

## Утилизация отходов спиртовой барды длительного хранения методом аэробного компостирования

© 2025. Д. Н. Шерстобитов, аспирант,  
В. В. Ермаков, к. т. н., доцент, В. В. Пыстин, к. т. н., доцент,  
О. В. Тупицына, д. т. н., доцент, Д. Е. Быков, д. т. н., профессор,  
Самарский государственный технический университет,  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244,  
e-mail: sherstobitovdn@gmail.com

Объектом исследования являются накопители спиртовой барды, расположенные вблизи села Рождествено Самарской области. Проведена апробация технологии утилизации отходов спиртовой барды длительного хранения (размещение в окружающей среде сроком более 3 лет) методом аэробного компостирования на промышленной площадке. В рамках трёхнедельного цикла компостирования отходов проводились измерения температуры и определение состава компостируемой массы. Объёмные доли в первоначальной компостируемой массе, в том числе отходов спиртовой барды длительного хранения, «незрелого» (рециркуляционного) компоста и древесных опилок составляли 30–35% для каждого из компонентов. В отбираемых пробах контролировались следующие показатели: влажность, водородный показатель (рН), содержание органического вещества, азота нитратного ( $\text{N-NO}_3^-$ ), нитритного ( $\text{N-NO}_2^-$ ) и аммонийного ( $\text{N-NH}_4^+$ ). Определено содержание альдегидов, кетонов, сложных эфиров, высших спиртов, органических (в т. ч. ароматических) кислот. При определении концентрации органических составляющих в пробах, отобранных после второй и третьей недель компостирования, зафиксированы только этановая и бутановая кислоты с незначительной разницей в 0,91 мг/кг. После двух недель компостирования произошло значительное снижение концентрации  $\text{N-NH}_4^+$  и  $\text{N-NO}_2^-$ , а также повышение содержания  $\text{N-NO}_3^-$ . В результате компостирования снизилась доля органического вещества, а также произошла стабилизация рН до значений выше 6,0 единиц. Результаты эксперимента доказали эффективность метода аэробного компостирования для обезвреживания отходов спиртовой барды. Внесение рециркуляционного компоста и древесных опилок способствовало сокращению длительности компостирования с 21 до 14 суток.

**Ключевые слова:** аэробное компостирование, отходы спиртовой барды, утилизация, грунт органоминеральный.

## Waste disposal of long-stored distillery stillage by aerobic composting

© 2025. D. N. Sherstobitov ORCID: 0000-0002-9160-5317  
V. V. Ermakov ORCID: 0000-0001-7720-2418, V. N. Pystin ORCID: 0000-0002-4027-1804  
O. V. Tupitsyna ORCID: 0000-0003-0638-2700, D. E. Bykov ORCID: 0000-0002-4230-2926  
Samara State Technical University,  
244, Molodogvardeyskaya St., Samara, Russia, 443100,  
e-mail: sherstobitovdn@gmail.com

The object of the study is the distillery stillage storage located within the boundaries of the federal protected area “Samarskaya Luka”, near the village of Rozhdestveno in the Samara region. Testing of the technology for utilizing long-term storage distillery waste (stored in the environment for more than 3 years) through aerobic composting at an industrial site has been conducted. During the three-week composting cycle, measurements of temperature and the chemical composition analysis of the composting mass were conducted. The volumetric fractions in the initial compostable mixture, including long-stored distillery stillage, immature (recycled) compost, and sawdust, were 30–35% for each of the components. In the selected samples, the following parameters were monitored: moisture, pH, and the content of organic matter, as well as nitrate ( $\text{N-NO}_3^-$ ), nitrite ( $\text{N-NO}_2^-$ ), and ammonium nitrogen ( $\text{N-NH}_4^+$ ). Aldehydes, ketones, esters, higher alcohols, organic acids (including aromatic) content was also determined. Only acetic and butanoic acids with a slight difference of 0.91 mg/kg were detected when assessing the concentration of organic components in samples taken after the second and third week of composting. There was a significant decrease in the  $\text{N-NH}_4^+$  and  $\text{N-NO}_2^-$  content as well as an increase in  $\text{N-NO}_3^-$  content after two weeks of composting. As a result of composting, the proportion of organic matter decreased, and the pH stabilized to values above 6.0 units. The results of the experiment demonstrated the effectiveness of aerobic composting as a method for the disposal of distillery stillage. The addition of recycled compost and sawdust contributed to reducing the duration of composting from 21 to 14 days.

**Keywords:** aerobic composting, distillery stillage, disposal, organic-mineral soil.

Производство этилового спирта сопровождается образованием значительного объёма отходов. Наиболее крупнотоннажным отходом, образующимся на стадии ректификации, является спиртовая барда: при производстве 1 м<sup>3</sup> этилового спирта образуется не менее 13 м<sup>3</sup> спиртовой барды [1]. Отход представляет собой суспензию светло-коричневого цвета с содержанием сухих веществ 7–9%. Зерновая спиртовая барда содержит клетчатку, углеводы, белки и микроэлементы [2]. Свежая спиртовая барда является ценным и питательным сырьём. С 1 января 2021 г., согласно приказу Росалкогольрегулирования от 17.12.2020 № 400 «Об утверждении порядка полной переработки и утилизации барды (основного отхода спиртового производства), на очистных сооружениях и перечней соответствующего технологического оборудования», производители этилового спирта обязаны проводить полную переработку барды (основного отхода спиртового производства).

Свежая спиртовая барда может быть использована для производства этанола [3, 4], биотоплива [5], удобрений [6], ферментного препарата [7] и корма [8].

Способы утилизации спиртовой барды отражены во множестве патентов, содержащих, в основном, описание микробиологических методов [9–16]. В данных патентах спиртовая барда используется в качестве питательной среды для микроорганизмов. Конечным продуктом жизнедеятельности микроорганизмов является белок, используемый в качестве кормовой базы для сельскохозяйственных животных.

В настоящее время основным продуктом после переработки свежей спиртовой барды является сухая кормовая пшеничная барда (Distiller's Dried Grain with Solubles (DDGS)).

Однако многие спиртовые заводы в Российской Федерации до вступления вышеупомянутого приказа Росалкогольрегулирования не перерабатывали спиртовую барду, а размещали в окружающей среде. Одним из примеров несанкционированного размещения спиртовой барды являются накопители, расположенные недалеко от села Рождественно Самарской области. Несанкционированное размещение спиртовой барды происходило вплоть до полного закрытия спиртового завода в 2012 г. На рисунке 1 представлены последствия несанкционированного размещения отходов спиртовой барды, повлёкшего деградацию биотопа на исследуемом участке.

Согласно представленным космическим снимкам (рис. 1, см. цв. вкладку VIII), на изучаемой территории выделяется несколько очагов наиболее выраженной деградации растительности. Последствия размещения незначительного количества спиртовой барды могут быть устранены при протекании естественных процессов биоремедиации с восстановлением растительности. Между тем, на изучаемом объекте размещено значительное количество отходов, в которых не протекают процессы деструкции, что связано со значительной толщиной слоя отходов. Распространение загрязнений в геосреде составляет до 10 м в глубину, что требует извлечения антропогенного грунта и его обезвреживания.

Специалистами ФГБОУ ВО «СамГТУ» разработан проект рекультивации вышеописанных нарушенных земель с утилизацией размещённой спиртовой барды методом компостирования. Проект является уникальным ввиду того, что до этого момента в России не проводились работы по обезвреживанию отходов спиртовой барды длительного хранения значительного объёма (25 000 м<sup>3</sup>) с применением методов компостирования в границах особо охраняемой природной территории федерального значения ФГБУ «Национальный парк «Самарская Лука» [17].

Целью работы являлось повышение эффективности аэробного компостирования отходов спиртовой барды в результате внесения рециркуляционного компоста, а также анализ динамики химического состава отходов в процессе обезвреживания.

### Объекты и методы исследования

Обезвреживание спиртовой барды проводится в тентовом ангаре, возводимом на месте проведения рекультивационных работ. Длина ангара – 120 м, ширина – 26 м, высота – 9,2 м. Согласно технологии, отходы спиртовой барды экскавируются из мест размещения и перевозятся для формирования буртов длиной 100 м, в виде пирамиды высотой 2 м и основанием 4 м (рис. 2).

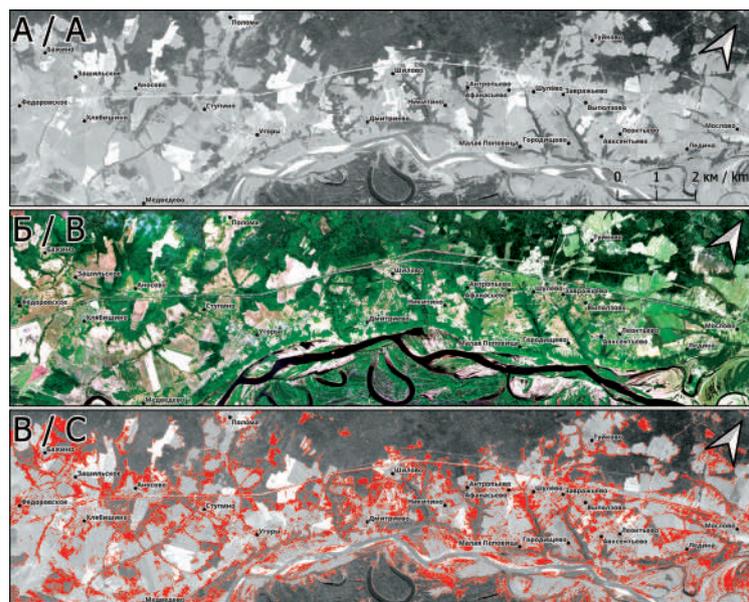
Обезвреживание отходов методом компостирования происходит в результате минерализации органической компоненты и описывается классической теорией биохимической кинетики. Основной этап обезвреживания проходит во время термофильной стадии компостирования. Поддержание необходимых параметров для перехода с мезофильной на

**Д. Н. Шерстобитов, В. В. Ермаков, В. В. Пыстин,  
О. В. Тупицына, Д. Е. Быков «Утилизация отходов  
спиртовой барды длительного хранения методом  
аэробного компостирования». С. 162.**



**Рис. 1.** Космические снимки участка размещения спиртовой барды:  
а) 06.09.2009, б) 02.07.2011 (источник – Google Earth)  
**Fig. 1.** Satellite images of the site for the placement of distillery stillage:  
а) 06.09.2009, б) 02.07.2011 (source – Google Earth)

**В. В. Елсаков, Т. А. Мыльникова, А. Ю. Боровлёв, Л. М. Баскин,  
В. М. Щанов «Климатические и постаграрные векторы  
трансформации лесопокрытых территорий  
староосвоенных районов Европейской России». С. 188.**



**Рис. 2.** Участки зарастаний сельскохозяйственных угодий Мантуровского района. Спутниковая съёмка Corona KH-2 от 19.08.1973 (а) и ESRI Imagery от 29.04.2023 (б), результат сравнения изображений (в). Сельскохозяйственные угодья, заросшие лесной/кустарниковой растительностью за период 1973–2023 гг., выделены красным цветом / **Fig. 2.** Overgrowth areas of farmlands in Manturovsky District. Corona KH-2 satellite imagery from 19.08.1973 (a), ESRI Imagery from 29.04.2023 (b), and a result of image comparison (c). Farmlands overgrown with forest/shrub vegetation for 1973–2023 are highlighted in red



**Рис. 2.** Формирование буртов отходов спиртовой барды для обезвреживания  
**Fig. 2.** Piles of waste distillery stillage are forming for disposal

термофильную стадию обеспечивается за счёт аэрации компостируемой массы, внесения поробразующих добавок (древесных опилок) и «незрелого» компоста, а также периодического ворошения. Для более интенсивного развития микробного консорциума в компостируемую массу был внесён биопрепарат-деструктор с микроорганизмами, принадлежащими к родам *Ochrobactrum* и *Acinetobacter*. Объёмные доли отходов спиртовой барды длительного хранения, «незрелого» (рециркуляционного) компоста и древесных опилок в первоначальной компостируемой массе составляют по 30–35%. «Незрелый» (рециркуляционный) компост является материалом после цикла неполного компостирования (от 7 до 10 сут) и вносится в компостируемую массу для ускорения процесса обезвреживания отходов. На термофильной стадии происходит изменение микробного сообщества с мезофильного на термофильное, патогенные бактерии и грибы при этом подавляются [18]. Для обезвреживания отходов на термофильной стадии необходима температура от 55 до 80 °С. В результате компостирования образуется зрелый стабильный компост – органоминеральный грунт.

Длительность эксперимента по обезвреживанию отходов спиртовой барды в промышленных условиях – 3 недели. Для оценки эффективности обезвреживания предусматривался отбор проб с периодичностью 7 сут. Было отобрано в общей сложности пять проб: 1) отход спиртовой барды в исходном состоя-

нии; 2) отход спиртовой барды, смешанный с древесными опилками и рециркуляционным компостом; 3) смесь после 1 недели компостирования, 4) органоминеральный грунт после 2 недель компостирования, 5) органоминеральный грунт после 3 недель компостирования. В течение 3 недель проводился контроль температуры бурта, из которого отбирали пробы. Отобранные пробы отходов, компостной массы и органоминерального грунта анализировали на наличие органических и неорганических компонентов.

Основными показателями для количественного химического анализа были выбраны влажность, водородный показатель (рН), содержание органического вещества, азота нитратного, нитритного и аммонийного. Основным показателем, свидетельствующим об успешном обезвреживании отхода, является снижение содержания органического вещества, ввиду высокого содержания данного компонента в исходном отходе. Изменение концентраций различных форм азота, в свою очередь, позволяет контролировать процессы минерализации органических веществ. Не менее важным является показатель рН, позволяющий оценить изменение кислотности среды в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Оптимальным для компостируемых органических отходов является рН 5,0–8,0 [19].

Кроме того, проводился анализ образцов отходов спиртовой барды газохроматографическим методом на хроматографе Agilent Technologies GC 6890N с пламенно-ионизационным детектором. Прибор оснащён капиллярной колонкой с нанесённой жидкой фазой (полиэтиленгликоль, модифицированный нитротерефталевой кислотой) длиной 50 м, внутренним диаметром 0,32 мм, толщиной нанесения жидкой фазы 0,50 мкм. Отобранные пробы были экстрагированы в этиловом спирте класса «Альфа» и проанализированы по методикам аналогичным ГОСТ Р 52363-2005, ГОСТ 31684-2012 и ГОСТ Р 51762-2001 с соблюдением условий проведения измерений. За результат измерений принималось среднеарифметическое значение двух параллельных определений массовой концентрации веществ, полученных в условиях повторяемости, относительные погрешности приняты в соответствии со значениями, указанными в методиках выполнения измерений. Среднее квадратичное отклонение повторяемости измерений составило не более 4% от полученных значений концентраций веществ.

## Результаты и обсуждение

В рамках эксперимента проводился ежедневный контроль температуры в бурте, результаты представлены на рисунке 3.

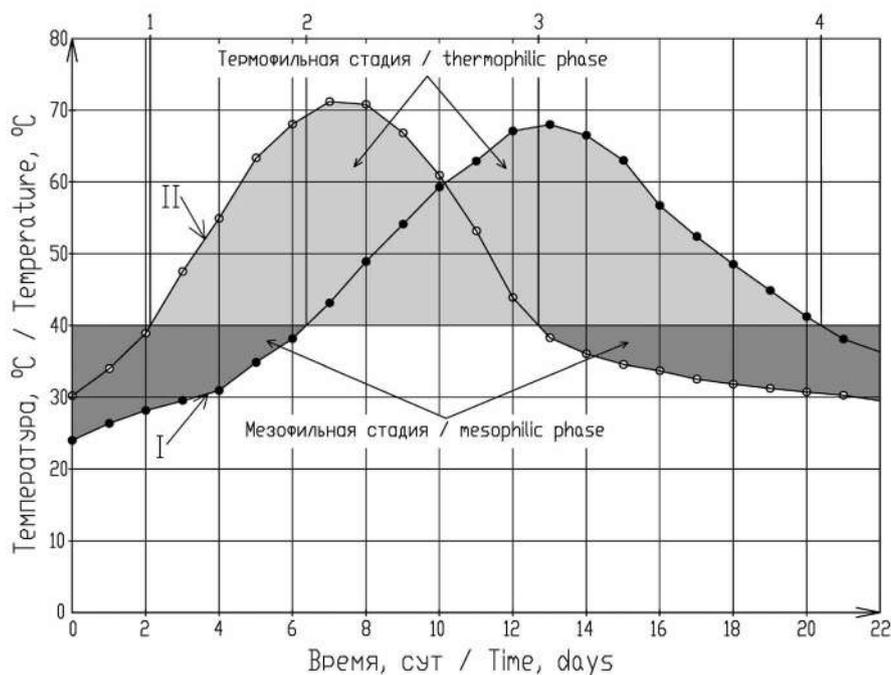
Согласно рисунку 3, внесение рециркуляционного компоста и древесных опилок способствовало более быстрому росту температуры компостируемой массы с сокращением продолжительности мезофильной стадии с 6 до 2 сут. Температура смеси на термофильной стадии ( $>40^{\circ}\text{C}$ ) в бурте № 2 сохранялась в течение 10 сут, с максимумом в  $71^{\circ}\text{C}$  на 7 сут, что является достаточным для разложения токсичных органических веществ, а также ликвидации патогенных микроорганизмов [20, 21].

После начала процесса компостирования из бурта № 2 еженедельно отбирались пробы для отслеживания химических превращений. Результаты хроматографического анализа отходов спиртовой барды, компостируемой массы и органоминерального грунта представлены в таблице 1.

По результатам анализа выявлены высокие концентрации токсичных органических веществ в исходном отходе спиртовой барды. С наибольшими концентрациями детектировались органические кислоты, сложные эфиры (этилдеканат) и высшие спирты (пропан-1-ол) (табл. 1).

После смешения спиртовой барды с древесными опилками и рециркуляционным компостом произошло значительное снижение концентраций изопропилового спирта и органических кислот, а также наблюдалось отсутствие сложных эфиров в анализируемой пробе. Снижение концентрации органического вещества в смеси, направляемой на компостирование, относительно исходного отхода обусловлено внесением компонентов с её меньшим содержанием (рециркуляционный компост, разрыхляющие добавки).

По окончании первой недели компостирования наблюдалось полное отсутствие содержания высших и ароматических спиртов, а также сложных эфиров. Также была от-



**Рис. 3.** Температурно-временная характеристика компостируемой массы:  
 I – бурт № 1 (без внесения рециркуляционного компоста);  
 II – бурт № 2 (с внесением рециркуляционного компоста).  
 1 и 3 – начало и окончание термофильной фазы бурта № 2;  
 2 и 4 – начало и окончание термофильной фазы бурта № 1

**Fig. 3.** Temperature and time characteristics of the composting mass.

I – pile No. 1 (without recirculated compost additive);

II – pile No. 2 (with recirculated compost additive).

1 and 3 – the beginning and the end of the thermophilic phase in pile No. 2;

2 and 4 – the beginning and the end of the thermophilic phase in pile No. 1

Таблица 1 / Table 1

Динамика изменения содержания органических веществ в образцах отходов спиртовой барды, компостируемой массы и органоминерального грунта во время 3-недельного цикла компостирования  
Dynamics of organic matter content variation in samples of distillery stillage, composted mass, and organo-mineral substrate during a three-week composting cycle

Вещества Substances	Концентрация в пробах, мг/кг Concentration in the samples, mg/kg				
	1	2	3	4	5
Этаналь / Ethanal	29,2±3,8	8,8±1,3	6,0±0,9	4,0±0,6	5,0±0,8
(2E)-бут-2-еналь / (2E)-but-2-enal	20,1±2,6	–*	–	–	–
<b>Альдегиды / Aldehydes</b>	<b>49,27</b>	<b>8,81</b>	<b>6,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,99</b>
Пропан-2-он / Propan-2-one	5,5±0,8	–	–	–	–
<b>Кетоны / Ketones</b>	<b>5,47</b>	–	–	–	–
Этилформиат / Ethyl formate	–	–	–	–	–
Этилацетат / Ethyl acetate	8,2±1,2	–	–	–	–
Этиллактат / Ethyl lactate	–	–	–	–	–
Изобутилацетат / Isobutyl acetate	–	–	–	–	–
Изоамилацетат / Isoamyl acetate	28,3±3,7	–	–	–	–
Этилоктаноат / Ethyl octanoate	175±23	–	–	–	–
Этилдеcanoат / Ethyl decanoate	2793±363	–	–	–	–
Этиллаурат / Ethyl laurate	1,82±0,27	–	–	–	–
<b>Сложные эфиры / Esters</b>	<b>3006,39</b>	–	–	–	–
Пропан-1-ол / Propan-1-ol	1689±220	51±7	–	–	–
Пропан-2-ол / Propan-2-ol	9,1±1,4	–	–	–	–
Бутан-1-ол / Butan-1-ol	16,4±2,5	1,96±0,29	–	–	–
2-Метилпропанол-1 2-methylpropan-1-ol	–	–	–	–	–
Бутан-2-ол / Butan-2-ol	23,7±3,1	7,8±1,2	–	–	–
3-метил-1-бутанол / 3-methylbutan-1-ol	–	–	–	–	–
<b>Спирты / Alcohols</b>	<b>1738,14</b>	<b>60,66</b>	–	–	–
Этановая кислота / Acetic acid	13672±1641	1808±217	19,0±2,3	18,0±2,2	16,0±1,9
Пропановая кислота / Propanoic acid	10352±1242	2664±320	25,0±3,0	–	–
2-метилпропановая кислота 2-methylpropanoic acid	669±80	299±36	–	–	–
Бутановая кислота / Butanoic acid	16648±1998	4648±558	35±4	11,0±1,3	14,0±1,7
3-метилбутановая кислота / 3-methylbutanoic acid	1652±198	713±86	–	–	–
Пентановая кислота / Pentanoic acid	4051±486	1526±183	15,0±1,8	–	–
<b>Кислоты / Acids</b>	<b>47043,80</b>	<b>11658,92</b>	<b>94,00</b>	<b>29,01</b>	<b>29,92</b>
2-фенилэтанол / 2-phenylethanol	6,4±1,0	–	–	–	–
<b>Ароматические спирты / Aromatic alcohols</b>	<b>6,39</b>	–	–	–	–

Примечание: прочерк означает отсутствие детектируемых веществ. Наименование и сумма концентраций органических веществ, распределённых по классам, выделены жирным. Номера проб см. в тексте.

Note: a dash means the absence of the substances in the samples. The name and sum of organic substances concentrations are marked in bold. Samples (here and in the Table 2): 1 – initial distillery stillary; 2 – distillery stillary mixed with sawdust and recycled compost; 3, 4, 5 – mixture after composting for 1, 2 or 3 weeks, respectively.

мечена полная элиминация изобутановой и изовалериановой кислот.

На 2 неделе компостирования произошло разложение большей части детектируемых ранее органических веществ, в связи с чем в пробе обнаружено менее 0,1% концентрации веществ по сравнению с результатами, полученными после анализа исходного отхода.

На 3 неделе компостирования в пробе не произошло значительного изменения содержания загрязнителей. После 2 и 3 недель компостирования в отобранных пробах детектировали всего 2 кислоты: этановую и бутановую с суммарным их содержанием 29,01 мг/кг после второй недели и 29,92 мг/кг после третьей недели.

Результаты химического анализа отходов спиртовой барды, компостируемой массы и

органоминерального грунта представлены в таблице 2.

Согласно результатам (табл. 2), в исследуемых пробах в процессе компостирования произошло несколько значительных изменений химических показателей. Высокая влажность в исходном отходе, а также в смешанном образце, со значения более 70% в процессе компостирования снизилась до 42,8–48,3%. Также произошло снижение содержания органического вещества с 31,8 до 9,8% по сухому веществу, что является основным показателем эффективности обезвреживания. В ходе эксперимента наблюдалось повышение значения pH с 4,92 в исходном образце до 6,09 в конечной пробе. По результатам изменения концентрации форм азота можно сделать вывод о протекании процесса нитрификации со снижением концентраций нитритного азота и повышением содержания нитратного азота. Разложение аммонийного азота до воды и азота происходило за счёт поддержания высокой температуры 60–70 °С во время термофильной стадии.

В отличие от существующих методов обращения со спиртовой бардой (флокуляция, флотация, адсорбция, обработка бактериями и водорослями), применяемых для жидких отходов [22], предлагаемый способ применим к отходам длительного пребывания в окружающей среде. Применённый метод аэробного компостирования в буртах с применением статического (продувка) и динамического (ворошение) аэрирования

позволил достигнуть температур (>70 °С) и переработать отход, отличающийся низкой влажностью, частичной минерализацией, а также наличием патогенной микробиоты. Использование только статической аэрации не позволяет достигнуть высоких температур и полностью обезвредить отходы спиртовой промышленности от патогенных организмов [23]. Дальнейшее исследование и совершенствование методов компостирования отходов позволит получать грунты и удобрения на основе отходов спиртовой барды, которые в настоящее время в значительном объёме накоплены в окружающей среде и негативно на неё влияют [24].

### Заключение

В результате проведённого эксперимента подтверждена эффективность переработки отходов спиртовой барды длительного хранения методом аэробного компостирования. Внесение древесных опилок в качестве разрыхлителя, а также рециркуляционного компоста для ускорения процесса компостирования позволили сократить продолжительность мезофильной стадии с 6 до 2 сут по сравнению с компостированием массы без соответствующих добавок. Рециркуляционный компост также способствовал быстрому разогреву компостируемой массы и достижению высокой температуры – 71 °С.

Газово-хроматографический анализ проб позволил отследить снижение концентрации

Таблица 2 / Table 2

Динамика изменения содержания соединений азота, влажности, pH и органического вещества в образцах отходов спиртовой барды, компостируемой массы и органоминерального грунта во время 3-недельного цикла компостирования / Dynamics of moisture, pH, organic matter, and nitrogen compounds content in the samples of distillery waste, composted mass, and organo-mineral substrate during a three-week composting cycle

Показатели Parameters	Значение в пробах, мг/кг Value in the samples, mg/kg				
	1	2	3	4	5
Влажность, % Moisture content, %	77±5	73±5	47,2±3,3	48,3±3,4	42,9±3,0
Органическое вещество, % Organic matter, %	31,8±0,8	26,3±0,7	21,6±0,5	11,1±0,3	9,82±0,25
Водородный показатель (pH), ед. pH Hydrogen index (pH), un. pH	4,92±0,10	5,37±0,10	5,63±0,10	6,01±0,10	6,09±0,10
Азот нитратный, мг/кг Nitrate nitrogen, mg/kg	2,6±0,8	2,8±0,9	25±5	49± 11	51±11
Азот нитритный, мг/кг Nitrite nitrogen, mg/kg	34±13	30±12	14±5	2,0±0,8	0,12±0,05
Азот аммонийный, мг/кг Ammonium nitrogen, mg/kg	3865±425	3240±356	2984±328	2813±309	2731±300

основных видов загрязнителей в процессе компостирования. При определении концентрации органических составляющих в пробах, отобранных после второй и третьей недель компостирования, детектировались только этановая и бутановая кислоты с незначительной разницей в 0,91 мг/кг.

Результаты химического анализа нитратного, нитритного и аммонийного азота, органического вещества, рН и влажности в пробах после 2 и 3 недель компостирования не имеют значительных различий.

Согласно проведённому эксперименту доказано, что внесение рециркуляционного компоста и древесных опилок позволяет сократить продолжительность процесса обезвреживания отходов спиртовой барды длительного хранения с 21 до 14 сут.

Полученный органоминеральный грунт после обезвреживания может быть использован для заполнения выемок, образованных при экскавации отходов спиртовой барды.

### Литература

1. Кухаренко А.А., Винаров А.Ю. Безотходная биотехнология этилового спирта. М.: Энергоатомиздат, 2001. 272 с.
2. Дыганова Р.Я., Беляева Ю.С. Разработка методики выбора технологий переработки отходов спиртовой промышленности как инструмента экологического менеджмента // Известия СамНЦ РАН. 2014. № 4 (2). С. 1728–1736.
3. Dien B.S., Ximenes E.A., O'Bryan P.J., Moniruzzaman M., Li X.L., Balan V., Dale B., Cotta M.A. Enzyme characterization for hydrolysis of AFEX and liquid hot-water pretreated distillers' grains and their conversion to ethanol // Bioresour. Technol. 2008. V. 99. No. 12. P. 5216–5225. doi: 10.1016/j.biortech.2007.09.030
4. Liu Y.-H., Wu Z.-Y., Yang J., Yuan Y.-J., Zhang W.-X. Step enzymatic hydrolysis of sodium hydroxide-pretreated Chinese liquor distillers' grains for ethanol production // Prep. Biochem. Biotechnol. 2014. V. 44. No. 5. P. 464–479. doi: 10.1080/10826068.2013.833113
5. Lei H., Ren S., Wang L., Bu Q., Julson J., Holladay J., Ruan R. Microwave pyrolysis of distillers dried grain with solubles (DDGS) for biofuel production // Bioresour. Technol. 2011. V. 102. No. 10. P. 6208–6213. doi: 10.1016/j.biortech.2011.02.050
6. Nelson K.A., Motavalli P.P., Smoot R.L. Utility of dried distillers grain as a fertilizer source for corn // J. Agric. Sci. 2009. V. 141. No. 1. P. 3–12. doi: 10.5539/jas.v1n1p3
7. de Lima A.L.G., do Nascimento R.P., da Silva Bon E.P., Coelho R.R.R. *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production using agro-industrial by-products and its potential use in the detergent and textile industries // Enzyme Microb. Technol. 2005. V. 37. No. 2. P. 272–277. doi: 10.1016/j.enzmictec.2005.03.016
8. Lodge S.L., Stock R.A., Klopfenstein T.J., Shain D.H., Herold D.W. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts // J. Anim. Sci. 1997. V. 75. No. 1. P. 37–43. doi: 10.2527/1997.75137x
9. Глинкин Н.Г., Педан Д.Н., Чопик В.И. Способ получения концентрированных кормов из отходов свеклосахарного и спиртового производства // Патент SU 159395 А1. Заявление: 805702/30-15, 30.11.1962. Дата публикации: 12.07.1963. Бюлл. 24.
10. Бабаков Ф.П., Пухилевич Ф.М., Клименко Я.А. Способ получения белково-витаминных добавок из отходов ацетонобутилового и спиртового производства // Патент SU 614784 А1. Заявление: 1458370, 07.07.1970. Дата публикации: 15.07.1978. Бюлл. 26.
11. Винаров А.Ю., Заикина А.И., Захарычев А.П., Зобнина В.П., Сидоренко Т.Е., Ковальский Ю.В., Рогачева Р.А., Зорина Л.В. Способ получения белковой кормовой добавки // Патент RU 2159287 С1. Заявление: 2000107993/13, 03.04.2000. Дата публикации: 20.11.2000.
12. Римарева Л.В., Лозанская Т.И., Худякова Н.М. Способ производства белково-витаминного корма // Патент RU 2203315 С1. Заявление: 2001131620/13, 26.11.2001. Дата публикации: 27.04.2003.
13. Кравченко В.Т., Антоноук А.А., Воропанова Л.А., Головской Э.А., Харебова Т.Я. Способ переработки спиртовой барды // Патент RU 2259394 С2. Заявление: 2003102207/13, 28.01.2003. Дата публикации: 27.08.2005. Бюлл. 24.
14. Доморацкий В.А., Култыгин Е.И., Винокуров В.И. Способ утилизации спиртовой барды из зернового сырья // Патент RU 2590600 С2. Заявление: 2014124628/10, 17.06.2014. Дата публикации: 10.07.2016. Бюлл. 19.
15. Доморацкий В.А., Култыгин Е.И., Винокуров В.И. Способ утилизации спиртовой барды из зернового сырья // Патент RU 2554491 С1. Заявление: 2014123770/10, 06.10.2014. Дата публикации: 27.06.2015. Бюлл. 18.
16. Кабалоев Т.Х., Бекузарова С.А., Калоев Б.С., Томаев Т.О. Способ получения корма на основе утилизированной спиртовой барды // Патент RU 2681295 С1. Заявление: 2018123266, 26.06.2018. Дата публикации: 06.03.2019. Бюлл. 7.
17. Пыстин В.Н., Губарь Е.В., Тупицына О.В., Быков Д.Е., Чертез К.Л. Утилизация отходов и ликвидация объекта накопленного вреда в условиях особо охраняемой природной территории // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 5. С. 22–27. doi: 10.18412/1816-0395-2022-5-22-27
18. Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Севостьянов М.А., Мазуркевич А.А. Оценка применимости почвогрунтов, произведённых из твёрдых отходов для выращивания лекарственных растений // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 157–164. doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-157-164

19. Бойцова Л.В., Моисеев К.Г., Пищик В.Н., Зинчук Е.Г., Хомяков Ю.В. Исследование и экологическая оценка сложного компоста // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 133–139. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-133-139

20. Grewal S.K., Sreevatsan S., Michel F.C. Persistence of *Listeria* and *Salmonella* during swine manure treatment // Compost Sci. Util. 2007. V. 15. No. 1. P. 53–62. doi: 10.1080/1065657X.2007.10702311

21. Zaleski J.Z., Josephson K.L., Gerba C.P., Pepper I.L. Survival, growth, and regrowth of enteric indicator and pathogenic bacteria in biosolids, compost, soil, and land applied biosolids // J. Residuals Sci. Technol. 2005. V. 2. No. 1. P. 49–63.

22. Chowdhary P., Raj A., Bharagava R.N. Environmental pollution and health hazards from distillery wastewater and treatment approaches to combat the environmental threats: a review // Chemosphere. 2018. V. 194. P. 229–246. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.163

23. Bustamante M.A., Moral R., Paredes C., Vargas-García M.C., Suárez-Estrella F., Moreno J. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes // Bioresour. Technol. 2008. V. 99. No. 15. P. 7299–7306. doi: 10.1016/j.biortech.2007.12.051

24. Silva L.R.B., Kardos L. Composting of distillery spent wash // Journal of Environmental Geography. 2024. V. 17. No. 1–4. P. 15–28. doi: 10.14232/jengeo-2024-44674

## References

1. Kukharensko A.A., Vinarov A.Yu. Zero-waste biotechnology of ethanol production. Moskva: Energoatomizdat, 2001. 272 p. (in Russian).

2. Dyganova R.Ya., Belyaeva Ju.S. Development of method of selection of technologies of alcohol industry waste treatment as an instrument of ecological management // Izvestia of RAS SamSC. 2014. No. 4 (2). P. 1728–1736 (in Russian).

3. Dien B.S., Ximenes E.A., O'Bryan P.J., Moniruzzaman M., Li X.L., Balan V., Dale B., Cotta M.A. Enzyme characterization for hydrolysis of AFEX and liquid hot-water pretreated distillers' grains and their conversion to ethanol // Bioresour. Technol. 2008. V. 99. No. 12. P. 5216–5225. doi: 10.1016/j.biortech.2007.09.030

4. Liu Y.-H., Wu Z.-Y., Yang J., Yuan Y.-J., Zhang W.-X. Step enzymatic hydrolysis of sodium hydroxide-pretreated Chinese liquor distillers' grains for ethanol production // Prep. Biochem. Biotechnol. 2014. V. 44. No. 5. P. 464–479. doi: 10.1080/10826068.2013.833113

5. Lei H., Ren S., Wang L., Bu Q., Julson J., Holladay J., Ruan R. Microwave pyrolysis of distillers dried grain with solubles (DDGS) for biofuel production // Bioresour. Technol. 2011. V. 102. No. 10. P. 6208–6213. doi: 10.1016/j.biortech.2011.02.050

6. Nelson K.A., Motavalli P.P., Smoot R.L. Utility of dried distillers grain as a fertilizer source for corn //

J. Agric. Sci. 2009. V. 1. No. 1. P. 3–12. doi: 10.5539/jas.v1n1p3

7. De Lima A.L.G., do Nascimento R.P., da Silva Bon E.P., Coelho R.R.R. *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production using agro-industrial by-products and its potential use in the detergent and textile industries // Enzyme Microb. Technol. 2005. V. 37. No. 2. P. 272–277. doi: 10.1016/j.enzymictec.2005.03.016

8. Lodge S.L., Stock R.A., Klopfenstein T.J., Shain D.H., Herold D.W. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts // J. Anim. Sci. 1997. V. 75. No. 1. P. 37–43. doi: 10.2527/1997.75137x

9. Glinkin N.G., Pedan D.N., Chopik V.I. Method for obtaining concentrated feeds from waste of sugar beet and distillery production // Patent SU 159395 A1. Application: 805702/30-15, 30.11.1962. Date of publication: 12.07.1963. Bull. 24 (in Russian).

10. Babakov F.P., Pukhilevich F.M., Klimenko Ya.A. Method of obtaining protein-vitamin feed additives from acetone-butyl and alcohol production waste // Patent SU 614784 A1. Application: 1458370, 07.07.1970. Date of publication: 15.07.1978. Bull. 26 (in Russian).

11. Vinarov A.Ju., Zaikina A.I., Zakharychev A.P., Zobnina V.P., Sidorenko T.E., Koval'skiy Ju.V., Rogacheva R.A., Zorina L.V. Protein feed additive production process // Patent RU 2159287 C1. Application: 2000107993/13, 03.04.2000. Date of publication: 20.11.2000 (in Russian).

12. Rimareva L.V., Lozanskaya T.I., Khudyakova N.M. Method of production of protein-vitamin fodder // Patent RU 2203315 C1. Application: 2001131620/13, 26.11.2001. Date of publication: 27.04.2003 (in Russian).

13. Kravchenko V.T., Antonyuk A.A., Voropanova L.A., Golovskoy Eh.A., Kharebova T.Ja. Distillery dregs processing method // Patent RU 2259394 C2. Application: 2003102207/13, 28.01.2003. Date of publication: 27.08.2005. Bull. 24 (in Russian).

14. Domoratskiy V.A., Kultygin E.I., Vinokurov V.I. Method for disposal of distillery stillage from grain raw material // Patent RU 2590600 C2. Application: 2014124628/10, 17.06.2014. Date of publication: 10.07.2016. Bull. 19 (in Russian).

15. Domoratskiy V.A., Kultygin E.I., Vinokurov V.I. Method of recycling distillery stillage from grain material // Patent RU 2554491 C1. Application: 2014123770/10, 06.10.2014. Date of publication: 27.06.2015. Bull. 18 (in Russian).

16. Kabaloev T.Kh., Bekuzarova S.A., Kaloev B.S., Tomaev T.O. Method of obtaining feed on the basis of utilized alcohol bards // Patent RU 2681295 C1. Application: 2018123266, 26.06.2018. Date of publication: 06.03.2019. Bull. 7 (in Russian).

17. Pystin V.N., Gubar E.V., Tupitsyna O.V., Bykov D.E., Chertes K.L. Waste disposal and elimination of the object of accumulated harm in a specially protected natural area // Ecology and Industry of Russia. 2022.

V. 26. No. 5. P. 22–27 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2022-5-22-27

18. Droганova T.S., Polikarpova L.V., Sevostyanov M.A., Mazurkevich A.A. Assessment of the possibility of using solid waste compost for growing medicinal plants // *Theoretical and Applied Ecology*. 2023. No. 4. P. 157–164 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-157-164

19. Boitsova L.V., Moiseev K.G., Pishchik V.N., Zinchuk E.G., Khomyakov Yu.V. Research and environmental assessment of complex yard compost // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 3. P. 133–139 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-133-139

20. Grewal S.K., Sreevatsan S., Michel F.C. Persistence of listeria and salmonella during swine manure treatment // *Compost Sci. Util.* 2007. V. 15. No. 1. P. 53–62. doi: 10.1080/1065657X.2007.10702311

21. Zaleski J.Z., Josephson K.L., Gerba C.P., Pepper I.L. Survival, growth, and regrowth of enteric indicator and

pathogenic bacteria in biosolids, compost, soil, and land applied biosolids // *J. Residuals Sci. Technol.* 2005. V. 2. No. 1. P. 49–63.

22. Chowdhary P., Raj A., Bharagava R.N. Environmental pollution and health hazards from distillery wastewater and treatment approaches to combat the environmental threats: a review // *Chemosphere*. 2018. V. 194. P. 229–246. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.163

23. Bustamante M.A., Moral R., Paredes C., Vargas-García M.C., Suárez-Estrella F., Moreno J. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes // *Bioresour. Technol.* 2008. V. 99. No. 15. P. 7299–7306. doi: 10.1016/j.biortech.2007.12.051

24. Silva L.R.B., Kardos L. Composting of distillery spent wash // *Journal of Environmental Geography*. 2024. V. 17. No. 1–4. P. 15–28. doi: 10.14232/jengeo-2024-44674