

## **ВЫДЕЛЕНИЕ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ СМЕСИ ПЫЛИ ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ И ПОЧВЫ: ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ И ВЛАЖНОСТИ**

© Л. В. Попова<sup>1</sup>✉, О. В. Клепиков<sup>1</sup>,  
П. С. Репин<sup>1</sup>, А. В. Румянцев<sup>1</sup>, В. А. Попова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Российская Федерация  
✉luba030883@yandex.ru

**Ключевые слова:** адсорбция; влажность; выделение формальдегида; почва; пыль МДФ; утилизация отходов; экологическая безопасность.

**Аннотация:** Рассмотрена возможность утилизации пыли МДФ, содержащей карбаминоформальдегидные смолы, путем ее смешения с почвой для снижения выделения формальдегида. Проведены эксперименты с образцами, содержащими 10, 20 и 30 масс. % пыли МДФ, при влажности 0 – 70 масс. %, с использованием фотоколориметрического метода анализа. Установлено, что увеличение доли почвы в смеси снижает выделение формальдегида, минимальные значения достигаются при соотношении 10 % МДФ : 90 % почвы. Показано наличие максимума при влажности около 20...30 масс. %, после чего уровень выделений уменьшается за счет адсорбции и абсорбции формальдегида почвой и почвенным раствором соответственно.

### **Введение**

В современном производстве древесных материалов, таких как древесно-волоконистые плиты средней плотности (МДФ), а также мебели на их основе важной проблемой является выделение формальдегида из связующих карбаминоформальдегидных смол (КФС) [1 – 3]. Данное органическое вещество признано канцерогенным и опасным для здоровья человека [4]. Отходы подобных производств, представляющие собой обрезь, опилки, стружку и пыль от шлифовки мебельных заготовок, также являются источником выделения формальдегида в окружающую среду.

Известны следующие способы переработки отходов МДФ: термические (сжигание, пиролиз), механические (измельчение до определенной фракции для возврата в производство древесных плит, древесно-полимерных композиций и других строительных материалов, гранулирование или прессование для получения топливных пеллет и брикетов), биологические (биоокисление микроорганизмами в процессе компостирования). На мебельных предприятиях чаще всего сжигают подобные отходы

для собственных нужд или размещают на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО), так как по Федеральному классификационному кадастру отходов они относятся к 4 классу опасности (3 05 313 42 21 4 обрезь разнородной древесины (например, содержащая обрезь древесностружечных и/или древесно-волоконистых плит), 3 05 313 31 20 4 опилки и стружка разнородной древесины (например, содержащие опилки и стружку древесностружечных и/или древесно-волоконистых плит).

Однако такое использование является нерациональным, так как древесные отходы широко применяются в сельском хозяйстве, а именно в земледелии. Опилки, щепка, стружка, измельченные ветки используют для мульчирования, покрытие почвы слоем отходов снижает испарение влаги [5, 6]. Древесные отходы в компостных смесях являются источником углерода [7, 8]. Внесение опилок в тяжелые глинистые почвы способствует улучшению их структуры. Таким образом, древесные отходы – ценный ресурс для земледелия, но их применение требует соблюдения определенных ключевых моментов, например, желательнее использовать перепревшие материалы и учитывать породу древесины (хвойные / лиственные).

Древесно-волоконистая плита содержит в своем составе мелкодисперсную стружку древесины, следовательно, возможно рассмотреть ее применение в земледелии, однако вызывает опасение наличие в составе КФС, которые выделяют токсичные вещества. В то же время в производстве медленнодействующих азотных удобрений используются те же КФС, полимерные соединения, которые медленно разлагаются в почве, обеспечивая постепенное высвобождение азота. Удобрения пролонгированного действия на основе КФС широко применяются в сельском хозяйстве, несмотря на экологические риски, связанные с выделением свободного формальдегида в почву, который может оказать влияние на микрофлору и растения. Такие удобрения имеют определенные преимущества: минимизируют потери азота через вымывание и испарение, повышая эффективность на 10 – 13 % по урожайности, стабильны при хранении, хорошо растворимы в воде и взрывобезопасны [9, 10].

Учитывая, что в состав плит МДФ входит 8 – 10 % связующих веществ (КФС), представляет интерес рассмотреть выделение формальдегида из смеси пыли МДФ с почвой в различных соотношениях и влияние влажности на данный фактор.

*Цель исследования* – изучить влияние соотношения пыли МДФ и почвы, а также влажности смеси на уровень миграции формальдегида в воздух.

### **Материалы и методы исследования**

В рамках работы проанализирован образец пыли МДФ, отобранный на производственной площадке предприятия Воронежской области, специализирующегося на изготовлении мебельных фасадов из МДФ. Анализируемый материал представляет собой мелкодисперсный порошкообразный материал, состоящий из древесных волокон с нанесенным связующим веществом.

Также в работе использовалась обедненная почва, характеризующаяся пониженным содержанием гумуса, отобранная в придорожной зоне Воронежской области. Содержание гумуса в образце почвы, определенное по методу И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова, составило

4,73 масс. %, сумма обменных оснований по методу Каппена–Гильковича 31,48 ммоль/100 г почвы, содержание легкорастворимых соединений фосфора в почвенной вытяжке по методу Кирсанова 100 мг/100 г почвы.

Приготовлены три образца (смесь пыли МДФ и почвы) в соотношениях по массе МДФ : почва, %: 1 – 10 : 90; 2 – 20 : 80; 3 – 30 : 70.

Количественная оценка выделения формальдегида осуществлялась согласно методике [11], основанной на фотоколориметрическом методе анализа. Суть метода заключается в химической реакции между формальдегидом и ацетилацетоном в среде уксуснокислого аммония с образованием соединения желтого цвета. Измерения оптической плотности окрашенного раствора проводились при длине волны  $\lambda = 412$  нм.

Массовая концентрация формальдегида в анализируемой пробе определялась по градуировочному графику, представляющему собой функциональную зависимость оптической плотности раствора от массы формальдегида в нем.

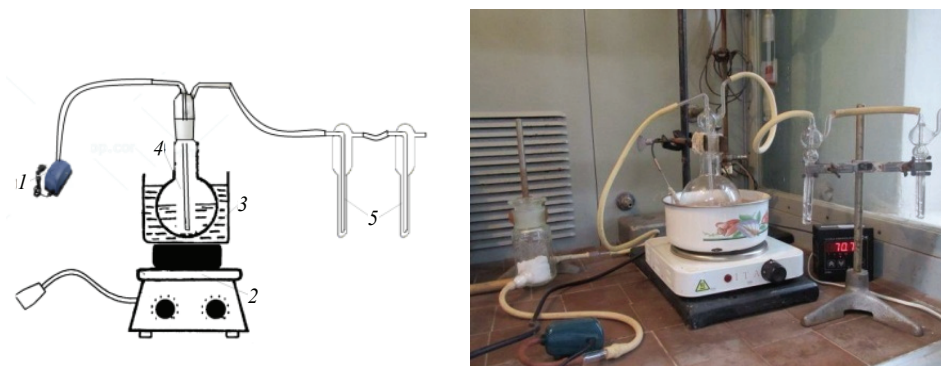
Расчет объемной концентрации формальдегида  $C$ , мг/м<sup>3</sup>, в исследуемом образце проводился по формуле

$$C = V/m,$$

где  $m$  – масса формальдегида во всей пробе, найденная по градуировочному графику, мг;  $V$  – объем пропущенного воздуха, м<sup>3</sup>.

Экспериментальные измерения выделения формальдегида выполнялись на специализированной лабораторной установке (рис. 1), обеспечивающей контролируемые условия отбора и анализа проб воздушной среды.

В колбу помещали исследуемые образцы смеси пыли МДФ и почвы, через которые аспирировали воздух со скоростью 1,2 дм<sup>3</sup>/мин в течение 30 мин в два последовательно соединенных поглотительных сосуда Зайцева с 5 см<sup>3</sup> поглотительного раствора. Измерения проводили при температуре помещения 25 °С. Изучение влияния влажности на миграцию формальдегида, обусловленную в том числе и гидролизом полимерной смолы, проводили также при комнатной температуре, значение влажности смеси отхода с почвой меняли от 0 до 70 масс. %.



**Рис. 1. Лабораторная установка для определения содержания формальдегида в пропущенном воздухе:**

1 – насос; 2 – электрическая плитка; 3 – водяная баня;  
4 – колба с источником формальдегида; 5 – поглотительные сосуды

## Основные результаты

На рисунке 2 представлены зависимости содержания формальдегида, выделяемого 1 г пыли МДФ, в атмосферном воздухе от влажности смеси пыли МДФ с почвой для трех образцов.

Изучение влияния соотношения пыли МДФ и почвы показало, что чем больше доля почвы в смеси, тем ниже выделение формальдегида (сравнение кривых для образцов 1, 2 и 3). Смесь с соотношением 10 : 90 демонстрирует наименьшее значение, а 30 : 70 – наибольшее, что подтверждает адсорбционные свойства почвы и ее способность связывать формальдегид. С увеличением влажности смеси миграция формальдегида в воздух сначала возрастает, достигая пика при определенной влажности (около 20 – 30 %), затем снижается. Это может быть связано с двумя конкурирующими процессами: при низкой влажности адсорбция формальдегида почвой ограничена; при высокой – происходит частичная адсорбция формальдегида почвенным раствором ввиду хорошей растворимости данного газа в воде. Для всех трех образцов наблюдается точка перегиба на кривых, соответствующая максимальному выделению формальдегида при определенной влажности. Установлены значения влажности (20 – 30 масс. %), при которых адсорбция почвой и абсорбция водой формальдегида минимальны.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы: почва частично снижает выделение формальдегида из пыли МДФ, что делает ее перспективным адсорбентом для утилизации подобных отходов. Оптимальное соотношение смеси для минимизации выделения формальдегида в воздух – 10 % МДФ : 90 % почвы. При этом даже небольшое увеличение доли МДФ (до 20 %) приводит к заметному росту концентрации формальдегида в газовой фазе.

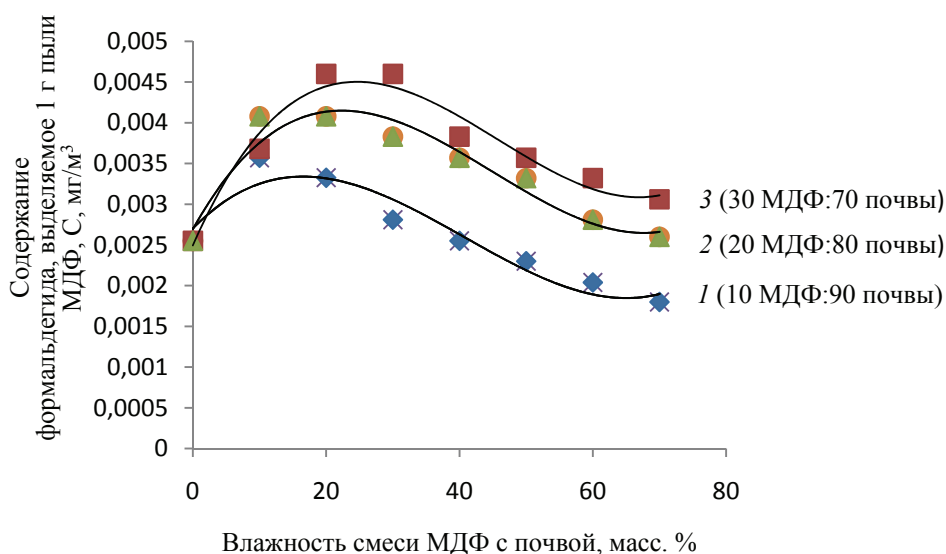


Рис. 2. Влияние соотношений пыли МДФ : почвы и влажности на выделение формальдегида

Влажность смеси является важным фактором, влияющим на миграцию формальдегида в атмосферу. Необходимо контролировать влажность при хранении и утилизации отходов, чтобы избежать увеличения выделения формальдегида. Кроме того, следует контролировать содержание формальдегида в почвенном фильтрате, так как велика вероятность перехода формальдегида в раствор.

Рост выделений формальдегида на начальном этапе увеличения влажности объясняется миграцией свободного формальдегида и гидролизом карбамидоформальдегидной смолы. Затем снижение показателей выделения формальдегида может быть объяснено физической адсорбцией формальдегида на поверхности почвенных частиц, а также поглощением газообразного формальдегида почвенным раствором, ввиду увеличения последнего за счет добавления дистиллированной воды.

Результаты исследования имеют важное прикладное значение для разработки экологически безопасных способов утилизации пыли МДФ путем смешивания с почвой. Также в дальнейшем необходимо изучить влияние добавления отходов МДФ в почву на рост и развитие растений, так как отходы МДФ содержат остаточные количества карбамидоформальдегидной смолы, являющейся источником азота – необходимого для растений элемента питания.

### Заключение

Проведенное исследование подтвердило возможность использования почвы как адсорбента для снижения выделения формальдегида из пыли МДФ. Установлена оптимальная комбинация параметров (соотношение 10 : 90, контроль влажности) для минимизации токсичности отходов. Полученные результаты могут быть использованы для разработки экологически безопасных технологий утилизации древесных отходов МДФ в качестве структурирующих добавок в почву и повышения экологической безопасности производства.

#### *Список литературы*

1. Разиньков, Е. М. Миграция формальдегида из древесно-стружечных плит / Е. М. Разиньков // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 4(12). – С. 117–125.
2. Плотников, С. М. Анализ эмиссии формальдегида из древесных плит / С. М. Плотников, Б. Д. Руденко // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – № 50. – С. 29–32.
3. Разиньков, Е. М. Загазованность формальдегидом воздуха от производства древесно-стружечных плит / Е. М. Разиньков // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 3(7). – С. 30–33.
4. Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ (база данных). On-line версия [Электронный ресурс]. – Москва : Филиал РПОХБВ ФБУН «ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2024. <https://rpohev.ru/online/> (дата обращения: 10.10.2025).
5. Беховых, Ю. В. Влияние мульчирования на изменение гидротермических условий в пахотном слое чернозема выщелоченного / Ю. В. Беховых // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2(184). – С. 12–19.

6. Головунин, В. П. Влияние приема мульчирования на режим почвенной влаги, урожайность и качество ягодной продукции жимолости синей / В. П. Головунин, С. А. Замятин // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2017. – Т. 3, № 1(9). – С. 23–28.

7. Новоселов, С. И. Агроэкологическая эффективность компостов на основе древесных отходов и птичьего помета / С. И. Новоселов, Л. Э. Петров, Г. Е. Мерзлая // Плодородие. – 2022. – № 5(128). – С. 80–82. doi: 10.25680/S19948603.2022.128.20

8. Мокрушина, Н. С. Биоконверсия древесных отходов методом компостирования с получением органического удобрения / Н. С. Мокрушина, Т. С. Тарасова, И. В. Дармов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 228–231.

9. Патент № 2619301 С Российская Федерация, МПК С05С 9/02. Способ получения медленно действующего комплексного удобрения на основе мочевиноформальдегидного полимера : № 2014152386 : заявл. 23.12.2014 : опублик. 15.05.2017 / В. И. Пархоменко, С. В. Лукашов, В. П. Гамазин, Е. Г. Цублова ; заявитель ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия».

10. Мадаминава, М. Значение применения медленнодействующих удобрений в снижении загрязнения окружающей среды / М. Мадаминава, А. Абзалов, К. Юсупалиева // Научное обозрение. Биологические науки. – 2017. – № 3. – С. 70–79.

11. РД 52.04.823–2015. Массовая концентрация формальдегида в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений фотометрическим методом с ацетил-ацетоном. – Введ. 2016-10-01. – Санкт-Петербург, 2016. – URL : <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/a5a/4293755241.pdf> (дата обращения: 10.03.2026.)

### References

1. Razinkov E.M. [Migration of formaldehyde from particle board], *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 4(12), pp. 117-125. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Plotnikov S.M., Rudenko B.D. [Analysis of Formaldehyde Emissions from Wood Slabs], *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Current Issues of the Forestry Complex], 2017, no. 50, pp. 29-32. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Razinkov E.M. [Formaldehyde contamination of the air from the production of chipboard], *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 3(7), pp. 30-33. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Available at: <https://rpohv.ru/online/> (accessed 10 October 2025)

5. Bekhovyykh Yu.V. [Influence of Mulching on Changes in Hydrothermal Conditions in the Arable Layer of Leached Chernozem], *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2020, no. 2(184), pp. 12-19. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Golovunin V.P., Zamyatin S.A. [Influence of Mulching on Soil Moisture Regime, Yield, and Quality of Blue Honeysuckle Berries], *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskije nauki* [Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences], 2017, vol. 3, no. 1(9), pp. 23-28. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Novoselov S.I., Petrov L.E., Merzlaya G.E. [Agroecological Efficiency of Composts Based on Wood Waste and Poultry Manure], *Plodorodiye* [Fertility], 2022, no. 5(128), pp. 80-82, doi: 10.25680/S19948603.2022.128.20 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Mokrushina N.S., Tarasova T.S., Darmov I.V. [Bioconversion of Wood Waste by Composting to Produce Organic Fertilizer], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2009, vol. 11, no. 1, pp. 228-231. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Parkhomenko V.I., Lukashov S.V., Gamazin V.P., Tsublova E.G. *Sposob polucheniya medlenno deystvuyushchego kompleksnogo udobreniya na osnove mochevino-formal'degidnogo polimera* [Method for producing a slow-acting complex fertilizer based on urea-formaldehyde polymer], Russian Federation, 2017, Pat. 2619301 (In Russ.)

10. Madaminova M., Abzalov A., Yusupalieva K. [The Importance of Using Slow-Acting Fertilizers in Reducing Environmental Pollution], *Nauchnoye obozreniye. Biologicheskkiye nauki* [Scientific Review. Biological Sciences], 2017, no. 3, pp. 70-79. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Available at: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/a5a/4293755241.pdf> (accessed 10 March 2026)

---

## Formaldehyde Release from a Mixture of Wood-Fiber Board Dust and Soil: Effect of Component Ratio and Moisture

© L. V. Popova<sup>1</sup>✉, O. V. Klepikov<sup>1</sup>, P. S. Repin<sup>1</sup>,  
A. V. Rumyantsev<sup>1</sup>, V. A. Popova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Voronezh State University of Engineering Technologies,  
Voronezh, Russian Federation*

✉ [luba030883@yandex.ru](mailto:luba030883@yandex.ru)

**Keywords:** adsorption; moisture; formaldehyde emission; soil; MDF dust; waste utilization; environmental safety.

**Abstract:** The possibility of utilizing MDF dust containing urea-formaldehyde resins by mixing it with soil to reduce formaldehyde emission is considered. Experiments were conducted with samples containing 10, 20, and 30 wt. % MDF dust at moisture levels of 0–70 mass. %, using the photocolometric analysis method. It was found that increasing the soil proportion in the mixture reduces formaldehyde emission, with minimum values achieved at a 10% MDF : 90% soil ratio. A maximum was observed at moisture around 20...30 wt. %, after which emission levels decrease due to adsorption and absorption of formaldehyde by soil and soil solution, respectively.

---

*Сведения об авторах*

**Попова Любовь Васильевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной экологии и техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), Воронеж, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-9648-7620; e-mail: [luba030883@yandex.ru](mailto:luba030883@yandex.ru)

**Клепиков Олег Владимирович** – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры промышленной экологии и техносферной безопасности, ВГУИТ, Воронеж, Российская Федерация; ORCID 0000-0001-9228-620X; e-mail: klepa1967@rambler.ru

**Репин Павел Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной экологии и техносферной безопасности, ВГУИТ, Воронеж, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4110-2981; e-mail: rps85@bk.ru

**Румянцев Александр Васильевич** – студент, ВГУИТ, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: puma305@yandex.ru

**Попова Валерия Алексеевна** – студент, ВГУИТ, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: lera2003popova@yandex.ru

*About the author*

**Lyubov V. Popova** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUET), Voronezh, Russian Federation; ORCID 0000-0002-9648-7620; e-mail: luba030883@yandex.ru

**Oleg V. Klepikov** – D. Sc. (Biology), Professor, Professor of the Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, VSUET, Voronezh, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9228-620X; e-mail: klepa1967@rambler.ru

**Pavel S. Repin** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, VSUET, Voronezh, Russian Federation; ORCID: 00000-0002-4110-2981; e-mail: rps85@bk.ru

**Alexander V. Rumyantsev** – Student, VSUET, Voronezh, Russian Federation; e-mail: puma305@yandex.ru

**Valeria A. Popova** – Student, VSUET, Voronezh, Russian Federation; e-mail: lera2003popova@yandex.ru



© Попова Л. В., Клепиков О. В., Репин П. С., Румянцев А. В., Попова В. А., 2026.  
Данная статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

---