

.....

## Региональная и отраслевая экономика

.....

Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2025. Т. 17, № 3. С. 7–21  
The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University. 2025. Vol. 17, № 3. P. 7–21

Научная статья  
УДК 332.146.2  
DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-3/007-021>  
EDN: <https://elibrary.ru/VSJBUY>

### Управление логистикой отходов в мегаполисах на основе методов имитационного моделирования

Гвилия Наталья Алексеевна

Янковский Дмитрий Игоревич

Санкт-Петербургский государственный экономический университет  
Санкт-Петербург. Россия

***Аннотация.** Рассмотрено управление логистикой отходов в мегаполисах на основе применения метода имитационного моделирования для оптимизации транспортной нагрузки при вывозе твердых коммунальных отходов (ТКО) на примере Красносельского района Санкт-Петербурга. Проанализированы существующие маршруты, объемы отходов и графики вывоза; предложены решения по перераспределению адресов и замене контейнеров для крупногабаритных отходов (КГО) на стандартные контейнеры под ТКО. Результаты показывают, что предложенные меры позволяют снизить издержки на транспортировку до 1 млн руб. в месяц, оптимизировать использование автопарка и повысить эффективность работы предприятия.*

***Ключевые слова:** логистика отходов, имитационное моделирование, транспортная нагрузка, вывоз твердых коммунальных отходов, оптимизация маршрутов, контейнерные площадки, крупногабаритные отходы.*

***Для цитирования:** Гвилия Н.А., Янковский Д.И. Управление логистикой отходов в мегаполисах на основе методов имитационного моделирования // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2025. Т. 17, № 3. С. 7–21. DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-3/007-021>. EDN: <https://elibrary.ru/VSJBUY>*

.....

## Regional and sectoral economy

.....

Original article

### Waste logistics management in megacities based on simulation methods

Natalia A. Gviliya

Dmitry I. Yankovsky

Saint Petersburg State University of Economics  
Saint Petersburg. Russia

---

© Гвилия Н.А., 2025  
© Янковский Д.И., 2025

**Abstract.** *The article discusses the management of waste logistics in megacities based on the application of the simulation modeling method to optimize the transport load during the removal of municipal solid waste (MSW) using the example of the Krasnoselsky District of St. Petersburg. The authors analyze existing routes, waste volumes, and removal schedules, and propose solutions for redistributing addresses and replacing bulky waste (BW) containers with standard MSW containers. The results show that the proposed measures can reduce transportation costs to 1 million rubles per month, optimize vehicle fleet use, and improve enterprise efficiency.*

**Keywords:** *waste logistics, simulation modeling, transport load, solid municipal waste removal, route optimization, container sites, large-sized waste.*

**For citation:** *Gviliya N.A., Yankovsky D.I. Waste logistics management in megacities based on simulation methods // The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University. 2025. Vol. 17, № 3. P. 7–21. DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-3/007-021>. EDN: <https://elibrary.ru/VJSJBUY>*

## Введение

Логистика отходов в мегаполисах становится все более актуальной проблемой из-за стремительного роста городского населения и увеличения объемов производимых отходов. Согласно отчету Всемирного банка [1], в мире около 2 млрд т твердых бытовых отходов генерируется ежегодно, и эта цифра продолжает расти. В крупных городах проблема усугубляется высокой концентрацией населения и промышленных объектов, что приводит к перегрузке систем управления отходами и ухудшению экологической обстановки.

Как и в других мегаполисах, в Санкт-Петербурге проблема управления отходами усугубляется большим количеством жителей и, соответственно, высокими объемами бытовых и промышленных отходов, что создает нагрузку на существующие системы управления отходами. Однако организация такого процесса требует дополнительных усилий и ресурсов, а также изменения привычек населения. Управление логистикой отходов требует координации между органами власти, предприятиями по обращению с отходами, экологическими организациями и другими заинтересованными сторонами [2]. Отсутствие эффективной координации может приводить к сбоям в работе системы и снижению ее эффективности.

На текущий момент времени перевозчики, осуществляющие вывоз твердых коммунальных отходов (ТКО) на территории Санкт-Петербурга, работают через систему государственных закупок. Они заключают контракт на весь объем отходов, образованный внутри районов города, без пересчета на фактический объем вывезенных отходов.

Одной из ключевых проблем в организации вывоза ТКО является прогнозирование транспортной нагрузки на маршрутах спецтехники. Неправильное распределение транспорта приводит к перерасходу топлива, износу оборудования, несвоевременному вывозу отходов и, как следствие, к ухудшению санитарного состояния территорий.

Применение методов моделирования (математических, имитационных, геоинформационных) позволяет точно прогнозировать транспортные потоки, оптимизировать маршруты и графики вывоза.

*Актуальность темы исследования* заключается в рассмотрении существующих методов планирования нагрузки на спецтехнику с учетом географиче-

ских особенностей мест накопления ТКО, а также их применения в существующем районе для планирования вывоза отходов на территории Санкт-Петербурга.

*Цель исследования* заключается в разработке модели управления логистикой отходов на основе анализа применения существующих методов планирования транспортной нагрузки к сфере обращения с ТКО.

### **Основная часть**

Планирование транспортной нагрузки при вывозе ТКО является одним из основных этапов для обеспечения эффективной системы транспортировки ТКО. От грамотного планирования будет зависеть производственная и экономическая эффективность предприятия. Основными методами при планировании транспортной нагрузки являются:

- метод Кларка – Райта (алгоритм «экономии»), применяемый для построения оптимальных маршрутов с минимальными пробегами [3];
- метод загрузки транспорта, при котором сначала загружаются самые тяжелые или объемные грузы;
- ГИС метод, при котором происходит визуализация маршрутов [4];
- математическое моделирование, заключающееся в использовании различных математических моделей для оценки транспортных потоков;
- имитационное моделирование, которое может учитывать различные факторы, позволяющие построить оптимальную модель нагрузки [5].

В качестве основного инструмента при планировании вывоза используется имитационное моделирование с использованием пространственного анализа по географической принадлежности контейнерных площадок к определенному району и кварталу. Авторами построена математическая модель, которая при изменении графиков вывоза с контейнерной площадки позволяет определять транспортную нагрузку, как на отдельную единицу техники, так и в общем по району. Имитационное моделирование позволяет в виртуальной среде воспроизвести существующую систему по транспортированию отходов, а также оценить эффективность возможных изменений без реальных затрат [6, 7].

В качестве практической базы рассмотрен Красносельский район г. Санкт-Петербурга, где за вывоз отходов отвечает один перевозчик [8]. Для моделирования системы вывоза отходов из программы единого регионального оператора была выгружена аналитическая отчетность, в которой хранятся следующие данные:

- адреса контейнерных площадок с указанием GPS координат;
- количество и объем контейнеров, установленных на площадках;
- график вывоза контейнерной площадки или график вывоза определенных контейнеров на площадках.

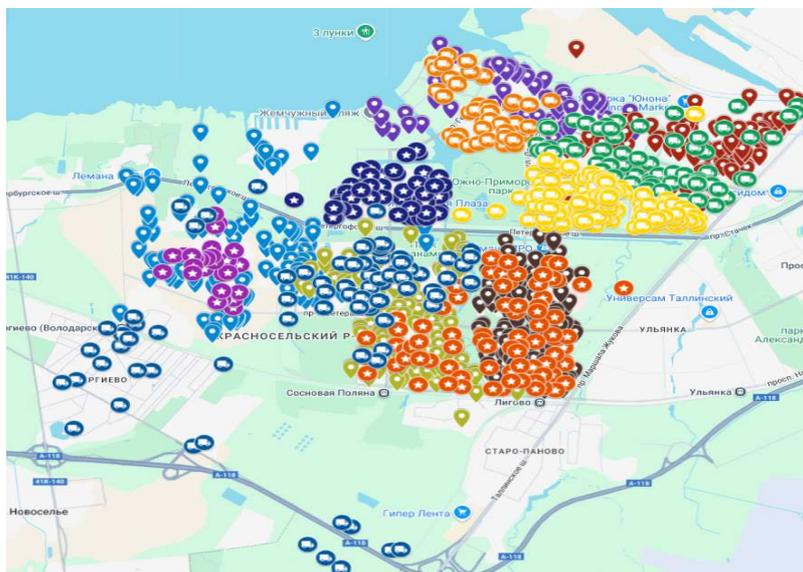
Для начала необходимо выгрузить текущие маршруты автомобилей на карту города, чтобы определить маршруты, которые могут сильно пересекаться.

При анализе исследуются маршруты движения автомобилей с прессовальной установкой трех размеров:

- маленький автомобиль, объем кузова –  $10 \text{ м}^3$ , коэффициент уплотнения – 1:5;
- средний автомобиль, объем кузова –  $16 \text{ м}^3$ , коэффициент уплотнения – 1:6;

– крупный автомобиль, объем кузова – 22 м<sup>3</sup>, коэффициент уплотнения – 1:6.

Использование автомобилей трех размеров обусловлено различной шириной подъездных путей до контейнерных площадок.



Условные обозначения:

-  – автомобиль маленького размера
-  – автомобиль среднего размера
-  – автомобиль крупного размера

Рис. 1. Графическое отображение существующих маршрутов движения автотранспорта

Как видно из рис. 1, не все маршруты автомобилей имеют достаточную плотность и многие из них пересекаются с другими. Получается, что на территории одного квартала в один день будут работать сразу несколько автомобилей.

Следующим этапом необходимо проанализировать планируемые объемы по вывозу. Данные объема рассчитаны с учетом средней наполняемости контейнерной площадки, т.е. если на площадке установлено 10 контейнеров, а в среднем их забирается 8, то объем отходов, требуемых к вывозу, будет равен

$$\Sigma = V * K * K_c, \quad (1)$$

где  $V$  – объем контейнера, установленного на площадке;  $K$  – количество установленных контейнеров;  $K_c$  – средний процент наполнения площадки.

В результате данных расчетов была составлена таблица с плановыми показателями существующей нагрузки по маршрутам движения автотранспорта. Необходимо рассматривать нагрузку по автомобилям по дням недели, так как

в силу особенностей отрасли наибольший объем отходов скапливается к понедельнику. Связано это с тем, что значительное количество людей проводят выходные у себя дома и накапливают большой объем отходов [9].

Обозначение номеров маршрутов состоит из трех цифр, где первая цифра обозначает номер района для маршрута, вторая – какого размера автомобиль (1 – самый маленький), последняя – номер маршрута для данного автомобиля. Текущий объем представлен в табл. 1.

Таблица 1

### Текущий объем вывоза отходов на маршрутах

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	192	177	197	161	193	180	146	178
112	184	200	189	204	192	192	194	194
113	220	138	210	129	207	137	28	153
114	151	182	142	175	153	182	58	149
115	180	109	143	103	172	120	29	122
121	297	313	303	277	340	275	297	300
122	245	248	245	246	245	243	243	245
123	505	439	394	467	456	447	436	449
131	242	259	240	256	242	241	250	247
132	305	256	296	230	312	267	203	267
133	240	272	202	253	203	253	104	218
134	350	306	340	322	322	289	340	324

Источник: сост. авторами.

Вторым числом в значении номера маршрута обозначается размер автомобиля.

Как видно из табл. 1, наиболее сильно из общей массы выбивается маршрут 123, но из-за высокой плотности адресов автомобиль и экипаж справляются с данным объемом работы. Из-за особенностей графиков вывоза контейнерных площадок маршруты 113, 114 и 115 необходимо объединять в один по воскресеньям.

При перераспределении адресов между автомобилями необходимо учитывать следующие факторы (табл. 2):

- среднее количество баков на маршруте, так как от количества баков зависит, сколько времени потребуется экипажу на подкатку и опустошение баков;
- количество адресов на маршруте, так как от количества требуемых остановок зависит время работы автомобиля.

Таблица 2

**Текущее количество адресов на маршрутах**

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	65	66	68	52	70	63	44	61
112	42	43	46	48	48	39	41	44
113	46	37	46	36	45	30	13	36
114	61	65	55	61	63	63	20	55
115	61	49	40	53	55	49	12	45
121	49	50	52	44	59	44	47	49
122	45	46	45	44	46	43	43	45
123	57	53	43	57	51	54	51	52
131	35	39	34	37	35	33	34	35
132	58	39	55	37	60	45	31	46
133	54	60	48	62	47	53	17	49
134	55	43	58	44	50	41	46	48

Источник: сост. авторами.

Дополнительно необходимо учитывать следующие факторы:

– для крупных автомобилей приоритетным стал выбор площадок, на которых образуется большой объем отходов, чтобы они быстро заполнялись и уезжали на перегрузы, что позволит увеличить темп их работы;

– для маленьких автомобилей это стали площадки, на которых скапливается маленький объем отходов. Данные автомобили обладают большей маневренностью, и они смогут быстрее двигаться внутри кварталов, чем мусоровозы большего размера;

– дополнительным параметром стало наличие контейнеров типа «лодка», которые могут быть опустошены только мусоровозами среднего и крупного размера.

В результате перераспределения адресов с учетом их графиков получились следующие показатели, представленные в табл. 3.

Таблица 3

**Плановый объем отходов к вывозу на маршрутах**

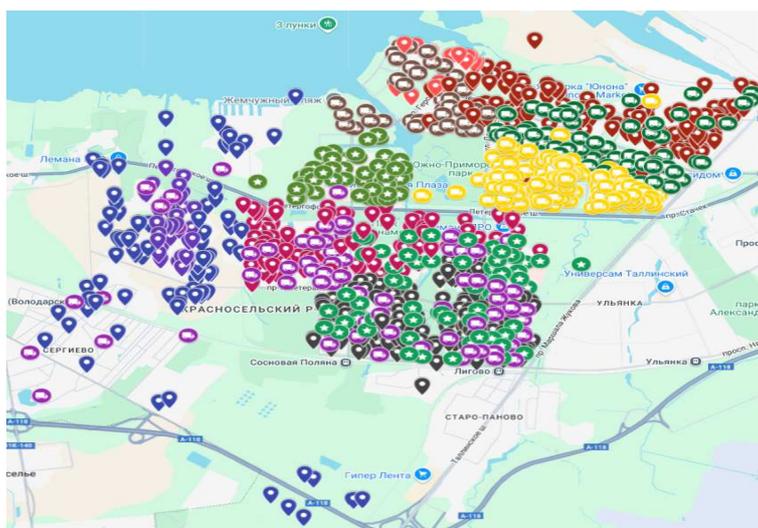
Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	205	193	212	193	202	195	192	199
112	–	–	–	–	–	–	–	
113	272	171	267	184	262	173	111	206
114	186	203	153	204	166	200	59	167
115	224	156	215	121	236	171	69	170

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
121	297	313	303	277	340	275	297	300
122	191	196	192	196	193	190	191	193
123	371	342	312	365	345	341	309	341
131	313	331	312	332	313	320	331	322
132	305	281	297	238	312	278	174	269
133	275	307	236	289	237	289	137	253
134	471	407	403	426	431	395	458	427

Источник: сост. авторами.

В результате получилось освободить один автомобиль на территории района, но появилось дополнительное требование, а именно: на маршруте 113 необходимо изменить графики вывоза площадок, чтобы сгладить пики по понедельникам, средам и пятницам. Маршрут 134 очень объемный, но он будет состоять только из контейнеров типа «лодка», в которых мусор является «воздушным» и реальные показатели можно умножить на 0,7.

Графическое изображение маршрутов представлено на рис. 2.



Условные обозначения:

-  – автомобиль маленького размера
-  – автомобиль среднего размера
-  – автомобиль крупного размера

Рис. 2. Географическое расположение новых маршрутов

Рисунок 2 наглядно демонстрирует, что увеличилась плотность маршрутов, но избежать ситуации по работе нескольких размеров автомобилей на территории одного квартала не удалось. Далее необходимо рассчитать плановое среднее время работы автомобилей по маршрутам (табл. 4).

Таблица 4

**Плановое время работы автомобилей**

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	11,2	10,6	11,6	10,6	11,1	10,7	10,5	10,9
112								
113	15,2	9,6	14,9	10,3	14,7	9,7	6,2	11,5
114	10,9	11,9	9,0	11,9	9,7	11,7	3,4	9,8
115	14,9	10,4	14,3	8,0	15,7	11,3	4,6	11,3
121	8,6	9,0	8,8	8,0	9,8	8,0	8,6	8,7
122	8,1	8,3	8,1	8,2	8,1	8,0	8,1	8,1
123	11,9	11,0	10,0	11,7	11,1	10,9	9,9	10,9
131	14,1	15,0	14,1	15,0	14,2	14,5	15,0	14,6
132	13,1	12,1	12,8	10,3	13,5	12,0	7,5	11,6
133	13,3	14,9	11,4	14,0	11,5	14,0	6,7	12,3
134	11,9	10,3	10,2	10,7	10,9	10,0	11,5	10,8

Источник: сост. авторами.

По полученным данным необходимо будет скорректировать графики вывоза площадок на маршрутах 113, 114, 132 и 133. После корректировки плановое время работы представлено в табл. 5.

Таблица 5

**Время работы после корректировки графиков вывоза площадок**

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	11,8	11,4	12,2	11,3	11,9	11,2	11,2	11,6
112								
113	12,7	12,6	12,3	12,9	12,1	12,1	9,3	12,8
114	13,3	14,0	11,0	14,3	11,9	13,7	6,0	12,1
115	11,1	11,4	11,3	11,0	11,8	12,6	6,9	12,3
121	11,3	11,3	11,6	10,4	12,6	10,4	11,2	11,3
122	9,3	9,5	9,4	9,4	9,5	9,1	9,1	9,3
123	11,5	10,7	10,2	11,2	11,2	10,7	9,7	10,7

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
131	11,0	11,4	11,0	11,4	11,1	11,2	11,4	11,2
132	12,9	12,5	12,3	11,5	12,1	12,2	8,2	11,9
133	12,7	12,0	11,5	11,8	12,3	12,9	6,8	11,8
134	12,3	11,3	11,1	11,6	11,8	11,1	12,2	11,6

Источник: сост. авторами.

Дополнительным этапом по имитационному моделированию является замена части контейнеров, предназначенных под крупногабаритные отходы (КГО), на контейнеры под обычные ТКО. Для обеспечения вывоза отходов используются различные типы автомобилей и, соответственно, необходимы разные типы контейнеров, куда жители выбрасывают свои отходы.

Для вывоза разных типов контейнеров должны использоваться разные типы автомобилей, стоимость использования которых значительно отличается. Например, средний автомобиль, который вывозит контейнеры только для ТКО, может за рабочую смену вывезти 250 м<sup>3</sup> отходов. Мусоровоз, который вывозит только КГО, способен вывезти около 85 м<sup>3</sup> отходов. Примерная разница по производительности составляет 3 раза.

Необходимо отметить, что мусоровоз, собирающий стандартные контейнеры, может объехать за рабочую смену до 80 адресов, а автомобиль под КГО – только 8. Площадь охвата территорий, где работает первый автомобиль, вырастает до 10 раз по сравнению со вторым. Следует отметить, что пробег автомобилей при вывозе контейнеров под КГО кратно увеличивается, так как им необходимо приехать на адрес, забрать контейнер, отвезти его на пункт обработки отходов и вернуть пустой контейнер на место.

Для оценки экономической целесообразности замены контейнеров под КГО на контейнеры под ТКО необходимо посчитать себестоимость вывоза 1 м<sup>3</sup> отходов для разных видов.

Таблица 6

#### Расчет себестоимости вывоза автомобиля под ТКО и КГО

Показатель	Мусоровоз под ТКО	Мусоровоз под КГО
Количество собранных отходов в смену	250	85
Количество рабочих дней в месяц	28	28
Ежемесячный лизинговый платеж	350 000	150 000
Средний пробег за смену	80	250
Стоимость обслуживания, руб./км	30	12

Окончание табл. 6

Показатель	Мусоровоз под ТКО	Мусоровоз под КГО
Средний расход топлива л/100 км	45	17
Расход на топливо в месяц	72 576	85 680
Стоимость экипажа в смену	13 200	6 300
Стоимость содержания в месяц	67 200	84 000
Итого расходов в месяц	859 376	496 080
Стоимость вывоза 1 м <sup>3</sup>	123	208

*Источник:* сост. авторами.

Как видно из табл. 6, у мусоровоза под КГО меньше стоимость обслуживания, стоимость закупки и меньше расходов на экипаж, но при этом гораздо меньше количество вывозимых отходов в месяц. В результате стоимость вывоза 1 м<sup>3</sup> отходов вырастает на 70%. Понимая такую себестоимость вывоза, многие перевозчики всячески стараются отказаться от использования контейнеров под КГО на своей территории, но они не могут это сделать в полном объеме, и на это есть свои причины.

Во-первых, нормами накопления ТКО установлено накопление как обычных ТКО, так и крупногабаритных. Соответственно, перевозчикам необходимо устанавливать на территории кварталов контейнеры под КГО.

Во-вторых, существуют контейнерные площадки, куда мусоровоз с прессовальной установкой не сможет заехать из-за своих габаритов, а мусоровоз под КГО имеет гораздо меньшие размеры и более маневрен. Дополнительным фактором являются нормативные места накопления отходов, утвержденные в территориальной схеме по обращению с отходами; данные места перевозчик не может исключить из программы своего вывоза.

В-третьих, некоторые контейнеры находятся в собственности у различных жилищных служб, которые не готовы брать дополнительную финансовую нагрузку по замене контейнеров.

В результате данных ограничений нельзя в полном объеме отказаться от контейнеров под крупногабаритные отходы, а перевозчикам отходов необходимо идти на дополнительные издержки.

В качестве примера эффективной замены контейнеров под КГО на обычные контейнеры рассмотрим ситуацию в Красносельском районе г. Санкт-Петербурга. В результате анализа контейнерных площадок были выявлены следующие адреса; их графическое расположение представлено на рис. 3.

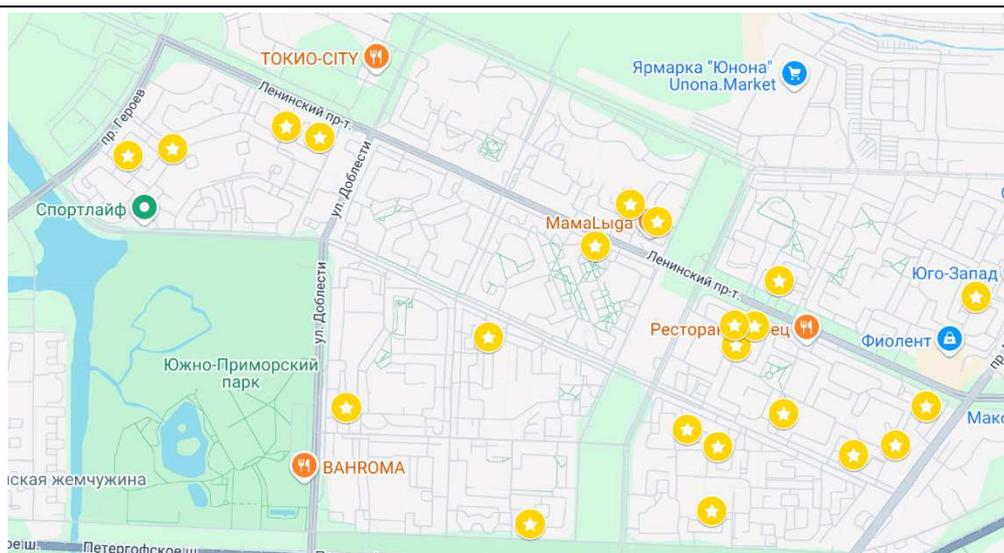


Рис. 3. Графическое изображение адресов, пригодных для замены контейнеров под КГО

В результате анализа было принято решение о замене существующего оборудования на площадках на контейнеры под обычные ТКО. Для их замены потребуется приобрести 103 контейнера объемом 1,1 м<sup>3</sup>. С учетом новых графиков дополнительная нагрузка на существующие маршруты движения представлена в табл. 7.

Таблица 7

**Расчет дополнительной нагрузки на оптимизированные маршруты**

Маршрут	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
111	17,6	35,2	17,6	35,2	17,6	35,2	35,2
113	17,6	27,5	17,6	27,5	23,1	27,5	27,5
123	7,5	0	7,5	0	7,5	0	0
132	3,3	32,4	3,3	17,4	3,3	24,9	24,9
133	14,3	14,3	24,2	24,2	14,3	24,2	24,2
Итого	60,3	109,4	70,2	104,3	73,3	111,8	111,8

Источник: сост. авторами.

Количество вывозов автомобилей, использующих контейнеры под КГО, представлено в табл. 8.

Таблица 8

**Снижение количества вывозов по дням недели**

Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
-11	-10	-11	-8	-9	-11	-10

Источник: сост. авторами.

Среднее количество вывозов для автомобиля составляет 7 контейнеров. В результате оптимизация позволит снизить использование автопарка практически на два автомобиля, что позволит сэкономить до 992 160 руб. в месяц.

Итоговая нагрузка на автомобили с учетом замены контейнеров представлена в табл. 9.

Таблица 9

**Плановый объем отходов на маршрутах после замены контейнеров**

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	223	228	230	228	220	230	227	227
112	–	–	–	–	–	–	–	–
113	290	199	285	212	285	201	139	230
114	186	203	153	204	166	200	59	167
115	224	156	215	121	236	171	69	170
121	297	313	303	277	340	275	297	300
122	191	196	192	196	193	190	191	193
123	379	342	320	365	353	341	309	344
131	313	331	312	332	313	320	331	322
132	308	313	300	255	315	303	199	285
133	289	321	260	313	251	313	161	273
134	471	407	403	426	431	395	458	427

Источник: сост. авторами.

Последним этапом является расчет среднего времени работы автомобилей (табл. 10).

**Плановое среднее время работы автомобилей**

Номер маршрута	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Среднее
111	12,5	12,7	12,5	12,3	12,4	12,2	11,9	12,4
112								
113	13,0	13,4	12,7	13,3	12,6	12,9	10,0	12,6
114	13,3	14,0	11,0	14,3	11,9	13,7	6,0	12,0
115	11,1	11,4	11,3	11,0	11,8	12,6	6,9	10,9
121	11,3	11,3	11,6	10,4	12,6	10,4	11,2	11,3
122	9,3	9,5	9,4	9,4	9,5	9,1	9,1	9,3
123	11,6	10,7	10,3	11,2	11,3	10,7	9,7	10,8
131	11,0	11,4	11,0	11,4	11,1	11,2	11,4	11,2
132	12,9	13,0	12,3	12,4	12,6	12,2	8,3	12,0
133	13,0	12,5	12,1	12,4	12,6	13,4	7,5	11,9
134	12,3	11,3	11,1	11,6	11,8	11,1	12,2	11,6

*Источник:* сост. авторами.

Необходимо понимать, что плановое время на маршруте может отличаться от фактического времени в силу изменения дорожной ситуации и погодных условий, что непосредственно сказывается на скорости движения автомобилей, а также работе экипажа.

**Заключение**

Проведенное исследование демонстрирует эффективность применения методов имитационного моделирования для оптимизации транспортной нагрузки при вывозе твердых коммунальных отходов в Красносельском районе г. Санкт-Петербурга. Использование математических моделей, геоинформационных систем и алгоритмов маршрутизации позволило перераспределить адреса вывоза, скорректировать графики работы спецтехники и заменить часть контейнеров для крупногабаритных отходов на стандартные, что привело к значительному экономическому эффекту.

Ключевые результаты исследования:

- 1) оптимизация маршрутов: устранение пересечений и неравномерной загрузки автомобилей, что сократило холостые пробеги и время работы техники;
- 2) снижение затрат: экономия составила до 1 млн руб. в месяц за счет сокращения числа задействованных мусоровозов и уменьшения расходов на топливо и обслуживание;

3) повышение эффективности: улучшение санитарного состояния района благодаря своевременному вывозу отходов и рациональному использованию автопарка.

Предложенные решения, включая замену контейнеров и адаптацию графиков вывоза, могут быть масштабированы на другие районы города, что делает исследование практически значимым. Дальнейшее развитие работы может быть направлено на интеграцию динамических факторов в модели (погода, дорожная ситуация) и применение искусственного интеллекта для прогнозирования нагрузки.

Имитационное моделирование подтвердило свою ценность как инструмент для принятия управленческих решений в сфере логистики отходов. Внедрение подобных методов на других предприятиях отрасли позволит достичь устойчивого развития системы обращения с ТКО.

### Список источников

1. Всемирный банк. Индекс GRI 2024 (на англ. языке). URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099912510212415327> (дата обращения: 25.07.2025).
2. Мясникова Л.А., Букринская Э.М. Логистика взаимодействия участников системы обращения с отходами // Проблемы современной экономики. 2018. № 3 (67). С. 152–157.
3. Цифровая логистика: учебник для вузов / В.В. Щербаков, Э.М. Букринская, И.Б. Воробьева [и др.]; под ред. В.В. Щербакова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Юрайт, 2023. 573 с. (Высшее образование). ISBN 978-5-534-09643-9
4. Гвилия Н.А. Устойчивое развитие транспортно-логистического холдинга в условиях цифровой трансформации. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2022. 184 с.
5. Баркалов С.А., Гриценко В.И. Имитационное моделирование в управлении отходами. Москва: Инфра-М, 2020.
6. Логистика: интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок / В.В. Дыбская, Е.И. Зайцев, В.И. Сергеев, А.Н. Стерлигова. Москва: Эксмо, 2013. 940 с. (Полный курс MBA). ISBN 978-5-699-61919-1. EDN YZDFXJ
7. Inghels D., Dullaert W., Vigo D. A simulation model for estimating optimal recycling rates in waste supply chains // Waste Management. 2021.
8. Распоряжение Комитета Санкт-Петербурга от 15.06.2022 № 361-р «Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления».
9. Янковский Д.И. Целесообразность внедрения двухсменного графика работы мусоровозов в логистике обращения с отходами // Логистика и управление цепями поставок: сб. науч. тр. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. экон. ун-т, 2024. С. 228–232. EDN PJOFSQ

### References

1. The World Bank. GRI Index 2024 (in English). URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099912510212415327> (accessed date: 25.07.2025).
2. Myasnikova L.A., Bukrinskaya E.M. Logistics of Interaction between Participants in the Waste Management System. *Problems of Modern Economics*. 2018; 3 (67): 152–157.
3. Digital logistics: textbook for universities / V.V. Shcherbakov, E.M. Bukrinskaya, I.B. Vorobyeva [et al.]; under the editorship of V.V. Shcherbakov. 2nd edition, revised. and added. Moscow: Yurayt; 2023. 573 p. (Higher Education). ISBN 978-5-534-09643-9

4. Gviliya N.A. Sustainable Development of a Transport and Logistics Holding in the Context of Digital Transformation. St. Petersburg: SPbSUE Publishing House; 2022. 184 p.
5. Barkalov S.A., Gritsenko V.I. Simulation Modeling in Waste Management. Moscow: Infra-M; 2020.
6. Logistics: Integration and Optimization of Logistic Business Processes in Supply Chains / V.V. Dybskaya, E.I. Zaitsev, V.I. Sergeev, A.N. Sterligova. Moscow: Eksmo; 2013. 940 p.
7. Inghels D., Dullaert W., Vigo D. A simulation model for estimating optimal recycling rates in waste supply chains. *Waste Management*. 2021.
8. Order of the St. Petersburg Committee dated 15.06.2022 No. 361-г "On Approval of the Territorial Scheme for Waste Management in Production and Consumption".
9. Yankovsky D.I. The Feasibility of Implementing a Two-Shift Schedule for Garbage Trucks in Waste Management Logistics. *Logistics and Supply Chain Management: Collection of Scientific Papers*. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Economics; 2024. P. 228–232.

#### **Информация об авторах:**

**Гвилия Наталья Алексеевна**, д-р экон. наук, профессор, каф. логистики и управления цепями поставок, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», г. Санкт-Петербург, natagvi@mail.ru

**Янковский Дмитрий Игоревич**, аспирант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», г. Санкт-Петербург, gitcarazin@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.63973/2949-1258/2025-3/007-021>

EDN: <https://elibrary.ru/VSJBUY>

Дата поступления:  
25.08.2025

Одобрена после рецензирования:  
11.09.2025

Принята к публикации:  
12.09.2025