



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

Н.В. Михайлова, А.В. Ясинская

Научно-производственная корпорация "Механобр-техника", г. Санкт-Петербург

На примере прогноза, разработанного для г. Санкт-Петербурга, выполнен анализ типичных для российских мегаполисов проблем и нюансов, которые следует учитывать при прогнозировании объемов образования твердых коммунальных отходов (ТКО). Описан статистический метод, рекомендуемый для долгосрочного прогноза образования ТКО в Российской Федерации. Приведены результаты прогнозирования образования отходов в Санкт-Петербурге до 2030 г. Даны рекомендации по совершенствованию статистического учета в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, прогнозирование образования отходов, крупные города

Forecasting of the Generation of Municipal Solid Waste in Large Cities

N.V. Mikhailova, A.V. Yasinskaya

REC "Mekhanobr-tekhnika", 199106 St. Petersburg, Russia

Using the example of a forecast developed for St. Petersburg, an analysis was made of typical problems and nuances for Russian megalopolises that should be taken into account when predicting the volume of municipal solid waste (MSW). A statistical method is described that is recommended for a long-term forecast of the generation of MSW in the Russian Federation. The results of waste generation forecasting in St. Petersburg until 2030 are given. Recommendations are given on improving statistical accounting in the field of municipal solid waste management.

Keywords: municipal solid waste, forecasting of waste generation, large cities

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-20-25

В соответствии с федеральным законом Российской Федерации от 24.06.1998 N89-ФЗ (ред. от 25.12.2018) "Об отходах производства и потребления" наличие территориальной схемы обращения с отходами является обязательным для всех субъектов РФ. Разработка и утверждение этого программного документа призваны обеспечить эффективность привлечения инвестиций в развитие крупнейшего сектора коммунальной инфраструктуры российских городов — сферы безопасного обращения с отходами потребления.

Прогноз объемов образования твердых коммунальных отходов (ТКО) является первоочередной и неотъемлемой частью такой работы. От качества прогноза зависит работоспособность системы и эф-

фективность использования инвестиций. Ошибки прогноза ведут к значительным эколого-экономическим потерям в будущем. Объекты системы обращения с отходами (мусороперерабатывающие предприятия, полигоны и т.п.) строятся в расчете на перспективную мощность, соответственно, принципиально возможны два варианта ошибок.

• Программой заложено большее количество отходов, чем будет образовываться на самом деле. Ситуация ведет к строительству избыточных мощностей, которые не будут обеспечены сырьем и не выйдут на режим полной загрузки. Результатом являются систематические экономические потери и снижение общей экономической эффективности системы.

• Программой заложено меньшее количество отходов, чем будет образовываться на самом деле. Возникнет дефицит мощностей по переработке и захоронению, при существенной ошибке возможны логистические проблемы. Оборудование работает с перегрузом, продолжительность технологических операций не выдерживается, требуемая полнота обезвреживания не достигается. Полигоны эксплуатируются сверх проектной мощности, и в результате наносится ущерб окружающей среде. Мероприятия по решению проблемы постфактум требуют инвестиций больших, нежели на этапе создания системы, и технически менее рациональны.

Таким образом, обеспечение корректного прогнозирования образования городских отходов яв-

ляется актуальной и первоочередной задачей при планировании систем обращения с отходами.

Существующие методы прогноза образования ТКО можно разделить на следующие категории [1]:

- балансовые модели;
- факторные модели;
- статистический метод (на базе экстраполяции наблюдаемых тенденций).

Балансовые модели подразумевают расчет количества ТКО по данным о потреблении, в результате которого образуются специфические потоки отходов. Эти модели в качестве исходных данных требуют прогнозной оценки множества параметров с такой точностью и детальностью, которую невозможно обеспечить на уровне мегаполиса. Они подходят для более локальных оценок (например, на уровне предприятия) или в качестве вспомогательного инструмента.

Факторные модели опираются на анализ факторов, влияющих на процессы образования отходов, или косвенно отражающих условия их образования. Р. Veigl с соавторами доказали наличие нелинейной положительной зависимости между уровнем жизни и удельным образованием отходов на душу населения [1]. На текущем историческом этапе развития с ростом уровня жизни количество образующихся отходов растет за счет непищевых фракций, главным образом упаковки. Соответственно, снижается плотность отходов. Специалистами был разработан ряд факторных моделей, предназначенных для прогнозирования образования ТКО и опирающихся на параметры, отражающие ожидаемый уровень жизни населения: ВВП на душу населения, продолжительность жизни, средняя обеспеченность жилплощадью (для мегаполисов Евросоюза [1] и Латинской Америки [2]). При попытках проверить эти модели на апостериорных данных по г. Санкт-Петербургу не удалось получить адекватные величины образования отходов: модели оказались неустойчивыми при переходе к российской действительности. Эмпирические зависимости, полученные для Евросоюза и стран дальнего зарубежья, невозможно рекомендовать для использования в Российской Федерации ввиду разли-

Таблица 1. Доступные статистические данные об образовании ТКО в г. Санкт-Петербурге

Table 1. Available statistical data on the generation of MSW in St. Petersburg

Год	Объем образующихся ТКО, млн м ³ /год, по данным			
	ежегодного отчета Комитета по природопользованию СПб ¹	административных районов ^{1,2}	транспортных компаний ^{2,3}	Государственного доклада о состоянии окружающей среды РФ [9] ⁴
2000	–	6,1	–	–
2002	–	6,8	–	–
2003	6	–	–	–
2004	6,5	7,4	–	–
2006	8,6	7,2	–	–
2008	–	9,0	–	–
2009	–	8,3	10,3	–
2010	10,5	9,0	10,8	7,55
2011	–	10,0	11,1	9,78
2012	>10 (10,5)	–	–	8,79
2013	10,5	–	–	6,88
2014	11	–	–	8,13
2015	8,846	–	–	8,95
2016	9,96	–	–	8,80
2017	8,62	–	–	10,68
2018	9,64	–	–	–

Примечание. ¹ расчет по нормативам с использованием данных о численности жителей и организаций; ² – данные, полученные от Комитета по благоустройству правительства г. Санкт-Петербурга; ³ по данным об объеме фактически оказанных услуг на вывоз ТКО (по количеству вывезенных контейнеров); ⁴ – по данным статистической отчетности полигонов и МПЗ (данные станций весового учета, пересчитанные в единицы объема).

чия в социальных и экономических условиях. Собственных моделей подобного характера в России не разработано, в том числе по причине дефицита представительных статистических данных.

Статистический метод заключается в экстраполяции наблюдаемых тенденций и опирается на данные статистики. Практика использования метода для российских регионов ограничивается линейным экстраполированием [3–5]. Такой подход ведет к завышению прогнозных объемов ТКО и зачастую сопровождается субъективной корректировкой "слишком высоких" значений. С учетом известных закономерностей [1] линейное экстраполирование представляется необоснованным.

В процессе прогнозирования должен решаться ряд задач:

- изучение существующей организации обращения с отходами, изучение системы статистического учета сведений об отходах, сбор доступных статистических данных;
- прогноз образования ТКО в целом по мегаполису/региону с использованием сведений, полученных на предыдущем этапе;
- при необходимости — прогноз образования ТКО по транспортным районам с целью рацио-

нальной организации вывоза отходов (с учетом планов развития городской застройки).

Изучение существующей системы обращения с отходами, равно как и порядка статистического учета, весьма важно. Понимание этих процессов помогает корректно интерпретировать доступные данные, а в ряде случаев — компенсировать несоответствия, обусловленные несовершенством статистического учета.

Статистический учет образования твердых коммунальных отходов в России организован неудовлетворительно. Действующий руководящий документ [6] описывает лишь общие принципы ведения учета и для ТКО должным образом не исполняется. Выбор методик сбора и обработки статистической отчетности на местах осуществляется бессистемно и часто не позволяет получить достоверные данные [7]. Приведенный ниже пример Санкт-Петербурга, к сожалению, типичен и для других российских городов.

Для исследования динамики образования ТКО в Санкт-Петербурге доступны данные за предыдущие периоды от различных источников (табл. 1):

- официальная оценка по данным ежегодных отчетов Комитета

Таблица 2. Плотность ТКО Санкт-Петербурга
Table 2. The density of the MSW St. Petersburg

Источник	Источник ТКО	Год	Плотность, кг/м ³
Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 14.04.2017 № 30-р	Жилищный фонд	2017	186 (с учетом КГО*)
	Организации		165,7
	Магазины		145–180
	Общепит		185
Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 09.07.2008 № 30-р	Жилищный фонд	2008	187,5
Комитет по благоустройству Санкт-Петербурга [12]	Жилищный фонд	2018	192,5 (с учетом КГО)
Исследования Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого [13]	Жилищный фонд и коммерческий сектор	2015	152 (с учетом КГО)
Исследования СПбГУСЭ по заказу Комитета по благоустройству г. Санкт-Петербурга	Жилищный фонд	2010	159
		2010	168 (с учетом КГО)
Весовой учет полигона "Новый Свет-Эко"	Жилищный фонд	2010	154
		2009	155
		2007	158
		2006	159
Исследования ООО "Экодот"	Жилищный фонд	2005	160
	Жилищный фонд и коммерческий сектор		136

* КГО – крупногабаритные отходы.

по природопользованию правительства Санкт-Петербурга [8];

- официальная оценка по данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды Российской Федерации [9];

- статистика суммарного вывоза ТКО, предоставляемая Комитету по благоустройству Санкт-Петербурга организациями-перевозчиками отходов;

- статистика, предоставляемая администрациями районов Комитету по благоустройству Санкт-Петербурга.

В целом, данные демонстрируют тенденцию роста со средней дисперсией между источниками в 20 %. Существенная разница между оценками объясняется разнородностью механизмов получения данных. Прежде всего, учет ведется в единицах объема, что недопустимо ввиду свойства ТКО уплотняться на различных этапах обращения с ними.

Учет в единицах массы ведется лишь на крупных мусороперерабатывающих заводах и полигонах, причем последние не обязаны предоставлять сведения в уполномоченные структуры (комитеты) г. Санкт-Петербурга. Данные о количестве принятых отходов по формам 2-ТП (отходы) поступают непосредственно в Росприроднадзор, где обрабатываются и форми-

руют официальную статистику по РФ [9]. Однако в опубликованном источнике [9] указанные данные приводятся в кубических метрах. На каком этапе данные переводятся из тонн в кубические метры, выяснить не удалось.

При пересчете в кубические метры применяются завышенные значения плотности. Данные о плотности ТКО, полученные в результате многочисленных натурных исследований, существенно отличаются от официальных данных, используемых органами государственной статистики (табл. 2). Согласно натурным исследованиям плотность отходов в г. Санкт-Петербурге составляет 150–160 кг/м³ и приближалась к этим значениям в течение последних пятнадцати-двадцати лет.

Профильные комитеты правительства г. Санкт-Петербурга пользуются данными, поступающими от районных администраций. Администрации в принципе не владеют средствами учета фактических количеств отходов, вывозимых от домовладений. Предоставляемые ими данные получены методом расчета с использованием утвержденных нормативов и данных о численности зарегистрированных жителей, о количестве и характеристиках организаций и предприятий [8].

Объем вывезенных ТКО также оценивается организациями-перевозчиками по количеству вывезенных/опорожненных контейнеров, независимо от степени их заполнения. Данные предоставляются на декларативной основе. Согласно Распоряжению [10, 11] данные в кубках пересчитываются в тонны с использованием завышенной плотности (табл. 2). В результате цифры оказываются систематически завышенными, в чем перевозчик, несомненно, заинтересован.

Материалы и методы исследования

Прогноз образования ТКО выполнен статистическим методом путем анализа тенденций роста удельного образования отходов на душу населения. В качестве ретроспективных данных использованы сведения о численности населения [14] и официальная оценка количества образующихся отходов.

Систематические сведения о массе образующихся отходов в г. Санкт-Петербурге недоступны, поэтому анализ динамики образования отходов выполнен по показателю "объем", несмотря на его высокую погрешность. В качестве источника исходных данных выбрана оценка, приведенная в Государственном докладе "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации" [9]. Сведения доклада получены от организаций, ведущих весовой учет отходов, и характеризуются наименьшим необъясненным разбросом данных за длительный период.

Для прогноза образования ТКО в г. Санкт-Петербурге принят следующий алгоритм.

- ✓ Ретроспективный анализ динамики удельного образования отходов на душу населения (на основе показателя "объем — суммарно жилой и коммерческий сектор") с аппроксимацией ее функцией, удовлетворительно описывающей наблюдаемую тенденцию.

- ✓ Экстраполяция ожидаемых значений удельного образования отходов на период до 2030 г. с использованием выбранной функции.

- ✓ Пересчет прогнозных значений удельного образования отходов из единиц объема в единицы массы с использованием значений плотности 160 кг/м³ в 2018 г.

при ожидаемом линейном снижении до 155 кг/м³ в 2030 г. (согласно темпу, показанному в [1]).

✓ Пересчет удельного образования отходов на душу населения в абсолютные значения (м³/год, т/год) с использованием прогноза численности населения.

Для аппроксимации кривой роста образования отходов на душу населения во времени выбрана логарифмическая зависимость, которая широко используется для описания процессов, характеризующихся постепенным насыщением. Подобный тренд согласно [1] отражает, в том числе, рост уровня жизни населения во времени.

Зависимость может быть записана следующим образом:

$$V_{уд} = a \cdot \ln(T - T_0) \quad (1)$$

где $V_{уд}$ — удельное образование отходов на душу населения, м³/чел-год; a — эмпирический коэффициент, рассчитываемыйся методом наименьших квадратов, = 0,415; T — год; T_0 — условная точка начала отсчета тренда.

В качестве условной точки начала отсчета тренда T_0 принят 1950 г. — период, в который формируются два эпохальных фактора: во-первых, начинается исторически обусловленный резкий рост благосостояния российских городов, во-вторых, в массовом обиходе появляются полимеры [15].

Экстраполяция полученного тренда на период до 2030 г. в отсутствие масштабных социально-экономических потрясений позволит прогнозировать изменение удельного образования ТКО. На рис. 1 показана аппроксимация имеющихся статистических данных выбранной кривой.

Далее был введен поправочный коэффициент k к удельному объему, который компенсирует

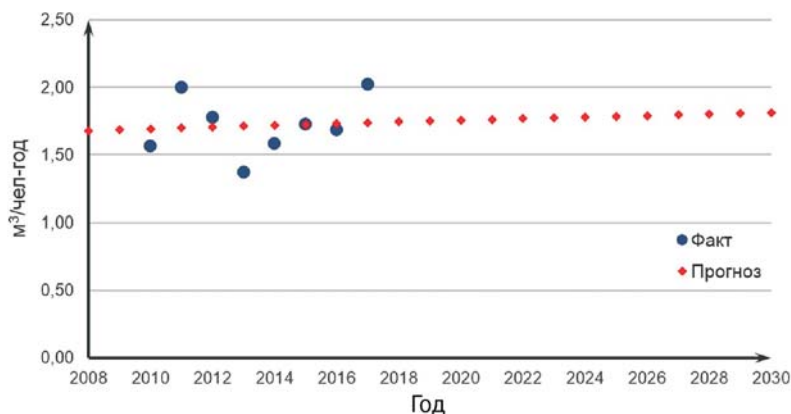


Рис. 1. Аппроксимация статистических данных об образовании ТКО на душу населения логнормальной кривой

Fig. 1. Approximation of statistics on generation of MSW per capita by a log-normal curve

занижение объема, связанное с использованием повышенных значений плотности органами государственной статистики. Поправочный коэффициент принят из расчета средней плотности ТКО по городу на 2018 г. 160 кг/м³ и составляет $k = 1,14$.

Для пересчета удельного образования отходов в абсолютные значения использован прогноз численности населения до 2030 г., выполненный территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области (Петростатом) [16] (табл. 3).

Результаты прогнозирования образования ТКО в г. Санкт-Петербурге

Результаты прогнозирования удельного норматива и абсолютного ежегодного образования ТКО в г. Санкт-Петербурге приведены в табл. 3 и на рис. 2.

Полученный прогноз характеризуется стабильной нелинейной

динамикой роста массы ТКО на душу населения. Замедление роста связано с насыщением сферы потребления по мере роста уровня жизни.

Учет изменения плотности ТКО позволяет отразить разницу в динамике объема и массы отходов: при медленном росте образования отходов по массе объем будет расти быстрее за счет повышения уровня жизни населения и соответствующего изменения структуры отходов (увеличение потребления упаковки и т.п.).

Описанный статистический метод допустимо применять, если отсутствуют резкие скачки факторов, влияющих на образование отходов населением. В частности, предполагается поступательное социально-экономическое развитие, прогнозируемый демографический рост и отсутствие запланированных масштабных инициатив по сокращению образования отходов населением. В случае появления (до окончания срока прогнозирования) государственных программ, направленных на

Таблица 3. Прогноз образования ТКО в Санкт-Петербурге [16]

Table 3. Forecast of the formation of MSW in St. Petersburg [16]

Показатель	Годы													
	2017 (факт)	2018 (факт)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Численность населения, тыс. чел.	5281	5352	5479	5557	5635	5712	5787	5861	5936	6010	6079	6147	6216	6284
Плотность отходов, кг/м ³	160	160	160	159	159	158	158	157	157	156	156	156	155	155
Удельное образование ТКО на душу населения:														
м ³ /чел-год	1,98	1,99	2,00	2,00	2,01	2,02	2,02	2,03	2,03	2,04	2,05	2,05	2,06	2,07
кг/чел-год	318	318,2	318,4	318,6	318,8	318,9	319,1	319,2	319,3	319,4	319,5	319,5	319,5	319,5
Объем отходов, млн м ³ /год	10,47	10,64	10,93	11,13	11,32	11,51	11,70	11,89	12,08	12,27	12,45	12,62	12,80	12,98
Масса отходов, тыс. т/год	1679	1703	1745	1771	1796	1822	1847	1871	1896	1920	1942	1964	1986	2008

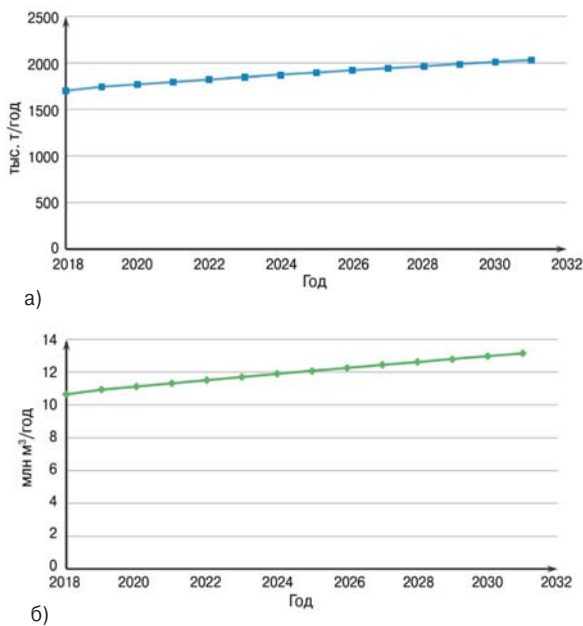


Рис. 2. Прогноз образования ТКО в г. Санкт-Петербурге:

а, б – масса и объем ТКО на душу населения соответственно

Fig. 2. Forecast of generation of MSW in St. Petersburg: a, b – mass and volume of MSW per capita, respectively

стимулирование ресурсосбережения среди населения, следует применять методы учета соответствующих эффектов согласно [17].

Полученное в результате прогноза среднегодовое образование отходов сезонную динамику не отражает.

Точность модели определяется точностью исходных данных и правомочностью принятых упрощений. В рассматриваемом примере главным источником ошибки являются ошибки статистического учета, обуславливающие неточность используемых ретроспективных данных. Необходимость вынужденной экспертной корректировки данных (введение поправочного коэффициента к удельному объему) также снижает точность прогноза.

Средняя ошибка статистического учета определяется по формуле:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\sigma^2/n} = \sigma/\sqrt{n}, \quad (2)$$

где σ – дисперсия признака в генеральной совокупности ($\sigma = 20\%$); n – объем выборки, $n = 4$ (четыре источника статистических данных см. табл. 1).

Средняя ошибка статистического учета $s = 10\%$. В условиях, когда речь идет о строительстве дорогостоящих объектов коммунальной инфраструктуры из расчета на 2 млн т отходов в год, ошибка в 10% выражается в 200 тыс. т. Это эквивалентно производительности небольшого мусороперерабатывающего завода или 10 га под полигон для захоронения.

Как видим, несовершенство системы статистического учета отходов порождает критичную ошибку прогнозирования. Ошибка носит систематический характер и, например, для Санкт-Петербурга смещена в сторону недооценки объемных показателей. Этот факт вынуждает говорить о необходимости совершенствования системы статистического учета образования и движения ТКО в масштабах всей России.

В то же время в условиях дефицита статистических данных представленный метод оценивается как наиболее адекватный. Несмотря на значительную ошибку прогноза, данные в табл. 3 показаны с большей точностью для удобства расчетов.

Выводы

Описанный в статье подход соответствует задачам долгосрочного прогнозирования образования твердых коммунальных отходов в крупных российских городах и, с определенными оговорками, может быть использован в условиях дефицита статистических данных.

На достоверность прогнозирования негативно влияют следующие

особенности статистического учета, характерные для РФ:

- учет количества ТКО ведется в единицах объема;
- для пересчета в единицы массы используются устаревшие сведения о плотности (различие в 15–20%), что ведет к катастрофическим ошибкам оценки;
- отсутствие единых методик и рекомендаций относительно ведения учета ТКО (действующий руководящий документ в сфере учета отходов описывает общие принципы ведения учета и для ТКО должным образом не исполняется).

Качество прогнозирования, и, соответственно, эффективность планирования объектов по обращению с отходами, могут быть существенно улучшены путем реализации следующих мероприятий.

1. Разработка и ввод в повсеместное применение единых правил статистического учета, разработанных специально для твердых коммунальных отходов и основанных на принципах:

- учет количества отходов строго в единицах массы;
- учет количества отходов на идентичных этапах обращения с ними;

• пересмотр коэффициентов плотности ТКО для каждого региона на основе данных натурных исследований.

2. Утверждение обязательного порядка отчетности для региональных операторов по обращению с отходами.

3. Техническое оснащение организаций-операторов необходимыми средствами измерений.

4. Установление порядка проведения регулярных исследований состава и плотности ТКО (в том числе с учетом ТКО коммерческого сектора и КГО) на уровне субъектов РФ и крупных городских поселений.

Литература

1. Beigl P., Wassermann G., Schneider F. and Salhofer S. Forecasting municipal solid waste generation in major European cities. iEMSS 2004 International Congress: "Complexity and Integrated Resources Management". Osnabrueck, Germany. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/regional/beigfore.pdf> (дата обращения 25.04.2019)

2. Sara Ojeda Benítez, Gabriela Lozano-Olvera, Raül Adalberto Morelos, Carolina Armijo de Vega. Mathematical modeling to predict residential solid waste generation. Waste Management. 2008. Vol. 28. Supplement 1. P. S7–S13.

References

1. Beigl P., Wassermann G., Schneider F. and Salhofer S. Forecasting municipal solid waste generation in major European cities. iEMSS 2004 International Congress: "Complexity and Integrated Resources Management". Osnabrueck, Germany. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/regional/beigfore.pdf> (дата обращения 25.04.2019)

2. Sara Ojeda Benítez, Gabriela Lozano-Olvera, Raül Adalberto Morelos, Carolina Armijo de Vega. Mathematical modeling to predict residential solid waste generation. Waste Management. 2008. Vol. 28. Supplement 1. P. S7–S13.

3. **Агаханиянц П.Ф.** Прогнозирование образования твердых бытовых отходов Санкт-Петербурга. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия "Экономика и экологический менеджмент". 2014. № 1. С. 67–76.
4. **О Программе** "Региональная целевая программа по обращению с твердыми бытовыми отходами в Санкт-Петербурге на период 2012–2020 годов": Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 29.05.2012, № 524. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2015/02/24/post_29_05_2012%20N%20524.pdf (дата обращения: 25.04.2019).
5. **Распоряжение** Правительства РК от 05.06.2012 № 389р-П (ред. от 29.08.2013) Об одобрении Долгосрочной инвестиционной программы обращения с отходами производства и потребления Республики Карелия на 2012–2024 годы. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?base=RLAW904&n=30905&req=doc#0004794421815238481> (дата обращения: 25.04.2019).
6. **Приказ** Минприроды России от 1 сентября 2011 г. №721 "Об утверждении Порядка учета в области обращения с отходами" (ред. от 25.06.2014) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120572/ (дата обращения: 25.04.2019).
7. **Агаханиянц П.Ф., Унжаков В.В.** Форма 2-ТП (отходы). Семь Проблем. Экология производства. 2019. № 3. С. 36–40.
8. **Охрана** окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2003–2017 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=983> (дата обращения: 25.04.2019).
9. **Государственный доклад** "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году" от 28 декабря 2018. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017_/ (дата обращения: 25.04.2019).
10. **Об утверждении** нормативов образования твердых бытовых отходов населением, проживающим в жилищном фонде Санкт-Петербурга: Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 09.07.2008 № 30-р. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ_kom/documents/npa/7118/ (дата обращения: 25.04.2019).
11. **Об установлении** нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Санкт-Петербурга: Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 14.04.2017 № 30-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/8478401> (дата обращения: 25.04.2019).
12. **Постановление** Правительства СПб от 17.06.10 № 487 (ред. от 28.04.2019). [Электронный ресурс]. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2015/02/24/post_17_06_2014%20N%20487.pdf (дата обращения: 25.04.2019).
13. **Chusov A., Neguliaeva E.** Optimization of the Solid Waste Management System in Saint-Petersburg Based on the Morphological Composition Study. MATEC Web of Conferences. Volume 193. № 02037. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/52/mateconf_esci2018_02037.pdf.
14. **Письмо** Петрограда от 24.09.2012 г. № ОН-140/4645 [Электронный ресурс]. URL: <http://gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2013/01/23/DEMOGRAFIJA.ppt> (дата обращения: 25.04.2019).
15. **Козлов Г.В., Ивахнюк Г.К.** Морфологический состав твердых коммунальных отходов по регионам мира в XX и начале XXI века (обзор). Известия СПбГТИ(ТУ). 2014. № 24. С. 58–66.
16. **Предположительная** численность Санкт-Петербурга до 2030 года. Статистический бюллетень [Электронный ресурс]. URL: http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/petrostat/resources/e150360044c291d4b000f520d5236cbc/Prognoz_2014_Spb_LO.pdf (дата обращения: 23.04.2019).
17. **Beigl P., Lebersorger S., Salhofer S.** Modelling municipal solid waste generation: A review. Waste Management. 2008. Vol. 28. Iss. 1. P. 200–214.
3. **Agakhanyants P.F.** Prognozirovaniye obrazovaniya tverdykh bytovykh otkhodov Sankt-Peterburga. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya "Ekonomika i ekologicheskii menedzhment". 2014. № 1. S. 67–76.
4. **O Programme** "Regional'naya tselevaya programma po obrashcheniyu s tverdymi bytovymi otkhodami v Sankt-Peterburge na period 2012–2020 godov": Postanovlenie Pravitel'stva Sankt-Peterburga ot 29.05.2012, № 524. [Elektronnyi resurs]. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2015/02/24/post_29_05_2012%20N%20524.pdf (data obrashcheniya: 25.04.2019).
5. **Rasporyazhenie** Pravitel'stva RK ot 05.06.2012 № 389r-P (red. ot 29.08.2013) Ob odobrenii Dolgosrochnoi investitsionnoi programmy obrashcheniya s otkhodami proizvodstva i potrebleniya Respubliki Kareliya na 2012-2024 gody. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?base=RLAW904&n=30905&req=doc#0004794421815238481> (data obrashcheniya: 25.04.2019).
6. **Priraz** Minprirody Rossii ot 1 sentyabrya 2011 g. №721 "Ob utverzhenii Poryadka ucheta v oblasti obrashcheniya s otkhodami" (red. ot 25.06.2014) [Elektronnyi resurs]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120572/ (data obrashcheniya: 25.04.2019).
7. **Agakhanyants P.F., Unzhakov V.V.** Forma 2-TP (otkhody). Sem' Problem. Ekologiya proizvodstva. 2019. № 3. S. 36–40.
8. **Okhrana** okruzhayushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2003-2017 gg. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=983> (data obrashcheniya: 25.04.2019).
9. **Gosudarstvennyy doklad** "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu" ot 28 dekabrya 2018. [Elektronnyi resurs]. URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017_/ (data obrashcheniya: 25.04.2019).
10. **Ob utverzhenii** normativov obrazovaniya tverdykh bytovykh otkhodov naseleniem, prozhivayushchim v zhilishchnom fonde Sankt-Peterburga: Rasporyazhenie Komiteta po tarifam Sankt-Peterburga ot 09.07.2008 № 30-r. [Elektronnyi resurs]. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/energ_kom/documents/npa/7118/ (data obrashcheniya: 25.04.2019).
11. **Ob ustanovlenii** normativov nakopleniya tverdykh kommunal'nykh otkhodov na territorii Sankt-Peterburga: Rasporyazhenie Komiteta po tarifam Sankt-Peterburga ot 14.04.2017 № 30-r. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/8478401> (data obrashcheniya: 25.04.2019).
12. **Postanovlenie** Pravitel'stva SPb ot 17.06.10 № 487 (red. ot 28.04.2019). [Elektronnyi resurs]. URL: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2015/02/24/post_17_06_2014%20N%20487.pdf (data obrashcheniya: 25.04.2019).
13. **Chusov A., Neguliaeva E.** Optimization of the Solid Waste Management System in Saint-Petersburg Based on the Morphological Composition Study. MATEC Web of Conferences. Volume 193. № 02037. 2018. [Elektronnyi resurs]. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/52/mateconf_esci2018_02037.pdf.
14. **Pis'mo** Petrostata ot 24.09.2012 g. № ON-140/4645 [Elektronnyi resurs]. URL: <http://gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2013/01/23/DEMOGRAFIJA.ppt> (data obrashcheniya: 25.04.2019).
15. **Kozlov G.V., Ivakhnyuk G.K.** Morfologicheskii sostav tverdykh kommunal'nykh otkhodov po regionam mira v XX i nachale XXI veka (obzor). Izvestiya SPbGTI(TU). 2014. № 24. S. 58–66.
16. **Predpolozhitel'naya** chislennost' Sankt-Peterburga do 2030 goda. Statisticheskii byulleten' [Elektronnyi resurs]. URL: http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/petrostat/resources/e150360044c291d4b000f520d5236cbc/Prognoz_2014_Spb_LO.pdf (data obrashcheniya: 23.04.2019).
17. **Beigl P., Lebersorger S., Salhofer S.** Modelling municipal solid waste generation: A review. Waste Management. 2008. Vol. 28. Iss. 1. P. 200–214.

H.V. Михайлова – канд. техн. наук, главный технолог, Научно-производственная корпорация «Механобр-техника», 199106 Россия, г. Санкт-Петербург, 22 линия 3, e-mail: mikhailoff@gmail.com • A.V. Ясинская – ст. инженер, e-mail: yasinskaya_av@npg-mt.spb.ru

N.V. Mikhailova – Cand. Sci. (Eng.), Chief Technologist, REC "Mekhanobr-tehnika", 199106 Russia, St. Petersburg, 22 liniya V.O. 3, e-mail: mikhailoff@gmail.com • A.V. Yasinetskaya – Senior Engineer, e-mail: yasinskaya_av@npg-mt.spb.ru