

А. М. КУЗЬМЕНКОВА

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
КОМПОСТОВ
ИЗ ТВЕРДЫХ
БЫТОВЫХ
ОТХОДОВ**

МОСКВА · 1976

А. М. Кузьменкова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
КОМПОСТОВ
ИЗ ТВЕРДЫХ
БЫТОВЫХ
ОТХОДОВ

МОСКВА
РОССЕЛЬХОЗИЗДАТ—1976

631.8

К89

~~ЖДК 631.8~~

К $\frac{40306-135}{М104(03)76}$ 52-76

© Россельхозиздат, 1976

В нашей стране успешно осуществляется грандиозная программа интенсификации сельскохозяйственного производства. При этом большое внимание уделяется повышению плодородия почвы.

Важным фактором улучшения структуры почвы и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур является применение органических удобрений.

В связи с интенсивным развитием пригородного овощеводства, особенно созданием теплично-парниковых хозяйств вокруг крупных городов, потребность в органических удобрениях и биотопливе возрастает с каждым годом.

Поэтому важное значение имеет применение различных компостов, торфа, сапропеля. Один из основных видов местных удобрений — органические отбросы в виде твердых бытовых отходов.

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» предложены промышленные методы переработки бытовых отходов путем строительства мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов, что открывает широкие перспективы для получения ценного органического удобрения (компоста).

СОСТАВ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Твердые бытовые отходы — один из видов хозяйственно-бытовых отбросов жизнедеятельности человека, образующихся в жилых массивах, на предприятиях общественного назначения, таких, как детские учреждения, учебные заведения, предприятия общественного питания, торговые предприятия, гостиницы, зрелищные предприятия и др.

Они содержат большое количество органического вещества высокой влажности и поэтому быстро гниют, выделяя неприятный запах.

Бытовые отбросы являются благоприятной средой для размножения мух, грызунов, а также содержат значительное количество болезнетворных микроорганизмов и яиц гельминтов. При несвоевременном удалении и обезвреживании бытового мусора нарушается санитарное состояние населенных мест и пригородных зон.

Наряду с вредными веществами бытовые отходы содержат и полезные составляющие. Органическое вещество, содержащееся в отходах, можно использовать в качестве удобрения и биотоплива в пригородном сельском хозяйстве.

Горючую часть мусора можно применять в виде топлива, а некоторую часть вторичного сырья — в промышленности.

Отбросы следует различать по их происхождению, виду и состоянию. По количеству из всех видов отбросов первое место занимают бытовые отходы и канализационный ил.

В среднем в год на одного жителя приходится от 0,15 до 0,25 т бытовых отходов.

Общая норма накопления бытовых отходов на одного человека в год по городам РСФСР составляет приблизительно 350 кг, непосредственно в жилых зданиях — около 230 кг.

Эти нормы, как и соотношения отдельных компонентов бытовых отходов, зависят от степени благоустройства зданий (наличие мусоропровода, водопровода, канализации, газа, системы отопления), вида топлива при местном отоплении, степени обеспеченности бумагой, культуры производства товаров и культуры торговли.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К основным показателям, характеризующим физические свойства бытовых отходов как сырья для компостирования и оценки качества компоста, относятся: их средняя плотность (объемный вес), морфологический и фракционный состав и влажность.

Объемный вес мусора — величина изменчивая, зависящая от многих факторов (морфологического состава, влажности, уплотнения при транспортировке и времени пребывания в таре).

Установлено, что основным критерием, определяющим величину объемного веса бытового мусора, является степень благоустройства домовладений и содержание в мусоре легких составляющих (бумага, картонные и консервные банки и т. д.). Так, по данным Академии коммунального хозяйства (АКХ), объемный вес бытового мусора из благоустроенных жилых домов с газом, центральным отоплением, водопроводом и канализацией для средней зоны РСФСР составляет $0,25 \text{ т/м}^3$, в то время как объемный вес мусора из неблагоустроенных жилых домов с местным отоплением достигает $0,5 \text{ т/м}^3$ и более.

Отечественный и зарубежный опыты показывают, что за последние 10—15 лет в составе мусора происходят существенные изменения, которые сказываются на его свойствах, в первую очередь — на объемном весе. Так, с увеличением содержания легких составляющих мусора, главным образом бумаги, его объемный вес непрерывно уменьшается.

Фракционный состав бытовых отходов или их линейная величина характеризуется размерностью в ос-

Морфологический состав бытовых отходов в городах Советского Союза
(% от общего веса)

Составляющие части отходов	Москва	Ленинград	Куйбышев	Горький	Рязань	Волгоград	Свердловск	Ростов-на-Дону	Саратов	Воронеж	Уфа	Харьков	Силламеэ	Тарту	Владивосток
Бумага	36,4	24,3	32,4	31,3	35,3	30	27,4	26,3	31,5	25,2	35,7	27	24,4	33,6	20
Пищевые отходы*	36,8	31,7	34,3	38,3	39,6	38,7	36,4	47,6	36,0	48,2	30,5	47	41,7	28,1	45,8
Дерево	2	2,5	4,3	2,8	2,9	2,6	3,8	2,9	5,0	—	—	2	2,2	2	0,2
Металл	3,4	5,2	1,8	2	2	2,7	4,8	1,7	3,3	2,3	2	1,8	1,4	3,3	1,4
Текстиль	5,7	3,5	6,7	4,4	7,8	3,5	5,4	1,7	5,2	—	—	3,4	4,2	3,8	3,4
Кости	1,3	3,7	1,9	2,4	2,3	2,5	1,7	1,7	2,6	—	—	1,3	2,7	1,8	1,9
Стекло	3,7	8,8	6,1	3,3	2,1	4,8	5,2	2,2	5,4	3,5	2,1	5,6	1,3	5,3	5,3
Кожа, резина	1,6	1,3	2,1	—	1,7	0,5	2,1	0,8	1,5	—	—	2,1	1,8	1,3	0,4
Камни	0,9	1,8	1,2	1,1	0,2	2,4	2,5	2,4	0,5	—	—	—	2,5	0,8	0,7
Пластмасса	0,8	1	0,8	—	—	—	1	0,6	0,4	—	—	—	0,3	0,7	—
Уголь, шлак	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	1,3
Отсев размером менее 15 мм	6,3	15,4	7,9	11,8	4,6	11,1	7,9	11,7	7,2	—	—	5,8	17,4	19,3	19,6
Прочее	1,1	0,8	0,5	2,6	1,5	1,2	1,2	0,6	1,4	20,8**	29,7**	2	0,1	—	—

* В большинстве обследованных городов проводится сбор пищевых отходов.

** Прочее + отсев частей менее 15 мм.

новном менее 150 мм, что составляет до 80% от сырого веса отходов.

Анализ данных о морфологическом составе отходов по городам СССР за 1967—1974 гг. показывает значительные колебания по большинству составляющих частей (табл.).

Однако можно отметить, что почти во всех городах основную долю отходов (до 94% общего веса) составляют бумажные и пищевые.

Мусор в Москве отличается высоким содержанием пищевых отходов (29,5—43,5% от веса сырого мусора), размер которых в основном менее 50 мм. Эти отходы практически не поддаются сбору.

Морфологический состав мусора значительно изменяется по сезонам года. Так, в осенний период содержание пищевых отходов значительно выше, чем в другие периоды, а стекла и металла, наоборот, ниже, что связано с рационом питания населения в этот период года — большим использованием овощей и фруктов при минимальном потреблении консервированных продуктов.

В последние годы изменяется содержание составляющих отходов — пищевых отходов, стекла, шлака и мелкого отсева, появляются новые компоненты в виде синтетических материалов.

Значительное влияние на качество компоста, получаемого из мусора, оказывает, несмотря на сравнительно небольшое содержание (2—4%), стекло. Частицы стекла крупностью более 3—5 мм являются причиной травматизма, создают неприятный блеск на удобряемых площадях газонов, цветочных посадок, в связи с чем разработка методов сепарации или измельчения стекла является первоочередной задачей.

Влажность мусора — один из основных показателей для проектирования оборудования по сбору и удалению мусора, сооружений для мусороперерабатывающих заводов и регулирования биохимических процессов при переработке мусора. Содержание влаги в мусоре зависит от количества органических частей в нем и служит косвенным показателем его морфологического и химического состава.

Влажность отходов колеблется в широких пределах (табл. 2).

Таблица 2

Влажность бытовых отходов по сезонам года

Город	Влажность, %	
	осень, зима	весна, лето
Москва	43—58	36—39
Ленинград	40—47	—
Харьков	56—65	47
Свердловск	37—60	27—56
Люберцы	53—65	38—57
Ростов-на-Дону	21—51,6	16—20
Рязань	45—48,5	46—57
Горький	41—60	39—48
Калининград	33,5—57	39—54
Волгоград	—	31,5—50
Алма-Ата	25,5—29,3	20,8
Силламяэ	62—66	38—46
Тарту	52—61	41—43
Кировакан	56,0—71,0	—
Саратов	45,0—60,0	32,0—53,5
Куйбышев	—	36,0—52,0

В осенний сезон она, как правило, наибольшая, так как в это время года в отходах присутствует большое количество овощей и фруктов повышенной влажности.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К основным химическим показателям, характеризующим мусор как материал для компостирования и получения биотоплива и органических удобрений, относятся: содержание органического вещества, общего азота, фосфора, калия, кальция, углерода и реакция среды (рН).

Мусор большинства городов в СССР отличается высоким содержанием органического вещества и основных питательных элементов для растений (NPK), осо-

бенно кальция. Поэтому мусор является ценным сырьем для компостирования и получения полноценного органического удобрения.

Химический состав бытового мусора по городам СССР приведен в таблице 3.

Наибольшее количество органического вещества в пересчете на абсолютно сухой вес наблюдается в мусоре в осенний период.

Мусор по содержанию основных удобрительных элементов близок к конскому навозу, а по количеству извести значительно превосходит его (3% против 0,5%). Это имеет большое значение для удобрения подзолистых почв. Удобрительная ценность компоста, получаемого из мусора, может быть повышена за счет выделения из него балластных частей (стекла, камней и других), количество которых, например, в мусоре г. Москвы составляет приблизительно 10% от его веса, и углеродсодержащих фракций размером более 150 мм (около 20%). При этом количество основных удобрительных элементов (NPK) повышается на 3—18%.

САНИТАРНЫЕ СВОЙСТВА

Бытовые отбросы содержат большое количество легко гнивающего органического вещества повышенной влажности, которое, разлагаясь, выделяет гнилостные запахи, жидкость и продукты неполного разложения, в результате чего происходит загрязнение окружающей среды — воздуха, воды, почвы дурнопахнущими, иногда и ядовитыми веществами.

При высыхании отбросов образуется пыль, в том числе и токсичная.

Органическое вещество, содержащееся в отбросах, делает их наиболее подходящей средой для размножения мух и грызунов.

Бытовые отбросы, особенно из неканализованных домовладений, как правило, бывают сильно загрязнены яйцами гельминтов, которые представляют эпидемиологическую опасность.

Очень велико эпидемиологическое значение домового мусора с точки зрения выживаемости в нем патогенных микроорганизмов.

Химический состав бытовых отходов
(% на сухое вещество)

Показатель	Ленинград	Горький	Рязань	Шелковский район Московской области	Волгоград	Куйбышев	Свердловск	Ростов-на-Дону	Алма-Ата	Москва	Саратов	Силламеэ	Тарту
Органическое вещество	60,0	68	70	68,5	62	75,0	49,8	47,5	30,7	72,7	68,2	70,8	76,5
Зольность	40	32	30	31,5	38	25,0	50,2	52,5	69,3	27,3	31,8	29,2	23,5
Общий азот	0,87	1	0,9	0,9	—	—	0,72	0,76	0,53	0,7	0,8	1,1	1
Общий фосфор	0,44	—	—	—	—	—	0,83	0,51	0,82	0,41	—	—	—
Общий калий	0,40	—	—	—	—	—	0,53	—	0,23	0,48	—	—	—
Углерод	30	33,4	35	39,7	35,9	37,0	28,8	—	21	36,4	34,0	35,4	38,2
Хлориды	0,7	—	—	—	—	—	—	0,51	—	0,6	—	—	—
pH	6,1	—	—	6,1	—	—	6,7	6,8	—	5,7	—	—	—
Общий кальций	2,8	—	—	—	—	—	2,2	—	—	3,8	3,0	2,5	—

Так, палочка брюшного тифа выживает в кухонных отбросах 4, а в комнатном смете — 42 дня, палочка паратифа соответственно — 24 и 107 дней, дизентерийная — 5 и 24 дня. Еще дольше сохраняется эпидемиологическая опасность бактерий туберкулеза в мокроте (120—200 дней) и палочка сибирской язвы в комнатном смете (до 80). Коли титр и протей составляет менее 0,000001 г.

Отбросы, кроме патогенных микроорганизмов, содержат также большое количество не опасной для здоровья человека сапрофитной микрофлоры, принимающей участие в разложении органического вещества (табл. 4).

Таблица 4

Содержание микроорганизмов в бытовом мусоре Москвы по сезонам года
(млн. на 1 г сухого вещества)

Сезон года	Бактерии		Актиномицеты	
	мезофилы	термофилы	мезофилы	термофилы
Весна	14983,0	0,550	0,051	0,0144
Лето	40077,0	2,389	1,750	0,0002
Осень	4219,5	0,360	0,070	0,0050
Зима	1567,0	0,006	—	0,0060
Среднегодовое	15211	0,826	0,6023	0,0064

Мусор содержит очень большое количество микроорганизмов, основная масса которых представляет бактериальную группу, а число мезофильных микроорганизмов колеблется от 1 до 40 млрд.

Содержание термофильных бактерий в миллион и более раз меньше, чем мезофильных.

Самое высокое содержание мезофильных микроорганизмов в мусоре Москвы наблюдается в летний период, содержание же термофильных микроорганизмов в основном не зависит от периода года.

Приведенные данные показывают высокую степень загрязнения мусора и его эпидемиологическую опас-

ность, особенно в летний период. Состав бытовых отходов на перспективу приведен в таблице 5.

Таблица 5

**Состав бытовых отходов из благоустроенных зданий
на перспективу
(% к общему весу)**

Показатель	Количество	Показатель	Количество
Бумага	50—60	Металл	3—4
Пищевые отбросы	25—30	Кости	0,5
Древесина	1—2	Камни	1
Текстиль	2—5	Стекло	3—5
Кожа, резина	1,0		
Пластмассы	3	Прочие части	10—20

Таким образом, использование в качестве удобрения сырых бытовых отходов недопустимо, так как они опасны в бактериологическом, гельминтологическом и энтомологическом отношении и перед внесением в почву должны пройти стадию обезвреживания при высоких температурах (более 50°).

ОСНОВЫ БИОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КОПОСТ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ

В основе биотермического разложения твердых бытовых отходов, как любого органического вещества, лежат процессы саморазогревания органических масс, которые происходят в результате жизнедеятельности микроорганизмов в аэробных условиях.

В процессе компостирования отбросов основное участие принимают гетеротрофные микроорганизмы и лишь на последней стадии начинают развиваться автотрофные, в частности, нитрифицирующие бактерии.

Если бытовые отбросы, имеющие оптимальную влажность, сложить в штабель, то в нем происходит разложение органического вещества, сопровождающееся процессом самонагревания с повышением температуры до 60—70°, так как выделяемая тепловая энергия не полностью используется микроорганизмами. Температура — основной параметр во время компостирования.

При разложении грамм-молекулы глюкозы в аэробных условиях выделяется 674 ккал тепла.

Аккумуляция тепла иногда может привести к самовозгоранию органической массы. Однако жизнедеятельность микроорганизмов при температуре выше 70° затухает, а при температуре выше 80° в основном происходят уже химические процессы.

Схематически основные фазы микробиологического процесса разложения органического вещества отбросов можно представить следующим образом. Сначала компостируемая масса имеет температуру окружающего воздуха. Затем с ростом микроорганизмов повышается и температура компоста. До 40° в нем усиленно размножаются мезофильные микроорганизмы (оптимальная температура их развития плюс 25—30°). Повышение температуры в компостируемой массе свыше 40° приводит к гибели мезофилов и размножению более теплолюбивых микробов — термофилов. Это наиболее важная стадия в процессе компостирования, так как микроорганизмы проявляют здесь наибольшую активность и окислительные процессы интенсифицируются.

Затем температура постепенно снижается, доходит до мезофильной стадии и процесс затухает.

Необходимо отметить, что чем больше (в пределах нормы) штабель компостируемой массы, тем ближе к его поверхности отмечаются высокие температуры.

Это происходит потому, что потеря тепла пропорциональна площади поверхности, в то время как теплообращение пропорционально объему.

Таким образом, чем больше штабель, имеющий меньшую площадь поверхности по отношению к объему, тем меньше потери тепла.

Высокие температуры, образующиеся в процессе компостирования, губительно действуют на болезнетворные микроорганизмы, яйца гельминтов, личинки, куколки мух и семена сорняков, содержащиеся в отбросах.

Разложение органического вещества в аэробных условиях не сопровождается выделением неприятных запахов.

При компостировании органического вещества существует определенная последовательность в разложении составляющих компонентов отходов микроорганизмами. В таблице 6 показаны потери этих компонентов в процессе минерализации. Например, из данных таблицы 6 видно, что сахар и крахмал используются микроорганизмами более активно, чем другие компоненты.

Наибольшая потеря водорастворимых веществ происходит за счет высокого потребления сахара. Липоиды или жиры тоже не очень стойки по отношению к разложению. Целлюлоза и гемицеллюлоза имеют среднюю стойкость, в то время как лигнин является наиболее стойким к распаду. Поэтому дерево и бумага, содержащие большое количество лигнина, медленно компостируются.

В результате разложения этих компонентов количество органических веществ уменьшается, происходит потеря сухого веса, часто доходящая до 50%.

Большинство органических азотистых веществ в составе растительных и животных остатков содержится в виде белковых соединений.

При компостировании сложные белковые соединения легко разлагаются и переходят в более простые соединения — сначала аминокислоты, конечная фаза расщепления которых сопровождается выделением аммиака. Аммиак окисляется сначала в азотистую кислоту, а затем в азотную. Процесс этот называется нитрификацией и вызывается особыми нитрифицирующими микроорганизмами. Нитраты обычно образуются через 100 дней и позже после начала компостирования. Большая часть синтезированного азота обнаружена в протеиновой форме.

Таким образом, биохимические процессы, происходящие при компостировании отходов, могут проходить в аэробных и анаэробных условиях. Последнее направление не отвечает необходимым условиям компостирования отходов и, следовательно, нежелательно. Поэтому технология процесса компостирования отходов должна предусматривать создание оптимальных условий, способствующих обезвреживанию отходов в

Таблица 6

Изменения в составе материала после аэробного компостирования

Тип компоста	Время компостирования	Общий вес, г,	Грубое фибровое волокно	Летучие твердые вещества	C	N	Липонды	Общий сахар	Крахмал	Протеин	Целлюлоза и гемицеллюлоза	Лигнин	Растворимые вещества в воде
Процент потери (—) или прибавления (+) в сухом весе от первоначальных величин													
Бытовой мусор	5—7 недель	—26	—37	—27	—21	—3	—75	—100	—100	—16	—60	—	—
Солома—пшеница	60 дней	—51	—	—	—	—21	—	—	—	—	—63	+5	—
Солома—овес	110 дней	—56	—	—	—	—24	—86	—	—	+197	—80	—14	—74
Солома—рожь	290 дней	—52	—	—	—	—	—88	—	—	+372	—78	—6	—27
Сорго (зерно)	210 дней	—51	—63	—	—	—16	—76	—	—	—	—	—24	—81
Стебли	70 дней	—51	—	—	—	—15	—91	—	—	+147	—84	+7	—83
Листья—сено	250 дней	—62	—	—	—	—38	—72	—	—	—32	—82	—55	—81

короткие сроки и получению из них высококачественного компоста.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БИОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ

К наиболее важным факторам, влияющим на ход процесса компостирования, относятся: влажность исходного материала, аэрация, физико-химический состав, реакция среды и др.

Влажность. Содержание влаги — один из наиболее важных показателей для создания оптимального компостирования. Значительное количество влаги в отбросах необходимо для максимальной деятельности микроорганизмов. Когда содержание влаги становится чрезмерным, то пустоты внутри органических масс заполняются водой, аэрация задерживается и начинается гниение отбросов. Оптимальная влажность для некоторых органических отбросов представлена в таблице 7.

Таблица 7

Оптимальная влажность твердых бытовых отходов

Влажность, %	Состав материала
45—50	Нечистоты
75—80	Навоз с соломой
60—70	Городские отходы, шлам (жидкие отбросы) и бумажные отбросы
47—60	Городские отходы (50% бумаги)
50—55	Городские отходы и 40% нечистот (25% бумаги)
60—65	Городские отходы (53% бумаги)
57—58	Городские отходы (33% бумаги)
50—60	Синтетические отходы (11—14% бумаги)
25	Птичьи отходы
60—70	Фруктовые отходы и шелушильный постав для риса или древесные опилки
50—56	Отходы мясные
65	Синтетические отходы (100% бумаги)

В общем, соответствующее содержание влаги для органических отходов составляет от 25 до 80%, что зависит от состава используемого материала.

Если материал пористый и содержит значительное количество твердоволокнистых частей, оптимальная влажность может быть увеличена. Но если материал содержит значительное количество бумаги и пищевых отходов, имеющих слабую структурную прочность, оптимальное содержание влаги должно быть снижено.

Таким образом, устанавливается тесная взаимосвязь между содержанием влаги и физической структурой органического отхода.

Как показали исследования, проведенные в штате Пенсильвания (США), требуемая величина влажности для компостирования смешанных отходов в значительной мере обуславливается содержанием бумаги. С увеличением содержания бумаги в отбросах повышается и оптимальная влажность.

Аэрация. Наличие достаточного количества кислорода является одним из главных условий жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Для начала биотермического процесса достаточно воздуха, содержащегося в массе отбросов перед компостированием. В центре штабеля (или емкости), куда приток воздуха извне затруднен, кислород быстро используется бактериями и повышение температуры в компостируемой массе приостанавливается. В поверхностных слоях штабеля, куда доступ воздуха обеспечен, повышению температуры массы препятствуют большие потери тепла.

В таком штабеле температура постепенно понижается, процессы превращения вещества замедляются и через два-три месяца прекращаются совсем, хотя внутри штабеля компостируемая масса еще далека до перехода в стабильное состояние.

Поэтому при биотермическом компостировании очень важно равномерное проникновение кислорода в отбросы.

Аэрация компостируемой массы может происходить за счет естественного воздухообмена и искусственной подачи воздуха.

Естественный воздухообмен применяется при простых методах компостирования.

В этом случае аэрация обеспечивается: оптимальным содержанием влаги в компостируемой массе; поддержа-

нием штабеля в рыхлом состоянии, что достигается его перелопачиванием; соответствующим укладыванием в штабеля мелких и крупных фракций отбросов; исключением уплотнения (запрещается проезд по сложенным в штабеля отбросам).

Однако не следует часто перелопачивать массу отбросов, так как при этом усиливается их теплоотдача, что приводит к пересыханию и снижению температуры.

Рекомендуется перелопачивать штабеля не чаще 1—2 раз за весь период компостирования.

Ускоренное компостирование отбросов в специальных установках возможно только при использовании принудительной аэрации с регулированием подачи воздуха в зависимости от температуры и влажности.

Отношение углерода к азоту. Большое влияние на процесс компостирования оказывают углерод и азотистые вещества, содержание которых в отбросах определяется отношением C : N.

Для роста и развития микроорганизмов требуется в несколько раз больше углерода, чем азота, так как углерод используется и как источник энергии и как питание, а азот необходим только для построения клеток.

Микроорганизмы в процессе жизнедеятельности используют в среднем около 30 частей углерода на каждую часть азота. Следовательно, для интенсивного хода компостирования желательно, чтобы отношение углерода к азоту в отбросах было 30 : 1 (при этом указанные вещества должны быть в доступных формах).

Если углерода в отбросах оказывается больше указанной величины, разложение органического вещества значительно замедляется и для интенсификации процесса необходимы минеральные формы азота. Примером может служить внесение в почву свежих отбросов или плохо разложившегося компоста. В этом случае наличие большого количества углеродсодержащих веществ способствует бурному развитию микроорганизмов, которым для построения клеток не будет хватать азота. Поэтому они вынуждены поглощать из почвы минеральные формы азота. Минеральный азот переходит в недоступную для растений форму, и наступает обеднение почвы азотом. Азот, поглощенный микроорганизмами, может использоваться растениями только после гибели микробов.

Когда в компостируемых отбросах углерода меньше, чем азота, микроорганизмы полностью поглощают углерод, а излишек азота выделяется в виде аммиака, что часто приводит к обеднению компоста азотом (табл. 8).

Таблица 8

Содержание азота и соотношение С: N в различных отходах

Материал	Азот, % (сухого веса)	С: N
Пищевые отходы	2,0—3,0	15
Твердые бытовые отходы	0,5—1,4	30—80
Осадок сточных вод (ил):		
активный	5,6	6
сброженный	1,9	16
Дерево	0,07	700
Бумага	0,2	170
Обрезки травы	2,2	20
Сорняки	2,0	19
Листья	0,5—1,0	40—80
Отходы от фруктов	1,5	35

Реакция среды (концентрация водородных ионов). Микроорганизмы, присутствующие в твердых бытовых отбросах, довольно чувствительны к реакции среды (рН). Нейтральной реакции среды соответствует рН = 7,07. Все значения ниже этой величины указывают на кислую реакцию среды, а выше — на щелочную.

Группы микроорганизмов по-разному реагируют на реакцию среды. Для одних микроорганизмов оптимальная величина рН находится в пределах 6—7,5 (бактерии), для развития других достаточно значения рН = 3,5—5,5 (плесневые грибы).

В начале процесса компостирования основное участие принимают бактерии. Поэтому важно, чтобы исходный материал имел реакцию среды, благоприятную для развития микроорганизмов. Несмотря на то, что твердые бытовые отбросы (за некоторым исключением)

имеют слабокислую или кислую реакцию среды, процесс компостирования развивается довольно интенсивно. Это связано со значительным образованием аммиака в начале процесса компостирования и усреднения кислой реакции среды отбросов.

Размер частиц. Измельчение отбросов перед компостированием способствует ускорению биохимических процессов, происходящих при их переработке, так как увеличивается площадь поверхности, материал становится более однородным для аэрации и легким для обработки. Кроме того, дробленые отбросы равномернее нагреваются, противостоят излишнему высушиванию поверхности штабеля (вследствие нарушения капиллярной системы) и предохраняют массу от потери тепла.

Если в недробленых отходах температура в летние месяцы достигает 60—70° за 48—72 ч, то в жалюзийном ферментаторе дробления компостируемая масса в тот же период разогревается до 65° за 26 ч.

Механическое дробление обеспечивает нагрев массы, имеющей положительную температуру, в среднем на 5°.

Степень предварительного измельчения на современных мусородробилках по легко гниющим компонентам дается в пределах 5—7. Наиболее желательный размер частиц для компостирования составляет 35—50 мм.

Дробление позволяет на 10—20% увеличить выход компоста с единицы веса перерабатываемых твердых отходов, что в 2—3 раза окупает затраты на эту операцию и позволяет значительно улучшить экономические показатели работы предприятия. Как следствие этого, снижается количество отходов при контрольной сепарации компоста с 25—35 до 10—15% от веса перерабатываемого бытового мусора, а также уменьшаются затраты по транспортированию на свалку или на сжигание этих не утилизируемых отходов.

ПРОСТЕЙШИЕ МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТА

Методы биотермической переработки твердых бытовых отходов можно разделить на несколько видов в зависимости от применяемого оборудования и технологической схемы.

Первый признак классификации методов — отсутствие или наличие установок (емкостей), в которых происходит компостирование. Различают компостирование в штабелях и в специальных установках.

Второй признак классификации — предварительная подготовка отходов.

Предварительная подготовка отходов в зависимости от ряда условий может включать магнитную сепарацию черных металлов, отделение вторичного сырья, просеивание для разделения отходов по крупности и составу, дробление. Практически применяются только некоторые из перечисленных операций. В соответствии с этим различают компостирование отходов без предварительной подготовки и с предварительной подготовкой.

На основании изложенного можно дать следующую классификацию методов компостирования отходов в штабелях:

- 1) компостирование без предварительной подготовки в штабелях — полевой метод;
- 2) компостирование без предварительной подготовки в штабелях с принудительной аэрацией — бескамерный метод;
- 3) компостирование с предварительным дроблением в штабелях.

При всех методах компостирования следует применять заключительную операцию (освобождение полученного компоста от осколков стекла, балласта и крупных частей), которую осуществляют путем просеивания или с помощью специальных механизмов.

ПОЛЕВОЕ КОМПСТИРОВАНИЕ

Полевое (открытое) компостирование отходов в штабелях проводят в естественных условиях на специально выделенных площадках — полях компостирования.

Поля компостирования наиболее целесообразно размещать на территории пригородных хозяйств.

Поле выбирается вблизи дорог. Оно должно быть ровным, иметь малый уклон, удаленным от жилых зданий не меньше чем на 300 м.

Горизонт грунтовых вод должен быть не ближе 1 м от поверхности земли.

Территория поля защищается от ливневых и талых вод канавками.

Штабеля располагают параллельными рядами с проездами между ними шириной 3 м.

Штабеля можно устраивать как наземными (на поверхности земли), так и в сочетании с неглубокими (до 0,5 м) рвами или траншеями (рис. 1).

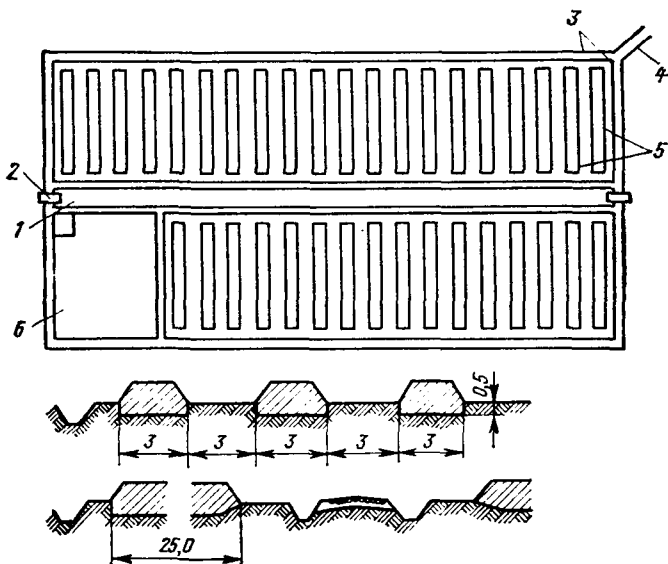


Рис. 1. Схема полей компостирования в штабелях с рвами:

1 — магистральная мощеная дорога; 2 — проездные мостики; 3 — отводная канава; 4 — выпуск воды; 5 — компостные штабеля; 6 — хозяйственный участок

В основание штабелей закладывают торф, перегной, созревший компост из ранее заложенных штабелей или другие влагоемкие материалы слоем 10—15 см. Этот слой предохраняет почву от загрязнения и способствует аэрации отбросов.

Компостные штабеля в поперечном сечении имеют форму трапеции следующих размеров: ширина по низу 3—4 м, по верху 2—3 м, высота 1,5—2 м (в северных районах страны до 2,5 м), длина 10—25 м.

Для доступа воздуха отбросы укладывают в штабеля без уплотнения на полную высоту с постепенным наращиванием в длину.

Для устранения запаха, сохранения тепла, предотвращения размножения мух поверхность штабелей покрывают слоем (15—20 см) земли или торфа.

В условиях средней полосы РСФСР при нормально протекающем процессе в штабелях весенне-летней закладки саморазогревание и разложение органического вещества начинается через 3—5 дней после оформления штабелей. Температура компостной массы повышается до 60—70°, удерживается на этом уровне 15—20 дней, а затем снижается до 40—45° и остается постоянной в течение двух—четырех месяцев. В последующий период компостирования температура в штабелях снижается до 30—35°.

В компостах осенне-зимней закладки саморазогревание органического вещества отходов начинается через 25—30 дней после оформления штабелей. В течение одного-полутора месяцев саморазогревание отходов возникает в отдельных очагах. Затем очаги смыкаются, и биотермический процесс охватывает всю компостную массу в штабеле. При этом температура, не превышающая 50—60°, удерживается в течение двух недель (при среднесуточной температуре наружного воздуха от —11 до —14°).

В следующие два-три месяца температура компостов колеблется в пределах 24—36°, а с наступлением лета устанавливается на уровне 32—36°. Через десять месяцев после оформления штабеля температура компостной массы снижается до 14—18° и удерживается на этом уровне до следующей весны.

Нормальное протекание биотермического процесса происходит при содержании в отбросах органического вещества не менее 25% (по сухому веществу) и влажности не ниже 35% и не выше 65% (оптимальная влажность мусора 50—55%).

Продолжительность компостирования отходов в среднем составляет около 18 месяцев для средней полосы. Территорию полей следует рассчитывать на 24 месяца с учетом полного цикла работ по закладке и созреванию отходов, разбору, просеву и вывозке компоста.

Биотермический процесс в компостах можно активизировать за счет перелопачивания, обогащения минеральными добавками и увлажнения (при сухих отбросах или высушении их в процессе переработки).

Работы Уральского института, Академии коммунального хозяйства показали, что в условиях Урала заметно ускоряли разложение органического вещества твердых бытовых отходов и повышали удобрительные свойства компоста следующие добавки: жидкий канализационный осадок — 42%, подсушенный канализационный осадок — 25% и фосфоритная мука — 2% к общему весу компостной массы.

При компостировании необходим постоянный контроль за процессом, происходящим в штабелях (измерение температуры, определение влажности и т. д.).

Процесс компостирования считается законченным, когда саморазогревание прекращается, стабилизируется температура, снижается выделение углекислого газа и содержание клетчатки, а отношение C : N становится ниже 20.

По окончании процесса компостирования компост отделяют от засоряющих примесей, таких, как стекло, камни, металл и другой балласт, для чего его пропускают через грохот с ячейками размером от 25 до 40 мм (в зависимости от вида почвы, удобряемой культуры, времени внесения компоста и т. д.).

Пропускать компост через грохот можно на механизированной установке для сортировки компоста УСК-1, разработанной Уральским институтом АКХ РСФСР.

Эксплуатационная производительность установки 18—20 т/ч готового компоста, потребление энергии 9,5 кВт·ч.

Выход компоста составляет 60—65% веса исходных отходов.

Площадь территории полей компостирования на 10 тыс. человек составляет около 2 га.

КОМПСТИРОВАНИЕ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИЕЙ

Переработку отходов по этому способу проводят при большей высоте слоя отходов (до 3—4 м) и с аэрацией, создаваемой специальными устройствами. Аэрация способствует сокращению сроков компостирования

мусора в аэробных условиях до 2—3 месяцев, а значительная высота штабелей дает возможность уменьшить территорию, необходимую для их размещения.

Территория должна иметь подъезды, удобные для движения транспорта во все времена года.

Наиболее целесообразно использовать естественные котлованы или участки, ограниченные с одной или двух сторон откосами.

Дну котлована придают уклон 0,01—0,03 для стока загрязненных вод на фильтрующие площадки или в отведенные каналы.

На дне котлована укладывают на расстоянии 2—2,5 м друг от друга горизонтальные вентиляционные каналы из досок.

В конце каждого канала устанавливают вентиляционный стояк из асбестоцементной трубы диаметром 150—200 мм, выходящий над поверхностью штабеля на 1—1,5 м (рис. 2).

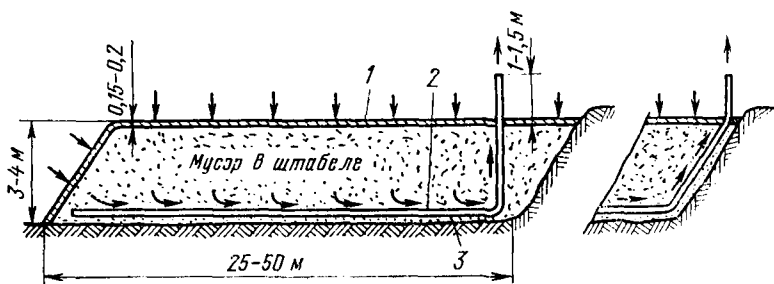


Рис. 2. Схема переработки отходов по бескамерному биотермическому методу:

1 — изолирующий слой; 2 — вентиляционная труба с вертикальным выпуском; 3 — подстилающий слой

После укладки деревянных каналов по дну котлована и установки вентиляционных стояков площадь между каналами засыпают крупными, не уплотняющимися частями отходов (банками, черепками и пр.) для создания воздушного дренажа.

В процессе биотермической переработки температура в отбросах поднимается до 60—70° и теплый воздух по дренажным каналам выходит в атмосферу. На его место через поверхность отходов поступает наружный воздух.

Воздухообмен происходит за счет разницы температур воздуха в толще отбросов и наружного воздуха. Скорость проникания воздуха в штабель 0,3 мм/с, или около 1 м/ч, а скорость движения газов в стояках 1—2 м/с.

Исследования показали, что в течение суток происходит восьмикратный воздухообмен, чем обеспечивается нормальный биотермический процесс. При загрузке в штабеля мусор не должен уплотняться, а загружать следует в возможно короткий срок (6—7 дней на один штабель). Движение автомобилей по загруженному штабелю допускается только в течение первого дня, когда мусор сохраняет упругость и не уплотняется. После увлажнения (в случае необходимости) и загрузки мусора до определенной высоты (3—4 м) штабель засыпают слоем земли (около 25 см).

Территория, необходимая для организации компостирования отбросов (при 3—4-кратной оборачиваемости площадок в год и слое отбросов в 3—4 м), должна составлять около 0,1 га на 1000 м³ отбросов в год.

При этом необходимо поддерживать оптимальную влажность мусора путем его увлажнения во время загрузки, так как вентиляция отбросов при высокой температуре вызывает их сильное высыхание.

Процесс биотермической переработки отбросов контролируют, измеряя температуру в различных точках компостируемой массы, определяя состав воздуха, выходящего из штабеля, а также проводят физико-химические и бактериологические анализы.

При биотермическом компостировании происходит слеживание отбросов и значительный отход крупных неразложившихся частей в процессе просеивания, а также создаются некоторые трудности для применения механизации выгрузки готового компоста.

КОМПСТИРОВАНИЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ДРОБЛЕНИЕМ

Для ускорения переработки отбросов в штабелях эффективны предварительное дробление и искусственная аэрация отбросов.

Исследования Академии коммунального хозяйства показали возможность такого компостирования отбросов в течение 20 дней.

Дробленый мусор благодаря большей однородности массы (по сравнению с недробленным мусором) имеет лучшие условия для аэрации и увлажнения и большую суммарную поверхность соприкосновения с кислородом воздуха, что способствует значительной активизации биохимических процессов.

Опыты были проведены с дроблеными отбросами, освобожденными от балласта (банок, камней, металла и пр.) путем отсеивания на грохоте с ячейками размером 40×40 мм, и с балластом.

Дробленую массу загружали в специально смонтированную емкость, состоящую из основания длиной 5 м и шириной 3,2 м, укрытый (отдельные секции в виде полукружностей радиусом 1,6 м) и утеплительного слоя (рис. 3).

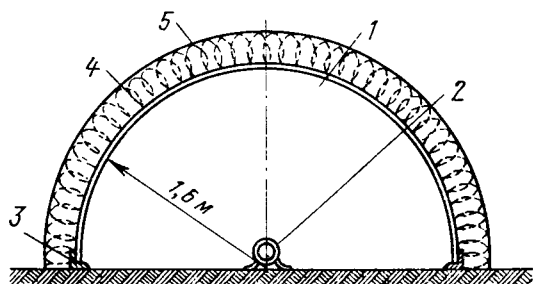


Рис. 3. Схема переработки отбросов с предварительным их дроблением:

1 — емкость для заполнения дробленым мусором; 2 — труба для подачи воздуха ($d = 154$ мм); 3 — основание из уголков ($L = 35 \times 35 \times 4$ мм); 4 — укрытие; 5 — утеплительный слой

Аэробные условия в процессе компостирования поддерживались путем подачи центральным вентилятором воздуха через уложенную по дну трубку диаметром 145 мм и длиной 3 м, присоединенную к выходному отверстию вентилятора при помощи перехода. На участке трубы длиной 2 м от нижнего торца имеются отверстия диаметром 15 мм, расположенные в шахматном порядке. Через эти отверстия равномерно поступает воздух в отбросы.

Вся емкость заполняется отбросами сверху при помощи транспортера.

Уменьшение теплопотерь наружных слоев отбросов в окружающую среду (одно из условий ускоренного компостирования отбросов) достигалось за счет укрытия всей компостируемой массы синтетической пленкой.

С первых же дней загрузки в отбросах происходило интенсивное разложение органического вещества, которое сопровождалось повышением температуры на вторые сутки до 55°, а на шестые и восьмые — до 65—70°.

Аэробные условия в отбросах, освобожденных от балласта, поддерживались искусственно. В отбросах же с балластом аэрация осуществлялась естественным путем (за счет разницы температур наружного воздуха и отбросов). Готовый компост через 18—20 дней представлял однородную влажную массу темно-серого цвета с запахом перепревшего навоза.

При разборке штабеля в нем можно было различить три слоя. Верхний слой толщиной 30—40 см, сухой, рыхлый, с запахом перепревшей земли, серовато-белого цвета, сплошь пронизан мицелием грибов и актиномицетов. Средний слой толщиной 80—100 см, серовато-коричневого цвета, более плотный и влажный, чем вышележащий. Нижний слой толщиной 15—20 см образует белую подстилку (из-за наличия актиномицетов) по дну емкости.

Выход компоста при переработке с балластом — 51—64% (после просеивания), при компостировании отсортированных отходов с предварительным просеиванием — 80—84%.

В процессе компостирования отбросов потери органического вещества составили 14,0—27,7%.

Компостирование отбросов с предварительным дроблением наиболее приемлемо для южных городов.

КОМПСТИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ ЛИСТЫ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

Опадающие древесные листья, срезанная трава, входящие в состав твердых бытовых отходов, могут быть подвергнуты компостированию с получением ценного органического удобрения — садового компоста.

Химический состав отходов, используемых для приготовления садового компоста, приведен в таблице 9.

Таблица 9

Содержание питательных элементов в отходах, используемых в садовых компостах

Наименование	Содержание в процентах на сухое вещество		
	азота	фосфора	калия
Кровяная мука	10—14	1—5	—
Костяная мука	2,0	23	—
Отходы кофе	2,1	0,3	0,3
Хлопковая мука	6,6	2,0—3,0	1,0—2,0
Яичная скорлупа	1,2	0,4	0,1
Рыбные отжимки	2,0—7,5	1,5—6,0	—
Кухонные отходы	2,0—2,9	1,1—1,3	0,8—2,0
Срезанная трава (зеленая)	2,4	—	—
Сорняки (зеленые)	2,0	1,1	2,0
Листья (свежеопавшие)	0,5—1,0	0,1—0,2	0,4—0,7
Навоз (сухой) конский	1,2	1,0	1,6
Навоз крупного рогатого скота	2,0	1,0	2,0
Навоз птичий	5,0	1,9	1,2
Мясные отжимки	5—7	—	—
Болотное сено	1,1	0,3	0,8
Морские водоросли (сухие)	1,7	0,8	4,9
Сброженный ил	2,0	1,5	0,2
Древесная зола (невыщелоченная)	—	1,0—2,0	4,0—10,0

Ежегодно питательные вещества, выносимые из почвы садов и парков (NPK и др.), не восполняются или восполняются в незначительных количествах, так как в настоящее время при осенней уборке садов и парков опавшие листья сгребают, складывают в кучи, а затем грузят на автомашины и вывозят на свалки. При этом только незначительная часть питательных веществ листья возвращается в почву.

Полноценное удобрение, которое ежегодно получают при компостировании растительных остатков зеленых насаждений, улучшает физико-химические свойства почвы.

По ориентировочным расчетам, количество опавшей листвы на 1 га зеленых насаждений составляет около 15 м³, а готовой компостной массы — примерно 40% первоначального объема, т. е. около 6 м³. Таким образом, при компостировании опавших листьев получается около 1 т удобрений с 1 га.

Площадка, выбранная для закладки компоста из листьев, должна быть окружена валиком из земли для предохранения штабеля от затопления дождевой и полой водой.

При разложении органического вещества образуются жидкие и газообразные продукты, а также некоторые растворимые в воде соли, которые не должны вымываться из компоста. Поэтому в низких местах, затопляемых водой, компостные штабеля закладывать нельзя. Ширина штабеля не более 2 м, высота 1—1,5 м.

В приусадебных садах компостирование удобнее проводить в траншеях. Примерный размер траншеи: глубина 50—75 см, ширина 1,5 м, а длина произвольная. Чтобы в траншею не попадала вода с соседнего участка, вокруг нее укладывают земляной валик.

Хотя количественный и качественный состав древесно-кустарникового опада зависит от характера насаждений, их породного состава, возраста, полноты, а также от почвенных и климатических условий, можно сказать, что почти любая листва при разложении образует много свободных кислот, для нейтрализации которых необходимо добавлять известь (2—3% от веса компостируемого материала). Вместо извести можно применять золу (древесную или торфяную).

Поскольку древесные листья в основном содержат много клетчатки и мало азота, разлагаются довольно медленно, то для интенсификации биотермического процесса в компостные штабеля полезно добавлять отбросы, богатые азотом, навозную жижу, куриный помет и др. Для этого можно использовать и азотные удобрения, лучше сернокислый аммоний (сульфат аммония) в количестве 30—35 кг на 1 т сухого вещества.

Для повышения удобрительной ценности компоста к

исходному материалу целесообразно добавить фосфорное удобрение — 1—2% суперфосфата или 2—4% фосфоритной или костной муки от веса органического вещества.

Для ускорения и более равномерного созревания компоста летом его следует 1—2 раза перелопатить.

Компостный штабель должен быть все время влажным. Если компостируемый материал сухой, то его при укладке в штабеля надо постепенно увлажнять навозной жижей, разбавленными фекалиями или водой. Летом в жаркую и сухую погоду компостные штабеля иногда приходится поливать. Компост бывает готов, когда большая часть материала становится однородной, приобретает темный цвет и хорошо рассыпается.

Интересный опыт компостирования садовых отходов имеется в США, где введено положение, запрещающее сжигать листву в городах.

В компостный штабель материал укладывается пластами: два слоя (по 20 см) углеродсодержащих и слой (10 см) азотсодержащих веществ. Общая высота штабеля составляет 1,5 м, ширина 2,0 м, длина 2,5 м и более.

Такая укладка штабеля обеспечивает оптимальное соотношение C:N.

Углеродсодержащий материал включает листья, сосновые иглы, сено, солому, опилки, стружку, бумагу, разрезанные стебли кукурузы, азотсодержащий — срезанную зеленую траву, зеленые сорняки, отходы овощей, мусор, сброженный ил, навоз и почву.

Наиболее оптимальное соотношение компостируемой смеси получается при использовании следующих материалов: углеродсодержащих слоев — листьев, древесных опилок, сухой травы и бумаги; азотсодержащих слоев — срезанную зеленую траву, зеленые сорняки и дерн.

Компост бывает готов примерно через восемь месяцев; при этом исходный материал не измельчают и не перемешивают.

В случае приготовления компоста из листьев в больших масштабах штабеля делают высотой 2,4 м, шириной 3,0 м и произвольной длины.

Опадающая листва, собранная вакуумными машинами, доставляется городскими самосвалами на цент-

ральную станцию компостирования, где она сваливается прямой линией, а погрузчик фронтальной навески придает штабелю необходимую форму. Инородный материал, который попадает в листву, отделяется и затем используется для выравнивания ландшафта.

Для ускорения процесса компостирования листвы в США проводят опыты с закладкой перфорированных труб для подачи воздуха.

Садовый компост можно приготовить за две недели по методу Беркли. При этом используется дробленая смесь отходов, имеющая соотношение: две или три части углеродсодержащих материалов к одной части азотсодержащих; количество бумаги в смеси не должно быть более 10%.

Типичная смесь состоит из листьев, срезанной травы и сухого навоза.

Листья сохраняются со времени листопада, а трава поступает все время по мере ее роста и скашивания.

Штабель держат во влажном состоянии в течение всего периода компостирования (около двух недель).

На второй или третий день штабель обычно нагревается. Если этого не происходит, значит соотношение С: N слишком высокое для разложения. Его можно снизить, добавляя азотсодержащий источник, такой, как кровяная мука.

Штабель необходимо тщательно перемешать на четвертый день закладки, а также на седьмой и десятый. Во время перемешивания или аэрации штабель постепенно остывает.

К концу четырнадцатого дня компост обычно бывает готов к употреблению. Компоненты смеси на вид рыхлые, грубые, темно-коричневого цвета.

Если требуется гумус более высокого качества, то его можно просеять или подвергнуть дальнейшему компостированию.

Поскольку разложение листьев задерживается из-за медленного распада целлюлозы, которая является основной их составной частью, в США были проведены специальные исследования для выявления возможности интенсификации процесса компостирования. В опытах были использованы специальные грибки, ускоряющие процесс разложения целлюлозы. Грибки выращивались в жидкой среде, содержащей бумажный субстрат, как

единственный источник углерода. Бумага имела голубой цвет, ковалентно действующий через гидроксильную группу на целлюлозу.

При гидролитическом действии грибной целлюлозы выделялась краска, количество которой затем определялось спектрофотометрическим путем. Это использовали для определения разницы в активности распада целлюлозы в нескольких штаммах.

Определение выделяющейся краски очень важно в исследовании микроорганизмов, обладающих высокой целлюлозотической активностью.

Кроме указанных исследований, в 1971—1972 гг. было изучено разложение целлюлозы во время компостирования листьев в штабелях (1,5×3,0×21,0 м) с различными добавками. Полученные результаты приведены в таблице 10, из которой видно, что те азотсодержащие

Таблица 10

Потеря целлюлозы во время компостирования

Компоненты	Первоначальное отношение С:N	Первоначальное количество целлюлозы, %	Потеря целлюлозы через 200 дней, %
Листья	41	26	31
Листья, костная мука (20 кг)	35	26	32
Листья, сульфат аммония (20 кг)	41	26	54
Листья, сброженный ил (180 кг)	36	24	41
Листья, грибные остатки (280 кг)	36	28	46
Листья, бумажное фиброволокно (360 кг)	45	32	23
Листья, грибные остатки (360 кг), бумажное волокно (360 кг)	37	32	23
Листья, грибные остатки (180 кг), сброженный ил (100 кг)	36	26	36
Листья, бумажное волокно (360 кг), сброженный ил (300 кг)	38	28	28

Примечание. Добавки к листьям даны в килограммах на 1680 кг сухого веса листьев.

источники, которые имели больше растворимых форм азота, были наиболее эффективными по отношению к разложению целлюлозы.

Полевое компостирование отходов широко распространено в ГДР, ЧССР, ПНР, Франции, Нидерландах, Швейцарии, ФРГ.

Институт коммунального хозяйства ГДР применяет свои научные разработки на полях компостирования Эрфурта. На сооружениях, перерабатывающих бытовые отходы, за сезон (с середины марта до середины декабря) компостируется 3000—5000 т отходов. Общий срок компостирования составляет три месяца, площадь полей компостирования — 3,5 га.

Отбросы, выгруженные из мусоровозов, поливают при помощи специальной машины сырым канализационным осадком. Через три дня грейфером на автоходу формируют штабель высотой 1 м, шириной 2—3 м и длиной 50 м. Отходы выдерживаются в течение 30 дней (первый цикл), после чего материал штабелей перелопачивают тем же грейфером, создавая новые штабеля (второй цикл). Через 30 дней операция повторяется. Еще через 30 дней, по окончании третьего цикла, компостирование заканчивается и затем требуется лишь механическая сортировка.

Температура в штабелях поднимается до 60—70°.

При недостаточной влажности мусора на 1000 т отходов добавляют 400—500 м³ воды и канализационного осадка (причем осадок вносят лишь в первом цикле).

Чтобы ветер не заносил бумагу, пластмассовые пленки и другие легкие компоненты отходов на соседние сельскохозяйственные участки, вокруг полей компостирования создают две параллельные ветрозащитные лесополосы.

Все основные операции по компостированию отходов механизированы.

В Бранденбурге в год вывозится около 50 000 т бытовых отходов, которые компостируются в районе полей фильтрации городских сточных вод.

В небольшом поселке Вассмансдорф (по соседству с канализационными очистными сооружениями) размещено отделение компостирования по очистке г. Берлина площадью 2 га. Компостирование осуществляется в штабелях высотой 2—3 м.

При компостировании влажность регулируется путем добавления сапропеля. Наиболее благоприятное следующее соотношение смеси по объему: 75% бытовых отходов и 25% сапропеля. При этом соотношении начальная влажность материала составляет около 40%, после окончания процесса разложения она понижается примерно до 20%.

Процесс компостирования длится 2—3 месяца.

В ЧССР в год производится около 600 000 т компоста.

Поскольку отбросы содержат мало органического вещества (11,0—18,0%) вследствие большого наличия в нем отходов угля, который является основным видом топлива, то при компостировании бытовые отбросы смешивают с отбросами сахарного производства и консервирования фруктов, овощей, отходами боен, с канализационным осадком, торфом (10—50% от общей массы). Процесс компостирования длится в среднем 40 дней и имеет четыре цикла: укладка в штабеля, перелопачивание (2 раза), механическая сортировка. Продолжительность циклов короче, чем при полевом компостировании в ГДР. Второе перелопачивание, например, проводят через неделю после первого.

Штабеля выкладывают шириной 8—10 м, высотой 1,5—3 м. Во избежание потерь аммиака сверху их покрывают слоем торфа. Масса разогревается до 50—60° и охлаждается на сороковой день до 25—30°. Кроме торфа, годовой расход которого составляет около 20 000 т, к компостируемому материалу в отдельные сезоны добавляют (% от веса штабеля): отходы бурого угля — 20, производства извести — 15, сырой канализационный осадок — в среднем 10, аммиачную воду — 5. В процессе созревания компостируемый материал за счет сушки уменьшается в весе на 20%.

В ЧССР строят подобные заводы с общей производительностью около 400 000 т компоста в год.

В ПНР получают около 4000 т компостов в год. Отбросы укладывают штабелями в три ряда (ширина каждого ряда около 2 м) с расстоянием между ними 2,5 м. Затем добавляют фекалий, бульдозер с двух сторон выравнивает мусор и формирует штабель высотой около 1,5 м.

В одном штабеле помещается около 700 м³ отбросов,

а всего на заводе ежегодно закладывается 16 тыс. м³ мусора. Фекалий вносят в количестве 3 м³ на 5 м³ отбросов. При этом исходная влажность составляет 60—65%, что считается оптимальным для процесса ферментации и получения готового компоста с влажностью не менее 30%.

Для интенсификации компостирования рекомендуется применять осадок сточных вод.

За время компостирования (около 6 месяцев) отбросы дважды перелопачиваются погрузчиком с перекидывающим устройством.

Температура в штабелях в течение четырех недель удерживается на уровне 60—70°, затем постепенно снижается. Такая высокая температура обеспечивает значительный санитарный эффект компоста. Готовый компост поступает на грохоты с ячейками 25 и 12 мм. Компост с размером частиц менее 12 мм разгружают в штабель и выдают потребителю по мере надобности.

Для обогащения готового компоста в него вносят различные добавки: торф от 10 до 20% от веса отходов (торф транспортируется на расстояние 60 км), отходы мясокомбината и молочного завода.

Выход готового компоста составляет примерно 60% веса отходов.

Для компостирования бытовых отходов в г. Люблине в 1965 г. начал работать компостный завод, общая площадь которого составляет 4 га, а продажная цена 1 т компоста — 6 руб.

В г. Люблине отбросы загружают в один штабель шириной 2—2,5 м (из-за неровности поверхности штабельного поля и влажности грунта невозможно закладывать одновременно 2—3 штабеля). В середине штабеля делают канавку глубиной 0,5 м, в которую вносят несброженный осадок сточных вод с расположенной вблизи завода станции их очистки. Осадок используют в количестве 25% от веса мусора.

Затем добавляют торф в количестве 15—20% от общего веса мусора, которым прикрывают штабеля (без перемешивания отбросов с осадком).

Два раза в год штабеля перелопачивают: первый раз — через 4—5 дней после закладки штабеля, второй раз — через 3—4 недели после первого перелопачивания. Температура в штабелях повышается до 70°. Если

температура не поднимается, в отбросы добавляют воду (если материал сухой) или проводят третье перелопачивание (если материал очень влажный).

По истечении двух месяцев с момента закладки штабеля температура начинает падать. После шести месяцев компост считается готовым, но выгружают его только через год в связи с тяжелыми местными условиями. Затем компост освобождают от балласта.

Во Франции ежегодно компостируется около 1 000 000 т бытовых отходов. Из этого количества получается 0,7—0,8 млн. т компоста в год (с учетом добавок канализационного осадка).

Смесь (2:1) бытовых отходов и обезвоженного (до влажности 70%) канализационного осадка по сравнению с обычным компостом вдвое богаче органическим веществом и имеет более высокое содержание азота и фосфора.

Установлено, что компостирование с выдерживанием в течение 10 дней при температуре 60—65° полностью обеспечивает гибель болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и семян сорняков.

Стоимость компоста в зависимости от сорта составляет 1—10 руб. за 1 т.

Для переработки отбросов перед полевым компостированием широко применяют дробилку молоткового типа французской фирмы «Гондар». На базе таких дробилок действуют 24 установки полевого компостирования во Франции и 4 — в ФРГ.

Интересным, с точки зрения технологической схемы, представляется метод «Биотенк», который применяется во Франции и Италии.

Бытовые отходы поступают в приемный бункер, рассчитанный не более чем на трехдневный запас (обычно на 0,5—1-й день).

Грейферный кран подает отбросы в барабанное сито, в котором они делятся на три фракции.

Фракции крупнее 150 мм вывозятся на свалку; фракции от 25 до 150 мм через магнитный сепаратор подаются в две параллельно работающие молотковые дробилки; фракции до 25 мм, минуя дробилки, соединяются с дроблеными отходами. Площадка для компостирования представляет бетонное кольцо, ширина и диаметр которого рассчитываются в соответствии с количеством

мусора, временем компостирования и складирования компоста.

Бетонное кольцо имеет полуметровые бортики, а вдоль его оси проходит аэрационный трубопровод. По бортикам уложены рельсы, на которых передвигается легкое шатровое укрытие — биотенк, состоящий из двух частей (скорлуп) на сцепке.

Дробленые отбросы подаются стационарным транспортером в центр бетонного кольца и пересыпаются на передвижной транспортер.

Один конец этого транспортера, находящийся в центре кольца, зафиксирован, а другой движется вместе с укрытием.

Первая по ходу часть укрытия (валообразователь) имеет несколько меньшее поперечное сечение, чем вторая (бродильная), и закрыта спереди торцевой стенкой под углом естественного откоса дробленого мусора.

Подвижной транспортер подает дробленую массу в приемник валообразователя, где имеется увлажняющее устройство. По мере наполнения скорлупы масса медленно передвигается с помощью электролебедки или электрогидравлического привода.

Первая скорлупа (валообразователь) формирует вал в виде полукруга радиусом 7 м, что обеспечивает равномерную аэрацию вала через центральный трубопровод. После валообразователя вал укрывается второй (бродильной) скорлупой. Через 18 дней из открытого конца бродильной скорлупы выходит вал готового компоста, который может оставаться на площадке для реализации.

МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТА

В основу механизированных методов приготовления компоста заложены различные приемы ускорения биотермического процесса переработки отходов, из которых основными являются следующие:

- 1) создание оптимальных условий для развития микроорганизмов (аэрация, температура, влажность);
- 2) физико-химическая подготовка питательной среды для микрофлоры (дробление и перемешивание отходов);

3) выбор и сознательное введение в процесс наиболее активных и производительных микроорганизмов (бактериальные закваски).

В процессе ускоренного механизированного компостирования осуществляется переработка лишь легко гниющей части отходов, практически — пищевых отходов. В этот период разложение органического вещества происходит в основном за счет жизнедеятельности аммонифицирующих микроорганизмов.

Перспективны методы компостирования с производственным циклом 1—6 дней.

В нашей стране ускоренные промышленные методы обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов в компост осуществляют на мусороперерабатывающих заводах в Ленинграде и Москве. Подобные заводы проектируются и строятся в Ташкенте, Саратове, Куйбышеве, Тольятти, Минске и в других городах.

Площадь Ленинградского завода составляет 33 га, в том числе производственного комплекса и технологического склада — 7 га, складов готовой продукции и площадок дозревания компоста — 26 га.

Производительность завода составляет 400 000 тыс. т; выход компоста — 80 тыс. т.

В состав завода входят следующие основные производственные корпуса: приемно-сортировочный, промежуточный, главный и отделение контрольной сортировки.

Технологическая схема завода представлена на рис. 4.

Биотермическая переработка на Ленинградском заводе осуществляется в горизонтальных вращающихся барабанах диаметром 4 м и длиной 60 м, в которые можно подавать отходы без предварительного их дробления.

Компостируемая масса саморазогревается до +50°, что приводит к обезвреживанию отходов. Длительность переработки составляет трое суток.

Московский мусороперерабатывающий завод является комплексным, в его состав входит мусоросжигательная установка для сжигания некомпостируемых отходов.

Схема технологической линии Московского завода представлена на рис. 5.

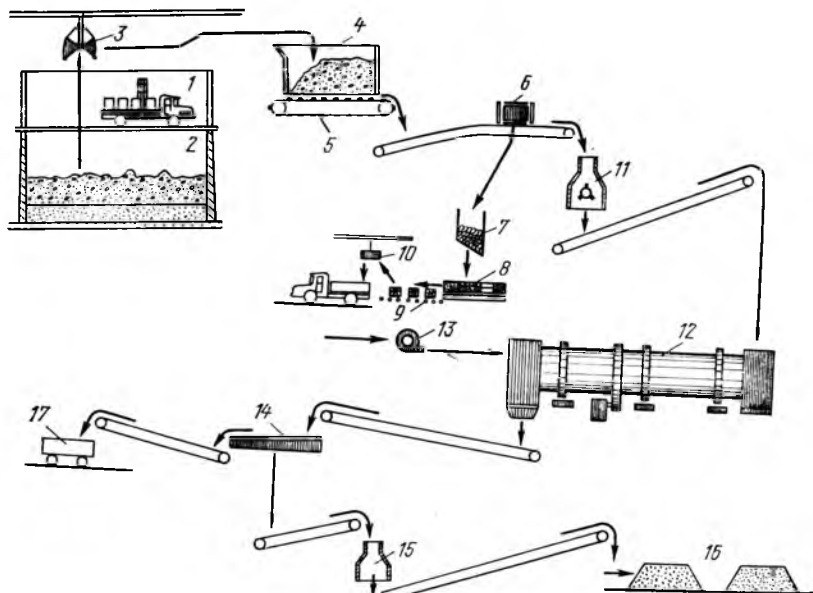


Рис. 4. Технологическая схема Ленинградского завода:
 1 — контейнерный мусоровоз; 2 — бункер-накопитель с поперечными разгрузочными мостами; 3 — грейфер с двухчелюстным ковшом; 4 — дозирующий бункер; 5 — пластинчатый питатель; 6 — подвесной ленточный сепаратор; 7 — бункер металлолома; 8 — пресс; 9 — рольганг; 10 — магнитная шайба для погрузки пакетов металлолома; 11 — мусородробилка; 12 — горизонтальный вращающийся барабан (ферментатор); 13 — вентилятор; 14 — контрольный грохот; 15 — измельчитель компоста; 16 — склад компоста; 17 — двухосный прицеп для отходов с грохота

Бытовые отходы, доставляемые на завод мусоровозами, поступают в приемный бункер, который оборудован пластинчатым питателем, подающим мусор на переработку. На выходе питателя из бункера установлены ножи, разрезающие громоздкие части. На барабанном грохоте отделяются фракции отбросов крупнее 250 мм, направляемые на сжигание. Прошедший через грохот мусор освобождается от черного металла при помощи магнитного сепаратора. Металл пакетируется прессом. Освобожденные от металла отбросы дробятся в двух параллельно работающих двухроторных дробилках.

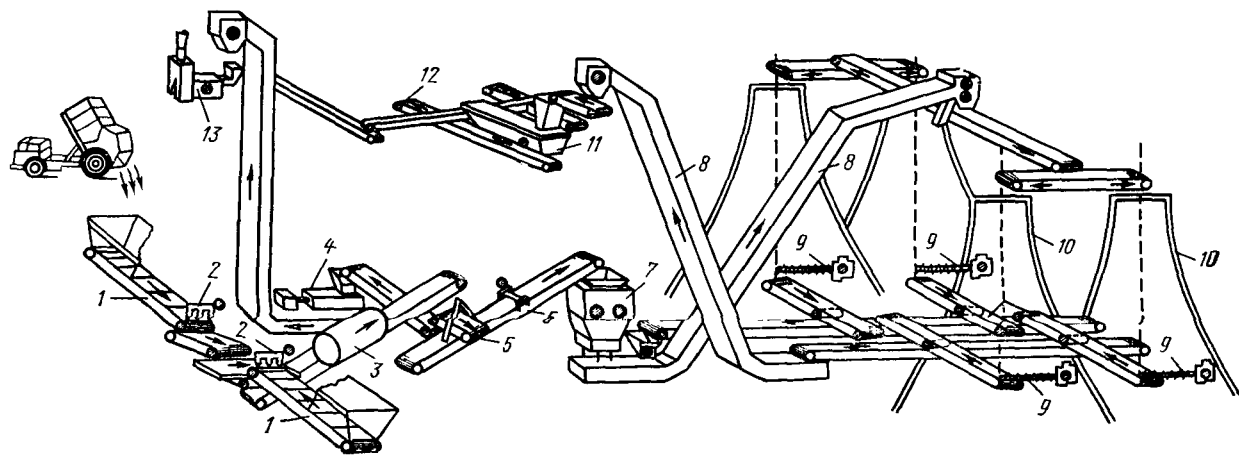


Рис. 5. Схема технологической линии Московского мусороперерабатывающего завода:

- 1 — пластинчатый питатель приемного бункера; 2 — пожи; 3 — барабанный грохот; 4 — пакетирующий пресс; 5 — магнитный сепаратор; 6 — детектор цветного металла; 7 — дробилка; 8 — ковшовый элеватор; 9 — шнек; 10 — коническая башня; 11 — грохот; 12 — выдача компоста; 13 — мусоросжигательная установка

Отбросы, раздробленные до фракции 10—15 мм, подаются на переработку ковшовыми элеваторами в восемь конических неподвижных биобашен высотой 10 м, общий вид которых представлен.

Биобашни, в которых компостируемая масса сама разогревается до $+60^{\circ}$, сгруппированы по четыре в каждой линии.

Срок компостирования отбросов в биобашнях составляет 4—5 суток.

Сутки мусор должен находиться в одной биобашне, затем перегружаться в другую биобашню, так как за сутки он слеживается и уплотняется, что затрудняет аэрацию. Перегрузка мусора способствует его перемешиванию. Компостируемая масса извлекается из-под десятиметрового слоя с помощью подрезки ходящим по радиусу коническим шнеком. Из четвертой башни, последней в технологической цепи, продукт подается на грохот. Частицы массы мельче 15 мм и прошедшие через грохот составляют компост, а более крупные поступают на сжигание.

В настоящее время завод достиг производительности 500 тыс. м³ в год, или 100 тыс. т в год, и производит около 40 тыс. т в год компоста.

Санитарно-гигиенические исследования показали, что компост, полученный на этих заводах, по своим свойствам может быть приравнен к слабо загрязненной почве: коли-титр 0,1—1,0, дееспособные яйца гельминтов отсутствуют, материал не привлекателен для мух и грызунов.

Компост, полученный на мусороперерабатывающих заводах, по своему составу и свойствам должен отвечать «Временным техническим условиям на органические удобрения (компост)», разработанным Академией коммунального хозяйства (табл. 11).

Заводы по изготовлению компоста из твердых бытовых отходов за рубежом начали строить в 50-е годы. В настоящее время их насчитывается свыше 400. В течение года они обезвреживают около 20 млн. т бытовых отходов, из которых вырабатывается 12 млн. т компоста.

Зарубежными фирмами построено более двух десятков типов ферментаторов (установок для биотермического процесса), перерабатывающих бытовые отбросы

Таблица 11

Основные показатели свойств бытового мусора и органического удобрения

Показатели	Бытовой мусор	Органическое удобрение (компост)	Примечание
Влажность не более, % рН не менее	60—65 5	50—55 6,5—7,0	Материал должен быть сыпучим
Органическое вещество не менее, %	25	20	На сухое вещество
Отношение С : N в пределах не более	25—30 —	— 20—25	
Содержание питательных веществ без обогащения минеральными добавками, %			
Азот (N) не менее	—	1,0	На сухое вещество
Фосфор (P ₂ O ₅) не менее	—	0,6	То же
Калий (K ₂ O) не менее	—	0,5	—
Крупность частиц (мм) не более:	—	50	
для цветочных, овощных культур не более	—	25	
Содержание стекла — общее количество, %	—	1	По общему весу
Крупность частиц не более, мм	—	10	Частицы стекла должны иметь обкатанные края
Посторонние включения (камни, металл, резина, дерево, пластмасса и пр.):			
крупность частиц не более, мм	—	20	
общее содержание не более, %	—	5	По общему весу

за 1—6 суток. Ферментаторы различаются высотой перерабатываемого слоя (от 0,5 до 10 м), методами перемешивания материала (вращение, пересыпка, подрезка) и требованиями к предварительной подготовке отбросов (степень измельчения, сортировка). Каждая установка имеет свои положительные и отрицательные стороны и применяется в определенных условиях.

Горизонтальные вращающиеся барабаны. Идея использования горизонтальных вращающихся барабанов для ускоренного механизированного компостирования отбросов принадлежит датской фирме «Дано». Эта фирма оборудовала более 110 заводов, большая часть имеет одну технологическую линию с барабаном производительностью 20—50 т мусора в сутки. Но имеется ряд крупных заводов, на которых смонтировано несколько барабанов: римский (8 барабанов), лестерский (6 барабанов).

На большинстве заводов в барабаны подаются недробленные отходы, сортировка которых ограничивается извлечением черного металлолома. В Швейцарии крупногабаритные отходы предварительно измельчаются в дробилках крупного дробления фирмы «Бюлер» (ФРГ).

Во Франции в настоящее время действуют заводы системы «Карель-Фуше» производительностью 5—150 т мусора в сутки. Переработка мусора в компост осуществляется в многоэтажных башнях с жалюзийными перекрытиями. Мощность этих установок — 60—350 т мусора в сутки.

На переработку в жалюзийные башни подаются отходы, обязательно прошедшие предварительную сепарацию и дробление. Дробленные отходы системой конвейеров или грейфером подаются на верхний этаж (в башне обычно шесть этажей). Каждые сутки поддоны (междуэтажные перекрытия) поворачиваются вокруг своей оси, как жалюзи (отсюда и название), и компостируемая масса пересыпается на следующий этаж. Толщина слоя материала на этаже 0,5—0,8 м. Через 1,5 суток после загрузки на втором (считая сверху) этаже температура компостируемой массы достигает 65—70° при влажности 50—60%.

При этом рекомендуется добавлять в отходы канализационный осадок для ускорения процесса компо-

стирования и повышения удобрительной ценности компоста.

За рубежом также построили заводы с использованием круглой восьмиэтажной башни (по методу «Ирп-Томас») в качестве ферментатора. Производительность башни — 50 т мусора в сутки, диаметр ее — 6 м, высота — 9 м.

На Филиппинах эксплуатируется мусороперерабатывающий завод, построенный фирмой «Софрани» (Франция), производительность которого — 300 т отходов в сутки. Фирма рекомендует увлажнять мусор на европейских заводах и осушать его на заводах, построенных в тропиках, где влажность мусора достигает 70%. Сушка осуществляется подачей сухого воздуха в камеру активизации.

Отбросы из приемного бункера загружаются в движущиеся открытые платформы вместимостью 60 м³ (30 т мусора), стенки которых выполнены из решеток с большими отверстиями. Ежедневно загружаются 10 платформ.

Платформы, перемещаемые электролебедками, первые 24 ч находятся в зоне нагревания (камера активизации). Когда температура отходов достигнет 20--30°, отходы опрыскивают раствором сульфата аммония (до 3% от веса мусора по сухому веществу). Далее платформы перемещаются в общий зал, где находятся трое суток. Температура компостируемой массы достигает 65°. По истечении четырех суток платформы разгружаются на ленточный питатель шириной 4 м. Затем содержимое платформ (компост) подается на механическую обработку.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОСТА В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ И БИОТОПЛИВА

Компост, полученный из твердых бытовых отходов, так же, как и конский навоз, является полным, всесторонне действующим удобрением, так как в его состав входят все необходимые для роста и развития растений элементы, в то время как минеральные удобрения действуют по отдельным элементам.

В компосте различают четыре основных компонента, которые действуют на плодородие почвы, а также на рост и развитие растений:

1) органическая перегнойная часть со специфическим действием (увеличение адсорбции и сопротивляемости болезням, влагоемкости, улучшение структуры почвы, биологической активности);

2) основные действующие вещества и витамины;

3) макро- и микроэлементы;

4) выделяющийся углекислый газ.

Таким образом, компост из твердых отходов применяется как органическое удобрение, но в первую очередь его следует использовать как биотопливо для выращивания ранних овощей. В этом случае доход, получаемый с 1 т компоста, составляет 15—25 руб. и более.

В зависимости от исходного материала, способа приготовления, времени хранения и других условий физико-химический состав компоста имеет широкие пределы колебаний.

В таблице 12 приведены физико-химические показате-

Таблица 12

Физико-химический состав компоста и навоза
(% на сухое вещество)

Компонент	Компост	Навоз свежий (на соломенной подстилке)
Влажность, % сырой массы	22,0—50,0	64,6—77,3
Органическое вещество	40,0—55,0	84,0—90,0
Азот общий	0,8—1,3	1,9—2,3
Азот аммиачный	0,12—0,20	0,61—0,72
Фосфор	0,56—0,70	0,69—0,97
Калий	0,3—0,6	1,80—2,20
Кальций	2,5—6,0	0,65—1,76
Хлор	0,58—0,90	—
Бор	0,0005—0,003	0,00045—0,0052
Марганец	0,028—0,05	0,0075—0,0549
Медь	0,03—0,04	0,00076—0,0040
Кобальт	0,00005—0,0002	0,000025—0,00047
Цинк	0,050—0,090	0,0043—0,0247
Молибден	0,001—0,00015	0,000084—0,00042
pH	6,0—7,5	—
Средняя плотность, т/м ³	0,50—0,85	—

тели компоста и навоза, из которых видно, что компост, полученный в городах Советского Союза, отличается высоким содержанием органического вещества.

При сравнении химических анализов компоста с навозом оказывается, что хотя навоз значительно богаче органическим веществом и NPK, на самом деле из-за высокой влажности навоза на 1 т сырого вещества количество органических веществ и питательных элементов будет значительно выше у компоста. Например, если содержание органического вещества (по сухому веществу) в навозе составляет 85%, а в компосте 40% (при влажности навоза 75%, а компоста 30%), то фактически в 1 т сырого вещества количество органического вещества в компосте будет 28%, а в навозе — 21%.

Компост по сравнению с навозом отличается особенно высоким содержанием извести. Внесение компоста в количестве 30 т/га равноценно применению 1 т извести.

Данные по агрохимической оценке компоста, получаемого из бытовых отходов в городах других зарубежных стран, приведены в таблицах 13—14.

Необходимо отметить, что микроэлементы, содержащиеся в компостах, можно разделить на две категории: 1) физиологически необходимые растениям — медь, цинк, марганец, хром, бор; 2) ядовитые для растений — ртуть, кадмий, свинец.

Анализы компостов и почвы показали, что микроэлементы в них содержатся в умеренном количестве и в почве они в больших величинах не накапливаются.

Имеются земли, которые в течение 20 лет удобрялись компостом в больших дозах. Однако на них не было обнаружено растений, погибших из-за концентрации вредных микроэлементов.

Основная причина отравления растений ядовитыми веществами заключается не в количественном содержании этих веществ в почве, а в их растворимости. Причем это относится не только к микроэлементам, но и к макроэлементам.

Известны случаи гибели растений из-за большого количества растворенного в воде бора, в то время как бор в нерастворенном виде является совершенно безвредным.

Такие элементы, как железо и алюминий, также вредно действуют на растения, особенно если они на-

Таблица 13

Химический состав компоста, жидкого канализационного осадка и навоза в Голландии
(% на сухое вещество)

Компонент	Компост	Жидкий канализационный осадок	Навоз	
			жидкий	твердый
Органическое вещество	32,1	43,5	38,5	65,0
Азот	0,56	2,35	16,15	2,51
Фосфор	0,44	2,77	0,77	1,58
Калий	0,26	0,22	30,77	1,72
Кальций	3,20	3,86	—	1,91
Магний	0,49	0,30	—	0,79
Натрий	0,28	0,20	3,85	0,46
Хлор	0,26	0,17	38,46	0,93
Железо	4,50	2,8708	—	0,860
Марганец	0,0320	0,0831	—	0,0230
Цинк	0,1550	0,1650	—	0,0070
Свинец	0,0850	0,0246	—	—
Хром	0,0150	0,0133	—	—
Медь	0,0725	0,0420	—	0,0014
Кадмий	0,0010	0,0008	—	—
Никель	0,0100	0,0029	—	—
Ртуть	0,0007	0,0010	—	—
Мышьяк	0,0010	0,0012	—	—
Сурьма	0,0013	0,0009	—	—
Бор	0,003	—	—	—
Кобальт	0,002	—	—	—
Молибден	0,001	—	—	—

ходятся в сильно растворенной форме. Это бывает в том случае, если значение рН и окислительно-восстановительный потенциал очень низкие.

Многие почвы, особенно в Нечерноземной зоне (дерново-подзолистые), имеют низкое значение рН. Реак-

Физико-химический состав компостов из бытовых отходов в ГДР

Компонент	Содержание, % на сухое вещество	
	в общем	в среднем
Влажность, % сырой массы	11,4—46,0	29,6
Средняя плотность, т/м ³	0,49—0,94	0,71
Влагоемкость, %	42,1—139,9	83,9
Органическое вещество, % сухого вещества	13,5—56,7	29,8
Углерод	7,1—27,1	16,3
Азот	0,22—1,27	0,64
Аммоний	0—0,190	0,065
Нитраты	0—0,057	0,011
pH	6,5—9,0	7,56
Фосфор	0,02—0,42	0,24
Калий	0,10—0,77	0,25
Кальций	1,9—9,4	5,1
Магний	0,31—0,74	0,51
Железо	2,08—7,23	3,76
Алюминий	2,09—2,57	2,39
Цинк	0,1390—0,1890	0,1632
Марганец	0,1465—0,2185	0,1666

ция среды (pH) может быть повышена за счет внесения в почву извести. При этом очень эффективными оказываются компосты из твердых бытовых отходов, которые, как указывалось ранее, содержат большое количество извести. Растворимость микроэлементов в компостах по мере созревания последних меняется.

Плодородие почвы находится в прямой зависимости от ее биологической активности.

Органические и минеральные удобрения являются основными факторами повышения эффективного плодородия почв, а следовательно, и источником получения

высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Органическое вещество, поступая в почву, подвергается частичной минерализации с высвобождением углекислоты, элементов азотного и зольного питания растений. Однако некоторая часть поступающего в почву свежего органического вещества в результате сложных биологических и физико-химических процессов превращается в комплекс органических соединений — гумусовых веществ.

Накопление органического вещества в форме гумуса имеет важное значение для поддержания устойчивого плодородия почвы, улучшения физико-химических свойств почвы, ее структуры, а также водного и воздушного режимов.

Органические удобрения являются источником не только основных элементов питания для растений, но и содержат биологически активные вещества (витамины, ауксины, аминокислоты), необходимые для роста и развития растений. Биологически активные вещества, образуясь при разложении органических остатков, оказывают как прямое действие на растения — непосредственно используются корневой системой, так и косвенное — активизируют жизнедеятельность полезной микрофлоры почвы.

В растениях, выращенных на почве, удобренной навозом, витаминов содержится больше, чем на неудобренной почве.

Установлено, что за счет углекислого газа, образующегося при разложении в почве органических удобрений (для парников и утепленного грунта выход углекислого газа составляет 0,3—0,6 кг/м², в открытом грунте — 200—300 кг/га в сутки), урожай зерновых культур, сахарной свеклы, картофеля, особенно овощных, может повыситься на 20,0—50,0%. Кроме того, с органическими удобрениями вносится большое количество полезных микроорганизмов, под воздействием которых труднорастворимые и неусвояемые химические соединения почвы переходят в водорастворимые формы, доступные для корневого питания растений.

Так, по данным Е. Н. Мишустина, на полях Соликамской опытной станции, удобренных навозом, количество микроорганизмов увеличилось в 2—3 раза по сравнению с неудобренными участками.

Органические удобрения создают условия для более эффективного использования минеральных, так как внесение одних минеральных удобрений приводит к повышению концентрации солей в почвенном растворе, что может отрицательно подействовать на рост и развитие растений, особенно на кислых почвах.

Действие органических удобрений на прибавку урожая не исчерпывается одним годом, оно длительно проявляется на урожае последующих культур.

Компост из бытового мусора, внесенный в почву, улучшает не только ее физические свойства, но и влияет на химический состав.

В связи с тем, что каждый урожай уносит из почвы значительное количество зольной и азотной пищи растений, причем, чем выше урожай, тем большее количество питательных элементов выносится из почвы (табл. 15). Поэтому особое значение имеет применение органических удобрений.

Таблица 15

Вынос питательных элементов из почвы

Растения	Урожай, ц/га	Вынос, кг на 1 га		
		азота	фосфора	калия
Озимая пшеница	16,5	45,0	20,8	27,0
	25,0	81,0	37,0	75,0
Горох	12,5	72,0	18,1	42,0
	20,0	115,0	30,5	—
Сахарная свекла	270	116,0	42,0	157,0
	400	197,0	70,0	242,4

Многолетними опытами Всесоюзного научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения (ВИУА) установлено, что каждая тонна навоза, внесенного в почву, в основных почвенно-климатических зонах нашей страны повышает урожай всех культур севооборота на 1 ц (в переводе на зерно), а во многих районах Нечерноземной зоны — значительно выше.

Работы, проведенные в Голландии, показали, что ежегодное применение 10 т компоста на 1 га позволяет повысить содержание органического вещества на 1%.

Влияние компоста на урожай различных культур

Вариант	Урожай, ц/га			Прибавка урожая, ц/га			Прибавка урожая, %		
	картофель	овсяно-гороховая мешанка*	озимая пшеница**	картофель	овсяно-гороховая мешанка	озимая пшеница	картофель	овсяно-гороховая мешанка	озимая пшеница
Контроль	179	53,2	28,1	—	—	—	—	—	—
40 т/га компоста	200	73,0	31,3	21	19,8	3,2	11,7	37,2	11,4
40 т/га смеси обезвреженного мусора и осадка сточных вод	196	не учтено	31,6	17	—	3,4	9,5	—	12,1
Фосфор и калий по 60 кг	186	60,8	27,0	7	7,6	-1,1	3,9	14,2	-3,6
P ₆₀ K ₆₀ +компост, по 30 т/га	202	69,0	28,7	16	8,2	1,7	8,6	13,5	6,3
P ₆₀ K ₆₀ +смесь компоста и осадка сточных вод по 30 т/га	201	67,4	30,7	15	6,6	3,7	8,1	10,8	13,7

* 1-е последствие.

** 2-е последствие.

АКХ совместно с ВИУА в течение четырех лет проводила работу по испытанию компоста из мусора, полученного на полупроизводственной механизированной установке в Люберцах.

Опыты проводили на тяжелом суглинке Центральной опытной станции ВИУА в Барыбино. В первом опыте компост испытывали в дозах 30 и 40 т/га на фоне и без фона фосфатно-калийного удобрения на картофеле, овсяно-гороховой мешанке, убиравшейся на зеленый корм, и озимой пшенице. Состав компоста (% на абсолютно сухое вещество): общий азот — 1,06, общий фосфор — 0,6 и общий калий — 0,7. Полученные результаты показали, что действие компоста не ограничивается одним годом (табл. 16).

Прибавки урожая картофеля, овсяно-гороховой мешанки и озимой пшеницы при внесении компоста колебались соответственно в пределах 8—11,6; 10,8—37,2 и 6,3—13,7%.

Второй опыт проводили для установления влияния компоста разных сроков выдержки на урожай картофеля (табл. 17).

Мусор, обезвреженный в установке и не компостированный в штабелях, обозначен 0; мусор, компостированный в течение одного и 3,5 месяца, — соответственно 1 и 3,5.

Испытание разных сроков выдержки компоста показало, что свежий компост, полученный из установки, не нуждается в последующем дополнительном компостировании.

Прибавка клубней картофеля во втором опыте оказалась более высокой, чем в первом, что, видимо, обусловлено более высоким качеством применявшегося компоста (азот 1,5—1,9%).

В результате проведенных опытов установлено, что при внесении компоста под картофель в дозе 30 т/га прибавка урожая составляет 16—54 ц/га, чистый доход с 1 га — 56 руб. (без учета последствий).

Исследования по влиянию компоста из мусора на посевы травосмеси из райграса пастбищного, мятлика лугового, пырея бескорневищного и картофеля показали, что компост длительно действующее удобрение.

Так, при внесении 30 т/га компоста прибавку урожая зеленой массы в первый год получили 18,1%, а на

Действие компоста различных сроков компостирования
на урожай картофеля

Вариант	Клубни, ц/га	Прибавка	
		ц/га	
Без удобрения	166	—	—
Компост (0), 30 т/га	209	43	25,9
Компост (1), 30 т/га	212	46	27,7
Компост (3,5), 30 т/га	220	54	32,5
Компост (0), 60 т/га	192	26	15,7
Компост (1), 60 т/га	234	68	40,9
Компост (3,5), 60 т/га	230	64	38,6

второй год — 18,5%, кустистость мятлика лугового увеличилась на 27%, прибавка урожая картофеля составила около 30 ц/га.

Внесение 40—60 т/га компоста для однолетнего люпина и календулы способствовало выращиванию цветочных растений высокого качества и более устойчивых к грибным заболеваниям.

Сектор озеленения Академии коммунального хозяйства при использовании компостов под сеянцы декоративных кустарников—сирени, калины, цветочных растений — фиалку садовую, петунию гибридную, антирринум большой, табак душистый, настурцию большую и газонные травы — овсяницу красную, райграс пастбищный, мятлик луговой, полевицу белую также получил положительные результаты.

Под действием компоста увеличивается высота травостоя, степень кустистости, интенсивность кущения, нарастание зеленой массы, а также высота растений, диаметр цветов, количество цветов и семян, цветоносных побегов.

Опыты, проведенные на Ленинградской плодоовощной станции, показали, что при внесении компоста, полученного на мусороперерабатывающем заводе, под капусту из расчета 25 т/га урожай ее составил 675 ц/га,

что на 56 ц выше, чем на контроле без удобрений и на 54 ц больше, чем при использовании 50 т/га навоза. Урожай столовой свеклы при внесении 20 т/га компоста был 277 ц/га, что на 58 ц превышает урожай на контрольном участке и по эффективности соответствует внесению 40 т/га навоза.

В учхозе ТСХА «Отрадное» применение компоста, полученного из бытового мусора г. Москвы, увеличило в 1,5 раза урожайность огурцов (до 15 кг/м²), сократило сроки их выращивания (на 12—15 дней), упростило технологию и в 1,5 раза снизило себестоимость.

В 1974 г. в совхозе «Заречье» Московской области компост в качестве биотоплива использовали на площади 9 тыс. м². При этом получили по 18,5 кг огурцов, в то время как в теплицах без подогрева грунта урожай был в 1,5 раза меньше.

При внесении компоста Ленинградского завода в качестве биотоплива в совхозе «Победа» Ленинградской области на 12 дней сократился срок выращивания огурцов и повысилась их урожайность по сравнению с участками, где в виде биотоплива применяли навоз.

Биотопливо из бытовых отходов имеет ряд преимуществ перед навозом, так как горит более интенсивно и в ранневесенний период обогревает не только грунт, но и воздух в теплицах. Это позволяет провести посев семян овощных культур, рассады огурцов на шесть дней раньше, чем при использовании навоза. Интенсивное горение биотоплива обеспечивает более высокое содержание углекислого газа в воздухе теплиц.

Таким образом, компост в качестве биотоплива в теплицах и парниках наиболее эффективен при его последующем использовании как удобрения в открытом грунте.

За рубежом компосты из мусора широко применяются в овощеводстве, полеводстве, садоводстве, цветоводстве, виноградарстве и лесоводстве.

Так, в Голландии, где ежегодно продается свыше 140 000 т высококачественного компоста, его используют следующим образом: 60% — для парков, архитектурного садоводства и получения цветочных луковиц, 13% — в теплицах, 8% — для удобрения плодово-ягодных культур, 7% — улучшения лесных площадей и 12% — для неспециализированного сельского хозяйства.

Применение компоста в Голландии в дозе 25—50 т/га под зерновые культуры способствует увеличению урожая до 10%. При набивке парников компостом, полученным на установке «Дано», толщиной 30 см (0,4 м³ на раму) и засыпке землей слоем 20 см температура в парниках становится аналогичной температуре конского навоза.

В ФРГ компост используется следующим образом: 70% — на виноградниках и для борьбы с эрозией почвы, 20% — в городском парковом хозяйстве и садоводстве, 5% — для восстановления плодородия почв и 5% — для неспециализированного сельского хозяйства.

Внесение компоста в количестве 100 т/га в плодоносящих насаждениях яблони и вишни (ГДР) дает положительные результаты: урожай яблок сорта «Налив белый» с одного дерева за три года повышается от 13 до 76 кг по сравнению с урожаем, получаемым с деревьев на участках, где вносятся минеральные удобрения, вишни — 4—7 кг.

Ни в одной отрасли сельского хозяйства вопрос о снабжении перегноем не стоит так остро, как в виноградарстве. Главным образом это относится к районам с сухим климатом, где мульчирование проводят редко, а атмосферных осадков, особенно на склонах, не хватает даже для произрастания трав, поэтому гумуса в таких почвах содержится мало.

Практика показала, что удобрение компостом увеличивает урожай винограда и содержание сахара в ягодах, а также ускоряет их созревание. Так, калий играет главную роль в накоплении углеводов в разных частях лозы, придает ей устойчивость против болезней и ускоряет вызревание, а благодаря фосфору и извести повышается сахаристость винограда.

Работы, проведенные в учебном хозяйстве в Вейнсбурге (ГДР), показали, что внесение компоста в почву в количестве 50—150 т/га увеличивает урожайность винограда на 7—31% по сравнению с теми участками, где используют навоз. На участках, удобренных компостом, в последующие годы почва более устойчива против эрозии, а также лучше впитывает и удерживает влагу. При внесении 20 т/га компоста урожай виноградной лозы увеличивается на 25%, а урожайность на лугах (при дозе 20 т/га компоста) повышается на 18—37%.

Кроме того, компосты широко применяют на виноградниках и в плодовых садах южных районов Франции.

При внесении компоста в дозе 2,5—25 т/га под такие овощные культуры, как картофель, сахарная свекла и цветная капуста, прибавка урожая составляет от 25 до 60%.

Применение компоста под землянику в Бельгии дает положительные результаты: равномерное и ускоренное (на 7—10 дней) созревание плодов, увеличение урожая на 15%, большая устойчивость кустов к болезням, повышение сахара в плодах.

Высокий выход глоксиний получается при добавлении 2 кг компоста на 1 м². Хорошие результаты получены для цинерарии, хризантем и пеларгоний при добавлении от 1/4 до 1/3 компоста к чернозему. Добавление 300 кг компоста на 100 м² положительно сказывается на развитии кустов роз.

Компост применяется также в Японии, где доза его 10—15 т/га увеличивает не только урожай овощных культур (лук, редис, салат, сахарная свекла, сельдерей, белокочанная капуста) и земляники, но и способствует повышению содержания сахара в сахарной свекле на 6—12%, а в землянике на 9%.

Таким образом, компост из твердых бытовых отходов, по своим качествам близкий к конскому навозу, оказывает положительное влияние на все виды сельскохозяйственных и декоративных культур, а также на зеленые насаждения.

В среднем прибавка урожая в зависимости от вида культур, почвы и других условий колеблется от 10 до 50%. Компост улучшает физико-химические свойства почвы и имеет длительный период последействия.

Время, способы и дозы внесения компоста зависят от рода удобряемой культуры, вида почвы, степени созревания компоста и от других условий. Так, лучшие результаты на тяжелых глинистых почвах дают незрелые компосты, а на легких песчаных почвах — спелые.

На удобренных, структурных почвах доза внесения компоста ниже, чем на неудобренных, малоплодородных. Из всех сельскохозяйственных растений для озимых и яровых зерновых культур требуются менее высокие дозы компоста при прочих равных условиях, по

сравнению с картофелем, сахарной свеклой и другими техническими культурами.

Под овощные культуры (огурцы, морковь, лук, салат), кукурузу, подсолнечник и бобовые растения целесообразно вносить перепревший компост осенью или весной из расчета 20—30 т/га один раз в два-три года с заделкой на глубину 15 см.

При внесении компоста с минеральными удобрениями его дозу сокращают наполовину.

Капуста, картофель, сахарная и кормовая свекла, брюква и томаты в одинаковой степени хорошо переносят как свежий (непосредственно из установок), так и перепревший компост. Время внесения его — осень, зима и весна; норма — один раз в два-три года из расчета 30—40 т/га.

Действие компоста значительно повышается при дополнительном орошении, особенно в засушливых районах.

В таблице 18 приведены сроки и нормы внесения компоста под различные культуры.

Для удобрения декоративных культур компост следует вносить один раз в два-три года. Под цветочные растения открытого грунта и газонные травы его заправляют на глубину 15—20 см, при посадке же деревьев и кустарников (стандартные саженцы) компост кладут в лунки и ямы, предварительно смешав его с землей. Доза компоста на яму рассчитывается в зависимости от ее диаметра (на 2 м² вносят 12 кг компоста). Посадка растений или посев семян непосредственно в компост не допускается.

Для газонов из овсяницы красной или райграса пастибищного лучшей является доза компоста 45—60 т/га, а для настурции большой — 30—45 т/га. При посеве семян цветочных растений в закрытом грунте при дальнейшей распикировке для фиалки садовой, петунии гибридной, антирринума большого, табака душистого рекомендуются соотношения компоста и почвы 1:4.

В городском озеленении для улучшения искусственных грунтов вместо растительной земли можно использовать компост в смеси с грунтом в соотношении 1:4; при создании газонов полученную землю укладывают слоем 10—20 см, для цветников — слоем 40 см.

Свежий компост (допускается сокращенный срок

Сроки и нормы внесения компоста

Культура	Сезон внесения	Норма внесения, т/га
Картофель	Осень, зима, весна	15—18
Свекла сахарная	Осень, зима	20
» кормовая	Осень, зима, весна	30
Кукуруза	Осень, зима, весна	18
Хмель	Осень	25—35
Капуста	Осень, зима, весна	40—50
Огурцы	Рекомендации отсутствуют	30
Томаты	То же	40
Лук	»	30
Луговые травы	Зима	20
Фруктовые деревья	Осень, зима, весна	25—35
Декоративные деревья и кустарники	Весна, лето, осень	25—30
Лесопосадки	Осень, зима, весна	20—35

выдержки в установках) целесообразно применять в качестве биотоплива, а также в открытом грунте как органическое удобрение.

На парниковую раму биотопливо укладывают слоем $0,6—0,7 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ($0,4—0,5 \text{ т}/\text{м}^2$), а в утепленном грунте — $0,3 \text{ м}^3/\text{м}^2$ ($0,20 \text{ т}/\text{м}^2$) в виде сплошной «постели» для теплых гряд.

СОДЕРЖАНИЕ

Состав и свойства твердых бытовых отходов	4
Физические свойства	5
Химические свойства	8
Санитарные свойства	9
Основы биохимических методов переработки твердых бытовых отходов в компост	12
Биологические основы биотермического процесса переработки	12
Физико-химические факторы, влияющие на биотермический процесс переработки	16
Простейшие методы приготовления компоста	20
Полевое компостирование	21
Компостирование с принудительной аэрацией	24
Компостирование с предварительным дроблением	26
Компостирование древесной листвы и растительных остатков	28
Механизированные процессы приготовления компоста	38
Использование компоста в качестве органического удобрения и биоотлива	45

Кузьменкова Алевтина Михайловна
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОСТОВ
ИЗ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Зав. редакцией А. Л. Скульская
Редактор И. П. Незговорова
Обложка художника И. В. Мартынюка
Технический редактор Н. В. Ганина
Корректоры А. В. Крымова, Г. Д. Кузнецова

Л 88251 Сдано в производство 17/VI-76 г. Подп. к печ. 31/VIII-76 г.
Объем 3,36 усл. печ. л., 3,04 уч.-изд. л. Бум. № 2 Формат 84×108^{1/32}
Тираж 16 000 экз. Изд. № 1464 Заказ 5004 Цена 10 коп.
Россельхозиздат, г. Москва, Б-139, Орликов пер., 3а

г. Владимир, областная типография им. 50-летия Октября,
Офицерская, 33

Кузьменкова А. М.

К 89 **Использование компоста из твердых бытовых отходов. М., Россельхозиздат, 1976.**

60 с. с ил.

В брошюре рассмотрены простейшие способы приготовления компоста из твердых бытовых отходов. Показано значение компоста как органического удобрения и биотоплива.

Рассчитана на агрономов, работников коммунального хозяйства, а также на огородников и садоводов-любителей.

631.8

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство сельскохозяйственной литературы Россельхозиздат предлагает Вашему вниманию книги, выходящие в 1976 г.:

Синдяшкина Р. И., Грызлов Б. П.
Тукосмеси и их применение. 3 л., 40 000 экз.

В брошюре дана краткая характеристика тукосмесей и показаны преимущества использования смешанных удобрений. Описаны изменения свойств сухих тукосмесей при различных сроках хранения. Приводится методика расчета компонентов для приготовления тукосмесей.

Рассчитана на агрономов, бригадиров, звеньевых, руководителей хозяйств.

Толстоусов В. П. Удобрение и качество сельскохозяйственной продукции. 4 л., 40 000 экз.

В книге показано влияние азотных, фосфорных, калийных удобрений и их сочетаний на качество продукции зерновых, технических, овощных и кормовых культур в зависимости от зоны их возделывания.

Изложены прогрессивные способы применения удобрений, способствующие повышению качества сельскохозяйственной продукции. Рассчитана на специалистов и руководителей колхозов и совхозов.

10 1010

