

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 181–192.

Forests of Russia and economy in them. 2024. № 1 (88). P. 181–192.

Научная статья

УДК 631.895

DOI: 10.51318/FRET.2023.88.1.019

## ПОЛУЧЕНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Лев Алексеевич Старыгин<sup>1</sup>, Борис Нутович Дрикер<sup>2</sup>, Юлия Анатольена Горбатенко<sup>3</sup>,  
Татьяна Михайловна Панова<sup>4</sup>, Наталья Валентиновна Марина<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Анатольена Горбатенко,  
gorbatenkouya@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Истощенность почв и их низкое плодородие в лесном хозяйстве является одной из причин, препятствующих выращиванию высокопродуктивных насаждений. Между тем повышение продуктивности почвы возможно за счет как органических, так и минеральных удобрений, которыми могут служить отходы птицеводства (помет), зола, получаемая при сжигании каменного угля на теплоэлектростанциях (ТЭС).

В статье рассмотрены способы получения органоминерального удобрения из смеси птичьего помета, целлюлозосодержащего наполнителя (опил либо стружка лиственных или хвойных пород), золы ТЭС и стимулятора ферментации – ферментированного птичьего помета – с последующей аэрацией приготовленной смеси. Установлено, что использование в составе смеси в качестве добавки от 5 до 20 % по массе предварительно ферментированного продукта позволяет сократить время начала ферментации и, как следствие, общую продолжительность процесса с 400 ч до 160–180 ч. А обогащение ферментируемой смеси микро- и макроэлементами, содержащимися в золе ТЭС, положительно сказывается как на процессе ферментации, так и развитии корневой и надземной частей растений. На примере тест-растения (кресс-салата) показано, что добавление золы увеличивает прирост корневой части по сравнению с таковым на контроле в 1,5–2,5 раза, надземной части – в 3–6 раз.

Апробация полученного удобрения на опытных участках – на научно-исследовательском полигоне «Урал-Карбон» (пос. Северка Свердловской области) и на отработанном участке карьера Исетского месторождения гранитов (пос. Исеть Верхнепышминский района Свердловской области) – подтвердило положительное влияние полученного органоминерального удобрения на морфологических характеристиках саженцев ели.

**Ключевые слова:** бесподстилочный помет, микроэлементы, зола ТЭС, ферментация, отходы, органоминеральное удобрение

**Для цитирования:** Получение органоминерального удобрения для лесного хозяйства / Л. А. Старыгин, Б. Н. Дрикер, Ю. А. Горбатенко [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 181–192.

Original article

## OBTAINING ORGANOMINERAL FERTILIZER FOR FORESTRY

Lev A. Starygin<sup>1</sup>, Boris N. Driker<sup>2</sup>, Yulia A. Gorbatenko<sup>3</sup>,  
Tatiana M. Panova<sup>4</sup>, Natalia V. Marina<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Yulia Anatolyena Gorbatenko,  
gorbatenkoyua@m.usfeu.ru

**Abstract.** Depletion of soils and their low fertility in forestry is one of the reasons preventing the cultivation of highly productive plantations. Meanwhile, an increase in soil productivity is possible due to both organic and mineral fertilizers, which can serve as poultry waste (manure), ash obtained by burning coal at thermal power plants (TPP).

The article discusses methods for obtaining organomineral fertilizer from a mixture of bird droppings, cellulose-containing filler (sawdust, or shavings of deciduous or coniferous species), thermal power plant ash and a fermentation stimulator – fermented bird droppings – followed by aeration of the prepared mixture. It has been established that the use of 5 to 20 % by weight of the pre-fermented product in the mixture as an additive reduces the start time of fermentation, and, as a result, the total duration of the process from 400 hours to 160–180 hours. And the enrichment of the fermented mixture with micro- and macroelements contained in the ash of thermal power plants has a positive effect on both the fermentation process and the development of the root and ground parts of plants. Using the example of a watercress test plant, it is shown that the addition of ash increases the growth of the root part by 1,5–2,5 times compared to the control, and the ground part by 3–6 times.

Approbation of the obtained fertilizer at the experimental sites – at the Ural-Carbon research site (Severka settlement, Sverdlovsk region) and at the spent site of the Isetsy granite deposit quarry (settlement Iset Verkhnepyshminsky district of Sverdlovsk region), confirmed the positive effect of the obtained organomineral fertilizer on the morphological characteristics of spruce seedlings.

**Keywords:** bespodstilochny litter, trace elements, TPP ash fermentation, waste, organomineral fertilizer

**For citation:** Obtaining organomineral fertilizer for forestry / L. A. Starygin, B. N. Driker, Yu. A. Gorbatenko [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 1 (88). P. 181–192.

### Введение

По данным Министерства агропромышленного комплекса и потребительского рынка за 2021 г., только в Свердловской области работает 13 птицефабрик, на которых ежегодно образуется около 500 тыс. т помета, из которых около 70 % составляет бесподстилочный (Государственный доклад, 2022).

Помет является источником азота, фосфора и других ценных компонентов. Азот в помете в количестве 30–40 % содержится в составе белковых соединений (белки, аминокислоты), 60–70 %

составляют азотсодержащие вещества небелковой природы – мочева кислота, ее соли и др. Белковые соединения в отличие от мочева кислоты и ее солей в первую очередь подвергаются биохимической трансформации (ферментации), образуя органическое удобрение (Инновационные способы..., 2020).

Лесные культуры, как и сельхозкультуры, нуждаются не только в азоте, но и в микроэлементах, источником которых может являться зола от сжигания каменного угля на тепловых электростанциях (ТЭС).



Следовательно, контроль процесса ферментации проводили по количеству выделившегося аммиака (в пересчете на азот), содержащегося в последовательно установленных поглотителях с раствором соляной кислоты (1,0–1,2 Н). Технологические параметры процесса контролировали в непрерывном (температура) и периодическом режимах (влажность, рН, количество выделившегося аммиака).

Процесс ферментации считали завершенным по практически полному прекращению выделения аммиака и снижению температуры ферментируемой смеси до 30 °С.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследований показали, что активная фаза ферментации начинается через 150–200 ч от начала опыта вне зависимости от породы древесных опилок или стружки, через 240–280 ч температура достигает 58–63 °С вследствие экзотермичности протекающих реакций. Зависимость температуры от продолжительности процесса, которая в среднем составляла около 400 ч, представлена на рис. 2.

Очевидно, что время (150–200 ч), предшествующее активизации процесса, отрицательно сказывается на его общей продолжительности и экономической целесообразности. С целью сокращения начального периода и, соответственно, общей продолжительности ферментации в приготовленную смесь предварительно вводили различные количества (5–20 % от массы помета) заранее подготовленного ферментированного продукта (ФП), полученного аналогичным образом. В качестве примера на рис. 3 представлены продолжительности процесса в зависимости от состава смеси, не содержащей предварительно ферментированный продукт, и в его присутствии. Аналогичный вид имеет зависимость количества выделившегося аммиака от продолжительности процесса.

Как видно из рис. 3, при добавлении ферментированного продукта в количестве 10 % от массы помета активация процесса (рост температуры смеси, выделение аммиака) начинается спустя 18–24 ч от начала аэрации смеси.

В табл. 1 представлены опытные результаты влияния состава ферментируемой смеси на продолжительность и величину рН.

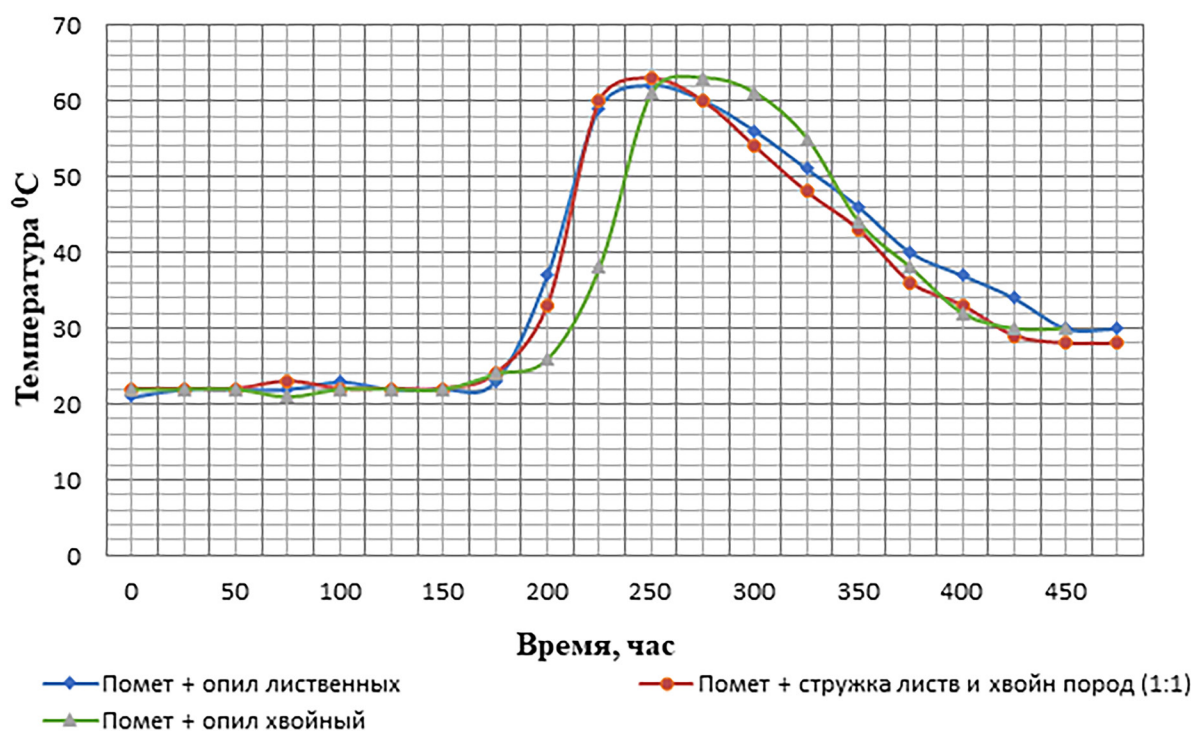


Рис. 2. Изменение температуры смеси в процессе ферментации  
Fig. 2. Change in the temperature of the mixture during fermentation



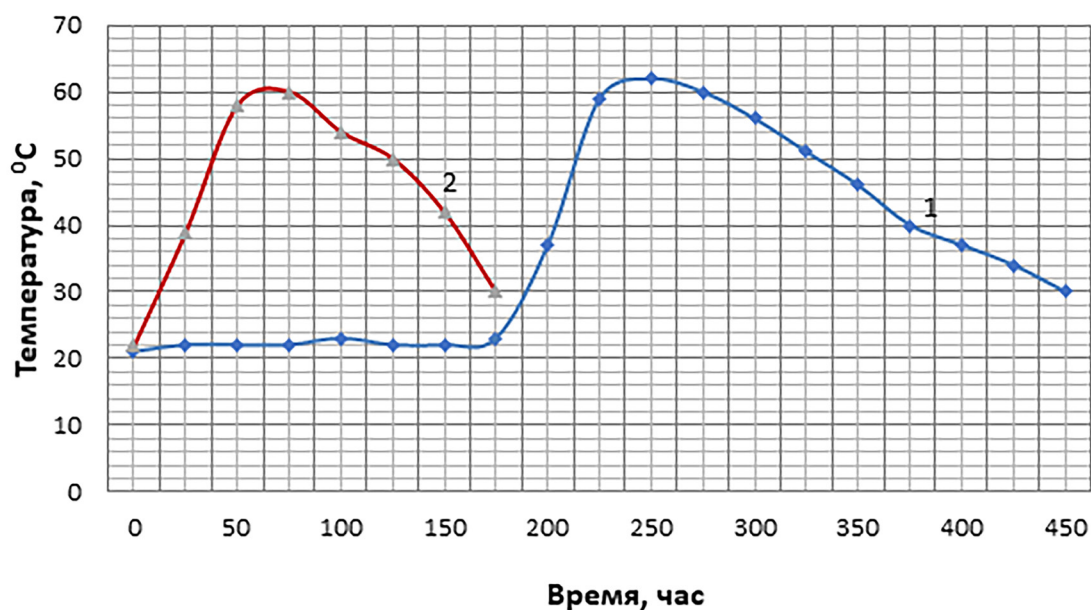


Рис. 3. Зависимость продолжительности ферментации от состава смеси:  
 1 – без ферментированного продукта; 2 – с ферментированным продуктом  
 (10 % от массы помета)

Fig. 3. The dependence of the duration of fermentation on the composition of the mixture:  
 1 – without fermented product; 2 – with fermented product  
 (10 % of the mass of the litter)

Таблица 1  
 Table 1

Влияние состава ферментируемой смеси на величину pH  
 и на продолжительность процесса  
 The effect of the composition of the fermented mixture on the pH value  
 and on the duration of the process

№ п/п № p/p	Состав Composition	Значение pH pH value		Продолжительность процесса, ч Duration of the process, hour
		начальное initial	конечное the final	
1	2	3	4	5
1	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) Зола – 10 г Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) Ash – 10 g	4,5	8,1	410
2	Помет – 1000 г Опил (хвойных пород) – 100 г (10 %) Зола – 10 г Litter – 1000 g Sawdust (softwood) – 100 g (10 %) Ash – 10 g	5,2	8,8	440
3	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) FP – 200 г (20 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %)	5,4	9,1	210

Продолжение табл. 1  
Continuation of the table 1

1	2	3	4	5
4	<p>Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) FP – 200 г (20 %) Зола – 10 г (1 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 10 g (1 %)</p>	5,4	9,1	212
5	<p>Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10 %) FP – 100 г (10 %) Зола – 50 г (5 %) Litter – 1000 g Shavings (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 100 g (10 %) Ash – 50 g (5 %)</p>	5,4	9,2	195
6	<p>Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 50 г (5 %) ФП – 100 г (10 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 50 g (5 %) FP – 100 g (10 %) Ash – 100 g (10 %)</p>	5,4	9,1	210
7	<p>Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 50 г (5 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 50 g (5 %) Ash – 100 g (10 %)</p>	5,4	9,1	200
8	<p>Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 100 г (10 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 100 g (10 %) Ash – 100 g (10 %)</p>	5,47	9,5	180
9	<p>Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g Shavings (hardwoods) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 100 g (10 %)</p>	5,47	9,5	160
10	<p>Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Зола – 150 г (15 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 150 g (15 %)</p>	5,5	9,5	160

Окончание табл. 1  
The end of table 1

1	2	3	4	5
11	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Зола – 200 г (20 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 200 g (20 %)	5,5	9,5	210

Из данных, представленных в табл. 1 видно, что в случае использования в составе смеси в качестве добавки 5–20 % по массе предварительно ферментированного продукта (ФП) сокращается время начала процесса, что существенно сказывается на его общей продолжительности. При оптимальных соотношениях компонентов продолжительность снижается с 400 ч до 160–180 ч.

Изменение продолжительности процесса коррелируется с процессом выделения аммиака (в пересчете на азот) в процессе ферментации (рис. 4).

Обработка экспериментальных данных показала, что процесс ферментации описывается уравнением реакции первого порядка (Эммануэль, Кнорре, 1996). Значения условных суммарных констант скоростей реакций ферментации ( $K_p$ ), рассчитанные графическим способом для экспериментов с добавлением ФП (10 % от массы помета) и без него составляют соответственно:  $K_p = 2,98 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ ,  $K_p = 4,96 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ , что вполне удовлетворительно согласуется с данными по уменьшению общей продолжительности процесса.

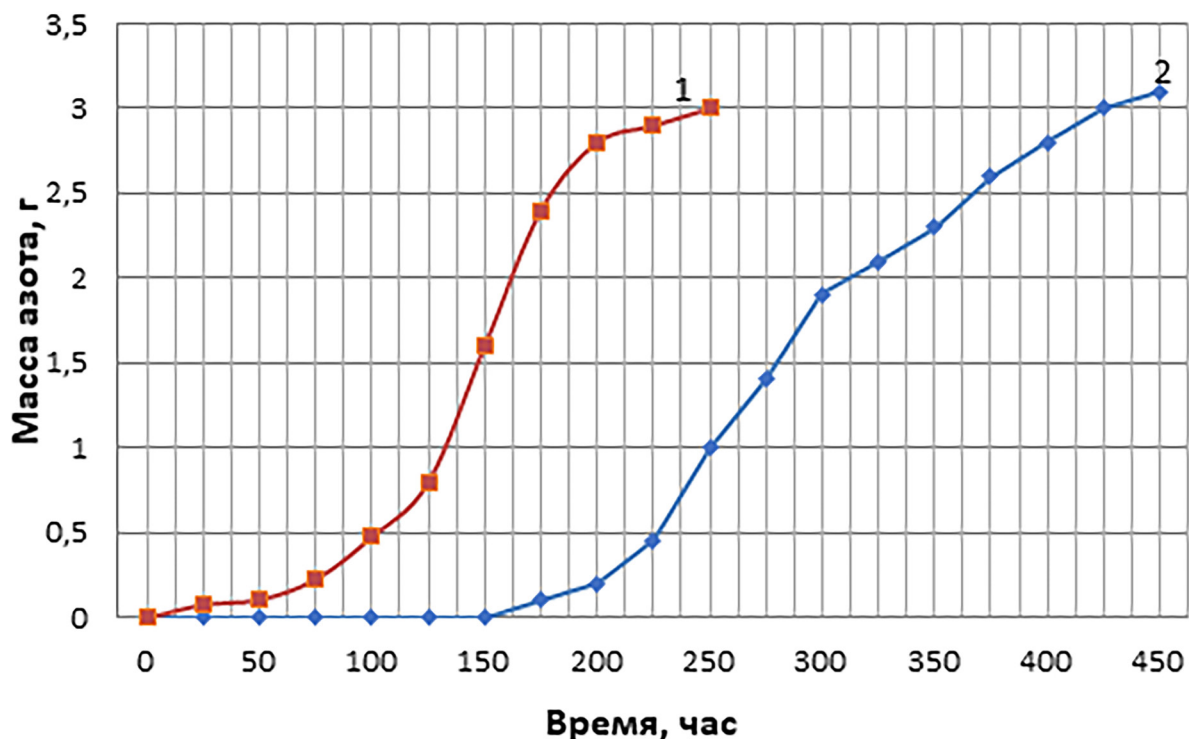


Рис. 4. Зависимость массы выделившегося азота от продолжительности процесса:  
1 – с добавкой ФП (10 % от массы помета); 2 – без ФП

Fig. 4. Dependence of the mass of released nitrogen on the duration of the process:  
1 – with the addition of FP (10 % of the litter weight); 2 – without FP

Для оценки фитотоксичных и стимулирующих свойств полученных органоминеральных удобрений использована методика, изложенная в ГОСТ Р ИСО 18763–2019.

В качестве тест-растения использовано двудольное растение кресс-салат (*Lipidium sativum* L.). В ходе исследований фиксировали размер корневой и надземной части растений. Тестируемая система представляла собой водные вытяжки, полученные из органоминеральных удобрений в соответствии с примерами, показанными в табл. 1, приготовленные в весовом соотношении 1 часть органоминерального удобрения (влажность 15 %) с 4 частями дистиллированной воды. Полученную суспензию перемешивали в течение 2 ч, отстаивали и фильтровали. В качестве контрольной среды использовали дистиллированную воду. В нижнюю часть планшета на подложку помещали фильтровальную бумагу, смоченную равномерно 2 мл вытяжки, размещали по пять семян кресс-салата, равномерно распре-

деленных на одной линии поверхности бумаги. Определение производили в трех параллельных измерениях. Планшеты помещали вертикально в держателях. Проращивание производили в темноте в течение  $72 \pm 1$  ч при температуре  $20-25$  °С.

Эффект торможения роста и развития корневой и надземной части, %, вычисляли по формуле

$$\frac{(A - B) 100}{A},$$

где  $A$  – среднее значение длины корней или проростков в контрольном опыте;

$B$  – среднее значение длины корней или проростков в исследуемой среде.

Водные вытяжки образцов органоминерального удобрения разбавляли в 9 и 81 раз. Экспериментальные данные представлены в табл. 2.

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что использование золы положительно сказывается на корневой и надземной части при выращивании кресс-салата.

Таблица 2  
Table 2

Эффект развития корневой и надземной части кресс-салата  
в водных вытяжках органоминерального удобрения  
The effect of the development of the root and aboveground parts of watercress  
in aqueous extracts of organomineral fertilizer

№ п/п № р/р	Образец Sample	Кратность разбавления водной вытяжки, раз The multiplicity of dilution of the water extract, times	рН водной вытяжки pH of the water extrac	Эффект торможения, % Brakingeffect, %	
				Корневая часть Rootpart	Надземная часть Groundpart
1	2	3	4	5	6
1	Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Litter – 1000 g Shavings (hardwoods) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %)	9	8,8	–104,2	–24
		81	8,6	–56,5	–12,1
2	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Зола – 10 г (1 %) Litter – 1000 g Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 10 g (1 %)	9	8,8	–101,3	–21,8
		81	8,6	–49,7	–9,9

Окончание табл. 2  
The end of table 2

1	2	3	4	5	6
3	Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 100 г (10 %) Зола – 50 г (5 %) Litter – 1000 g	9	8,9	–168,4	–24,5
	Shavings (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 100 g (10 %) Ash – 50g (5 %)	81	8,6	–56,8	–12,7
4	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 50 г (5 %) ФП – 100 г (10 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g	9	9,0	–147,5	–24,1
	Sawdust (hardwood) – 50 g (5 %) FP – 100 g (10 %) Ash – 100 g (10 %)	81	8,8	–56,8	–42,3
5	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 50 г (5 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g	9	9,0	–145,2	–24,0
	Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 50 g (5 %) Ash – 100 g (10 %)	81	8,8	–56,6	–12,2
6	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 100 г (10 %) Зола – 100г (10 %) Litter – 1000 g	9	9,0	–186,4	–28,5
	Sawdust (hardwood) – 100g (10 %) FP – 100 g (10 %) Ash – 100 g (10 %)	81	8,8	–50,1	–14,9
7	Помет – 1000 г Стружка (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Зола – 100 г (10 %) Litter – 1000 g	9	9,3	–254,7	–46,1
	Shavings (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 100 g (10 %)	81	9,1	–60,0	–32,4
8	Помет – 1000 г Опил (лиственных пород) – 100 г (10 %) ФП – 200 г (20 %) Зола – 150 г (15 %) Litter – 1000 g	9	9,3	–245,0	–42,4
	Sawdust (hardwood) – 100 g (10 %) FP – 200 g (20 %) Ash – 150 g (15 %)	81	9,1	–57,2	–28,1



По сравнению с приростом на контрольном опыте прирост корневой части при 9-кратном разведении составляет от 1,5 до 2,5 раза, прирост надземной части при том же разведении увеличился в 3–6 раз (образцы № 2–8). При внесении удобрения, не содержащего компонентов золы (образец № 1), прирост корневой и надземной части растений составил 1,5–2,5 раза. По нашему мнению, положительное влияние золы обусловлено наличием в ее составе Fe, Zn, Cu и др. в виде катионов и анионов (Mo, Se и др.) микроэлементов.

### Выводы

Условия ферментации в значительной степени зависят от состава смеси. В частности, предварительно ферментированный продукт из помета птицефабрики, по нашему мнению, выполняет функцию триггера, инициируя процесс аэробной ферментации, обеспечивая более быструю адаптацию микроорганизмов. На наш взгляд, это обусловлено тем, что птицефабрики с целью улучшения производственных показателей применяют в своей работе антибиотики и другие препараты, отрицательно влияющие на активность и размножение микроорганизмов.

Обогащение ферментируемой смеси микроэлементами (в частности, молибденом, цинком, медью, бором и др.), содержащимися в золе ТЭС, положительно сказывается на продолжительности процесса ферментации, а также проявляется во влиянии на корневую и надземную часть на примере выращивания кресс-салата в соответствии с ГОСТ Р ИСО 18763–2019.

Оптимальный подбор состава смеси, использование предварительно ферментированного продукта в конечном итоге позволяет сократить продолжительность ферментации с 400 до 160–180 ч без ухудшения потребительских свойств получаемого продукта.

Для экспериментальной проверки качества полученного продукта в мае 2023 г. заложены опытные участки (по 50–60 саженцев) на территории научно-исследовательского полигона «Урал-Карбон» (пос. Северка) Свердловской области, расположенного в Уральском учебно-опытном лесхозе Уральского государственного лесотехнического университета (Полигон..., 2021) и на отработанном участке карьера Исетского месторождения гранитов, расположенного на территории поселка Исеть Верхнепышминского района Свердловской области.

Предварительные данные свидетельствуют, что применение органоминерального удобрения положительно сказывается на морфологических характеристиках саженцев ели. В среднем за период с мая по октябрь на опытных участках научно-исследовательского полигона «Урал-Карбон» (Северка), на отработанном участке карьера Исетского месторождения гранитов прирост по высоте у саженцев ели при внесении удобрения по сравнению с таковым на контроле составил около 20 %. Выживаемость саженцев ели на опытных участках, где применено удобрение, выше на 15 %, чем в контрольном опыте.

### Список источников

- Бодя К., Барта Я. Нетрадиционные корма в рационах сельскохозяйственных животных. М. : Колос, 1984. 272 с.
- ГОСТ Р ИСО 18763–2019. Качество почв. Определение токсичного воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений. М. : Стандартинформ, 2019. 27 с.
- Государственный доклад «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2021 году». Екатеринбург : Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области, 2022.
- Инновационные способы переработки биоотходов птицеводства / В. Н. Попов, О. С. Корнеева, О. Ю. Искусных, А. Ю. Искусных // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. № 82 (1). С. 194–200.

- Марченко В. И. Безотходная технология переработки птицеводческих отходов // Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники : сб. науч. тр. Ставрополь, 2000. С. 87–91.
- Полигон «Урал-Карбон» (Северка) / С. В. Залесов, В. В. Фомин, Е. П. Платонов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 3 (78). С. 4–14. DOI: 10.51318/FRET.2021.89.34.001
- Эммануэль Н. М., Кнорре Д. Г. Курс химической кинетики : учебник для химических факультетов ун-тов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1996. 463 с.
- Энергосберегающая технология переработки отходов птицеводства с получением полезных продуктов / В. И. Марченко, Д. В. Гребенник, В. А. Алексеенко, Д. Н. Сляднев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2006. № 4. С. 169–171.

## References

- Bodya K., Barta Ya. Non-traditional feeds in the diets of farm animals. Moscow : Kolos, 1984. 272 p.
- Emmanuel N. M., Knorre D. G. Course of chemical kinetics: textbook for chemical faculties of unts. 4-th ed., reprint. and additional. Moscow : Higher School, 1996. 463 p.
- Energy-saving technology of poultry waste processing with the production of useful products / V. I. Marchenko, D. V. Grebennik, V. A. Alekseenko, D. N. Slyadnev // Izvestiya Samara State Agricultural Academy. Samara. 2006. № 4. P. 169–171. (In Russ.)
- GOST R ISO 18763–2019. Soil quality. Determination of the toxic effects of pollutants on germination and growth in the early stages of higher plants. Moscow : Standartinform, 2019. 27 p.
- Innovative methods of processing poultry biowaste / V. N. Popov, O. S. Korneeva, O. Yu. Skilful, A. Yu. Skilful // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. № 82 (1). P. 194–200. (In Russ.)
- Marchenko V. I. Waste-free technology of poultry waste processing // Improving the efficiency of agricultural machinery use: Collection of scientific papers. Stavropol, 2000. P. 87–91. (In Russ.)
- State report «On the state of the environment in the Sverdlovsk Region in 2021». Yekaterinburg : Ministry of Natural Resources and Ecology of the Sverdlovsk Region, 2022.
- Ural-Carbon Landfill (Severka) / S. V. Zalesov, V. V. Fomin, E. P. Platonov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2021. № 3 (78). P. 4–14. DOI: 10.51318/FRET.2021.89.34.001. (In Russ.)

## Информация об авторах

- Л. А. Старыгин – соискатель, генеральный директор,  
starygin@inbox.ru, <http://orcid.org/0009-0009-6394-4117>;
- Б. Н. Дриккер – доктор технических наук, профессор,  
drikerbn@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5791-9024>;
- Ю. А. Горбатенко – кандидат химических наук, доцент,  
gorbatenkouua@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0002-2265-4702>;
- Т. М. Панова – кандидат технических наук,  
panovatm@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8290-3606>;
- Н. В. Марина – кандидат химических наук, доцент,  
marinanv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0003-5234-6652>.

***Information about the authors***

*L. A. Starygin – Applicant for an academic degree, general manager,  
starygin@inbox.ru, <http://orcid.org/0009-0009-6394-4117>;*

*B. N. Driker – Doctor of Technical Sciences, Professor,  
drikerbn@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5791-9024>;*

*Yu. A. Gorbatenko – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
gorbatenkoyua@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0002-2265-4702>;*

*T. M. Panova – Candidate of Technical Sciences,  
panovtm@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8290-3606>;*

*N. V. Marina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
marinanv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0003-5234-6652>.*

*Статья поступила в редакцию 01.12.2023; принята к публикации 15.12.2023.*

*The article was submitted 01.12.2023; accepted for publication 15.12.2023.*

---

---