

УДК 579.63:661.847

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ БИОДЕГРАДАЦИИ ЦИНКА В ПРОЦЕССЕ КОМПСТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ТБО

¹Амангельдинова А.К., ²Джамалова Г.А., ²Мусина У.Ш.

¹Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы,

e-mail: aya.amangeldinova@mail.ru;

²ТОО «НДЦ АЕГ», Алматы

В статье описаны результаты, полученные при математическом планировании и оптимизации биодegradации цинка в процессе компстирования органических компонентов ТБО. Показано, что ТБО обогащается цинком благодаря смёту с промплощадок и городских улиц и обеспечение процесса утилизации цинка в компстируемом субстрате актуально, т.к. предлагаемое мероприятие будет способствовать санитарному «оздоровлению» компоста, производимого из ТБО. Выявлено, что почти все исследуемые факторы (исключение X2), положительно коррелируют со степенью биодegradации цинка: чем выше их уровни, тем выше показатель степени биодegradации, так, повышение. При этом выявлено, что наиболее сильнодействующими факторами, влияющие на степень биодegradации цинка в компстируемом субстрате, являются такие факторы, как обсемененности бактерий рода *Desulfobacteriaceae*, температура и день компстирования.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, компстирование, цинк, моделирование

PLANNING AND OPTIMIZATION OF ZINC ZINC BIODEGRADATION IN THE PROCESS OF COMPOSTING ORGANIC MSW COMPONENTS

¹Amangeldinova A.K., ²Jamalova G., ²Mussina U.S.

¹Kazakh National Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty,

e-mail: aya.amangeldinova@mail.ru;

²LLP «SDC AEG», Almaty

The article describes the results obtained in the mathematical planning and optimization of biodegradation of zinc in the process of composting of organic components of solid waste. It is shown that TBT is enriched with zinc due to the cleavage from industrial sites and city streets and ensuring the process of zinc utilization in the compostable substrate is actual, because the proposed event will contribute to the sanitary «sanitation» of compost produced from solid household waste. It was found that almost all the factors studied (exclusion of X2) positively correlated with the degree of biodegradation of zinc: the higher their levels, the higher the degree of biodegradation, so, the increase. It was found that the most potent factors affecting the degree of biodegradation of zinc in the compostable substrate are factors such as the populations of bacteria of the genus *Desulfobacteriaceae*, temperature and composting day.

Keywords: solid municipal waste, composting, zinc, modeling

Цинк ³⁰_{65,38}Zn – это относительно распространенный (кларк 0,008), жизненно и промышленно важный, токсичный 3d-металл.

Обеспечение процесса утилизации цинка в компстируемом субстрате актуально, т.к. будет способствовать санитарному «оздоровлению» компоста, производимого из ТБО.

Наиболее типичные химические соединения Zn²⁺ (d¹⁰) – ZnO, ZnS, [Zn(OH)₆]²⁺, [Zn(OH)₄]²⁻, соли Zn²⁺, ZnF₂, ZnCl₂, множество комплексов [1].

Растворимость соединений Zn снижается от легкорастворимых ZnSO₄ и ZnCl₂ к труднорастворимому ZnCO₃ и очень трудно растворимым Zn₃(PO₄)₂ и ZnS; осаждение Zn(OH)₂ – при pH 5,2 [2].

Загрязнение почв Zn в техногенезе широко распространено, а время его полужизни составляет 70–81 год. Качество таких

загрязненных почв восстанавливается внесением извести или органического вещества [3]. Растворимость Zn повышается в кислых условиях, а также при значительном количестве низкомолекулярных органических лигандов.

Содержание Zn в почве колеблется от 10 до 800 мг/кг [4]. Накопление Zn отрицательно влияет на большинство почвенных процессов: ведет к изменению свойств почв, снижает биологическую деятельность, т.к. подавляет жизнедеятельность микроорганизмов, вследствие чего нарушаются процессы образования органического вещества в почвах. Избыток Zn в почве затрудняет ферментацию разложения целлюлозы, процессы дыхания [5]. Zn оказывает влияние на процесс накопления грибами органических кислот, в частности лимонной кислоты. Недостаток Zn приво-

дит к значительному замедлению роста актиномицетов. Ионы Zn оказывают влияние на углеродный, азотный и фосфорный обмена ряда организмов и участвуют в окислительно-восстановительных процессах [6]. Цинк входит в состав РНК и участвует в его синтезе [7].

ТБО обогащается цинком благодаря смёту с промплощадок и городских улиц [8].

ПДК в почве 23,0 мг/кг [9], компосте – меньше 200 мг/кг [10].

Цель. Планирование и оптимизация биоутилизации цинка в процессе компостирования органических компонентов ТБО.

Вычисления основаны на применении данных, указанных в работах [11, 12] и основаны на методике, описанной в работе [13].

Результаты и обсуждение. В целях планирования и оптимизации в процессе биодеградации цинка при компостировании ТБО, были отобраны пять факторов.

Как видно из табл. 1, фактор X_1 учитывает уровень разведения сульфатредуцирующих бактерий (на примере рода *Desulfobacteriaceae*). Известно [14], что сульфатредуцирующие бактерии, обитая в рудных месторождениях, в глубоком почвенном слое и в глубинах океана, используют в своих реакциях ионы цинка. Именно поэтому, в целях дополнительного обогащения компостируемого субстрата сульфатредуцирующими бактериями, предполагается регулировать вторым (X_2 – добавление почвы в компостируемый субстрат, г/кг) фактором. Также выделены три физических фактора (X_3 – влажность, %; X_4 – температура компостируемого субстрата, °С; X_5 – день компостирования в биореакторе), которые влияют не только на процесс компостирования, но и на активность исследуемых таксонов. На основе пятифакторной матрицы планирования эксперимента был проведен расчет опытных значений частных функций (табл. 2).

Таблица 1

Область факторного пространства

Факторы	Уровни факторов				
	1	2	3	4	5
X_1 – Уровень разведения сульфатредуцирующих бактерий (на примере рода <i>Desulfobacteriaceae</i>)	2	3	4	5	6
X_2 – Добавление почвы в компостируемый субстрат, г/кг	20	60	100	140	180
X_3 – Влажность, %	30	39	48	57	66
X_4 – Температура, °С	32	39	46	53	60
X_5 – День компостирования в биореакторе	40	48	56	64	72

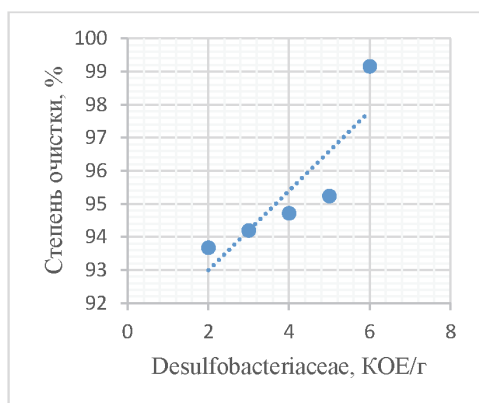
Таблица 2

Расчет экспериментальных значений частных функций

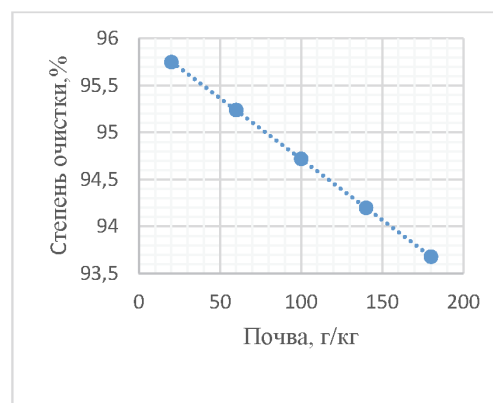
№ фактора	Уровень					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
X_1	93	96,4	93,4	94	96,8	94,72
X_2	96,8	94	93,4	96,4	93	
X_3	93,4	96,8	94	93	96,4	
X_4	96,4	94	93	96,8	93,4	
X_5	94	93,4	96,8	96,4	93	

Выполнен анализ моделей для алгебраического описания функций методом наименьших квадратов. Расчет значений и аппроксимация опытных функций опре-

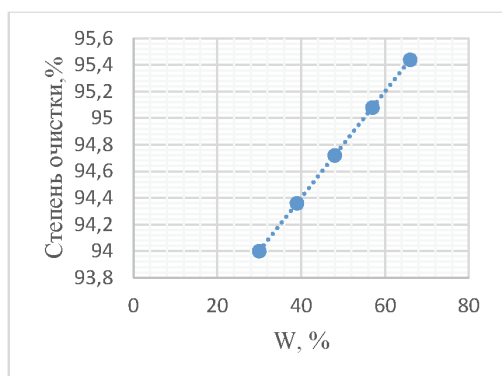
делил выборку на точечные графики по закономерности изменения степени очистки компостируемого субстрата от цинка с учетом принятых пяти факторов (рисунок).



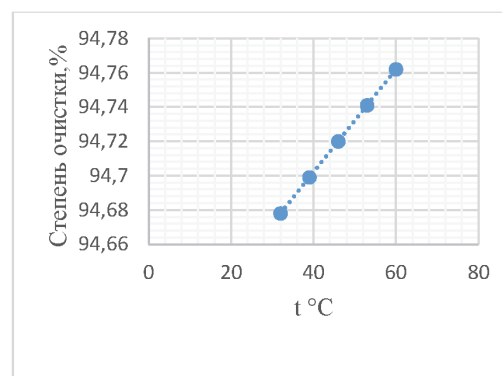
а



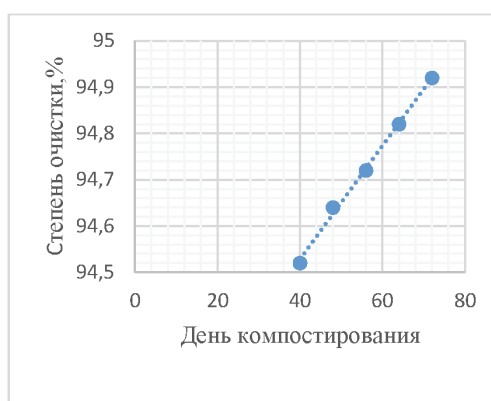
б



в



г



д

Выборка на точечные графики: закономерности изменения степени очистки компоста от цинка с учетом обсемененности Desulfobacteriaceae (а), вводимого в компостируемый субстрат количества почвы (б), влажности (в) и температуры (г) компостируемой массы, дня компостирования (д)

Как видно из рисунка:

1) почти все исследуемые факторы (исключение X_2), положительно коррелируют со степенью биodeградации цинка: чем выше их уровни, тем выше показатель степени биodeградации, так, повышение:

– обсеменности бактерий роды *Desulfobacteriaceae* со 2-го по 6-й уровень разведения приводит к повышению степени очистки компостируемого субстрата ТБО от цинка с 93,68% до 99,16%,

– влажности с 30 до 66%, температуры с 30 до 60°C и дня компостирования с 40 по 72 день приводит к повышению биodeградации цинка с 94 до 95,44%, с 94,678 до 94,762% и с 94,52 до 94,92% соответственно;

2) отрицательная корреляционная зависимость, как это выявлено из расчетов, характерно для фактора X_2 , т.к. чем больше количество вводимой почвы в компостируемый субстрат (с 20 до 180 г/кг), тем ниже процент биodeградации цинка (с 95,75 до 93,68%);

3) наиболее сильнодействующими факторами, влияющие на степень биodeградации цинка в компостируемом субстрате, являются такие факторы, как X_1 (обсеменности бактерий роды *Desulfobacteriaceae*), X_4 (температура) и X_6 (день компостирования), т.к. полученные сотые (X_1 , X_4) и тысячные (X_6) показатели процента очистки свидетельствуют о высокой чувствительности процесса биodeградации цинка к этим факторам.

Анализ обобщенного уравнения ($Y_{об}$) показал, что оптимальными условиями для компостирования являются: обсеменность бактерий из рода *Desulfobacteriaceae* на уровне шестого разведения, количество почвенной добавки не должно превышать 20 г/кг, W 66%, t 60°C, продолжительность компостирования 72 дня) степень очистки

компостной системы от цинка может достигнуть 100%.

Список литературы

1. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. – М.: Экология, 1995. Кн.4. Главные d-элементы. – 416 с.
2. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / Под ред. А.П. Солодова. – М.: Недра, 1990. – 342 с.
3. Kitagishi, K. and Yamane, H. (1981) Heavy metal pollution in soils of Japan. CRC Press, Tokyo, 19–26.
4. Химия окружающей среды – Пер. с англ. / Под ред. А.П. Цыганкова. – М.: Химия, 1982. – 672 с.
5. Краснова М., Шальнов М., Шилов В.Н. и др. Полный справочник санитарного врача. – М.: Научная книга, 2013. – 233 с.
6. Сизенцов А.Н., Мисетов И.А., каримов И.Ф. Антибиотики и химиотерапевтические препараты: учебник. Оренбургский университет – Оренбург: ОГУ, 2012. – 489 с.
7. Алексеенко В.А. Цинк и кадмий в окружающей среде. – М.: Наука, 1992. – 197 с.
8. Горюх Н.П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – 2005. – №63. – С. 172–181.
9. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
10. Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. – СПб.: АФИ, 2012. – 132 с.
11. Гарабаджиу А.В., Джамалова Г.А., Свирко Е.А., Джолдыбаева С.М. Изменчивость ксенобиотической активности и микробиоценоза в компостируемом композите «твердые бытовые отходы + почва» // Известия СПбГТИ(ТУ) ю – 2016. – № 33 (59). – С.71–76.
12. Гарабаджиу А.В., Джамалова Г.А., Джолдыбаева С.М., Свирко Е.А. Изменчивость ксенобиотической активности и микробио-ценоза в компостируемом композите «твердые бытовые отходы» // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24633>.
13. Джамалова Г.А. Математическое планирование выхода продуктов биоразложения твердых бытовых отходов в зависимости от протокола загрузки биореактора // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21293> (дата обращения: 23.02.2018).
14. Moreau J.W., Weber P.K., Martin M.C., Gilbert B., Hutcheon Ian D., Banfield Jillian F. Extracellular Proteins Limit the Dispersal of Biogenic Nanoparticles // Science. 2007. V. 316. P. 1600–1603.