
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ, ОТРАСЛЯМИ, КОМПЛЕКСАМИ

УДК 338.4
JEL: L97, L99

DOI: 10.17308/econ.2021.1/3322
Опубликовано под лицензией CC BY 4.0

Экономика обращения с пищевыми отходами в России

Л. К. Субракова^{1✉}

¹ Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, пр. Ленина, 90,
655017, Абакан, Республика Хакасия, Российская Федерация

Для цитирования: Субракова Л. К. Экономика обращения с пищевыми отходами в России // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2021. № 1. С. 37–48. DOI 10.17308/econ.2021.1/3322

Предмет. Одной из проблем в сфере обращения с отходами в России является исключение пищевых отходов, имеющих наибольшую долю в объеме твердых коммунальных отходов, из процессов раздельного сбора и накопления. Это сохраняет высокие риски загрязнения окружающей среды, повышает затраты обращения с отходами и экономические потери от утраты ценного вторсырья. Негативным фактором в экономике обращения с отходами является логистика, плечо перевозок на всех стадиях обращения обычно велико вследствие удаленности мест образования от мест переработки и захоронения.

Цель исследования. Обоснование решения проблемы обращения с пищевыми отходами в России на основе раздельного сбора, утилизации и переработки. Для разработки необходимого обоснования решения проблемы ставились задачи: анализ состояния обращения с отходами в России; сравнение применяемых способов переработки пищевых отходов; определение путей включения домохозяйств в процесс управления пищевыми отходами; составление транспортной модели расходов по вывозу мусора к местам накопления и переработки; расчет экономии транспортных расходов за счет переработки пищевого компонента в местах его образования.

Методология. Обоснование первоочередного раздельного сбора и переработки пищевых отходов проводится методами моделирования, расчета экономии и факторного анализа влияния раздельного сбора на расходы в сфере управления отходами. Материалами исследования послужили статистические, плановые и отчетные данные, результаты, полученные отечественными и зарубежными исследователями по данной теме.

Результаты. Разработана модель транспортных расходов при раздельном сборе отходов, определено количественное влияние раздельного сбора пищевых отходов на изменение транспортных расходов по вывозу твердых коммунальных отходов на примере городских муниципалитетов Республики Хакасия. Модели транспортирования ТКО до сих пор разрабатывались без учета селективности. Выявлены факторы снижения транспортных расходов.

Обсуждение результатов. Разработанная модель транспортных расходов при раздельном сборе отходов полезна для корректировки территориальных схем обращения отходов в любом регионе. Отличием данной модели от имеющихся является учет раздельного сбора пищевых отходов, что уменьшает расходы по перевозке и общие расходы в отрасли. Внедрению модели способствует создание цифровой инфраструктуры обращения отходов.

Ключевые слова: морфология твердых коммунальных отходов, раздельный сбор, модель транспортных расходов, цифровая инфраструктура.

Введение

Различия морфологического состава твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) и социально-экономических условий обуславливают национальные особенности систем обращения с отходами. В России данная система только создается, поэтому важно выбрать оптимальную последовательность этапов развития обращения с отходами для достижения экономической и экологической целесообразности. Считаем необходимым приступить в первую очередь к утилизации пищевых отходов. Обоснование решения проблемы обращения с пищевыми отходами на основе их отдельного сбора, утилизации и переработки является целью исследования.

Внимание к пищевым отходам объясняется тем, что, во-первых, это самая объемная часть ТКО. По данным Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, в Москве процентная доля пищевых отходов по массе составляет 24,2, бумаги и картона – 20, полимеров – 17,7, стекла – 12,6, композитной упаковки – 2,1, прочих – 6,1 % [7]. Различие долей пищевых отходов в среднем в стране и столице объясняется влиянием уровня доходов и структуры потребления. По мере роста доходов и повышения в потреблении доли готовых продуктов питания снижаются объем и доля пищевых отходов в общей массе отходов.

Во-вторых, пищевые отходы содержат ценные органические вещества: крахмал, жиры, белки, углеводы, которые могут перерабатываться в различные продукты с помощью современных технологий. По данным Группы Всемирного банка IFC, усредненный биологический потенциал твердых коммунальных отходов в России оценивается в 55 %, энергетический – в 35 %, потенциал вторичного сырья – в 40 %, что подтверждает потенциал и целесообразность переработки.

В-третьих, содержание влаги в пищевых отходах в зависимости от сезона, местности и климата колеблется от 60 до 85 %, что обуславливает непродолжительный срок хранения – 2–3 дня, после которого начинается гниение с неприятным запахом и выделением ядовитых веществ. Захоронение вне специально оборудованных полигонов вызывает проникновение жидких отходов в почву и водоемы, создает питательную среду для размножения возбудителей инфекции. На полигонах в результате циклических химических реакций органика превращается в токсины, отравляющие окру-

жающую среду [8]. Эти процессы осложняют процессы хранения, сепарации и переработки, поэтому необходим отдельный сбор пищевых отходов в местах их образования.

В-четвертых, многообразие продуктов переработки: компоста, биотоплива, строительных материалов, тепловой энергии, имеющих устойчивый спрос на рынке, – делает переработку пищевых отходов экономически возможной.

Концепция перехода на отдельный сбор отходов закреплена в Федеральном законе от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 07.04.2020) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.06.2020), которым субъекты РФ и органы местного самоуправления определены как организаторы и участники организации деятельности по сбору (в том числе отдельному), транспортированию, утилизации, обезвреживанию и захоронению твердых коммунальных отходов. С 2018 г. в России запрещается захоронение отходов, которые могут перерабатываться действующими предприятиями. В перечень отходов производства и потребления, содержащих полезные компоненты, захоронение которых запрещается, включены 182 вида отходов, 67 из которых запрещены с 2018, 42 – с 2019 и 73 – с 2021 г. Запрета на захоронение пищевых отходов в документе не содержится.

В городах России с населением свыше 1 млн человек в 2019–2020 гг. планировалось перейти на отдельный сбор мусора по двухпоточному принципу, т. е. в один контейнер помещаются пригодные для переработки бумага, пластик, металл, стекло, не загрязненные органикой, а в другой – все остальные отходы (грязная упаковка, смет с улиц, органические отходы). Таким образом, самый объемный по массе химически агрессивный компонент ТКО законодательно предполагается захоронить, а не переработать, что приводит к экономическим потерям и наносит ущерб экологии.

Для устранения негативных последствий исключения из управления отходами пищевого компонента предлагается принять федеральный закон «Об обращении с пищевыми отходами». Во Франции и Италии действуют такие законы, они направлены на предотвращение уничтожения пищевых продуктов с истекшими сроками годности, а также на повторное использование и переработку. За счет благотворительной передачи и скидок на непроданные продукты отходы в этих странах сократились на 25 %. В проекте отечественного

закона следует предусмотреть обязательный раздельный сбор, создание региональными операторами инфраструктуры раздельного сбора и выбор домашними хозяйствами и предприятиями вариантов: а) транспортировки отходов в места сбора и переработки, б) переработки на месте образования путем компостирования или измельчения с последующим удалением через канализационную сеть.

Материалы и методы

Обоснование первоочередного раздельного сбора и переработки пищевых отходов проводится методами моделирования, расчета показателей экономии и факторного анализа влияния раздельного сбора на расходы в сфере управления отходами. Материалами исследования послужили статистические, плановые, прогнозные и отчетные данные, результаты, полученные отечественными и зарубежными исследователями, по данной теме.

Результаты

Пищевые отходы образуются в агрофирмах, домашних хозяйствах, на предприятиях общественного питания, розничной и оптовой торговли. Коммерческий сектор экономики несет большие затраты, связанные с вывозом отходов на полигоны, поэтому при технической и экономической возможности утилизации отходов на месте фирмы внедряют технологии переработки (компостеры, вермикуляторы, диспозеры) либо продают отходы фирмам-переработчикам. Данные об образовании, использовании, размещении отходов в России за последние годы представлены в табл. 1.

Темп роста использования и обезвреживания (165 %) за 2012–2019 гг. превышал динамику образования отходов (155 %) и их размещения (130 %), что свидетельствует о позитивных процессах в сфере отходов. Колебание доли утилизации по годам связано с вовлечением в переработку отходов, накопленных за предыдущий период. По этой же причине объемы

утилизации и размещения в отдельные годы превышают объемы образования отходов. В 2015 г. произошло снижение объемов образования отходов (на 1,8 %) по сравнению с предыдущим годом, что объясняется кризисным падением производства и потребления, такую же динамику демонстрирует объем захороненных отходов (меньше на 21,1 %). При этом утилизация выросла на 13,9 %. Разнонаправленность процессов в сфере отходов можно объяснить двумя факторами. Первый связан с трансформацией системы после введения в 2014 г. в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» новых понятий: территориальной схемы обращения с отходами, регионального оператора – утверждена иерархия приоритетов, соответствующая практике стран с развитой системой управления отходами. Второй фактор связан с развитием индустрии рециклинга как одного из полюсов роста национальной экономики. В 2020 г. сокращена переработка отходов во всех странах из-за пандемии COVID19.

Наименее организованным и исследованным сектором образования пищевых отходов являются домашние хозяйства, отличающиеся малыми объемами и территориальной рассредоточенностью. Поэтому важно определить оптимальные пути вовлечения домохозяйств в управление отходами, в первую очередь – пищевыми. Первый путь – раздельный сбор и накопление пищевых отходов с последующим вывозом их на централизованные площадки для компостирования с помощью анаэробной или аэробной технологии. Данный вариант требует соблюдения участниками рециклинга строгих правил сбора, контроля состава отходов и значительных транспортных затрат, что снижает финансовый результат фирмы-производителя компоста. Второй путь – компостирование в домохозяйствах, как в частных, так и в многоквартирных домах, что возможно при современных технологиях. Преимуществом данного способа является экономия на транс-

Т а б л и ц а 1
Показатели образования, размещения и переработки отходов в России за 2012–2019 гг.

Показатели	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Объем образования отходов, млн т	5,01	5,17	5,15	5,06	5,44	6,22	7,26	7,75
Объем размещения, млн т	2,92	4,95	2,95	2,33	2,62	3,31	3,58	3,80
Объем использования и обезвреживания отходов, млн т	2,35	2,04	2,36	2,69	3,24	3,26	3,82	3,88
Доля использованных и обезвреженных отходов в объеме их образования, %	46,9	39,6	45,6	53,2	59,6	52,4	52,6	50,1

портных расходах, так как каждое домохозяйство, проводящее компостирование, использует продукт внутри или возвращает его в природную среду. Нужны инвестиции домашних хозяйств в оборудование, срок окупаемости вложений зависит от экономии коммунальных платежей за централизованный вывоз отходов. Третий путь – установка диспозеров (кухонных измельчителей пищевых остатков) с выведением отходов в канализацию. Органическая ценность отходов сохраняется, так как в составе сухого ила они поступают на мусоросжигание или компостирование. Инвестиции домашних хозяйств при этом способе переработки выше, чем при компостировании, но они экономят текущие расходы по вывозу мусора и дают высокий экологический эффект. Четвертый способ – промышленное производство биотоплива из пищевых отходов путем анаэробной переработки отходов в метан с кремниевым-кобальтовым катализатором, гидротермального сжигания [20], изготовления микспеллет и агропеллет. Пищевые отходы домашних хозяйств включаются в производство энергии ограничено из-за существенных затрат на транспортировку. Сравнение способов переработки пищевых отходов представлено в табл. 2.

Непереработанные пищевые отходы представляют угрозу экологии, а компостирование – наиболее безопасный и малозатратный способ по сравнению со сжиганием и производством топлива. Предварительная сепарация ТКО особенно важна при компостировании, так как компост возвращается в оборот пищевых ресурсов. Для термической утилизации предварительное отделение пищевой фракции из ТКО не столь важно, поскольку при сжигании и производстве брикетов используется смесь многих компонентов. Спрос на компост из пищевых отходов ограничен – только для несельскохозяйственных земель. При сжигании и производстве топливных брикетов достигается максимальная утилизация пищевых отходов и снижение их массы. Компостирование ограничивает состав компонентов, соответствующих экологическим требованиям и

подверженных биоразложению по данной технологии, что снижает выход продукции из исходного сырья. При всех плюсах и минусах компостирования – это самый распространенный способ переработки пищевых отходов вместе с древесными, травянистыми, бумажными отходами, а также торфом, навозом, дерновой землей. Быстрый рост отходов способствовал распространению компостирования. Ряд стран создали промышленное производство компоста. Добавление отходов в компост отвечает потребностям утилизации, но ухудшает качество конечного продукта из-за возможного содержания в нем тяжелых металлов, антибиотиков, мышьяка, пищевых добавок и других опасных для аграрного производства элементов. Такой компост пригоден только для отсыпки полигонов ТКО.

Важным аспектом управления пищевыми отходами является определение субъекта сбора. Если пищевые отходы отделять в домашних хозяйствах, то на следующих этапах обращения возникают внешние положительные эффекты в экологии (меньше вредных выбросов на полигонах), экономике (снижение затрат на переработку), управлении (сокращение числа сортируемых видов). Логистика отходов в коммунальной отрасли построена так, что прибыль распределяется преимущественно в пользу транспортных компаний за счет повышения тарифов [6]. Для расчета эффекта переработки пищевых отходов в местах образования составлена модель транспортных расходов по перевозке мусора:

$$TC_w = (\alpha_1\beta_1\gamma_1\delta_1 + \alpha_2\beta_2\gamma_2\delta_2 + \dots + \alpha_n\beta_n\gamma_n\delta_n) \frac{\mu}{100\%}, \quad (1)$$

где TC_w – совокупные транспортные расходы по перевозке отходов, руб.; $\alpha_{1,2,\dots,n}$ – доля 1, 2, ... n -го компонента в общей массе отходов, %; $\beta_{1,2,\dots,n}$ – количество рейсов вывоза 1, 2, ... n -го компонента в год; $\gamma_{1,2,\dots,n}$ – расходы на перевозку, руб./ткм; $\delta_{1,2,\dots,n}$ – расстояние перевозок, км; μ – годовая масса отходов, т.

Т а б л и ц а 2

Сравнение основных применяемых способов переработки пищевых отходов

Способы	Критерии	Экологичность	Затраты на переработку	Требования к раздельному сбору	Спрос на продукт	Доля утилизации
Компостирование		max	min	max	min	min
Сжигание		min	max	median	max	max
Топливные пеллеты		median	median	min	median	median

Если условно принять примерно равными значения γ и δ для всех видов отходов, то модель примет вид

$$TC_w = (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2 + \dots + \alpha_n\beta_n) \frac{\gamma\delta\mu}{100\%}. \quad (2)$$

Если параметры модели (1) $\alpha_1\beta_1\gamma_1\delta_1$ отнести к пищевым отходам, $\alpha_2\beta_2\gamma_2\delta_2$ – к бумаге и картону, $\alpha_3\beta_3\gamma_3\delta_3$ – к полимерам, $\alpha_4\beta_4\gamma_4\delta_4$ – к стеклу, $\alpha_5\beta_5\gamma_5\delta_5$ – к композитной упаковке, $\alpha_6\beta_6\gamma_6\delta_6$ – к прочим, то при $\alpha_1 = 24,2\%$ $\beta_1 = 182,5$ раз.

Экономия расходов при транспортировке отходов за счет переработки пищевого компонента в местах его образования определяется по формуле

$$\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i\beta_i - \alpha_1\beta_1 \right) \frac{\gamma\delta\mu}{100\%} = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i\beta_i - 24,2 \cdot 182,5 \right) \frac{\gamma\delta\mu}{100\%}. \quad (3)$$

Предложенная модель будет полезной при разработке и корректировке территориальных схем обращения с отходами, формировании тарифов на вывоз отходов и определении рентабельности отдельного сбора с реализацией вторсырья предприятиям-переработчикам. До составления территориальной схемы обращения с отходами Республики Хакасия в 2018 г. объемы отходов определялись по муниципальным нормативам на 1 жителя в год [8]. С 2019 г. используются единые региональные нормативы,

которые позволяют рассчитать транспортные расходы по перевозке образуемых отходов на территории пяти выделенных зон как при нынешней инфраструктуре, так и в перспективе. Количество рейсов машин-мусоровозов определялось на основе графиков вывоза территориального оператора. В табл. 3 приведены исходные данные расчета.

Количество рейсов в трех городах не пропорционально числу жителей, что объясняется тем, что в Абакане и Черногорске применяется контейнерный сбор, а в Саяногорске – бесконтейнерный маршрутный сбор. Количество рейсов определяется по формуле

$$N_k = \frac{M}{V \cdot \pi}, \quad (4)$$

где N_k – количество рейсов машин-мусоровозов в год; M – масса отдельно собранных отходов в год, кг; V – объем машины-мусоровоза, м³; π – коэффициент плотности отходов, кг/м³.

Исходя из количества рейсов определяется количество единиц автотранспорта, контейнеров, периодичность вывоза. В табл. 4 представлены объемы отдельно собираемых ТКО в трех муниципалитетах региона по этапам внедрения отдельного сбора.

На начальном этапе предполагается разделение отходов на пищевую (органическую) и непищевую части. Использовались показатели: коэффициент плотности $\pi = 0,379$ т/м³ (Федеральный классификационный каталог отходов); объем

Т а б л и ц а 3

Данные для расчета текущих транспортных расходов на вывоз отходов в городах Республики Хакасия

Муниципальные образования городов	Численность населения, чел.	Среднее плечо вывоза, км		Отходы жилищ, т/год		Количество рейсов со смешанными отходами в год
		в настоящее время	в перспективе	всего	в том числе пищевых	
Абакан	179 163	25	25	78 490,59	18 994,72	13 870
Саяногорск	48 299	150	24	21 159,60	5 120,62	2 600
Черногорск	74 268	10	10	32 536,51	7 873,84	7 665
Итого				132 186,7	31 989,18	24 135

Т а б л и ц а 4

Объемы отдельного сбора отходов в городах Республики Хакасия по этапам, т в год

Виды отходов	Этапы		
	начальный	второй	продвинутый
Пищевые	3 198,9	15 994,6	31 989,18
Пластик	2 339,7	11 698,5	23 397
Бумага, картон	2 643,7	13 218,7	26 437,32
Стекло	–	8 327,7	16 655,5
Прочие	124 004,3	82 947,1	33 707,6
Итого	132 186,6	132 186,6	132 186,6

контейнера – 0,75 м³; объем кузова мусоровоза 18 м³); периодичность вывоза пищевых отходов – через день по санитарным правилам. Для вывоза пищевых отходов на начальном этапе требуется 2315 рейсов в год – 1 раз в 2 дня. На следующих этапах разделяться будут все перерабатываемые виды: в первые годы – не более 10–15 %, на втором этапе – до 50 % и на продвинутом этапе – близко к максимальному уровню селекции. Роспотребнадзор рекомендует вывоз непищевых отходов не реже 1 раза в неделю (52 раза в год), поэтому количество рейсов по виду ТКО «пластик» составит 2555 рейсов в год. Для ПЭТ-бутылок в двух городах установлено 50 контейнеров. Для расчетного объема образуемых отходов пластика требуется 300 единиц при ежедневном вывозе 25 мусоровозами. Прессование пластика в мусоровозах до 100 кг/м³ снизит потребность в транспорте в 3,7 раза, т. е. до 7 машин. Для раздельного сбора и вывоза макулатуры требуется 24 контейнера и 2098 рейсов в год. Альтернатива контейнерному сбору – стационарные пункты приема макулатуры, три пункта уже работают в республике. На начальном этапе потребуется 6968 рейсов для вывоза раздельно собранных перерабатываемых отходов и 758 рейсов в год на захоронения смешанных отходов, итого 7726 рейсов, что меньше, чем для вывоза несортированных отходов (24 150) в три раза.

На практике показатели корректируются на фактические объемы накопления непищевых отходов, периодичность вывоза которых меньше. Покрытие расходов и получение прибыли возможно за счет продажи вторсырья перерабатывающим фирмам. Прибыль фирм в сфере обращения с отходами в совокупности с государственной поддержкой позволит развивать инфраструктуру отрасли. В Саяногорске, расположенном за 150 км от действующего полигона, предполагается строительство нового объекта захоронения, но обоснованность инвестиций в него без учета эффектов раздельного сбора сомнительна. Предлагаемая локальная модель эффективна экологически и экономически.

Обсуждение результатов

Результаты исследования имеют значение не только для региона, данные которого использовались для обоснования эффективности обращения с пищевыми отходами. Большая часть территории России – это слабозаселенные пространства с большими расстояниями между населенными пунктами, поэтому повсеместно транспортная составляющая представляет проблему в создании эффективной системы

обращения с отходами. В связи с этим применение модели транспортных расходов полезно в процессе корректировки территориальных схем обращения с отходами во многих регионах страны, в особенности в тех из них, что расположены вдали от мегаполисов и где острота проблемы отходов отнюдь не меньше.

В опубликованных исследованиях по данной теме основное внимание уделяется способам утилизации отходов пищевой промышленности, розничной торговли и общественного питания. Так, сравнение основных методов утилизации пищевых отходов (анаэробная ферментация, захоронение, компостирование, сжигание) показало негативное влияние транспортировки на большие расстояния на экологию при всех методах переработки [16]. Анализ затрат и результатов шести кейсов компостирования пищевых отходов на заводах Тайваня выявил преимущества компостирования по сравнению с другими способами переработки [13]. В исследовании [22] обоснована экономическая эффективность компостирования пищевых отходов на территории университета. Предложена оптимизация компостирования пищевых отходов за счет использования цеолитов и пальмовых биочипов для придания компосту необходимых свойств в условиях пустынной почвы [26]. В странах с низким экономическим ростом, где реализуются программы дополнительной помощи питанию населения вне дома, наблюдалось снижение отходов [12]. Выявлена эффективность коммерческого обмена излишками продуктов питания между фирмами, сокращающего объем пищевых отходов [24]. Исследование [19] о влиянии цифровой системы отслеживания пищевых отходов посредством программного и аппаратного обеспечения по всей цепочке обращения показало снижение отходов на 60,7 %, лучшую видимость проблем онлайн, причины образования отходов и эксплуатационные улучшения. Анализ [25] показал, что пищевые отходы – это междисциплинарная проблема, решение которой с помощью карты детерминант образования отходов углубляет понимание бытовых практик и полезно в стратегии предотвращения пищевых отходов. Оценка затрат и выгод вариантов утилизации пищевых отходов по предотвращенному экологическому воздействию за счет сокращения выбросов показала, что полезность захоронения самая низкая, на втором месте – совместное сбрасывание с осадками сточных вод, наивысшей полезностью обладает скормливание влажных пище-

вых отходов животным, но это и самый дорогостоящий вариант утилизации [21].

Обоснование схем обращения с отходами часто основывается на моделировании процесса. Известна оптимизационная модель размещения объектов инфраструктуры обращения с отходами производства, учитывающая текущие и транспортные затраты [1]. Раздельного сбора отходов домашними хозяйствами в этой модели не предусматривается. Другие модели формирования системы двухэтапного транспортирования ТКО дают оптимальное размещение, количество мусороперегрузочных станций, минимизацию расходов [3; 4; 5], но также без учета селекции отходов. Таким образом, недостаточность исследования вопросов обращения с пищевыми отходами требует их специального изучения с учетом результатов других авторов. В исследованиях [10; 27] оценена доля расходов на сбор и транспортировку коммунальных отходов на уровне 70–80 %. Авторы [15] констатируют, что при двухконтейнерной модели раздельного сбора транспортные расходы меньше, чем при трехконтейнерной модели. В другой работе [14] приведена структура расходов на сбор и транспортировку: 64,19 % – сбор, 15,52 % – транспортировка, 20,29 % – удаление отходов. В транспортных расходах 27,45 % приходится на топливо [11]. В наиболее полной математической модели [23] предполагаются значения переменных, доступ к которым ограничен в начальной стадии управления ТКО.

Несмотря на растущее внимание политиков, фирм и домашних хозяйств к пищевым отходам как экологической угрозе современности, встречается недооценка этого компонента. Так, в исследовании оптимизации управления отходами [9] за счет радиочастотной идентификации (далее – RFID) и сенсорных сетей предполагается, что органические отходы не перерабатываются, и RFID-метки не прикрепляются к их упаковке. Изучение вопроса о влиянии повышения цен на переработанные продукты питания на поведение домашних хозяйств показало, что увеличивается потребление свежих продуктов и сокращается количество пищевых отходов при условии, что свежие и обработанные продукты являются взаимозаменяемыми полезностями [17].

Получению положительных эффектов от раздельного обращения с пищевыми отходами способствуют цифровые технологии. Так, мусорные контейнеры с RFID-метками позволяют муниципальным службам онлайн следить за

их заполнением, своевременно вывозить мусор и экономить транспортные расходы. Если на мусоровозах есть весы и аппараты считывания данных контейнеров, то можно идентифицировать данные с собственниками отходов, которым выставляются счета по пропорциональным тарифам. Снижение платы за вывоз мотивирует домохозяйства уменьшать отходы, а соблюдение или игнорирование раздельного сбора учитывается системой поощрения и штрафов. В Республике Корея внедрение интеллектуальной системы сбора мусора (IoT) с энергосберегающими операциями SGB уменьшило объем пищевых отходов на 33 % [18].

Важную роль в развитии обращения с пищевыми отходами играют мобильные приложения [2], благодаря которым организаторы и участники процесса переходят от опосредованных к прямым контактам, что повышает оперативность реагирования, распространение лучшего опыта, охват участников. Мобильное приложение «Фудшеринг» работает во многих странах, в том числе в России, и помогает предотвращать пищевые отходы, бесплатно отдавать желающим продукты питания с истекающим сроком годности или ненужные.

Таким образом, переход к раздельному сбору пищевых отходов, утилизации в местах их образования и использование цифровых технологий позволяет снизить затраты на обращение с коммунальными отходами, дифференцировать тарифы на услуги по обращению с отходами, а также обеспечить качественный раздельный сбор отходов, без которого невозможна более полная переработка всех компонентов.

Выводы

1. Анализ состояния и перспектив обращения с отходами в России показал, что для повышения эффективности системы раздельный сбор следует начинать с отделения пищевого (органического) компонента на ранней стадии в местах образования.

2. Для решения одной из основных проблем в данной сфере – высокой стоимости перевозки отходов – может использоваться разработанная модель управления расходами по вывозу ТКО с учетом массы, структуры отходов, расстояния перевозки, количества рейсов автотранспорта. Расчет по данным трех городов Хакасии показал, что за счет раздельного сбора, накопления и вывоза фракций отходов может быть достигнута экономия транспортных расходов, в частности уменьшение количества рейсов контейнеровозов в три раза.

Авторская методика расчета транспортной модели не требует сложных вычислений и большого объема данных.

3. Для управления сложными логистическими процессами в связи с раздельным сбором отходов необходимо создание цифровой инфраструктуры с центром приема и обработки информации от перевозчиков и смарт-контейнеров с радиочастотными идентификаторами и сенсорными устройствами, так и от собственников отходов при передаче отходов в общую систему посредством электронных карт.

4. Цифровизация сферы обращения с отходами позволяет перейти от единых к прямым пропорциональным тарифам на вывоз отходов и стимулировать собственников отходов к их предотвращению, сокращению и переработке на месте.

Библиографический список

1. Великанова Т. В. Методы и модели размещения объектов обращения с отходами в регионе // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 116. С. 1289–1293.

2. Ермолаева Ю. В. Мобильные приложения в управлении отходами: всемирные и российские тренды // *Научный результат. Серия: Социология и управление*. 2018. Т. 4, № 2. С. 58–70. DOI: 10.18413/2408-9338-2018-4-2-0-5

3. Колодяжный С. А., Манохин М. В., Уксусов С. Н. Определение оптимальной модели транспортирования ТБО для последующего депонирования на полигонах методом Фогеля // *Научный вестник Воронежского гос. архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2016. № 3 (43). С. 76–84.

4. Миронюк В. П., Цыплаков В. Ю. Модель формирования системы двухэтапного транспортирования твердых муниципальных отходов // *Управление большими системами: сборник трудов*, 2012. Вып. 37. С. 208–231.

5. Носов А. Л. Логистическая система очистки территории региона от твердых бытовых отходов // *Логистика сегодня*. 2014. № 2. С. 112–121.

6. Согомонян Л. А. Проблемные аспекты логистической организации рециклинга в сфере обращения с твердыми бытовыми отходами // *Экономические науки*. 2016. № 7 (140). С. 71–76.

7. Сотнезов А. В., Зайцев В. А., Тарасова Н. П. Морфологический состав твердых коммунальных отходов // *Безопасность в техносфере*. 2015. № 4. С. 10–13. DOI: 10.12737/14429

8. Субракова Л. К., Тихонова И. В. Эколого-экономическая оценка размещения твердых комму-

5. Создание современной инфраструктуры обращения с отходами требует изменения правовой базы отрасли, в частности, предлагается принять специальный федеральный закон об обращении с пищевыми отходами, в который включить обязательство региональных операторов создавать инфраструктуру раздельного сбора, а органы власти – формировать условия мотивирования и стимулирования участников к внедрению лучших практик рециклинга.

Источник финансирования

Выполнение исследования финансировалось за счет личных средств автора.

Конфликт интересов

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

нальных отходов на полигонах // *Современные тенденции в науке, технике, образовании: сборник научных трудов по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф.* (г. Смоленск, 10 февраля 2020 года). Смоленск: Наукосфера, 2020. С. 77–80.

9. Amritkar M. Automatic Waste Management System with RFID and Ultrasonic Sensors // *International journal of computer sciences and engineering*. 2017. Vol. 5, no. 10. P. 240–242. DOI: 10.26438/ijcse/v5i10.240242

10. Boskovic G., Jovicic N., Jovanovic S., Simovic V. Calculating the costs of waste collection: A methodological proposal // *Waste Manag Res*. 2016. Vol. 34, no. 8. P. 775–783. DOI: 10.1177/0734242X16654980

11. Burhamtoro, Wicaksono A., Bisri M., Soemarno. Component Cost of Fuel Oil of Waste Transportation Cost // *American Journal of Engineering Research*. 2013. Vol. 02. P. 117–127.

12. Burney Sh. In-kind benefits and household behavior: The impact of SNAP on food-away-from-home consumption // *Food policy*. 2018. Vol. 75, February 2018. P. 134–146. DOI:10.1016/j.foodpol.2018.01.010

13. Chen Y. – T. A Cost Analysis of Food Waste Composting in Taiwan // *Sustainability*. 2016. Vol. 8, issue 11. P. 1210–1212. DOI:10.3390/su8111210

14. Cevat Y. Costs pertaining to the collection, transportation and disposal of domestic solid wastes and general city cleaning in the city of Istanbul // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2012. Vol. 21, no. 01. P. 908–917.

15. Dolchinkov N. T., Subrakova L. K., Ozerova N. V. Separate collection systems for packaging waste in Bulgaria // *Process Management and Scientific Developments: Materials of the International Conference*. Birmingham, United Kingdom, February 6, 2020. P. 109–116. DOI: 10.34660/INF.2020.5.54243

16. Gaoa A., Tiana Zh., Wanga Z., Wennerstena R., Suna Q. Comparison between the technologies for food waste treatment // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 105. P. 3915–3921. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.811
17. Hamilton S. F., Richards T. J. Food Policy and Household Food Waste // *American Journal of Agricultural Economics*. 2019. Vol. 101, no. 2. P. 600–614. DOI: 10.1093/ajae/aay109
18. Hong I., Park S., Lee B., Lee J., Jeong D., Park S. IoT-Based Smart Garbage System for Efficient Food Waste Management // *Scientific World Journal*. 2014. P. 1–13. DOI: 10.1155/2014/646953
19. Jagtap S., Rahimifard S. The digitisation of food manufacturing to reduce waste – Case study of a ready meal factory // *Waste Management*. 2019. Vol. 87. P. 387–397. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.02.017
20. Kostyukevich Y., Vlaskin M., Borisova L., Zhrebker A., Perminova I., Kononikhin A., Popov I., Nikolaev E. Investigation of bio-oil produced by hydrothermal liquefaction of food waste using ultrahigh resolution Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry // *European Journal of Mass Spectrometry*, 2017. Vol. 4, issue 1. P. 116–123. DOI: 10.1177/1469066717737904
21. Mi H., Yul E., Han B., Jung W., Sun J. Evaluation of food waste disposal options by LCC analysis from the perspective of global warming: Jungnang case, South Korea // *Waste Management*. 2011. Vol. 31. P. 2112–2120. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.04.019
22. Mu D., Horowitz N., Casey M., Jones K. Environmental and economic analysis of an in-vessel food waste composting system at Kean University in the U.S. // *Waste Management*. 2017. Vol. 59. P. 476–486.
23. Paul K., Chattopadhyay S., Dutt A., Krishna A. P., Ray S. A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study // *Environmental Engineering Research*. 2019. Vol. 24. № 2. P. 220–237.
24. Richards T. J., Hamilton S.F. Food waste in the sharing economy // *Food policy*. 2018. Vol. 75. P. 109–123. DOI: 10.1016/j.foodpol.2018.01.008
25. Schanes K., Dobernic K., Gözet B. Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 182. P. 978–991. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.030
26. Waqas M., Nizami A. – S., Aburiazaiza A., Rashid M. I., Barakat M. Ismail I. Optimizing the process of food waste compost and valorizing its applications: A case study of Saudi Arabia // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 176. P. 426–438. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.165
27. Zand A. D., Abyaneh M. R., Hoveidi H. Modeling of solid waste collection and transportation in metropolitan areas using WALS model: implication of CO2 emission and external costs // *International Journal of Human Capital in Urban Management*. 2018. Vol. 3. № 3. P. 211–222. DOI: 10.22034/IJHCUM

Субракова Людмила Константиновна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, Абакан, Российская Федерация

E-mail: sub_lk@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-2828-5146

Поступила в редакцию 19.12.2020

Подписана в печать 20.01.2021

ECONOMY, ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF THE ENTERPRISES, BRANCHES, COMPLEXES

UDC 338.4
JEL: L97, L99

DOI: 10.17308/econ.2021.1/3322
Licence: CC BY 4.0

Economics of food waste management in Russia

L. K. Subrakova¹✉

¹ Katanov Khakass State University, 90 Lenin Ave., 655017, Abakan, Republic of Khakassia, Russian Federation

Cite as: Subrakova, L. K. (2021) Economics of food waste management in Russia. *Proceedings of the Voronezh State University. Series: Economics and Management*. 1, 37–48. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.17308/econ.2021.1/3322

Importance. One of the problems in the field of waste management in Russia is the exclusion of food waste, which has the largest share in the volume of municipal solid waste, from the processes of separate collection and accumulation. This preserves high risks of environmental pollution, increases waste management costs and economic losses from the loss of valuable recyclable materials. Logistics is a negative factor in the economy of waste management, the shoulder of transportation at all stages of circulation is usually large due to the remoteness of the places of formation from the places of processing and disposal.

Objectives are substantiation of solving the problem of food waste management in Russia on the basis of separate collection, utilization and processing. To develop the necessary justification for solving the problem, the following tasks were set: analysis of the state of waste management in Russia; comparison of the applied methods of processing food waste; identifying ways to include households in the food waste management process; compilation of a transport model of costs for garbage removal to the places of accumulation and processing; calculation of savings in transportation costs due to the processing of the food component in the places of its formation.

Methods. Justification of the priority separate collection and processing of food waste is carried out by methods of modeling, calculation of savings and factor analysis of the impact of separate collection on costs in the field of waste management. The research materials were statistical, planned and reporting data, the results obtained by domestic and foreign researchers on this topic.

Results. A model of transport costs for the separate collection of waste has been developed, the quantitative effect of the separate collection of food waste on the change in transport costs for the removal of solid municipal waste has been determined using the example of urban municipalities of the Republic of Khakassia. Models of MSW transportation have been developed so far without taking selectivity into account. The factors of reducing transport costs have been identified.

Conclusions. The developed model of transport costs for separate waste collection is useful for adjusting territorial waste management schemes in any region. The difference between this model and the existing ones is the accounting for the separate collection of food waste, which reduces transportation costs and overall costs in the industry. The implementation of the model is facilitated by the creation of a digital waste management infrastructure.

Key words: morphology of municipal solid waste, separate collection, transportation cost model, digital infrastructure.

Source of Financing

The study was funded by the author's own funds.

Conflict of Interest

The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

References

1. Velikanova, T. V. (2013) Metody i modeli razmeshcheniya obektov obrashcheniya s othodami v regione [Methods and models for the placement of waste management facilities in the region]. *Fundamentalnye issledovaniya*. 116, 1289–1293 (In Russian)
2. Ermolaeva, Yu. V. (2018) Mobile applications in waste management: global and Russian trends. *Research result. Sociology and Management*. 4 (2), 58–70, doi: 10.18413/2408-9338-2018-4-2-0-5 (In Russian)
3. Kolodyazhny, S. A., Manokhin, M. V. & Uksusov, S. N. (2016) Opredelenie optimalnoj modeli transportirovaniya tbo dlya posleduyushchego deponirovaniya na-poligonah metodom Fogelya [Determination of the optimal model for the transportation of solid waste for subsequent deposition at landfills by the Vogel method]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gos. arhitekturno-stroitel'nogo universteta. Stroitelstvo i arhitektura*. 3 (43), 76–84 (In Russian)
4. Mironyuk, V. P. & Tsyplakov, V. Yu. (2012) Model of the formation of a system of two-stage transportation of solid municipal waste. *Upravlenie bolshimi sistemami: sbornik trudov*. 37, 208–231 (In Russian)
5. Nosov, A. L. (2014) Logisticheskaya sistema ochistki territorii regiona ot tverdyh bytovykh othodov [Logistic system for cleaning the territory of the region from solid household waste]. *Logistika segodnya*. 2, 112–121 (In Russian)
6. Soghomonian, L. A. (2016) Problematic aspects of the logistics organization in the field of recycling of municipal solid waste. *Economic Sciences*. (7), 71–76 (In Russian)
7. Sotnezov, A., Zaytsev, V. & Tarasova, N. (2015) Morfologicheskii sostav tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Morphological Composition of Solid Municipal Waste]. *Safety in Technosphere*. 4, 10–13, doi: 10.12737/14429 (in Russian)
8. Subrakova, L. K. & Tikhonova, I. V. (2020) Ecological and economic assessment of the placement of solid municipal waste in landfills, Modern trends in science, technology, education: *Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference*, February 10, 2020 Smolensk, Russia. Smolensk, Naukosfera Publ., 77–80. (in Russian)
9. Amritkar, M. (2017) Automatic Waste Management System with RFID and Ultra-sonic Sensors. *International journal of computer sciences and engineering*. 5(10), 240–242, doi: 10.26438/ijcse/v5i10.240242
10. Boskovic, G., Jovicic, N., Jovanovic, S. & Simovic, V. (2016) Calculating the costs of waste collection: A methodological proposal. *Waste Manag Res*. 34(8), 775–783. doi: 10.1177/0734242X16654980
11. Burhamtoro, Wicaksono, A., Bisri, M. & Soemarno (2013) Component Cost of Fuel Oil of Waste Transportation Cost. *American Journal of Engineering Research*. 02, 117–127
12. Burney, Sh. (2018) In-kind benefits and household behavior: The impact of SNAP on food-away-from-home consumption. *Food policy*. 75. 134–146, Available from: doi:10.1016/j.foodpol.2018.01.010
13. Chen, Y. – T. (2016) A Cost Analysis of Food Waste Composting in Taiwan. *Sustainability*. 8(11), 1210–1212, doi:10.3390/su8111210
14. Cevat, Y. (2012) Costs pertaining to the collection, transportation and disposal of domestic solid wastes and general city cleaning in the city of Istanbul. *Fresenius Environmental Bulletin*. 21(01), 908–917. January 2012.
15. Dolchinkov, N. T., Subrakova, L. K. & Ozerova, N. V. (2020) Separate collection systems for packaging waste in Bulgaria. *Process Management and Scientific Developments: Materials of the International Conference. Birmingham, United Kingdom, February 6, 2020*. Scientific publishing house infinity, 109–116, doi: 10.34660/INF.2020.5.54243
16. Gao, A., Tiana, Zh., Wanga, Z., Wennerstena, R. & Suna, Q. (2017) Comparison between the technologies for food waste treatment. *Energy Procedia*. 105, 3915–3921, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.811
17. Hamilton, S. F. & Richards, T. J. (2019) Food Policy and Household Food Waste. *American Journal of Agricultural Economics*. 101 (2), 600–614, doi: 10.1093/ajae/aay109
18. Hong, I., Park, S., Lee, B., Lee, J., Jeong, D. & Park, S. (2014) IoT-Based Smart Garbage System for Efficient Food Waste Management. *Scientific World Journal*, 1–13, doi: 10.1155/2014/646953
19. Jagtap, S. & Rahimifard, S. (2019) The digitisation of food manufacturing to reduce waste – Case study of a ready meal factory. *Waste Management*. 87, 387–397, doi: 10.1016/j.wasman.2019.02.017
20. Kostyukevich, Y., Vlaskin, M., Borisova, L., Zherebker, A., Perminova, I., Kononikhin, A., Popov, I. & Nikolaev, E. (2017) Investigation of bio-oil produced by hydrothermal liquefaction of food waste using ultrahigh resolution Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *European Journal of Mass Spectrometry*, 4(1), 116–123, doi: 10.1177/1469066717737904
21. Mi, H., Yul, E., Han, B., Jung, W. & Sun, J. (2011) Evaluation of food waste disposal options by LCC analysis from the perspective of global warming: Jungnang case, South Korea. *Waste Management*. 31, 2112–2120, doi: 10.1016/j.wasman.2011.04.019
22. Mu, D., Horowitz, N., Casey, M. & Jones, K. (2017) Environmental and economic analysis of an in-vessel food waste composting system at Kean University in the U.S. *Waste Management*. 59, 476–486, doi: 10.1016/j.wasman
23. Paul, K., Chattopadhyay, S., Dutt, A., Krishna, A. P. & Ray, S. (2019) A comprehensive optimization model for integrated solid waste management system: A case study. *Environmental Engineering Research*. 24 (2), 220–237.

24. Richards, T. J. & Hamilton, S. F. (2018) Food waste in the sharing economy. *Food policy*. 75, 109–123, doi:10.1016/j.foodpol.2018.01.008

25. Schanes, K., Dobernig, K. & Gözet, B. (2018) Food waste matters – A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production*. 182, 978–991, doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.030

26. Waqas, M., Nizami, A. – S., Aburizaiza, A., Rashid, M. I., Barakat, M. & Ismail, I. (2018) Optimiz-

ing the process of food waste compost and valorizing its applications: A case study of Saudi Arabia. *Journal of Cleaner Production*. 176, 426–438, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.165

27. Zand, A. D., Abyaneh, M. R. & Hoveidi, H. (2018) Modeling of solid waste collection and transportation in metropolitan areas using WALS model: implication of CO2 emission and external costs. *International Journal of Human Capital in Urban Management*. 3 (3), 211–222, doi: 10.22034/IJHCUM

Ludmila K. Subrakova, Cand. Sci. (Econ.),
Assoc. Prof. of Economics Department, Katanov
Khakass State University, Abakan, Russian Federa-
tion

E-mail: sub_lk@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-2828-5146

Received 19.12.2020

Accepted 20.01.2021