

УДК 628.544:631.879.42:579.63

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ КСЕНОБИОТИКОВ
И МИКРОБИОЦЕНОЗА В КОМПСТИРУЕМОМ СУБСТРАТЕ
«ТВЕРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ + АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ»**¹Джамалова Г.А., ¹Мусина У.Ш., ²Еликбаев Б.К., ¹Джолдыбаева С.М.,¹Дюсебева И.А., ¹Рисбекова Г.М., ¹Кайдарова Г.Е., ¹Капар А.Т.¹*Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, e-mail: j.ga@bk.ru;*²*Казахский национальный аграрный университет, Алматы*

Приводятся результаты экспериментальных исследований по изучению физико-химической и микробиологической трансформации компостируемого субстрата «Твердые бытовые отходы (ТБО) + активированный уголь» в зависимости от стадии развития фаз компостирования. Температура развития компостируемого субстрата: 17–20 °С (лаг-фаза); 25–30 °С (мезофильная фаза, фаза созревания); до 60 °С (термофильная фаза). Для улучшения аэрации компостируемый субстрат перемешивали через каждые 10–15 дней. Для поддержания влажности на уровне 50–55 % через 48–72 ч (после каждого перемешивания) добавляли стерильную дистиллированную воду комнатной температуры в объеме 10–20 мл. По результатам химического анализа определено, что трансформация ксенобиотиков в компостируемом субстрате имеет общую закономерность, проявляющуюся в повышении концентрации ксенобиотиков в трех начальных стадиях развития (лаг, мезофильная, термофильная) и до 90–99 % их снижения в стадии созревания. В целом предлагаемый способ способствует снижению концентрации всех ксенобиотиков, в меньшей степени ртути, кадмия и формальдегида. Предлагаемый способ компостирования ТБО, собранных «навалом», способствует существенному снижению содержания исследуемых ксенобиотиков в зрелой фазе. Труднее удаляются кадмий, формальдегид и ртуть. Снижение содержания кадмия и формальдегида наблюдается в зрелом компосте, но превышает ПДК. И только остаточное содержание ртути лучше в термофильной зоне, чем в зрелом компосте, но также превышает ПДК. Производство биоремедиационного компоста оптимально при использовании активированного угля в количестве 150 г/кг ТБО, что позволяет обеспечить обеззараживание и максимальное снижение концентрации ксенобиотиков.

Ключевые слова: компостирование, твердые бытовые отходы, ксенобиотики, микробиоценоз, активированный уголь**VARIABILITY OF CONCENTRATION OF XENOBIOTICS
AND MICROBIOCENOSIS IN COMPOSTING SUBSTRATE
«MUNICIPAL SOLID WASTE + ACTIVATED CARBON»**¹Dzhamalova G.A., ¹Musina U.Sh., ²Elikbaev B.K., ¹Dzholdybaeva S.M.,¹Dyusebeva I.A., ¹Risbekova G.M., ¹Kaydarova G.E., ¹Kapar A.T.¹*Kazakh National Research Technical University after K.I. Satpaev, Almaty, e-mail: j.ga@bk.ru;*²*Kazakh National Agrarian University, Almaty*

The results of experimental studies on the physicochemical and microbiological transformation of the compostable substrate «Solid waste (MSW) + activated carbon» depending on the stage of composting phases development are presented. The temperature of development of the compostable substrate: 17–20 °C (lag phase); 25–30 °C (mesophilic phase, maturation phase); to 60 °C (thermophilic phase). To improve aeration, the compostable substrate was stirred every 10–15 days. To maintain humidity at the level of 50–55 % after 48–72 hours (after each mixing), sterile distilled water of room temperature in the amount of 10–20 ml was added according to the results of chemical analysis, it was determined that the transformation of xenobiotics in the compostable substrate has a General pattern, manifested in an increase in the concentration of xenobiotics in the three initial stages of development (lag, mesophilic, thermophilic) and up to 90–99 % of their reduction in the maturation stage. In General, the proposed method helps to reduce the concentration of all xenobiotics, to a lesser extent mercury, cadmium and formaldehyde. The proposed method of composting MSW collected in bulk contributes to a significant reduction in the content of the studied xenobiotics in the Mature phase. Cadmium, formaldehyde and mercury are more difficult to remove. Reduction of cadmium and formaldehyde is observed in Mature compost, but exceeds MPC. And only the residual mercury content is better in the thermophilic zone than in Mature compost, but also exceeds the MPC. Production of bioremediation compost is optimal when using activated carbon in the amount of 150 g / kg of solid waste, which allows for disinfection and a maximum reduction in the concentration of xenobiotics.

Keywords: composting, municipal solid waste, xenobiotic, microbiocenosis, activated carbon

Применение углеродсодержащих биоактиваторов является одним из новых подходов в технологии биокомпостирования комплексно собранных твердых бытовых отходов. В качестве эталонного углеродсодержащего биоактиватора использован активированный уголь, влияющий на из-

менчивость концентрации ксенобиотиков и микробиоценоза в компостируемом субстрате «твердые бытовые отходы + активированный уголь» и необходимый, в дальнейшем, для сравнения с поведением углеродсодержащих биоактиваторов природного происхождения.

Таблица 1

Химический состав компостируемого композита «ГБОмо + активированный уголь» во времени

№ п/п	Наименование	Начало эксперимента									Фазы компостирования								
		Лаг			Мезофильная			Термофильная			Созревания								
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3						
1	Хром	0,36	0,16	0,09	0,16	0,15	0,27	0,17	0,28	0,32	0,74	2,3	2,8	0,03	0,03	0,03			
2	Ртуть	52,9	88,3	62,1	165,9	105	146	320	392	448	10	15	26	70	80,8	74,3			
3	Бор	7,8	19,1	8,8	19,4	17,4	32,4	19,8	32,2	36,8	18,6	61	134	3,6	3,3	3,3			
4	Кадмий	47,2	102,3	55,4	145,1	112,3	183,3	115,8	175,3	194,4	106,8	245	470	23,8	22,3	21,1			
5	Цинк	0,08	0,70	0,43	0,94	0,73	1,25	0,77	1,20	1,32	1,62	5,7	6,6	0,16	0,14	0,14			
6	Кобальт	0,67	1,55	0,89	1,52	1,44	2,66	1,65	2,66	3,14	1,62	4,8	7,8	0,31	0,28	0,28			
7	Молибден	21,4	1,59	25,7	2,58	2,43	4,41	50,9	63,4	70,4	47	127	172	0,52	0,47	0,46			
8	Свинец	3,5	6,1	4,2	13,8	9	12,9	7,8	9,5	10,6	254	670	1020	2	2	1,8			
9	Селен	1,05	1,88	1,29	4,08	2,75	3,99	2,41	2,92	3,34	2,70	4,7	7,6	0,57	0,57	0,51			
10	Алюминий	0,48	1,13	0,54	1,59	1,18	1,98	1,20	1,71	2,05	1,09	2,96	5,86	0,24	0,22	0,21			
11	Барий	50	99	60	188	123	191	119	162	180	110	290	660	29	28	26			
12	Марганец	4,77	171,6	5,91	18,3	18,9	27,4	19,7	26,7	33,4	12,8	25,9	39,8	0,08	0,08	0,07			
13	Медь	0,81	9,36	0,94	2,74	1,95	3,02	1,91	2,66	2,98	1,71	4,9	6,62	0,40	0,38	0,35			
14	Никель	0,79	39,2	0,95	2,75	1,92	2,88	1,82	2,57	2,80	1,64	5,15	6,36	0,40	0,39	0,36			
15	Нитрат	37	1,5	48,1	214,4	132,2	283,1	132,6	251,7	193,4	63	280	256	0,11	0,1	0,1			
16	Фосфат	0,09	0,23	0,13	0,16	0,19	0,42	0,25	0,45	0,57	0,27	1,46	1,38	0,04	0,04	0,04			
17	Хлорид	1105	2289	1382	2380	2210	3977	2485	4065	4634	36,2	49	54	476	424	424			
18	Железо общ.	1,31	2,9	1,56	4,18	3,18	5,26	3,28	4,76	5,46	1,57	3	6,32	0,67	0,63	0,59			
19	Сульфат	32	59	39	116	78	113	72	94	108	64	160	240	16	16	14			
20	Формальдегид	153	328	188	320	307	569	352	569	670	352	1310	1500	66	59	59			

Пр и м е ч а н и е . * 1 – «ГБОмо + активированный уголь» 50 г/кг; 2 – «ГБОмо + активированный уголь» 100 г/кг; 3 – «ГБОмо + активированный уголь» 150 г/кг.

Объект исследования: твердые бытовые отходы (ТБО), собранные «навалом».

Цель исследования: изучение изменчивости концентрации ксенобиотиков и микробиоценоза в компостируемом субстрате «ТБО + активированный уголь» во времени развития фаз компостирования.

Компостирование проводили по методике, изложенной в ГОСТ Р 55571-2013 [1] и ТУ 9819-001-0165424850-2010 [2]. Химический метод исследования проводили согласно ГОСТ Р 53218-2008 [3], микробиологические – согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 [4] на экспериментальной базе КазНИТУ им. К.И. Сатпаева.

Температура развития компостируемого субстрата: 17–20 °С (лаг-фаза); 25–30 °С (мезофильная фаза, фаза созревания); до 60 °С (термофильная фаза). Для улучшения аэрации компостируемый субстрат перемешивали через каждые 10–15 дней. Для поддержания влажности на уровне 50–55 % через 48–72 ч (после каждого перемешивания) добавляли стерильную дистиллированную воду комнатной температуры в объеме 10–20 мл [5, 6].

Протокол загрузки контейнера: 61 % пищевые отходы, 10 % бумага, 4 % пластик, 6 % стекло, 2 % металл и 17 % другое. Перед компостированием компоненты ТБО подверглись дроблению и измельчению.

В зависимости от используемого количества активированного угля (аптечного) в модельном образце ТБО (ТБОмо) были проведены три варианта опыта: № 1 – использовано 50 г; № 2 – 100 г и № 3 – 150 г активированного угля на 1 кг ТБО.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение физико-органолептических свойств компостируемого субстрата «ТБОмо + активированный уголь» показало, что в процессе развития субстрат трансформируется по цвету от серо-коричневого до темно-коричневого, по запаху – от тухлого до специфического земляничного и по агрегатному состоянию – от грубодисперсного до мелкокомкообразного.

Изменение концентрации ксенобиотиков по стадиям развития компостируемого субстрата «ТБОмо + активированный уголь» (водная вытяжка) в трех вариантах опыта исследовалось для следующих веществ: опыт № 1 – хром, ртуть; № 2 – бор, кадмий, цинк, кобальт, молибден, свинец, селен и формальдегид; 3 – алюминий, барий, марганец, медь, никель, нитрат, фосфат, хлорид, железо общее, сульфат (табл. 1).

Как видно из табл. 1, интерес представляют ксенобиотики, превышающие ПДК

в ТБОмо перед началом эксперимента. К таким ксенобиотикам, как показали результаты химического анализа, относят из веществ I класса опасности – ртуть; II – кадмий, молибден и формальдегид; III – медь, никель и хлориды.

Изучение изменения концентрации ртути в зависимости от варианта опыта и стадии развития показало, что перед началом эксперимента содержание ртути составило: в опыте № 1 – 25,19 ПДК; № 2 – 42,5 ПДК; № 3 – 29,57 ПДК.

В процессе прохождения двух фаз развития, лаг и мезофильной, происходит повышение концентрации:

а) *лаг-фаза*: в опыте № 1 – на 214 % (79 ПДК); № 2 – 19 % (50 ПДК); № 3 – 135 % (69,52 ПДК);

б) *мезофильная фаза*: № 1 – на 93 % (152,38 ПДК); № 2 – 273 % (186,67 ПДК); № 3 – 207 % (213,33 ПДК).

После стадии термофильного развития по отношению к мезофильной фазе для ртути наблюдается снижение концентрации: в опыте № 1 – на 97 % (4,76 ПДК); в № 2 – на 96 % (7,14 ПДК); в № 3 – на 94 % (12,38 ПДК). В зрелом компосте концентрация ртути по сравнению с фазой термофильного развития повышается на 600 %, 439 % и 186 % соответственно, а по сравнению с началом эксперимента повышается на 24,4 % (33,33 ПДК) в опыте № 1; на 16,4 % (35,38 ПДК) в опыте № 3; снижается на 8,5 % (38,48 ПДК) в опыте № 2.

Следовательно, активированный уголь не обеспечил должного снижения концентрации ртути в зрелом компосте во всех трех вариантах опыта, однако в термофильной фазе получены наилучшие показатели снижения концентраций ртути.

Изучение изменения концентрации кадмия и формальдегида в зависимости от варианта опыта и стадии развития показало, что перед началом эксперимента содержание кадмия составило: 23,6 ПДК в опыте № 1; 1,15 ПДК – в № 2; 27,7 ПДК – в № 3, а формальдегида соответственно 21,86 ПДК, 46,86 ПДК и 26,86 ПДК. После стадии лаг-фазы развития по отношению к первоначальным данным по кадмию наблюдается повышение концентрации на 207 % (72,55 ПДК), 10 % (56,15 ПДК) и 231 % (91,65 ПДК) соответственно, тогда как по формальдегиду повышение концентрации отмечается в первом и третьем опыте на 109 (45,71 ПДК) и 203 % (81,29 ПДК) и незначительное снижение концентрации на 6 % (43,86 ПДК) во втором опыте. После стадии мезофильного развития по сравнению с лаг-фазой концентрация кадмия уменьшается в первом опыте на 20 % (57,9 ПДК) и уве-

личивается во втором на 56% (87,65 ПДК) и в третьем – на 6% (97,2 ПДК), тогда как по формальдегиду увеличивается во всех опытах на 10 (50,29 ПДК), 85 (81,29 ПДК) и 18% (95,71 ПДК) соответственно. После стадии термофильного развития по отношению к мезофильной фазе для кадмия наблюдается снижение концентрации на 8% (53,4 ПДК) в первом опыте и увеличение на 40% (122,5 ПДК) во втором и на 142% (235 ПДК) в третьем опыте, тогда как концентрация формальдегида в первом опыте остается без изменения, а во втором и третьем увеличивается на 130 (187,14 ПДК) и 124% (214,29 ПДК) соответственно.

После стадии созревания концентрация кадмия и формальдегида по сравнению:

– с фазой термофильного развития снижается по кадмию на 78% в первом, 91% во втором и 96% в третьем опыте и по формальдегиду – на 81, 95 и 96% соответственно;

– с началом эксперимента снижается по кадмию на 49,6% (11,9 ПДК), 78,2% (11,15 ПДК) и 61,9% (10,55 ПДК) и по формальдегиду на 56,9% (9,43 ПДК), 82% (8,43 ПДК) и 68,6% (8,43 ПДК) соответственно.

Следовательно, снижение концентрации кадмия и формальдегида наблюдается в зрелом компосте, причем наибольшее снижение концентрации кадмия наблюдаем в опыте № 3, формальдегида в опыте № 2.

Изучение изменения концентрации молибдена показало, что превышение концентрации перед началом эксперимента было зафиксировано в опыте № 1 (4,28 ПДК) и № 3 (5,14 ПДК). После стадии лаг-фазы происходит снижение концентрации на 88% (0,52 ПДК) и 83% (0,88 ПДК), но после мезофильного развития химический анализ показал, что концентрация повысилась на 1873% (10,18 ПДК) и 1496% (14,08 ПДК) соответственно. На последующих стадиях развития опыта № 1, термофильном и созревании, происходит плановое снижение концентрации вначале на 8% (9,4 ПДК), затем на 99% (0,104 ПДК), тогда как в опыте № 3 в термофильной фазе концентрация продолжает увеличиваться на 144% (34,4 ПДК) и на стадии созревания уменьшается на 99% (0,092 ПДК). Следовательно, концентрация молибдена в зрелом компосте снижается по отношению к полученным результатам перед экспериментом на 99,5 и 99,8% соответственно.

Таким образом, в присутствии активированного угля в стадии созревания концентрация молибдена в компостируемом субстрате существенно снижается.

Поведение меди и никеля в компостируемом субстрате было идентичным молибдену. Так, превышение ПДК перед началом

было зарегистрировано только в опыте № 2 (по меди 3,12 ПДК, по никелю 9,8 ПДК), далее в процессе развития происходит снижение концентрации, и в пробах зрелого компоста превышение ПДК для исследуемых элементов уже не обнаруживается.

По хлоридам превышение ПДК фиксируется перед началом эксперимента по всем вариантам опыта (1,97–4 ПДК), но в процессе созревания происходит снижение концентрации до уровня 0,8 ПДК.

Полученные результаты по химическому анализу компоста, произведенного из ТБО, указывают на то, что предлагаемый способ способствует снижению концентрации всех ксенобиотиков в зрелой фазе. Труднее удаляются кадмий, формальдегид и ртуть. Снижение содержания кадмия и формальдегида все же наблюдается в зрелом компосте, но превышает ПДК. И только остаточное содержание ртути лучше в термофильной зоне, чем в зрелом компосте, но также превышает ПДК.

По результатам химического анализа можно заключить, что трансформация ксенобиотиков в компостируемом субстрате во времени имеет общую закономерность, проявляющуюся в повышении концентрации в трех начальных стадиях развития (лаг, мезофильная, термофильная) и в резком снижении концентрации ксенобиотиков до 90–99% в стадии созревания.

Особенности трансформации микробиоценоза. Данные по изучению особенностей трансформации микробиоценоза в компостируемом субстрате «ТБОмо + активированный уголь» во времени в зависимости от количества используемого активированного угля представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, обсемененность общим микробным числом для компостируемых субстратов «ТБОмо + активированный уголь, 150 г/кг» и «ТБОмо + активированный уголь, 100 г/кг» почти для всех фаз развития находится на четвертом уровне разведения, тогда как для компостируемого субстрата «ТБО_{мо} + активированный уголь, 50 г/кг» – балансирует поочередно по фазам развития на границе трех уровней разведения: от четвертого до шестого.

При сравнении с контрольной группой [7] видим, что обсемененность по ОМЧ в опытной группе с седьмого уровня разведения снижается в последующих стадиях сначала до шестого (мезофильная и термофильная фаза развития), а затем – до пятого уровня разведения (стадия созревания).

Кроме того, следует отметить, что изменчивость по обсемененности для контрольной группы относительно высоковариабельна (45–124%), тогда как для опытной группы – наибольшая изменчи-

вость (141,4%) зафиксирована в опыте «моТБО + активированный уголь, 50 г/кг» на стадии созревания.

Как видно из табл. 2, наилучший по санитарному состоянию результат получен в третьем опыте, так как уже после стадии термофильного развития рост колоний колиморфных бактерий на плотном питательном агаре не был обнаружен. Для первого и второго опыта и контрольной группы [7] обнаружено присутствие колиморфных бактерий и после стадии созревания.

Следовательно, можно заключить, что добавление в компостируемый субстрат активированного угля в количестве 150 г/кг благоприятно, наравне с высокой температурой, влияет на процесс его обеззараживания.

Обсемененность актиномицетами отмечена в опыте № 2 только в фазе логарифмического роста. На других стадиях развития роста колоний актиномицетов на плотном питательном агаре не было зафиксировано.

Обсемененность микромицетами наблюдали на уровне третьего разведения в фазу лаг развития для опытов № 1 и 3, в опыте № 2 активность микромицетов на

уровне третьего разведения была зафиксирована только перед началом постановки опыта. При этом коэффициент вариации для исследуемых таксонов не превышал 38% в опыте № 1 и составил 141,4% в опыте № 2. В последующих стадиях развития компостируемого субстрата во всех вариантах опыта рост колоний на плотном питательном агаре отсутствовал.

При сравнении с контрольной группой [7] можно отметить, что обсемененность по микромицетам и актиномицетам в опытной группе уступала контрольной.

Заключение

Предлагаемый способ компостирования ТБО, собранных «навалом», способствует существенному снижению содержания исследуемых ксенобиотиков в зрелой фазе. Труднее удаляются кадмий, формальдегид и ртуть. Снижение содержания кадмия и формальдегида наблюдается в зрелом компосте, но превышает ПДК. И только остаточное содержание ртути лучше в термофильной зоне, чем в зрелом компосте, но также превышает ПДК.

Таблица 2

Трансформация микробиоценоза в компостируемом субстрате «ТБОмо + активированный уголь» во времени

Таксон	ТБО + активированный уголь					
	50 г/кг		100 г/кг		150 г/кг	
	$\bar{X} \pm m_{\bar{X}}$ КОЕ/г	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_{\bar{X}}$ КОЕ/г	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm m_{\bar{X}}$ КОЕ/г	$C_v, \%$
Начало эксперимента						
ОМЧ	$(1,7 \pm 0,8) \times 10^6$	16	$(1,3 \pm 0,7) \times 10^5$	27	$(1,4 \pm 0,8) \times 10^6$	41
Колиморфные бактерии	$(3,8 \pm 0,6) \times 10^5$	7	$(3,3 \pm 0,6) \times 10^4$	8	$(1,2 \pm 0,8) \times 10^5$	141
Актиномицеты	$(0,2 \pm 0,1) \times 10^4$	47	$(1,1 \pm 0,5) \times 10^3$	141	$(0,25 \pm 0,01) \times 10^3$	85
Микромицеты	$(1,1 \pm 0,4) \times 10^3$	39	$(1,9 \pm 0,2) \times 10^3$	11	$(1,8 \pm 0,3) \times 10^3$	16
Лаг фаза						
ОМЧ	$(7,3 \pm 1,3) \times 10^4$	19	$(1,5 \pm 5,9) \times 10^6$	39	$(5 \pm 2,5) \times 10^4$	51
Колиморфные бактерии	$(8,8 \pm 1,1) \times 10^4$	13	$(1,3 \pm 1,1) \times 10^4$	9	$(1,3 \pm 2,3) \times 10^4$	18
Актиномицеты	–	–	$(0,1 \pm 0,01) \times 10^3$	141	–	–
Микромицеты	$(0,9 \pm 0,6) \times 10^3$	67	–	–	$(0,2 \pm 0,1) \times 10^3$	141
Мезофильная фаза						
ОМЧ	$(0,65 \pm 0,07) \times 10^5$	11	$(7,4 \pm 0,85) \times 10^4$	11	$(3,9 \pm 0,8) \times 10^4$	98
Колиморфные бактерии	$(5,2 \pm 0,57) \times 10^3$	11	$(11,2 \pm 1,13) \times 10^4$	10	$(18 \pm 2,8) \times 10^3$	16
Термофильная фаза						
ОМЧ	$(13,7 \pm 1,27) \times 10^5$	9	$(18,4 \pm 2,26) \times 10^4$	12	$(6,2 \pm 1,9) \times 10^4$	31
Колиморфные бактерии	$(0,05 \pm 0,07) \times 10^3$	141	–	–	$(0,1 \pm 0,07) \times 10^3$	141
Фаза созревания						
ОМЧ	$(0,1 \pm 0,14) \times 10^4$	141	$(2,6 \pm 0,92) \times 10^4$	35	$(4,6 \pm 0,28) \times 10^5$	6
Колиморфные бактерии	$(0,2 \pm 0,28) \times 10^2$	141	$(0,15 \pm 0,21) \times 10^3$	141	–	–

Производство биоремедиационного компоста наиболее оптимально при использовании активированного угля в количестве 150 г/кг ТБО.

Список литературы

1. ГОСТ Р 55571-2013. Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105940> (дата обращения: 11.05.2018).
2. ТУ 9819-001-0165424850-2010. Вермикомпост (Биогумус). Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/415949765> (дата обращения: 11.05.2018).
3. ГОСТ Р 53218-2008. Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200073052> (дата обращения: 11.05.2018).
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005920> (дата обращения: 11.05.2018).
5. Вайсман Я.И. Компостирование твердых органических отходов производства и потребления: вермикомпостирование. – Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2010. – 556 с.
6. Байтелова А.И. Промышленная экология: учебное пособие. Ч. 1. / А.И. Байтелова, М.Ю. Гарицкая, О.В. Чекмарева. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2010. – 145 с.
7. Гарабаджиу А.В., Джамалова Г.А., Джолдыбаева С.М., Свирко Е.А. Изменчивость ксенобиотической активности и микробиоценоза в компостируемом композите «твердые бытовые отходы» // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24633> (дата обращения: 11.05.2018).