

# ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ СЛОЖНЫХ КОМПОСТОВ МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ<sup>1</sup>

**Антоненко Дарья Алексеевна**

К.с.-х.н., доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (г. Краснодар)  
dasha-slav@rambler.ru

**Никифоренко Юлия Юрьевна**

К.б.н., доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (г. Краснодар)  
petuh\_yulya@mail.ru

**Мельник Ольга Александровна**

К.б.н., доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (г. Краснодар)  
melnik\_olga240781@mail.ru

## ESTIMATION OF TOXICITY OF COMPLEX COMPOSTS BY THE METHOD OF BIOTESTING ON CORN SEEDS

**D. Antonenko  
Yu. Nikiforenko  
O. Melnik**

*Summary.* Biotesting as a method of environmental research is characterized by a comprehensive approach, efficiency and effectiveness. The results of determining the phytotoxicity of three different complex composts which composed of livestock and chemical industry wastes (cattle manure and phosphogypsum) are presented in the article. Corn is selected as a test object. Significant differences between the options identified in the experiment. Composts do not adversely affect the development of plant seedlings. A favorable compost ratio has been identified.

*Keywords:* ecology, biotesting, phytotoxicity, wastes, composting, composts, germination energy, biometric indicators, toxicity index..

*Аннотация.* Биотестирование как метод экологических исследований отличается комплексностью подхода, эффективностью и оперативностью. В статье приводятся результаты определения фитотоксичности трех разных вариантов сложных компостов, составленных из отходов животноводства и химической промышленности (навоза КРС и фосфогипса) в разном их соотношении. В качестве тест-объекта выбрана кукуруза. В опыте выявлены существенные различия в питательной ценности между вариантами. Компосты не оказывают негативного влияния на развитие проростков испытываемой культуры. Отмечено более благоприятное компонентное соотношение компоста.

*Ключевые слова:* экология, биотестирование, фитотоксичность, отходы, компостирование, компосты, энергия прорастания, биометрические показатели, индекс токсичности.

**Б**иотестирование — это один из видов биоиндикации, суть которого заключается в оценке реакции живых организмов на изменяющиеся условия среды. В качестве тест-объектов могут выступать различные живые организмы — от низших до высших уровней организации. Они как маячки сигнализируют о токсичности и непригодности среды обитания. Этот метод весьма эффективен и оперативен, может заменить сложные длительные химические анализы. Часто применяется для оценки токсичности почвы, отходов, донных отложений, вод и других объектов (Мельник, Яковина, 2016; Антоненко, Горбань, 2018; Антоненко, Белюченко, 2018; Никифоренко, 2018; Мельник, 2019).

Оценка загрязнений с использованием живых организмов отличается комплексным подходом, поскольку биоиндикаторы реагируют на весь комплекс загрязнений; а химические и физико-химические способы оценки ориентированы на один конкретный элемент-загрязнитель.

На наш взгляд использование метода биотестирования при оценке токсичности отходов и компостов является подходящим экспресс-методом. В литературе встречаются похожие исследования (Михеева и др., 2014; Бойцова и др., 2017). Например, для оценки качества компоста китайскими учеными предлагается тест на всхожесть семян, который является мощным инстру-

<sup>1</sup> Исследования выполнены в рамках поддержки фундаментальных научных исследований по гранту (номер 19–416–233033 р\_мол\_а) РФФИ и администрации Краснодарского края

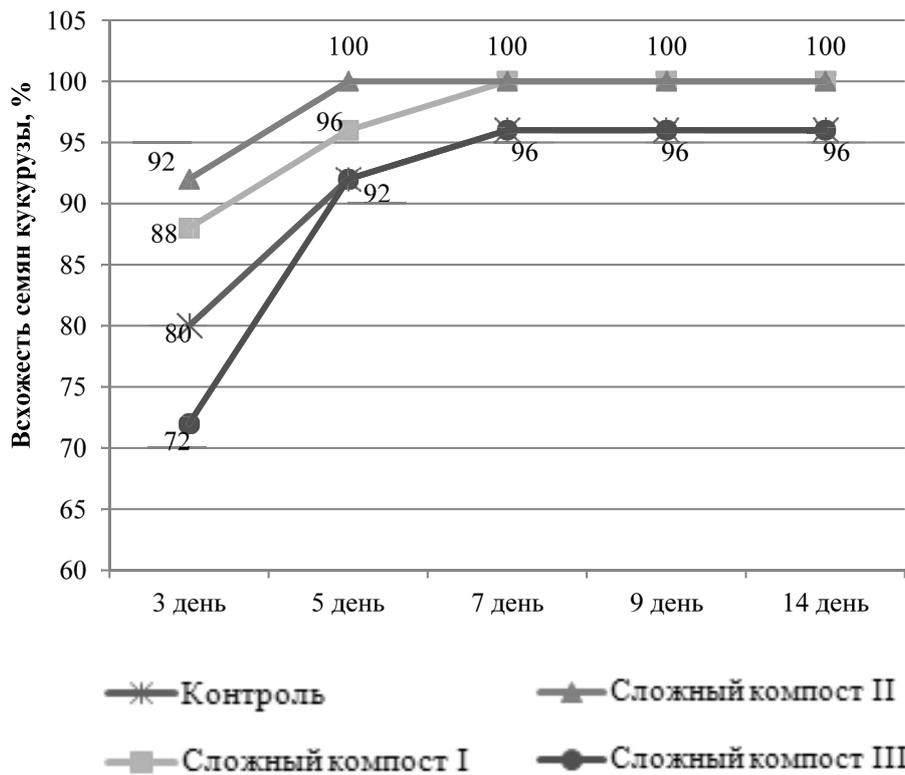


Рис. 1. Энергия прорастания семян кукурузы в результате биотестирования сложных компостов, %

ментом для изучения токсичности компоста. В качестве модельного семени для исследования фитотоксичности компоста предлагается использовать китайскую капусту (Luo et al., 2018).

В нашей работе по оценке токсичности и экологической безопасности полученных компостов мы использовали растительный объект — семена кукурузы. Выбор культуры также связан с дальнейшим проведением полевого эксперимента по оценке воздействия различных доз компостов на рост и урожайность кукурузы. Лабораторный эксперимент позволил нам оценить не только токсичность компостов, но их влияние на начальный рост и развитие выбранного тест-объекта.

**Методические аспекты исследований**

Для изучения особенностей формирования сложного компоста из полуперепревшего навоза КРС и фосфогипса был заложен опыт по компостированию, который включал 3 варианта. Три разных варианта компоста формировали в специальных емкостях для компостирования (V=500 л) путем смешивания двух основных отходов в различных соотношениях. Также с целью обеспечения лучшей аэрации в каждый из вариантов было добавлено одинаковое количество соломы люцерны.

Варианты компостов: 1) сложный компост I — полуперепревший навоз КРС + фосфогипс (в соотношении 5:1) + солома люцерны; 2) сложный компост II — полуперепревший навоз КРС + фосфогипс (в соотношении 7:1) + солома люцерны; 3) сложный компост III — полуперепревший навоз КРС + фосфогипс (в соотношении 9:1) + солома люцерны.

Компостирование проводили в весенне-летний период при температуре воздуха 20–30 °С и благоприятных условиях увлажнения. Для более эффективного взаимодействия компонентов компоста поддерживали влажность субстратов на уровне 35–40% и обеспечивали поступление кислорода путем периодического перемешивания.

Биотестирование компостов проводили в виде лабораторных опытов в чашках Петри. В качестве объекта исследования были выбраны зерна кукурузы. Для полива при проращивании кукурузы использовали водную вытяжку из различных компостов (субстрат: вода = 1: 10).

Опыт по биотестированию включал 4 варианта: 1) контроль — дистиллированная вода; 2) водная вытяжка из сложного компоста I; 3) водная вытяжка из сложного компоста II; 4) водная вытяжка из сложного компоста III.

Таблица 1. Биометрические показатели растений кукурузы и их изменение в зависимости от варианта опыта

День опыта	Вариант опыта	Длина побега кукурузы, см	Длина основного корня кукурузы, см
3 день	Контроль	0,78 ± 0,04	1,18 ± 0,06
	Сложный компост I	0,91 ± 0,04	0,87 ± 0,04
	Сложный компост II	1,12 ± 0,05	0,95 ± 0,05
	Сложный компост III	0,88 ± 0,04	0,64 ± 0,04
5 день	Контроль	5,58 ± 0,25	4,27 ± 0,20
	Сложный компост I	5,86 ± 0,26	4,21 ± 0,21
	Сложный компост II	6,87 ± 0,32	5,02 ± 0,24
	Сложный компост III	5,74 ± 0,28	4,14 ± 0,21
7 день	Контроль	7,36 ± 0,35	8,28 ± 0,40
	Сложный компост I	8,46 ± 0,40	7,98 ± 0,39
	Сложный компост II	9,21 ± 0,45	9,04 ± 0,44
	Сложный компост III	7,98 ± 0,39	7,76 ± 0,40
9 день	Контроль	8,94 ± 0,44	11,48 ± 0,54
	Сложный компост I	9,87 ± 0,47	12,70 ± 0,63
	Сложный компост II	10,84 ± 0,53	13,45 ± 0,65
	Сложный компост III	8,98 ± 0,44	11,08 ± 0,53
14 день	Контроль	10,74 ± 0,52	13,87 ± 0,68
	Сложный компост I	12,78 ± 0,62	14,16 ± 0,70
	Сложный компост II	13,55 ± 0,67	15,14 ± 0,75
	Сложный компост III	10,86 ± 0,52	12,54 ± 0,61

Повторность опыта была 5-ти краткая; в каждую чашку Петри на фильтровальную бумагу раскладывали по 5 зерен кукурузы. Полив проводили в течение двух недель с интервалом 2–3 дня в количестве 20 мл. В период проведения лабораторного опыта велись регулярные измерения следующих показателей: всхожесть семян, длина побегов, длина корней. В конце опыта определяли биомассу растений в воздушно-сухом состоянии.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Одним из важных показателей при проведении биотестирования на растениях является энергия прорастания и всхожесть семян. Энергия прорастания характеризует дружелюбность и скорость прорастания семян. Обычно она определяется в первые 3–4 дня проведения биотестирования. У нас в опыте отмечены более дружные всходы кукурузы в вариантах со сложным компостом II и сложным компостом I (92 и 88%, соответственно). Минимальные значения этого показателя выявлены в варианте со сложным компостом III — только 72% семян кукурузы проросли на 3 день опыта. На контроле энергия прорастания семян составила 80% (рисунок 1).

Всхожесть семян — количество нормально проросших семян за весь период проведения лабораторного опыта (14 дней). Результаты подсчета всхожести семян

были на высоком уровне во всех вариантах опыта. При поливе вытяжками из сложных компостов I и II нормально проросли все семена (всхожесть 100%). Причем полная всхожесть кукурузы в варианте со сложным компостом I отмечена на 5 день опыта, а в варианте со сложным компостом II — на 7 день опыта. Максимальная всхожесть на контроле выявлена на 7 день опыта и составила 96%. Аналогичное прорастание семян характерно и для варианта со сложным компостом III (рисунок 1).

Первые результаты измерений биометрических показателей растений кукурузы проводили на 3 день лабораторного опыта. Выявлено, что на контроле (дистиллированная вода) длина основного корня кукурузы была больше по сравнению с компостами, тогда как длина побега наоборот — меньше. Далее разница между вариантами несколько поменялась. Так на 5 день опыта максимальная длина побега отмечена в варианте со сложным компостом II, в остальных вариантах данный показатель был близок к контролю. Аналогичные изменения характерны и для длины основного корня кукурузы: максимум отмечен в варианте со сложным компостом II. Через неделю после закладки опыта рост побега при поливе водой несколько замедлился, тогда как при поливе вытяжками из компостов I и II — был интенсивнее. Длина побега кукурузы в варианте со сложным компостом III и на контроле через 14 дней опыта была примерно одинаковой (таблица 1).

Таблица 2. Результаты расчета индекса фитотоксичности при биотестировании компостов

Вариант опыта	Длина проростка, см (L <sub>п</sub> )	Длина корешка, см (L <sub>к</sub> )	ИФ	Класс токсичности
Контроль	10,74	13,87	–	–
Сложный компост I	12,78	14,16	1,09	норма
Сложный компост II	13,55	15,14	1,17	стимуляция роста
Сложный компост III	10,86	12,54	0,95	норма

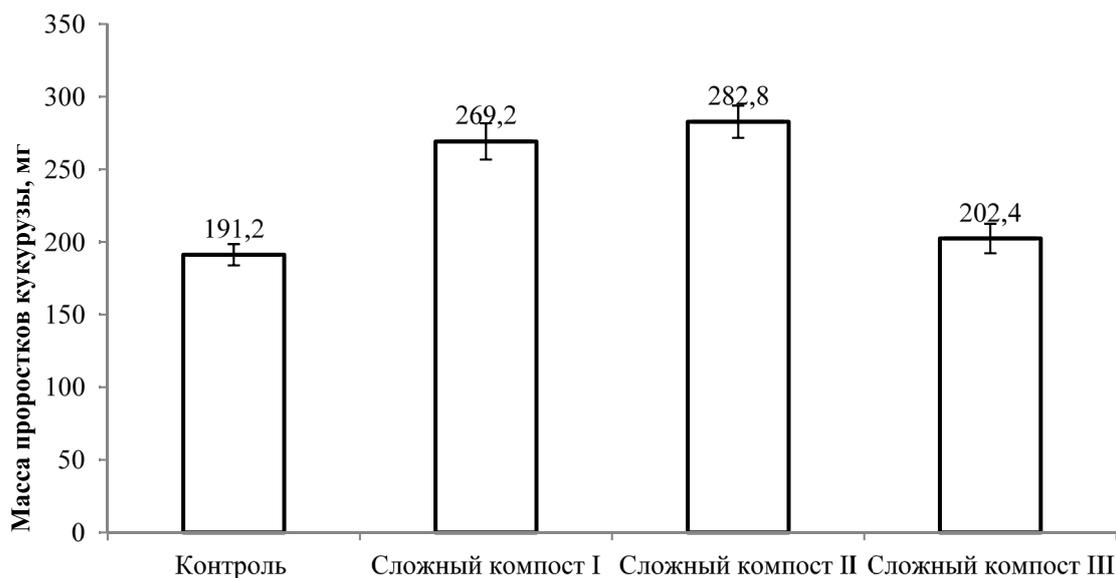


Рис. 2. Изменение массы проростков кукурузы в зависимости от компоста, мг (сухое вещество)

Длина основного корня на 9 и 14 день опыта была максимальной в вариантах со сложными компостами I и II. Отмечено, что корни в варианте со сложным компостом III развивались медленнее, на концах были незначительно повреждены, вероятно, из-за большего содержания органических веществ по сравнению с другими вариантами. Также в вариантах со сложными компостами I и II прослеживается обильный рост корневых волосков на основном и дополнительных корнях, что не выявлено на контроле и в варианте со сложным компостом III (таблица 1).

Если рассматривать два «похожих» варианта (сложный компост I и сложный компост II), то лучшими показателями в ходе биотестирования выделяется сложный компост II, где соотношение навоза и фосфогипса 7:1. Так длина побега кукурузы в этих вариантах составила 12,8 и 13,6 см соответственно, а длина основного корня — 14,1 и 15,1 см. Также для варианта II характерно наличие более длинных дополнительных корешков и обилие на них корневых волосков. По нашему мнению, заметный рост основного корня, дополнительных корешков и корневых волосков связан с добавлением в компост фосфогипса, содержащего значительную долю кальция.

Масса проростков кукурузы варьировала от 191 до 283 грамм. Причем максимум отмечен в варианте со сложным компостом II. Близкие показатели массы и несущественные различия выявлены между контролем и вариантом со сложным компостом III (191,2 и 202,4 грамм, соответственно) (рисунок 2).

В результате биотестирования выявлены однозначные изменения в длине проростка и основного корня кукурузы. Также видна заметная разница между вариантами по энергии прорастания и всхожести, массы надземной части растений. Сложные компосты I и II положительно влияют на начальный рост кукурузы. Токсичность этих удобрений не выявлена. Растения в варианте со сложным компостом III развивались иначе и биометрические показатели находились на уровне контроля. Для получения еще более наглядных результатов нами был рассчитан индекс фитотоксичности по формуле:

$$ИФ = \frac{(L_{п} + L_{к})_{опыт}}{(L_{п} + L_{к})_{контроль}}$$

где  $L_{п}$  — длина проростка, см;  $L_{к}$  — длина корешка, см.

Расшифровка: ИФ > 1,10 — стимуляция роста; ИФ = 0,91–1,10 — норма; ИФ = 0,71–0,90 — низкая токсичность; ИФ = 0,50–0,70 — средняя токсичность; ИФ < 0,50 — высокая токсичность.

Индекс фитотоксичности определяет токсичность и ее степень. Расчеты индекса с использованием биометрических замеров кукурузы показали положительные результаты. Токсичность компостов не выявлена. Наоборот, отмечено положительное воздействие на рост проростков и корешков. Особенно это касается варианта сложный компост II, где индекс фитотоксичности указывает на стимуляцию роста растений. В вариантах

сложных компост II и III стимуляции роста не отмечено, индекс фитотоксичности в норме (таблица 2).

Таким образом, результаты лабораторного опыта выявили изменения в начальном росте и развитии корешков кукурузы при поливе их водной вытяжкой из сложных компостов. Отмечено увеличение длины главного зародышевого корешка, количества боковых зародышевых корешков и корневых волосков. Биотестирование показало, что сложные компосты не угнетают рост побегов данной культуры. Наиболее благоприятное воздействие и стимуляция роста кукурузы отмечено в варианте со сложным компостом II.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко Д. А., Белюченко И. С. Оценка влияния отходов животноводства на окружающую среду методом биотестирования // Экологический вестник Северного Кавказа. — 2018. — Т. 14. — № 3. — С. 4–9.
2. Антоненко Д. А., Горбань М. А. Анализ фильтрационного осадка // Экологический вестник Северного Кавказа. — 2018. — Т. 14. — № 3. — С. 10–13.
3. Бойцова Л. В., Зинчук Е. Г., Моисеев К. Г., Пищик В. Н. Экологическая оценка почвогрунтов и сложных компостов методом биотестирования // Сборник научных трудов по материалам V Международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». — 2017. — С. 332–335.
4. Мельник О. А. Анализ данных, полученных при проращивании ярового рапса с использованием экстрактов из фосфогипса и навоза КРС // Экологический вестник Северного Кавказа. — 2019. — Т. 15. — № 34. — С. 43–46.
5. Мельник О. А., Яковина Е. П. Влияние экстракций отходов на прорастание семян ярового рапса и горчицы белой // Международная научная экологическая конференция «Совместные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта». — 2016. — С. 282–286.
6. Михеева И. Г., Пименова Е. В., Никитская Н. И. Биотестирование отходов ОАО «КамаБумПром» в лабораторном опыте // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Молодежная наука 2014: технологии, инновации». — 2014. — С. 279–281.
7. Никифорова Ю. Ю. Почвенная мезофауна агроценозов под воздействием сложного компоста // Экологический вестник Северного Кавказа. — 2018. — Т. 14. — № 2. — С. 76–81.
8. Luo Y., Liang J., Zeng G., Chen M., Mo D., Li G., Zhang D. Seed germination for toxicity evaluation compost: its Roles, Problems and Prospects // Waste Management. — 2018. — Т. 71. — С. 109–114.

© Антоненко Дарья Алексеевна (dasha-slav@rambler.ru),

Никифорова Юлия Юрьевна (petuh\_yulya@mail.ru), Мельник Ольга Александровна (melnik\_olga240781@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»