueno, L. O., Anjinho, P. D. S., Bolleli, et al. (2022). Erosion susceptibility mapping in the Central-Eastern Region of São Paulo in the last few decades. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194 (12), 927. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10632-5>.

3. Zucca, C., Fleiner, R., Bonaiuti, E., Kang, U. (2022). Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena*. 219. 106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575.

4. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полевом севообороте / N.A. Selezneva, A.G. Tishkova, T.N. Fedorova i dr. // *Dostizheniia nauki i tekhniki APK*. – 2020. – Т. 34. – No. 6. – С. 5-10.

5. Singh, S., Singh, J., Kandoria, A., et al. (2020). Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earth-

worm: A comprehensive review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9 (4), 423-439. DOI: 10.30486/ijrowa.2020.1893367.1037.

6. Mezhevova A. S. Prakticheskoe primeneniye osadka stochnykh bytovykh vod na primere vozde-lyvaniia saflora krasilnogo // *Melioratsiia i gidrotekhnika*. – 2022. – Т. 12. – No. 2. – С. 53-67.

7. Obzor aktivnykh metodov biologicheskoi pererabotki organicheskikh otkhodov / A.D. Gorb-enko, M.A. Kaplan, E.P. Sevostianova i dr. // *Zem-ledelie*. – 2023. – No. 3. – С. 36-40.

8. Urionabarrenetxea, E., Garcia-Velasco, N., Anza, M., et al. (2021). Application of in situ biore-remediation strategies in soils amended with sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 766, 144099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144099>.



УДК 631.674.2

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-229-11-44-49

М.И. Лоскин

M.I. Loskin

ОСОБЕННОСТИ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

FEATURES OF INUNDATION IRRIGATION IN YAKUTIA

Ключевые слова: лиманное орошение в Якутии, изменение климата, многолетнемерзлые грунты, тепловой режим почвы.

Лиманное орошение в Якутии в отличие от других регионов РФ имеет свои особенности. Гидрологический режим и гидрографические характеристики малых рек позволяют проводить орошение один раз в год паводковыми водами по мерзлой или частично оттаявшей почве. Отвод воды на орошаемые территории производится без механического подъема гидротехническими сооружениями, построенными в руслах рек, с последующим возвратом оросительной воды обратно в реку вниз по течению. Одними из особенностей при орошении лиманов являются специфичность природных условий, связанная наличием многолетнемерзлых грунтов, геоморфологическими особенностями агроландшафтов (аласов), а также влияние многолетней мерзлоты на тепловой режим почв в условиях короткого вегетационного периода. Опыт лиманного орошения показывает, что несмотря на зону рискованного земледелия применение данного способа орошения позволяет увеличить урожайность культур в 2-3 раза. Проведенные полевые исследования и анализ метеорологических условий показывают влияние изменения климата на тепловой

режим почв лиманных лугов в Якутии. Так, анализ гидрометеорологических данных и обеспеченности территории влагой за последние 55 лет показывает повышение температуры атмосферного воздуха до 4°C, увеличение суммы атмосферных осадков до 15 мм и дефицита увлажнения за вегетационный период до 70 мм на исследуемой территории. Исследования температурного режима почв показывают увеличение активного слоя почв. При этом относительно низкие показатели увеличения оттаивания на орошаемых почвах по сравнению с неорошаемыми позволяют сделать вывод о снижении влияния климатического потепления на оттаивание грунтов при лиманном орошении.

Keywords: inundation irrigation in Yakutia, climate change, permafrost soils, soil thermal regime.

Inundation irrigation in Yakutia compared to other regions of the Russian Federation has its own features. The hydrological regime and hydrographic characteristics of small rivers allow irrigating once a year with flood waters on frozen or partially thawed soil. Water is diverted to irrigated areas without pumping by hydraulic structures built in river beds with subsequent return of irrigation water back to the river downstream. One of the features in the inundation