

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ ОТХОДОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

© 2023

Гамм Т.А., Гривко Е.В., Идигенов Б.Б.

Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация)

*Аннотация.* В статье показано, что способ утилизации жидких и твердых органических веществ, полученных как побочный продукт при производстве биогаза из органических отходов и компостировании органических отходов с добавлением жидкого органического вещества, в агроэкосистеме на черноземе обыкновенном Оренбургской области эффективен. На культуре-индикаторе изучили нормативы внесения жидких и твердых органических веществ. Приведены данные о чистой первичной продуктивности агроэкосистемы. Установили, что реакция агроэкосистемы эффективнее на варианте с жидкими органическими веществами. Чистая первичная продуктивность на примере картофеля при норме внесения жидкого органического вещества 8 т/га на 36,97% выше, чем на фоне и внесении твердого органического вещества, и составила 22,6 т/га. Показали, что установлены нормативы утилизации жидких органических веществ – 10 т/га и твердых органических веществ – 5 т/га.

*Ключевые слова:* утилизация; отходы; жидкие органические вещества; твердые органические вещества; агроэкосистема; растение-индикатор; чистая первичная продуктивность.

## ECOLOGICAL JUSTIFICATION FOR THE EFFECTIVENESS OF RECYCLING ORGANIC MATTER FROM WASTE TO INCREASE THE PRIMARY PRODUCTION OF CULTIVATED PLANTS

© 2023

Gamm T.A., Grivko E.V., Idigenov B.B.

Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation)

*Abstract.* The article shows that the method of recycling liquid and solid organic substances obtained as a by-product during the production of biogas from organic waste and composting organic waste with the addition of liquid organic matter in the agroecosystem on ordinary chernozem in the Orenburg Oblast is effective. The standards for the application of liquid and solid organic substances were studied using an indicator culture. Data on the net primary productivity of the agroecosystem are presented. It was found that the reaction of the agroecosystem is more effective in the variant with liquid organic substances. Net primary productivity using the example of potatoes with a rate of application of liquid organic matter of 8 t/ha is 36,97% higher than with the background and application of solid organic matter, and amounted to 22,6 t/ha. They showed that the established standards for the utilization of liquid organic substances are 10 t/ha and solid organic substances are 5 t/ha.

*Keywords:* recycling; waste; liquid organic matter; organic solids; agroecosystem; indicator plant; net primary productivity.

### Введение

Экологические проблемы в мире и России стоят очень остро на повестке дня. Одной из них является вопрос обращения с отходами, в том числе с органическими отходами производства и потребления. В то же время агроэкосистемы теряют плодородие в результате снижения в почве содержания органического вещества.

Анализ результатов исследований качества и плодородия почв за ряд лет в отдельных районах Оренбургской области позволил сделать вывод, что черноземы в агроэкосистемах теряют свои экологические показатели и можно прогнозировать снижение их биологической продуктивности [1, с. 14–16; 2, с. 213–216]. Мониторинговые исследования в других регионах Поволжья, в Самарской и Саратовской областях показывают аналогичные результаты. Плодородие почв, как экологический фактор, снижается [3, с. 37–40; 4, с. 5–13].

На фоне деградации почв Оренбургской области проводятся многолетние научные исследования, направленные на агротехнические мероприятия по по-

вышению плодородия [5, с. 8–10], затрагиваются вопросы земледелия как превентивные меры по повышению плодородия [6, с. 230], однако не разработаны меры по увеличению содержания органического вещества почвы в качестве биологического экологического мероприятия.

В качестве органических веществ для рекультивации зарубежными учеными рассматриваются переработанные органические отходы. В работах зарубежных ученых освещены вопросы эффективности грунтового компоста как источника питательных веществ для растений [7, с. 385–388], обозначены российско-шведские разработки в сельском хозяйстве [8, с. 16–18]. Авторы статьи считают, что органические вещества могут быть побочными продуктами при переработке органических отходов, например, при переработке навоза методом метанового брожения [9, с. 3439; 10, с. 22], но в исследованиях ученых этот вопрос не рассматривался, поскольку внимание ученых было направлено на получение биогаза [11, с. 117–132.]. В настоящее время, в связи с развитием технологий и ресурсосбережением, по-

### Результаты

являются нетрадиционные вещества, которые можно использовать, но нормативы внесения которых не установлены [12, с. 55–58; 13, с. 22–24; 14, с. 3–4]. Повысить экологичность технологий по переработке органических отходов можно при утилизации полученных, в свою очередь, отходов в виде органических веществ, поэтому исследования являются актуальными. Производство первичной чистой продукции служит показателем эффективности экологических факторов [15, с. 940–943; 16, с. 9–14; 17, с. 210–249].

*Цель исследований* – изучение эффективности утилизации органических веществ, полученных при переработке отходов, для получения чистой первичной продукции агроэкосистемы на черноземе обыкновенном Оренбуржья.

#### Материалы и методы

Объект исследований – твердые и жидкие органические вещества, полученные при переработке отходов на биогаз, как побочные продукты, и компостировании органических отходов. Органические вещества были получены двумя способами. При первом способе на собственной установке использовали метод метанового брожения для получения биогаза при переработке органических отходов. В результате на установке образуются жидкие органические веществ 60% влажности.

При втором методе органические отходы компостировали вместе с органическим веществом, полученным первым методом. Получали твердые органические вещества 30% влажности. Реакция среды жидких и твердых органических веществ была близкая к нейтральной.

Способ утилизации переработанных отходов в агроэкосистеме был выбран в зависимости от качественного и количественного состава полученного органического вещества. Твердые органические вещества вносили в почву при посадке картофеля, жидкие органические вещества – в междурядья.

Исследования провели в Саракташском районе Оренбургской области, на территории фермерского хозяйства, на черноземе обыкновенном. Фермерское хозяйство имеет ограниченный набор культур. При исследованиях нормативов внесения жидких и твердых органических веществ в качестве индикаторной культуры был выбран картофель семейства *Solanaceae*, род *Solanum*.

Схема эксперимента: фон – без органических веществ, твердые органические вещества нормой внесения 1 т/га, 2 т/га, 3 т/га, 4 т/га, 5 т/га, жидкие органические вещества – 2 т/га, 4 т/га, 6 т/га, 8 т/га, 10 т/га.

Учетная площадь экспериментальной делянки – 12 м<sup>2</sup>. Защитная зона между экспериментальными делянками 50 см. Повторность в эксперименте – четырехкратная [18]. На каждой экспериментальной делянке картофель посажен в 2 рядка с расстоянием между ними 60 см, расстояние между кустами картофеля 30 см. Картофель заделан при посадке на глубину 15 см. Учет продукции производился общепринятыми методами.

В течение периода вегетации проводили наблюдения за развитием растений, учитывали количество чистой первичной продукции агроэкосистемы общепринятыми методами. Исследования выполнены в 2021 г. Результаты исследований обработаны методами математической статистики [19, с. 40–43].

Вопросы обращения с отходами регламентированы рядом законодательных документов: ФЗ «Об отходах производства и потребления» ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии», ФЗ «Об охране окружающей среды». Каждый субъект хозяйственной деятельности должен вести учет образующихся отходов, согласно приказу Минприроды России от 08.12.2020 № 1028. Одной из задач федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» является повышение экологичности производственных процессов на основе снижения образования отходов. В связи с этим в ФЗ «Об охране окружающей среды» в 2023 г. появилась статья 51.1 о побочных продуктах, в соответствии с которой предприятие три года может не заявлять вещества как отходы производства, если их можно использовать как сырье. Предприятие само решает, каким образом использовать побочные продукты и, если в течение трех лет не найдет им применения, после этого может заявить их как отходы с соответствующим оформлением.

В Оренбургской области за период с 2010 г. по 2021 г. масса неопасных отходов производства и потребления была максимальной в 2015 г. и составляла 62780 т, а затем уменьшилась в 2021 г. до 30943 т [20]. Остаточное количество неутилизированных и необезвреженных отходов в 2021 г. составляло 17412 т (табл. 1).

Неутилизированные и необезвреженные отходы могут стать вторичным сырьем. В их число входят и органические отходы.

По современным требованиям на использование органических веществ необходимо получить согласование Россельхознадзора для обеспечения экологической безопасности. Кроме того, экологическими нормами согласно «Инструкции по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности», 1995 г., предусматривается проверка полученных из отходов органических веществ на опасность для растений и окружающей среды. Для этого необходимо провести научные исследования и подтвердить их безопасность. При производстве органических веществ мы не использовали опасные для окружающей среды добавки. Полученные органические вещества хорошо разлагаются в окружающей среде, не образуют опасных побочных продуктов. Жидкие органические вещества обладают подвижностью в окружающей среде, мигрируют на глубину промачивания почвы, нестойкие, нестабильные во времени, существуют в почве в течение одного вегетационного периода. Твердые органические вещества не обладают подвижностью в окружающей среде, не мигрируют, более стойки и стабильны во времени, разлагаются в почве в течение не одного вегетационного периода.

Основным условием разложения органических веществ является наличие богатого микробного сообщества в агроэкосистеме с построением пищевых цепей по схеме продуценты – редуценты. Продолжительность разложения и трансформации органического вещества с высвобождением биогенных элементов для жидких органических веществ составляет один вегетационный период, для твердых органических веществ – несколько лет.

Полученные жидкие и твердые органические вещества оказывают влияние на рост и развитие расте-

ний в агроэкосистеме как поставщики микроэлементов, углерода и биогенных веществ.

Площадь под картофелем в Оренбургской области сократилась с 2010 по 2021 гг. с 16,1 до 6,0 тыс. га. По данным [20] картофель может иметь высокие урожаи на черноземах, но площадь возделывания картофеля своим урожаем обеспечивает население лишь на 1/3 от потребности, поэтому его приходится завозить. Средняя урожайность картофеля по Оренбургской области в 2021 г. составила 18,71 т/га, нестабильна по годам. Органические удобрения под картофель не вносились в последние десять лет, поэтому исследования проводились в условиях выровненности полей по содержанию органического вещества на фоновом уровне.

При утилизации органических веществ в агроэкосистеме результаты исследований показали, что наземная биомасса картофеля положительно отреагировала на твердое и жидкое органическое вещество (табл. 2). При утилизации твердых органических веществ растения были выше, чем на фоне при норме внесения 1 т/га на 22,28, 2 т/га – 38,34, 3 т/га – 43,26, 4 т/га – 53,37, 5 т/га – 45,60% соответственно.

При утилизации жидких органических веществ нормой 1 т/га растения была выше, чем на фоне на 24,61, 2 т/га – 40,16, 6 т/га – 53,89, 8 т/га – 59,84, 10 т/га – 54,92% соответственно.

Если на фоне высота растений картофеля составляла 38,6 см, то при утилизации нормой 1 т/га твердых органических веществ их высота составила 47,2 см, а жидких органических веществ – 48,1 см. При максимальной норме утилизации твердых органических веществ 5 т/га высота растений была 56,2 см, жидких органических веществ – 59,8 см, в то время как высота растений на фоне была 38,6 см.

Следует отметить, что растения хорошо росли и развивались, без признаков какого-либо угнетения при утилизации как твердых, так и жидких органических веществ.

Масса сухого вещества наземной биомассы, как результат фотосинтеза, на фоне составляла 23,4 ц/га, при утилизации нормой 1 т/га твердых органических веществ их масса составила 28,4 ц/га, а жидких органических веществ эквивалентной нормой 2 т/га – 48,1 см, таблица 2. Масса сухого вещества растений на фоне составляла 23,4 ц/га, при утилизации нормой 5 т/га твердых органических веществ их масса составила 37,3 ц/га, а жидких органических веществ эквивалентной нормой 2 т/га – 38,33 ц/га. Растения более эффективно реагировали на жидкие органические вещества.

Использование органических веществ в агроэкосистеме является эффективным. Органическое вещество в твердой и жидкой форме увеличивает чистую первичную продуктивность подземной биомассы картофеля (табл. 3, 4). Увеличение чистой первичной продуктивности подземной части по вариантам эксперимента является значимой.

Наиболее высокая чистая первичная продуктивность подземной биомассы картофеля была получена в варианте при внесении жидкого органического вещества нормой 4 т/га, что составила 22,6 т/га. Чистая первичная продуктивность подземной части картофеля в данном варианте по сравнению с фоном была выше на 6,1 т/га. Это связано с тем, что в данном варианте густота стояния растений была довольно высокая – 38740 шт./га, что позволило получить большую массу клубней на единицу площади. Вероятно, при междурядном внесении жидкое органическое вещество лучше перемешивалось с почвой и было более доступно растениям.

**Таблица 1** – Масса неутилизованных и необезвреженных отходов, т

Показатели	Период времени			
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2021 г.
Образовано неопасных отходов производства и потребления	45658	62780	38497	30943
Не утилизировано и не обезврежено отходов	34630	51581	14168	17412

**Таблица 2** – Биометрические показатели растений картофеля в фазе бутонизации

Вариант эксперимента	Высота растений, см	Высота растений, % к фону	Чистая первичная продуктивность надземной части, ц/га/год
Контроль, без органического вещества	38,6	–	23,4
Твердое органическое вещество, 1 т/га	47,2	22,28	28,4
Твердое органическое вещество, 2 т/га	53,4	38,34	33,6
Твердое органическое вещество, 3 т/га	55,3	43,26	36,5
Твердое органическое вещество, 4 т/га	59,2	53,37	38,9
Твердое органическое вещество, 5 т/га	56,2	45,60	37,3
Жидкое органическое вещество, 1 т/га	48,1	24,61	29,6
Жидкое органическое вещество, 2 т/га	54,1	40,16	34,5
Жидкое органическое вещество, 3 т/га	59,4	53,89	37,5
Жидкое органическое вещество, 4 т/га	61,7	59,84	39,8
Жидкое органическое вещество, 5 т/га	59,8	54,92	38,3

**Таблица 3** – Чистая первичная продуктивность подземной биомассы картофеля в варианте с внесением в почву твердых органических веществ

Вариант эксперимента	Чистая первичная продуктивность подземная, т/га/год	Прибавка к фону, т/га/год	Прибавка к фону, %
Фон, без органических веществ	16,5	–	–
1 т/га	18,1	1,6	9,70
2 т/га	19,3	2,8	16,96
3 т/га	20,6	4,1	24,85
4 т/га	21,4	4,9	29,70
5 т/га	20,7	4,2	25,45
t-критерий Стьюдента	15,8	–	–

**Таблица 4** – Чистая первичная продуктивность подземной биомассы картофеля в варианте с внесением в почву жидких органических веществ

Вариант эксперимента	Чистая первичная продуктивность подземной биомассы, т/га/год	Прибавка к фону, т/га/год	Прибавка к фону, %
Фон, без органических веществ	16,5	–	–
2 т/га	18,3	1,8	10,91
4 т/га	19,8	3,3	16,67
6 т/га	21,2	4,7	22,17
8 т/га	22,6	6,1	36,97
10 т/га	21,3	4,7	28,48
t-критерий Стьюдента	14,7	–	–

При математической обработке данных относительно зависимости чистой первичной продуктивности подземной биомассы картофеля от нормы внесения жидких и твердых органических веществ эмпирическое значение *t* является значимым.

Почва является биологической системой, в которой происходит разложение органического вещества растительных остатков и превращение в доступные для растений биогенные элементы. Внесение органических веществ, полученных из отходов, дополнительно поставляет органический углерод, микроэлементы и биогенные вещества, что повышает плодородие почвы, формирует и увеличивает микробное сообщество. Укороченные пищевые цепи сокращают время биологического круговорота в агроэкосистеме. Продуценты, в виде картофеля, под влиянием комплекса абиотических факторов внешней среды и повышения в почве органического вещества формируют чистую первичную продуктивность больше по сравнению с фоном. Однако при существующем комплексе абиотических факторов внешней среды, максимальная чистая первичная продуктивность формируется при норме внесения жидких органических веществ 8 т/га, твердых органических веществ – 4 т/га.

#### Вывод

Исследования показали, что в агроэкосистеме на черноземе обыкновенном Оренбургской области применение жидких и твердых органических веществ, полученных как побочное вещество при производстве биогаза из органических отходов и компостировании органических отходов с добавлением жидкого органического вещества, эффективно.

Реакция растений эффективнее на варианте с жидкими органическими отходами. Нормативы утили-

зации жидкого органического вещества установлены на уровне 8 т/га, что увеличивает чистую первичную продуктивность подземной биомассы на 36,97%, по сравнению с фоном, или на 22,6 т/га. Увеличение нормы внесения жидкого органического вещества до 10 т/га не привело к увеличению чистой первичной продуктивности подземной биомассы.

Применение твердого органического вещества наиболее эффективно при норме внесения твердого органического вещества 4 т/га, чистая первичная продуктивность подземной биомассы была на 29,7% выше, чем на фоне, и составила 21,4 т/га. Повышение нормы внесения твердого органического вещества до 5 т/га ее не увеличило.

Норматив утилизации твердого органического вещества рекомендуется на уровне 4 т/га.

#### Список литературы:

1. Гамм Т.А., Сермягина Е.С. Оценка динамики агрохимических и экологических показателей почв в центральной части Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (69). С. 14–16.
2. Достова Т.М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на гумусное состояние почв Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 10 (159). С. 213–216.
3. Зудилин С.Н., Зудилин А.С. Мониторинг плодородия черноземов Самарской области // Проблемы развития АПК региона. 2016. Т. 25, № 1–1. С. 37–40.
4. Чуб М.П., Медведев И.Ф., Потатурина Н.В., Пронько В.В. Современное состояние плодородия почв Саратовской области // Агрохимия. 2003. № 4. С. 5–13.
5. Бельков Г.И., Максюттов Н.А. Сохранение и повышение плодородия почв в современных условиях Орен-

бургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 8–10.

6. Максюттов Н.А., Жданов В.М., Лакионов О.В. Биологическое и ресурсосберегающее земледелие в степной зоне Южного Урала. Оренбург, 2008. 230 с.

7. Кутьева Т.Ю. Биоудобрения из отходов животноводства (бамил, омум, экуд, пудрет): влияние на продуктивность растений и свойства почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04. М., 2002. 24 с.

8. Маттссон И. Совместные шведские проекты, направленные на развитие устойчивого сельского хозяйства // Микробная экотехнология в переработке органических отходов сельского хозяйства: мат-лы междунар. конф. СПб., 2000. С. 16–18.

9. Romaniuk W., Rogovskii I., Polishchuk V., Titova L., Borek K., Wardal W.J., Shvorov S., Dvornyk Y., Sivak I., Drahnev S., Derevjanko D., Kamil R. Study of methane fermentation of cattle manure in the mesophilic regime with the addition of crude glycerine // *Energies*. 2022. Vol. 15 (9). P. 3439. DOI: 10.3390/en15093439.

10. Enzmann F., Mayer F., Rother M. Methanogens: biochemical prerequisites and biotechnological applications // *AMB Express*. 2018. Vol. 8 (1). DOI: 10.1186/s13568-017-0531-x.

11. Polischuk V.N., Titova L.L., Shvorov S.A. Estimation of Biogas yield and electricity output during cattle manure fermentation and adding vegetable oil sediment as a Co-substrate // *Problemele Energenicii Regionale*. 2019. Vol. 2 (43). P. 117–132.

12. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Ладонин Д.В. Экологические нормативы на нетрадиционные органические удобрения // *Химия в сельском хозяйстве*. 1995. № 5. С. 55–58.

13. Постников А.В., Чумаченко И.Н. Проблема использования нетрадиционного органического сырья в земледелии // *Химия в сельском хозяйстве*. 1994. № 5. С. 22–24.

14. Сидоренко О.Д. Микробиологические основы получения компостов // *Агрохимический вестник*. 1997. № 6. С. 3–4.

15. Zhao M., Running S.W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009 // *Science*. 2010. Vol. 329, iss. 5994. P. 940–943. DOI: 10.1126/science.1192666.

16. Дубынина С.С. Чистая первичная продукция растительного вещества фаций березовского участка Назаровской котловины // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 11. С. 9–14.

17. Ничипорович А.А. О методах учета и изучения фотосинтеза как фактора урожайности // *Труды Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР*. 1955. Т. 10. С. 210–249.

18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

19. Кутилкин В.Г., Зудилин С.Н. Применение методов математической статистики в научно-исследовательской работе // *Аграрная наука в условиях инновационного развития АПК: сб. научных трудов*. Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. С. 40–43.

20. Статистический ежегодник Оренбургской области: статистический сборник. Оренбург, 2022. 482 с.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p><b>Гамм Тамара Алексеевна</b>, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования; Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация). E-mail: hammtam@mail.ru.</p>	<p><b>Gamm Tamara Alekseevna</b>, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of Ecology and Environmental Management Department; Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation). E-mail: hammtam@mail.ru.</p>
<p><b>Гривко Елена Васильевна</b>, кандидат педагогических наук, доцент кафедры экологии и природопользования; Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация). E-mail: grivko-ev@mail.ru.</p>	<p><b>Grivko Elena Vasilievna</b>, candidate of pedagogical sciences, associate professor of Ecology and Environmental Management Department; Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation). E-mail: grivko-ev@mail.ru.</p>
<p><b>Идигенов Бахыт Булатович</b>, аспирант кафедры экологии и природопользования; Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация). E-mail: starmekh@yandex.ru.</p>	<p><b>Idigenov Bakhyt Bulatovich</b>, postgraduate student of Ecology and Environmental Management Department; Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation). E-mail: starmekh@yandex.ru.</p>

**Для цитирования:**

Гамм Т.А., Гривко Е.В., Идигенов Б.Б. Экологическое обоснование эффективности утилизации органического вещества из отходов для увеличения первичной продукции культурных растений // *Самарский научный вестник*. 2023. Т. 12, № 4. С. 23–27. DOI: 10.55355/snv2023124103.