



Яндекс  Лавка

Оценка жизненного цикла пакетов для доставки товаров компании Яндекс.Лавка

Отчет подготовлен компанией ООО «Простое дело»

21 июня 2021 года

Компания «Простое дело» разрабатывает и внедряет системные экологические решения для бизнеса. Занимается созданием образовательных программ, проведением исследований и работой с данными, в том числе оценкой жизненного цикла и экологическим консалтингом.

ООО «Простое дело» — первая российская компания-участник международной инициативы Life Cycle Initiative под эгидой ООН.

Этот отчет является результатом исследования, проведенного по заказу Яндекс.Лавка.

Опубликовано:

27 апреля 2021 года Обществом с ограниченной ответственностью «Простое дело».

Все права защищены. Данный документ может быть воспроизведен с предварительного разрешения ООО «Простое дело».

простое-дело.рф

© ООО «Простое дело», 2021 г.

Автор(ы):

Литвинов Никита Николаевич
Виницкая Наталья Михайлова

Статус открытости исследования:

Общедоступно

Ключевые слова:

Пакеты, оценка жизненного цикла, LCA

Исполнитель:

ООО «Простое дело»
Адрес: 123104, г. Москва, Б. Палашевский пер. д.14А кв. 12
Тел.: +7 (999) 546-90-22
E-mail: info@prostoe-delo.com
Сайт: простое-дело.рф
ИНН: 9710076586

Руководитель проекта:

Литвинов Никита Николаевич

Содержание

Аннотация	6
Сокращения и обозначения	9
Введение	10
Деятельность Яндекс.Лавки	10
Оценка жизненного цикла (ОЖЦ)	12
Глава 1. Цели и границы исследования	13
1.1 Программное обеспечение и инструменты	13
1.2 Типы пакетов	14
Пакеты из полиэтилена низкого давления (ПНД или HDPE)	14
Пакеты из полиэтилена высокого давления (LDPE или ПВД)	15
Бумажные пакеты из первичной целлюлозы	16
1.3 Цель исследования	16
1.4 Смоделированные сценарии	17
1.5 Функция и функциональная единица системы	18
1.6 Категории воздействия	19
1.7 Границы системы	21
1.8 Требования к данным	22
1.8.1 География	22
1.8.2 Временные рамки	23
1.8.3 Технологические рамки	23
1.8.4 Проверка согласованности	24
1.9 Оценка полноты информации	24
1.10 Допущения	25
1.10.1 Основные допущения	25
1.11 Критический обзор	26
Глава 2. Инвентаризационный анализ	27
2.1 Добыча сырья и производство материалов	29
2.1.1 ПНД и ПВД пакет	29
2.1.2 Бумажный пакет	30
2.2 Процесс производства пакетов	31
2.2.1 Производство ПВД и ПНД пакетов	32
2.2.2 Производство бумажного пакета	35
2.3 Транспортировка	37
2.4 Завершение жизненного цикла	40
2.4.1 Окончание жизненного цикла ПНД и ПВД пакетов	40

2.4.2 Окончание жизненного цикла бумажного пакета	41
2.5 Анализ чувствительности	41
Глава 3. Оценка воздействия жизненного цикла	45
3.1 Результаты оценки воздействия жизненного цикла для трех исследуемых пакетов	49
3.1.1. Потенциал глобального потепления	49
3.1.2 Потенциал закисления	50
3.1.3 Потенциал эвтрофикации	51
3.1.4 Потенциал истощения абиотических ресурсов	52
3.1.5 Резюме результатов	53
3.1.6 Результаты на этапе производства пакетов	54
3.1.7 Результаты для разных городов	56
Глава 4. Интерпретация результатов	60
4.1 Анализ чувствительности	60
4.1.1 Анализ чувствительности окончания жизненного цикла	60
4.1.1.1 Потенциал глобального потепления	60
4.1.1.2 Потенциал закисления	62
4.1.1.3 Потенциал эвтрофикации	63
4.1.1.4 Потенциал истощения абиотических ресурсов	64
4.1.1.5 Резюме по окончанию жизненного цикла	65
4.1.2 Анализ чувствительности полного жизненного цикла	68
4.1.2.1 Потенциал глобального потепления	68
4.1.2.2 Потенциал закисления	70
4.1.2.3 Потенциал эвтрофикации	72
4.1.2.4 Потенциал истощения абиотических ресурсов	74
4.1.2.5 Резюме по полному жизненному циклу	76
4.2 Анализ качества информации	79
4.3 Интерпретация результатов и рекомендации	79
Заключительные выводы	81
Список использованной литературы	83
Приложение А — Результаты оценки жизненного цикла по городам	85
Приложение Б — Описание категорий воздействия (impact categories)	92
Истощение абиотических ресурсов (Depletion of abiotic resources)	92
Потенциал глобального потепления (Global warming potential, Climate change GWP 100a)	92
Потенциал эвтрофикации (Eutrophication potential)	92
Потенциал закисления (Acidification potential)	93
Приложение В — Результаты критического обзора	94
Заявление о критическом анализе	94

Аннотация

Данное исследование дает представление о воздействии на окружающую среду в течение жизненного цикла, связанного с добычей ресурсов, производством, использованием и утилизацией трёх исследуемых пакетов, которые могут быть использованы компанией Яндекс.Лавка для доставки товаров своим покупателям.

Исполнителем исследования оценки жизненного цикла является компания «Простое дело».

Оценка жизненного цикла (или LCA-анализ) был проведен компанией ООО «Простое дело» в период с октября 2020 года по май 2021 года с использованием программного обеспечения OpenLCA и баз данных ELCD v3.2 и Agribalyse v3. Эти базы данных содержат в себе большое количество процессов, в том числе из таких баз данных, как Ecoinvent. Исследование проводилось в соответствии с требованиями, изложенными в Международных стандартах ISO 14040 и 14044. Отчет предназначен для внутренней поддержки принятия решений в Яндекс.Лавке. Он позволяет более полно оценить целесообразность перехода на альтернативные варианты пакетов.

Анализу подвергались пакеты из 3-х видов сырья: ПНД, ПВД и крафт-бумаги. Оценка проводилась только по 4-м категориям воздействия на окружающую среду: изменение климата, закисление, эвтрофикация и истощение абиотических ресурсов. Вторичное использование пакетов покупателями не рассматривалось в исследовании в силу отсутствия данных по статистике вторичного использования их покупателями, но в реальности могло бы снизить общий экологический след пакетов, которые чаще используются повторно. Функциональной единицей является доставка заказа со средним весом 2,8 кг и объемом не более 15 л. На основании этих требований были подобраны по одному пакету из трех разных материалов и получены следующие результаты:

- Пакет из материала ПНД, который маркируется номером (2), обладает самым низким воздействием на окружающую среду в 3-х из 4-х категорий воздействия в Москве и по всем категориям воздействия в случае его использования в Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде;
- ПВД пакет, который маркируется номером (4), оказывает меньшее воздействие, чем бумажный крафт-пакет, только в категориях изменения климата и эвтрофикации, в остальных двух категориях бумажный пакет демонстрирует более низкие показатели;
- Воздействие на окружающую среду, оказываемое пакетами, в основном связано с этапами добычи и производства ресурсов. На этой стадии для ПНД и ПВД пакетов приходится от 50 до 75% воздействия. У бумажных пакетов

этап производства занимает около 30% выбросов в категории изменения климата, достигает 50-80% в других категориях;

- Транспортировка вносит не более 12% эмиссий по разным категориям, если рассматривается использование пакетов в Москве, и может доходить до 30% при распространении в других городах;

- ПНД пакет обладает самой маленькой массой, пакет из ПВД в 2 раза тяжелее, а из бумаги - более чем в 4 раза превышают массу ПНД.. С ростом массы увеличивается транспортный след пакета в пересчете на 1 км расстояния;

- Этап окончания жизненного цикла в существующей системе обращения с ТКО для пакетов из ПНД и ПВД, как правило, оказывает незначительное влияние на их экологическое воздействие. Противоположная картина наблюдается с окончанием жизненного цикла бумажных крафт-пакетов, при захоронении которых выделяются свалочные газы. Попадая в атмосферу, они увеличивают воздействие в категории изменения климата;

- В условиях использования мусоросжигания как метода обращения с отходами, самым низким негативным воздействием в категориях изменения климата и истощения абиотических ресурсов обладает бумажный пакет, а в остальных двух - ПНД пакет;

- Переработка пакетов приводит к снижению выбросов абсолютно во всех категориях по сравнению с базовым сценарием обращения с отходами, поскольку позволяет предотвратить выбросы от производства материала из первичного сырья. В условиях, когда все виды пакетов могут быть переработаны, лучшим все равно остается пакет из ПНД, а затем следует крафт-пакет. ПВД обладает самыми большими показателями в 3-х из 4-х категорий;

- При условиях переработки только 36% отходов ранжирование по наименьшим воздействиям на окружающую среду практически не изменяется. ПНД пакет остается оптимальным вариантом;

- Бумажный пакет при 100% переработке оказывает меньший вклад в изменение климата, чем неперерабатываемый ПНД пакет;

- ПВД пакет даже в условиях 100% переработке имеет большее негативное воздействие на окружающую среду, чем не перерабатываемый пакет из ПНД.

Отчет получил рецензию вне проектной группы в период с мая по июнь 2021 года. Эксперты-рецензенты в лице Ивана Девяткина, научного сотрудника ЛУТ Университета, Doctor of Science (Technology) in Energy Systems, Лаппеэнранта, Финляндия, а также Евгении Кузнецовой, руководителя отдела сертификации «Экологического союза», Санкт-Петербург, Россия, ведущего эксперта системы «Листок жизни»,

подтверждают, что данное исследование было выполнено в соответствии с принципами стандарта ИСО 14040 и требованиями стандарта ИСО 14044 и включает в себя всю необходимую информацию. Выводы исследования соответствуют его целям и отображают допущения, присутствующие в исследовании.

Доклад был подготовлен специалистами по оценке жизненного цикла компании ООО «Простое дело», Никитой Литвиновым и Натальей Виницкой.

ООО «Простое дело», 21 июня 2021 года

Сокращения и обозначения

ЖЦ — жизненный цикл

ОЖЦ — оценка жизненного цикла

LCA — Life Cycle Assessment (Оценка жизненного цикла)

LCI — Life Cycle Inventory (Инвентаризация жизненного цикла)

LCIA — Life Cycle Impact Assessment (Оценка воздействия жизненного цикла)

HDPE, ПНД — Полиэтилен низкого давления (полиэтилен высокой плотности)

LDPE, ПВД — Полиэтилен высокого давления (полиэтилен низкой плотности)

PET, ПЭТ/ПЭТФ — Полиэтилентерефталат

FSC — Forest Stewardship Council (Лесной попечительский совет)

ISO — International Standardization Organisation (Международная организация по стандартизации)

ТКО — Твердые коммунальные отходы

Введение

Существует много одноразовых продуктов, продолжительность жизни которых всего несколько минут, после чего они становятся мусором и захламляют свалки или попадают в реки, моря и океаны.

Пакеты — один из самых распространенных видов отходов. Чтобы сокращать объемы одноразовых пакетов, которые чаще всего сделаны из пластика, в Европе и Америке вводят новые правила и ограничения [1] на использование пластиковых пакетов, а также исследуют и внедряют варианты из альтернативных материалов.

Но единственно правильного выбора более экологичного варианта нет. Пакеты из разных материалов имеют различия в потребительских свойствах и иногда требуют изменения привычек покупателей. Кроме того, в разных регионах России по-разному обстоит вопрос доступности технологий и материалов, а также систем обращения с отходами, готовых грамотно утилизировать альтернативные виды пакетов.

Яндекс.Лавка решила разобраться в этом вопросе, чтобы оценить правильность перехода с бумажных пакетов на новый вид пакетов (ПНД или HDPE) и выбрать для осуществления своих услуг наиболее экологичный вариант в условиях Российской Федерации.

Чаще всего для изготовления одноразовых пакетов используют полиэтилен низкого давления, полиэтилен высокого давления и бумагу. Чтобы способствовать информированию участников дебатов о влиянии пакетов на окружающую среду в Российской Федерации, а также определить типы и величины воздействия на окружающую среду, связанные с каждым типом пакетов, компания Яндекс.Лавка заключила контракт с ООО «Простое дело» на следующие услуги:

провести оценку жизненного цикла (ОЖЦ или LCA) одноразовых пластиковых пакетов из полиэтилена низкого давления (HDPE), а также наиболее распространенных альтернатив (пакета из полиэтилена высокого давления (LDPE) и бумажного пакета из крафт-бумаги, пригодного для вторичной переработки)

Деятельность Яндекс.Лавки

Яндекс.Лавка — российский сервис заказа продуктов и хозяйственных товаров на дом с локальных складов через мобильное приложение или веб-сайт. Часть фудтех-направления «Яндекс.Такси». По состоянию на июль 2020 года Яндекс.Лавка работает в Москве, Московской области, Санкт-Петербурге, Ленинградской области и Нижнем Новгороде.

Принцип работы Яндекс.Лавки

Основная специфика работы — это система складов, разбросанных по всей территории обслуживания. Ассортимент компании Яндекс.Лавка составляют пользующиеся основным спросом продукты питания, товары первой необходимости, готовая еда и наборы продуктов с рецептами. Ценовая политика сопоставима с обычными магазинами. На некоторых точках есть микро-кухни для приготовления горячей еды.

Заказ осуществляется при помощи приложения «Яндекс.Лавка». Возможность покупки есть также на сайтах и в приложениях «Яндекс», «Яндекс.Такси» и «Яндекс.Еда» (iOS или Android). Заявленное время доставки: от 10 до 15 минут при доставке курьером, до 30 минут — такси, на пригородные участки, включая дачи, — до 60 минут после заказа. Минимальной суммы заказа обычно нет, она появляется только в случаях полной занятости курьеров или доставке на такси в отдалённые районы.

Доставка бесплатная. В Москве и Санкт-Петербурге осуществляется круглосуточно, в ночное время этим занимается такси. Нижегородцы могут заказывать с 7 утра до полуночи. В часы повышенного спроса и в удаленные районы доставка изначально была платной, но на время пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 в России компания полностью отменила платную доставку.

Экологизация упаковки Яндекс.Лавки

Яндекс.Лавка развивает принципы устойчивого развития у себя в компании и позиционирует себя на рынке как ответственный сервис доставки, заботящийся об окружающей среде. Например, компания создала отдельную страницу-инструкцию с информацией о том, что делать с упаковкой и как отправить ее на переработку, если это возможно [2].

У сервисов доставки одноразовые пакеты являются одним из главных расходных материалов. Поскольку каждый сервис доставки может выбирать вид и материал используемых пакетов самостоятельно, переход на более экологичный вариант может быть одним из главных актов заботы об окружающей среде и снижению экологического следа от деятельности компании. По этой причине Яндекс.Лавкой было решено провести исследование, посвященное оценке жизненного цикла пакетов, используемых при доставке товаров клиентам.

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ)

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) является одним из методов экологического менеджмента и проводится согласно стандартам ISO 14040 и 14044 [3, 4]. Она обеспечивает системный подход к изучению факторов воздействия на окружающую среду на всех этапах жизни продукта — от добычи ресурсов для его производства до окончательной утилизации продукта как отхода. ОЖЦ практикуется с начала 1970-х гг. и стандартизирована с помощью нескольких организаций, в том числе через SETAC (Общество экологической токсикологии и химии) и ISO (Международная организация по стандартизации).

ОЖЦ изучает продуктовую систему, в которую поступают ресурсы и энергия, внутри происходит их преобразование, а в конечном итоге высвобождаются выбросы в атмосферу, сточные воды и твердые отходы. Таким образом, можно количественно оценить потенциальное воздействие исследуемой системы на окружающую среду на местном, региональном и глобальном уровнях. Важно отметить, что оценка воздействия жизненного цикла на окружающую среду не эквивалентна оценке риска в связи с отсутствием в ней пространственной и временной информации.

Методология оценки жизненного цикла изложена в ISO 14040. ОЖЦ оценивает воздействие на окружающую среду на каждом из следующих основных этапов жизненного цикла продукта:

1. Добыча/приобретение сырья;
2. Обработка материалов;
3. Транспортировка и распределение;
4. Производство продукции;
5. Использование продукта;
6. Окончательная утилизация.

Как определено в стандарте ISO 14040, четыремя основными стадиями проведения оценки жизненного цикла продукта или услуги являются (1) цель и границы исследования, (2) инвентаризационный анализ (LCI), (3) оценка воздействия (LCIA) и (4) интерпретация результатов.

Глава 1 посвящена постановке целей и определению границ исследования, Главы 2 и 3 соответственно представляют собой инвентаризационный анализ и результаты оценки воздействия на окружающую среду; в главе 4 представлена интерпретация полученных результатов и итоги исследования.

Глава 1. Цели и границы исследования

Исследование проведено в соответствии с требованиями, изложенными в Международных стандартах 14040 и 14044. В настоящем разделе представлено подробное описание методологии оценки жизненного цикла, использованной для исследования: цель и область исследования, функция и функциональная единица исследуемой системы, эталонный поток, границы системы, выбор метода расчета воздействия на окружающую среду, требования к данным, допущения и ограничения. В отчет о результатах исследования входят короткое резюме исследования, а также технический отчет по оценке жизненного цикла и заявление о критическом обзоре.

Окончательным получателем исследования является Яндекс.Лавка. Оно предназначено для внутренней поддержки принятия решений в Яндекс.Лавке и позволяет более полно оценить целесообразность перехода на альтернативные варианты пакетов. По желанию заказчика отчет может быть выложен в открытый доступ, так как прошел критический обзор.

Были заранее оговорены ограничения в отношении объема данных, которые могут быть собраны для исследования, поэтому большинство используемых данных инвентаризационного анализа основаны на общедоступных данных, а также данных, предоставленных Яндекс.Лавкой.

1.1 Программное обеспечение и инструменты

Чтобы собрать всю информацию воедино и произвести расчеты, ООО «Простое дело» в рамках проведения исследования использовало программное обеспечение OpenLCA версии 1.10.3 и базы данных «ELCD v 3.2» и «Agribalyse v3». Эти базы данных содержат широкий спектр данных, имеющих отношение к предлагаемому исследованию, в том числе процессы из базы данных Ecoinvent v2, которые были использованы.

OpenLCA — высокопроизводительное программное обеспечение с открытым исходным кодом для оценки жизненного цикла, являющееся одним из ведущих в мире. Несмотря на то, что оно является бесплатным для пользования, оно используется на таком же уровне, что и коммерческое программное обеспечение, такое как SimaPro, GaBi или Umberto [5].

OpenLCA предлагает следующие функции:

- Быстрый и надежный расчет оценки жизненного цикла
- Подробное представление о результатах расчетов и анализа; определение основных воздействий
- Визуализация результатов на протяжении всего жизненного цикла по процессам, потокам или категориям воздействия

- Лучшие в своем классе возможности импорта и экспорта
- Оценка стоимости жизненного цикла и социальная оценка легко могут быть интегрированы в модель жизненного цикла продукта/услуги
- Удобный для пользователя пользовательский интерфейс на различных языках

1.2 Типы пакетов

Пакеты используются для доставки товаров и продуктов из складов Яндекс.Лавки клиентам на дом. Они должны обладать определенными характеристиками грузоподъемности и вместимости, чтобы удовлетворять техническим и экономическим требованиям сервиса доставки.

Пакеты могут быть изготовлены из пластмассовых материалов ископаемого происхождения, таких как полиэтилен низкой или высокой плотности (ПНД/ПВД), полипропилен (ПП), полиэтилентерефталат (ПЭТ/ПЭТФ) и полиэстер.

Могут также использоваться альтернативные пластиковые материалы, состоящие из полимеров биогенного происхождения, такие как биополимер крахмала, усложненный полиэфиром. Другими материалами, широко используемыми для производства пакетов, являются бумага и текстиль.

В исследование было решено включить три самых популярных и доступных на российском рынке вида одноразовых пакетов: пакеты из полиэтилена низкого давления, полиэтилена высокого давления, а также бумажные крафт-пакеты. Эти типы пакетов описаны ниже.

Пакеты из полиэтилена низкого давления (ПНД или HDPE)

Пластиковые пакеты, сформированные из пластмассового расплава гранулированного ПНД, который с помощью экструзии выдувается и запечатывается, образуя пакет, который еще называют «пакет-майка». На рисунке 1 приведен пример ПНД-пакета, используемого Яндекс.Лавкой в 2020 году.



Рисунок 1. Пример пакета из ПНД (Яндекс.Лавка, 2020)

Пакеты из полиэтилена высокого давления (LDPE или ПВД)

Пластиковые пакеты, сформированные из пластмассового расплава ПВД, который, с помощью экструзии, выдувается и запечатывается, образуя пакет. На рисунке 2 приведен пример ПВД-пакета.



Рисунок 2. Пример пакета из ПВД (2020). Взято из открытых источников — [ссылка](#).

Бумажные пакеты из первичной целлюлозы

Пакеты получены из сертифицированной FSC 100% бумажной массы, которая склеивается для формирования пакета. Этот тип пакетов стал меньше использоваться с 1970-х годов и заменялся на пластиковые пакеты, которые не рвутся, когда становятся мокрыми. Однако бумага является биоразлагаемым материалом, то есть разлагается в природных условиях, что вызывает большее внимание к таким пакетам в последнее время. Пример бумажного крафт-пакета приведен на рисунке 3.



Рисунок 3. Пример бумажного пакета (Яндекс.Лавка, 2020 год)

1.3 Цель исследования

В соответствии с ISO 14040, первыми шагами анализа жизненного цикла являются определение цели и области исследования. На этом этапе устанавливается уровень конкретизации, широты и глубины анализа.

Целью данного исследования является определение потенциального воздействия на окружающую среду на протяжении жизненного цикла пакетов, которые могут быть использованы Яндекс.Лавкой для доставки товаров покупателям. Вторая цель — сравнение рассмотренных видов пакетов с точки зрения возникающей экологической нагрузки, на основании которого могут быть приняты решения о предпочтении одного вида пакетов другому. В задачи данного исследования входят ответы на следующие вопросы:

1. Какое воздействие на окружающую среду производят рассматриваемые виды пакетов?
2. Как распределяются нагрузки на окружающую среду между всеми этапами жизненного цикла?

3. Какой вид пакетов имеет наименьшее воздействие на окружающую среду в существующих на данный момент реалиях Российской Федерации?
4. Как меняются воздействия на окружающую среду при разных способах утилизации рассматриваемых видов пакетов?

В работе проанализированы пакеты из трех видов сырья: полиэтилен низкого давления, ПНД (High Density Polyethylene, HDPE); полиэтилен высокого давления, ПВД (Low Density Polyethylene, LDPE); 100% первичная целлюлоза. В работе принято, что полиэтиленовые пакеты имеют форму «пакета-майки», а бумажный пакет имеет прямоугольную форму с плоским дном и отсутствием ручек. Характеристики исследуемых пакетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Характеристики исследуемых пакетов

Название	Пакет из полиэтилена низкого давления (HDPE)	Пакет из полиэтилена высокого давления (LDPE)	Бумажный пакет из первичной целлюлозы
Размер	0,3x0,15x0,6 м	0,3x0,15x0,56 м	0,32x0,2x0,3м
Объем	18 л	18 л	21,7 л
Толщина	18 мкм	40 мкм	-
Плотность	-	-	70 г/м ²
Вес	8,5 г	17 г	37 г
Грузоподъемность	до 5 кг	до 3 кг	до 3 кг (а)
а — ГОСТ 33772-2016			

1.4 Смоделированные сценарии

Деятельность компании Яндекс.Лавка осуществляется в трех Российских городах: Москве, Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде. При этом жизненный цикл используемых пакетов отличается на стадиях распределения и окончания срока жизни, так как инфраструктура по обращению с отходами в городах различается.

Поэтому для сравнения были смоделированы 3 группы сценариев, каждая из которых поделена на 3 подсценария для каждого из трех городов:

Сценарий 1 — жизненный цикл пластикового пакета из ПНД

Сценарий 1.1 — осуществление услуги в Москве

Сценарий 1.2 — осуществление услуги в Санкт-Петербурге

Сценарий 1.3 — осуществление услуги в Нижнем Новгороде

Сценарий 2 — жизненный цикл пластикового пакета из ПВД

Сценарий 2.1 — осуществление услуги в Москве

Сценарий 2.2 — осуществление услуги в Санкт-Петербурге

Сценарий 2.3 — осуществление услуги в Нижнем Новгороде

Сценарий 3 — жизненный цикл бумажного пакета из первичной целлюлозы

Сценарий 3.1 — осуществление услуги в Москве

Сценарий 3.2 — осуществление услуги в Санкт-Петербурге

Сценарий 3.3 — осуществление услуги в Нижнем Новгороде

1.5 Функция и функциональная единица системы

Чтобы сравнение разных видов исследуемых продуктов проходило корректно, необходимо определить функцию, которую они будут выполнять, и задать функциональную единицу исследования. Это особенно важно в случае различных видов пакетов, которые по-разному выполняют заданную функцию из-за отличий физических характеристик: например, пластичность, прочность, влагостойкость, грузоподъемность и т.д.

Функцией системы является доставка одного заказа клиентам. Функциональной единицей является товар со средним весом 2,8 кг и объемом 15 л. Средний вес заказа был рассчитан на основании статистических данных Яндекс.Лавки о заказах с марта по ноябрь 2020 года.

В силу отсутствия информации об объемах заказов и высокой вариативности этой характеристики, в исследовании принят объем 15 л. Эта величина не является средней, а принята на основании следующих логических рассуждений. На данный момент Яндекс.Лавкой используются HDPE пакеты, рассчитанные на максимальный объем 18 л, пакеты меньшего объема не используются, из чего можно сделать вывод, что на практике закупать их не рационально. Поэтому чтобы сравнение альтернативных

видов пакетов с применяемым сейчас было честным, их вместимость должна быть сопоставима.

Эталонным потоком в таком случае выступает необходимое количество пакетов из рассматриваемых материалов для совершения одной доставки. Было рассчитано, что в большей части случаев для выполнения функции требуется только 1 пакет из исследуемых материалов. Таким образом, оценивается выполнение одной и той же услуги с использованием разных видов пакетов, характеристики которых представлены в таблице 1.

1.6 Категории воздействия

В исследовании оцениваются следующие категории воздействия на окружающую среду: изменение климата (Climate Change), закисление (Acidification), эвтрофикация (Eutrophication), Истощение абиотических ресурсов (Depletion of abiotic resources).

Для оценки воздействия использовался метод CML 2001 version 3.5 2009 года. В таблице 2 сведены все рассматриваемые в работе категории воздействия, их показатели и единицы измерения этих показателей. Выбранные категории воздействия более подробно описаны ниже и в Приложении Б.

Таблица 2. Характеристики категорий воздействия, используемых в исследовании.

Категория возд-я (RU)	Категория возд-я (EN)	Показатель категорий (RU)	Показатель категорий (EN)	Аббревиатура	LCIA метод	Ед. изм.
Изменение климата	Climate change	Потенциал глобального потепления	Global warming potential	GWP (GWP 100a)	CML2001, Climate change; midpoint; GWP100a; IPCC 2007	кг CO ₂ -экв.
Закисление	Acidification	Потенция закисления	Acidification potential	AP	CML2001, Acidification potential; midpoint;	кг SO ₂ -экв.
Эвтрофикация	Eutrophication	Потенциал эвтрофикации	Eutrophication potential	EP	CML2001, Eutrophication potential; midpoint;	кг PO ₄ -экв.
Истощение абиотических ресурсов	Depletion of abiotic resources	Потенциал истощения абиотических ресурсов	Abiotic resource Depletion potential	ADP	CML2001, Depletion of abiotic resources; midpoint;	кг Sb-экв.

1.7 Границы системы

Исследование представляет собой оценку жизненного цикла «от колыбели до могилы». Это означает, что для каждого пакета учитываются экологические последствия всех этапов его жизненного цикла, начиная с добычи сырья, производства материала пакета, его изготовления и распределения и заканчивая использованием и окончанием срока службы, то есть утилизацией.

Границы системы представлены на рисунке 4 и включают в себя добычу ресурсов, производство энергии и материалов, необходимых для производства пакетов, производство упаковки, используемой для транспортировки пакетов до Яндекс.Лавки, транспортировку ресурсов, производство самих пакетов, а также окончание жизненного цикла или End of Life (EoL), то есть в соответствии с системой обращения с отходами в 3-х рассматриваемых городах: Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде. Стоит отметить, что основным методом обращения с отходами в этих городах является захоронение, и только 7% мусоросжигания присутствует в Москве. Переработка полиэтиленовых и бумажных пакетов принята равной нулю в данном исследовании, так как относительно пластиковых пакетов такая практика пока не распространена в России. По данным, отраженным Волковой на момент 2018 г. [6], выделение макулатуры из твердых коммунальных отходов (ТКО) составляет не более 1,5% по массе. Статистические данные по раздельному сбору макулатуры населением также отсутствуют, поэтому было решено не включать стадию переработки в основной исследуемый сценарий, а рассмотреть ее в анализе чувствительности в разделе 2.5.

Этап использования пакетов потребителями не был включен в исследование по причине отсутствия достаточного количества данных о количестве повторных случаев использования и назначений использования пакетов. В дальнейшем сбор таких данных мог бы способствовать исследованию более полной картины, так как повторное использование (reuse) любых товаров продлевает их жизненный цикл и снижает потенциальные выбросы от покупки новых товаров.

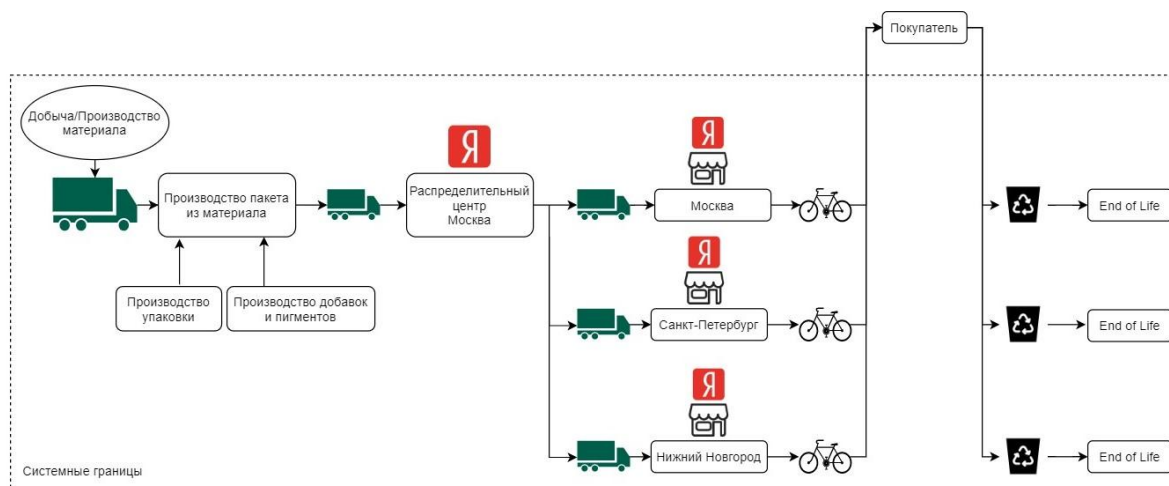


Рисунок 4 — Границы исследуемой системы

1.8 Требования к данным

Для проведения данного исследования ОЖЦ потребовались данные, связанные с производством сырья, первичных материалов и энергии, необходимых для производства исследуемых типов пакетов. Кроме того, нам потребовались данные о потреблении материалов и энергии непосредственно для процесса производства пакетов, а также о материалах, необходимых для упаковки и дистрибуции.

Также были необходимы данные о технологиях утилизации отходов в конце срока службы пакетов.

Проект не был сосредоточен на обширном сборе данных, и предполагалось, что он будет основываться на существующих запасах ресурсов и данных, содержащихся в литературе, а также информации, предоставленной Яндекс.Лавкой. По этой причине исследование было в основном основано на данных, имеющих в открытом доступе, и базах данных Ecoinvent v2, ELCD v 3.2, а также научной и справочной литературе, которая представляет собой вторичный источник информации.

1.8.1 География

Целью данного исследования является оценка воздействия на окружающую среду в течение всего жизненного цикла различных вариантов пакетов, используемых в Российской Федерации. Компания Яндекс.Лавка закупает пакеты, произведенные на территории РФ. Производство сырья для пакетов (полимеров и древесины) происходит также в России.

Тем не менее, не было найдено Российских наборов данных, поэтому были использованы Европейские и, в случае окончания жизненного цикла, процессы, смоделированные для условий Швейцарии, которые ближе всего к российским технологиям утилизации. В процессах, отсутствующих в имеющихся базах данных и смоделированных самостоятельно, использовался российский процесс производства электроэнергии.

1.8.2 Временные рамки

В начале исследования был установлен временной охват 2020/2021 года для основных допущений, а для литературных данных — 20-летний период.

1.8.3 Технологические рамки

Используемые общие данные отражают конфигурацию, работу и производительность процессов на момент сбора данных. Однако большая часть использованных общих данных представляет Европейские, а не Российские технологии.

Коммуникация с производителями материалов и пакетов не велась. Инвентаризационные данные были собраны самостоятельно из открытых источников и баз данных Ecoinvent v2 и ELCD v3.2. Для расчета дистанций при транспортировке были выбраны следующие предприятия-производители.

В качестве потенциальных производителей сырья рассматривались ООО ЗапСибНефтехим, который производит ПНД и ПВД гранулят, и ПАО «Бумажная Фабрика «Коммунар», которая является крупным производителем бумаги в Центральной России.

В качестве потенциальных производителей пакетов выбраны ООО «Анкора Восток» (Ancona Vostok Ltd) и ООО «Тек-Пак».

Все данные, взятые из базы данных Ecoinvent, относятся к модели системы «allocation, cut-off by classification».

Данные о материальных и энергетических ресурсах, необходимых для производства пакетов, были получены из обзора литературы существующих исследований ОЖЦ по экологическим характеристикам пакетов в супермаркетах, а также из открытых источников информации.

Дополнительные данные о технологиях по утилизации отходов были получены из базы данных Agribalyse v3, где содержатся процессы из Ecoinvent v2. Данные и технологические модели Ecoinvent v2 использовались

для моделирования сжигания отходов, а также захоронения на полигоне и переработки отходов во вторичное сырье.

1.8.4 Проверка согласованности

Для выбранного уровня детализации и глубины исследования, согласованность данных является достаточной. Из-за отсутствия первичных данных и баз данных с российскими процессами было принято решение использовать процессы с широкой географией с осреднением технологий и показателей выбросов.

Требования к возрасту данных также не были жесткими и приняты для литературных источников — 20 лет, а для используемых баз данных — 12 лет.

Изначально все процессы соответствуют цели и предполагаемой глубине исследования, а также информация считается согласованной, несоответствия данных отсутствуют.

1.9 Оценка полноты информации

Оценка полноты информации производится с целью убедиться в достаточности информации для проведения исследования. В таблице 3 приведены данные инвентаризации имеющихся процессов в базах данных.

Таблица 3 — Оценка полноты данных. Инвентаризация имеющихся процессов в используемых базах данных.

Материал пакета	Характеристики пакетов	Данные о добыче и производстве материалов	Данные о производстве пакетов	Транспортные данные	Окончание срока службы: сжигание	Окончание срока службы: захоронение	Окончание срока службы: переработка
ПНД	x	✓ Ecoinvent	x	✓ Ecoinvent, ELCD 3.2	✓ Ecoinvent	✓ Ecoinvent	✓ Ecoinvent
ПВД	x	✓ Ecoinvent	x	✓ Ecoinvent, ELCD 3.2	✓ Ecoinvent	✓ Ecoinvent	✓ Ecoinvent
Бумажный пакет	x	✓ Ecoinvent	x	✓ Ecoinvent, ELCD 3.2	✓ Ecoinvent	✓ Ecoinvent	✓ Ecoinvent

x — данные из литературы

✓ — данные и процессы из баз данных

Информация является достаточно полной для проведения исследования в заданных границах и необходимой точности.

1.10 Допущения

Прежде всего, настоящее исследование ОЖЦ включало в оценку только типы пакетов, рассматриваемые в данный момент для использования Яндекс.Лавкой (пакеты из ПНД, ПВД и бумажные пакеты).

Другие виды пакетов, которые можно использовать для доставки продуктов (например, пакеты из биополимеров или текстиля), из оценки были исключены.

Для определения функциональной единицы был взят средний вес заказа, рассчитанный на статистических данных с марта по ноябрь 2020 года, и его изменения в зависимости от дня недели или сезона были учтены. Для объема заказа возможные изменения не были приняты во внимание.

В исследование не было включено повторное использование пакетов покупателями (например, в качестве мешка для мусора). Использованные пакеты, при нарушении норм накопления отходов, могут разлетаться и попадать в окружающую среду, но в данной работе риск замусоривания не исследовался.

1.10.1 Основные допущения

- Рассмотрено два метода утилизации пакетов на основании территориальных схем обращения с отходами в рассматриваемых городах:
 - Сжигание без выработки электроэнергии;
 - Захоронение без сбора свалочного газа.
- Переработка пластиковых и бумажных пакетов была принята за 0% из-за отсутствия статистических данных, но рассмотрена в анализе чувствительности;
- Потери при производстве пакетов смоделированы, однако их утилизация не рассматривалась;
- География процессов, взятых из баз данных, относится к Европе или Rest of the World, за исключением процесса производства электроэнергии, который отражает российскую ситуацию;

- Воздействие на окружающую среду, связанное со строительством или выводом из эксплуатации объектов инфраструктуры, не было рассмотрено;
- Процесс нанесения печати на пакеты и использование красителей не входит в рамки исследования из-за отсутствия информации об используемых красителях. Любое воздействие на окружающую среду, связанное с хранением пакетов на складах и в супермаркетах, было исключено;
- Наклейки, используемые для подтверждения сохранности продуктов, также не входят в рамки исследования.

1.11 Критический обзор

Данное исследование ОЖЦ включает критический обзор, проведенный Иваном Девяткиным, научным сотрудником ЛУТ Университет, Doctor of Science (Technology) in Energy Systems, Лаппеэнранта, Финляндия, а также Евгенией Кузнецовой, руководителем отдела сертификации «Экологического союза», Санкт-Петербург, Россия, ведущим экспертом системы «Листок жизни», в период с мая по июнь 2021 года. Данный обзор проводился в два этапа. В ходе первичного критического обзора, проведенного в мае 2021 года был выявлен ряд недочетов или предписаний разного характера. Все комментарии сопровождалось предлагаемыми изменениями. В ходе вторичного критического обзора от 18.06.2021 было установлено выполнение всех комментариев, предложенных к рассмотрению.

Целью критического обзора является обеспечение соответствия данного исследования принципам ОЖЦ, изложенным в ИСО 14040, и требованиям к ОЖЦ, изложенным в ИСО 14044. Данный критический обзор повышает четкость и достоверность результатов данного исследования.

Исследование проводилось в соответствии с Международными стандартами ISO 14040 и 14044, однако отчет не претендует на строгое соответствие стандартам. Отчет предназначен для внутренней поддержки принятия решений в Яндекс.Лавка.

Критический обзор представлен в Приложении В, и его основные результаты заключаются в следующем:

- данное исследование было выполнено в соответствии с принципами стандарта ИСО 14040 и требованиями стандарта ИСО 14044 и включает в себя всю необходимую информацию;
- выводы исследования соответствуют его целям и отображают допущения, присутствующие в исследовании.

Глава 2. Инвентаризационный анализ

Этап инвентаризационного анализа (англ. Life cycle inventory, LCI) подразумевает сбор и сведение всей необходимой информации о потоках, которые входят и выходят из исследуемой продуктовой системы, то есть о потребляемых материалах и энергии, а также образующихся выбросах в атмосферу, сбросах и твердых отходах. Сбор инвентаризационной информации занимает значительную часть времени исследования и производится итерационно. Когда необходимые данные собраны, строится электронная модель системы. Результатом этапа инвентаризационного анализа являются данные о количестве различных выбросов и потреблении ресурсов на каждом этапе жизненного цикла продукта. Только после этого следует этап оценки воздействия жизненного цикла (англ. Life cycle impact assessment, LCIA), на котором происходит описание и классификация выбросов и результаты представляются в соответствующих единицах измерения для каждой рассматриваемой категории воздействия на окружающую среду.

На рисунке 5 представлена принципиальная схема жизненного цикла полиэтиленового пакета, которая схожа как для ПНД, так и ПВД пакета. В нее входит добыча нефти и получение попутных газов, производство полиэтилена на нефтехимическом предприятии, затем транспортировка до места производства пластиковых пакетов, после чего готовый пакет доставляется в распределительный центр Яндекс.Лавки, затем в магазины Яндекс.Лавки. Выполняя свою основную функцию, пакет попадает к покупателям Яндекс.Лавки и затем заканчивает свой жизненный цикл на полигоне или заводе по мусоросжиганию. И ПВД, и ПНД пакеты могут быть переработаны: в таком случае их жизненный цикл не прерывается, а продолжается переработкой и производством новых товаров, но на данный момент это не является общепринятой практикой в Российской Федерации. Тем не менее, переработка пакетов рассмотрена в разделе 2.5.

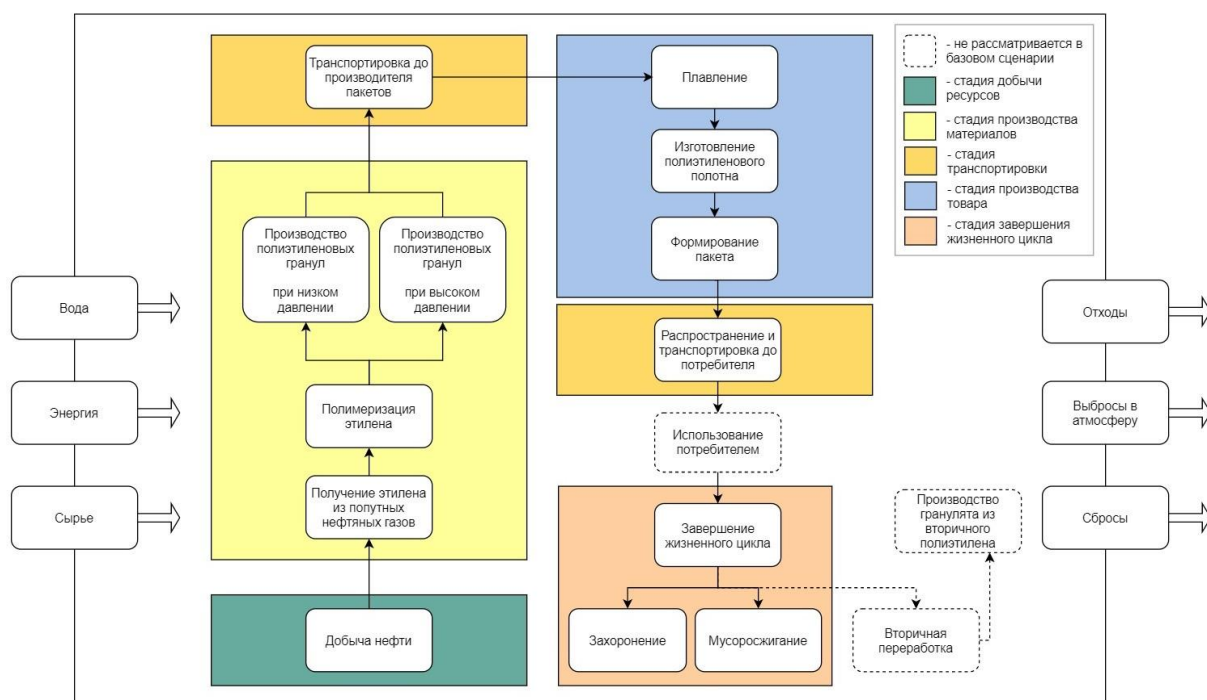


Рисунок 5 — Принципиальная схема жизненного цикла полиэтиленового пакета

Аналогичная схема для жизненного цикла бумажного пакета представлена на рисунке 6. Он начинается с добычи сырья, продолжается его обработкой и производством бумаги на целлюлозно-бумажном комбинате, а затем бумага транспортируется на предприятие по производству бумажных пакетов. После этого следует стадия использования пакетов Яндекс.Лавкой по их назначению, использование покупателями и стадия окончания жизненного цикла на полигоне либо на мусоросжигательном заводе. В данный момент бумагу и картон перерабатывают в значительных количествах, по некоторым данным около 30% [7]. Тем не менее, большую часть вторичного сырья предоставляют промышленные предприятия.

Точной статистики российского рынка макулатуры не существует, а надежные данные об объемах извлечения бумажного вторичного сырья от населения отсутствуют, поэтому переработка бумажных пакетов в рассматриваемой системе принята за ноль, а процессы переработки рассмотрены отдельно в разделе 2.5. Далее каждый этап жизненного цикла будет описан отдельно.

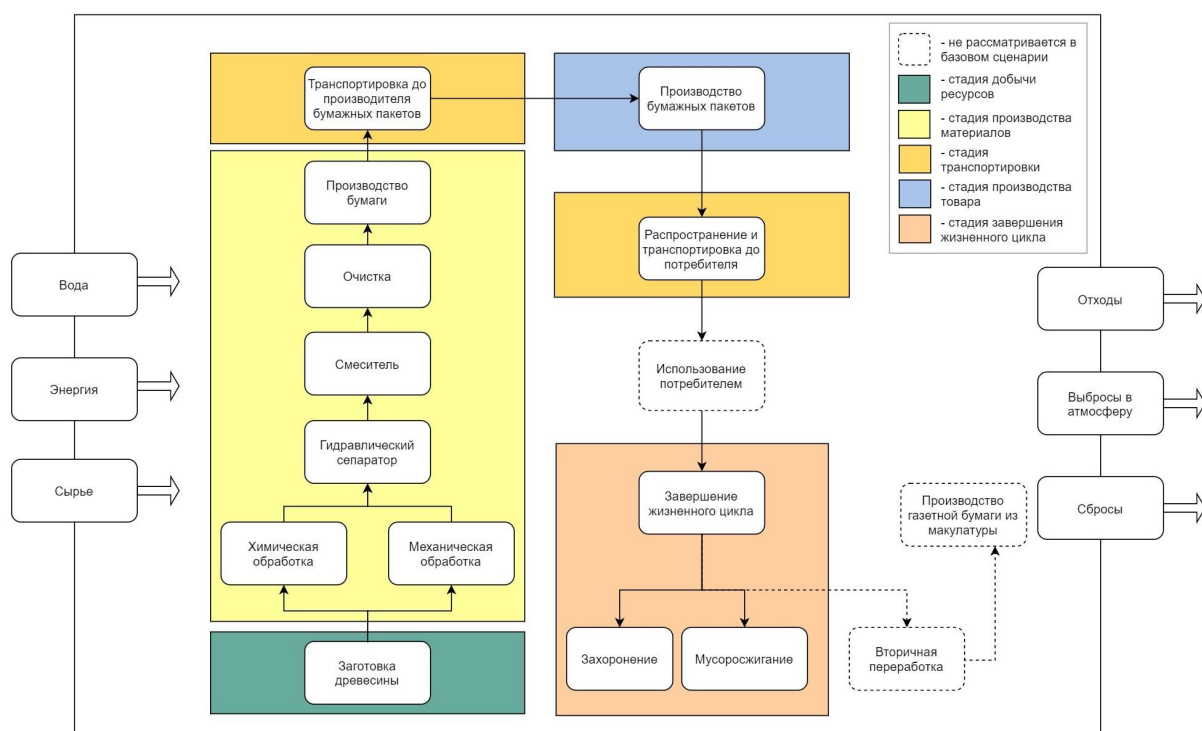


Рисунок 6 — Принципиальная схема жизненного цикла бумажного пакета

2.1 Добыча сырья и производство материалов

2.1.1 ПНД и ПВД пакет

ПНД (HDPE) и ПВД (LDPE) — полиэтилен высокой и низкой плотности соответственно. Их получают из попутного нефтяного газа. Попутный газ растворен в нефти, когда она находится в недрах, и выделяется при ее добыче. Он состоит из различных газообразных углеводородов.

Чтобы ископаемые углеводороды превратились в привычные нам пластики и резину, они должны пройти несколько стадий переработки. Условно можно выделить три стадии:

1. Сначала из ископаемого углеводородного сырья (нефти, попутного нефтяного газа, природного газа или газового конденсата) получают сырье для дальнейшей нефтехимической переработки.
2. Затем его превращают в мономеры — звенья будущих полимерных цепочек.
3. На заключительном этапе мономеры собираются в продукты нефтехимии — полимеры.

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) обычно рассматривается как полиэтилен с плотностью более 940 кг/м³. Он производится в реакторах

низкого давления, поэтому его часто называют полиэтиленом низкого давления (ПНД). Он отличается от ПЭНП (ПВД) тем, что содержит меньше боковых ветвей — от 5 до 10 на 1000 атомов углерода в основе. Большинство боковых ответвлений короткие, длинные боковые ответвления встречаются редко. Молекулярная масса аналогична полиэтилену низкой плотности, но кристалличность обычно высокая (50-85%), а плотность колеблется от 940 до 960 кг/м³. При производстве полиолефинов используются три основные технологии: технология высокого давления, растворные или суспензионные процессы и газофазная полимеризация.

ПВД производится путем полимеризации под высоким давлением. Полимеризация под высоким давлением проводится при давлении от 1500 до 3500 бар и температуре около 200°C. После полимеризации полимер обычно подается двуправленно в экструдер горячего расплава, где в расплавленный полимер при необходимости добавляются добавки. Затем полимер гранулируется в подводном грануляторе. Гранулированный продукт высушивается, при необходимости смешивается и дегазируется.

Процессы для ПНД и ПВД взяты из базы данных Ecoinvent под названием «polyethylene production, high density, granulate» и «polyethylene production, low density, granulate» соответственно. Оба процесса отражают результаты для следующих географических рамок: Rest of the World (RoW).

2.1.2 Бумажный пакет

Для производства всех сортов бумаги в качестве исходного материала используется какое-либо древесное волокно. Свойства готовой бумаги зависят от породы используемой древесины, способа обработки щепы, типа добавляемых химикатов, а также типа оборудования, на котором делается бумага.

Бумажные пакеты изготавливаются в многоступенчатом процессе. Сначала кора, которая имеет высокую окраску и содержит малое количество волокна, удаляется. Бревна механически измельчают в стружку, чтобы использовать ее в процессе производства целлюлозы. Затем стружка проходит дальнейшую обработку для получения длинного, рафинированного волокна, пригодного для изготовления бумаги.

Химическая варка целлюлозы производит бумагу более высокого качества, более прочную, и поэтому из нее часто делают упаковку для пищевой продукции. Химическая варка целлюлозы использует сульфатный процесс, также известный как процесс производства крафта (Kraft происходит от немецкого слова strong). В результате процесса удаляется около 80% лигнина из сырой целлюлозы, а также других нежелательных компонентов [8].

Образующуюся массу пропускают через фильтры. На этом этапе может быть добавлен отбеливатель, краска или усилители. Целлюлозная масса поступает в сепараторы для удаления тяжелых примесей и удаления больших и нежелательных волокон.

Готовую целлюлозу подвергают колорированию и сжатию. В этот момент к ней добавляют необходимые наполнители. Эти добавки будут влиять на непрозрачность и другие качества конечного продукта. Последним этапом получения бумаги является калибровка, при которой продукту придаются необходимые адсорбирующие свойства, в частности в результате продукт получает устойчивость к воздействию чернил, паст, полиграфических красителей. И затем бумагу сматывают в рулоны для дальнейшей отправки производителю бумажных пакетов.

Процесс, используемый в исследовании, включает в себя европейское производство небеленой крафт-бумаги, включая транспортировку на бумажную фабрику, обработку древесины, химическую варку, производство бумаги, производство энергии на месте и очистку внутренних сточных вод. Для обобщения в Ecoinvent взята средняя из существующих в настоящее время технологий.

Процесс взят из Ecoinvent под названием «kraft paper production, unbleached» и отражает результаты для Европы (RER).

2.2 Процесс производства пакетов

Для создания пакетов вне зависимости от материала используется электроэнергия и упаковка. Таким образом, данные процессы являются общими для всех исследуемых пакетов.

Доли источников электроэнергии были взяты из статистических данных за 2017 год: Статистика и балансы мировой энергетики МЭА. Потери в сетях также основаны на данных за 2017 год [9].

Процесс взят для низкого уровня напряжения из базы Ecoinvent в OpenLCA под названием «electricity, low voltage, production mix» и отражает результаты для Российской Федерации (Russia).

В качестве упаковки для транспортировки пакетов используют либо картонные коробки, либо полиэтиленовую пленку. Для исследования было принято, что для транспортировки пакетов используется полиэтиленовая пленка (ПВД). Сам процесс взят из базы Ecoinvent в OpenLCA под названием «packaging film production, low density polyethylene» и отражает результаты для Европы (RER).

2.2.1 Производство ПВД и ПНД пакетов

Изготовление полиэтиленового пакета – технологический процесс, который состоит из двух основных производственных этапов: экструзии и формовки.

Первый этап — экструзия — заключается в изготовлении полимерной пленки. Принято говорить о двух направлениях этой технологии: экструзия литой пленки и экструзия с выдуванием пленки. Экструзия с выдуванием пленки стала наиболее распространенным способом для изготовления пленки именно для пакетов.

В такой производственной линии на начальном этапе используется экструдер (несколько экструдеров), предназначенный для нагрева гранул полиэтиленового пластика до высокой температуры. Жар плавит и пластифицирует гранулы, и в это время расплавленный пластик подается в матрицу машины, где определяется толщина будущего пакета.

Далее процесс сопряжен с непрерывным выдуванием пластика до таких размеров, которые в несколько раз превышают первоначальный диаметр матрицы, с образованием при этом тонкой трубчатой пленки. Пластиковый расплав extrudуют через матрицу вертикально снизу вверх, а воздух вводится в полученный пузырь через отверстие в середине формирующей головки, чтобы наполнить объем пузыря, как воздушный шар.

Для охлаждения пленки поверх матрицы установлено воздушное кольцо, которое ударяет по горячей пленке воздушными потоками, поступающими через каналы от мощного вентилятора. Затем трубчатый пузырь пленки движется вверх (внутри него поддерживается постоянное атмосферное давление) и практически полностью остывает на открытом воздухе, пока не пройдет через систему прижимных валков. Последние элементы служат для того, чтобы сплющить трубку в полотно, то есть образовать единую ленту.

Намоточные машины используются для преобразования extrudированной пленки в рулоны материала. В процессе наматывания пленка должна сохранять свои свойства и размеры, чтобы в дальнейшем рулоны легко разматывались и трансформировались в пакеты.

Далее идет процесс формовки, при котором рулон пленки разматывается в операционную зону станка, где подвергается ряду таких операций технологического деформирования, как термическая сварка, резка, высекание. Готовые пакеты штабелируются на приемном столе.

При производстве пакетов, как и на любом производственном процессе, присутствуют потери. Часто потери возникают из-за поломки оборудования, бракованной продукции, смене сырья и т.д. В данном исследовании коэффициент потерь на производстве принят одинаковым

для всех типов пакетов, взят на основе исследования [6] и составляет 5,15%. Однако было принято допущение, что образующиеся на производстве отходы замыкаются в цикл на предприятии. Отдельная утилизация не смоделирована.

В таблицах 4, 5 приведены инвентаризационные данные процесса производства пакетов из ПВД и ПНД.

Таблица 4 — Инвентаризационные данные для процесса производства 1 пакета из ПНД

Название	Величина	Ед. изм.
Входящие потоки		
Электроэнергия ^a	6,79	Вт*ч
Полиэтиленовый гранулят (ПНД)	7,53	г
Диоксид титана (TiO ₂) ^a	0,224	г
Карбонат кальция (CaCO ₃) ^a	1,134	г
Упаковка (пленка ПВД)) ^a	0,078	г
Выходящие потоки		
Полиэтиленовый пакет (ПНД) — 1 шт	8,5	г
^a — Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006 [10]		

Таблица 5 — Инвентаризационные данные для процесса производства 1 пакета из ПВД

Название	Величина	Ед. изм.
Входящие потоки		
Электроэнергия ^a	1,39	Вт*ч
Полиэтиленовый гранулят (ПВД)	14,88	г
Диоксид титана (TiO ₂) ^a	1,19	г
Карбонат кальция (CaCO ₃) ^a	1,7	г
Упаковка (пленка ПВД) ^a	0,156	г

Выходящие потоки		
Полиэтиленовый пакет (ПВД) — 1 шт	17	г
^a — Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006 [10]		

В процессе производства пакета к полиэтилену добавляют добавки (TiO₂, CaCO₃ и другие) для придания материалу нужных Заказчику технических характеристик пакетов, используется электроэнергия на работу оборудования.

Диоксид титана (TiO₂) используется для введения в качестве красящей добавки в полимерные композиции на основе ПНД, ПВД и полипропилена, при производстве пленок, мешков, нитей, профилей, труб и литевых изделий.

Двуокись титана играет здесь роль наполнителя, отбеливающего красителя, а также обеспечивает стойкость продукции к переменам погодных условий, защищает от воздействия агрессивных факторов.

Процесс взят из открытой базы Ecoinvent из openLCA nexus под названием «market for titanium dioxide». Из-за отсутствия информации по России процесс отражает результаты для Европы (RER).

В программе Ecoinvent для обобщения описывается, что данный процесс является теоретической смесью, состоящей из 50% TiO₂, произведенного по сульфатному процессу, и 50% по хлоридному процессу.

Карбонат кальция (CaCO₃) является основным компонентом известняка. Большая часть используемого продукта поступает из горнодобывающей промышленности и карьеров. Карбонат кальция также может производиться промышленным способом и называется осажденным карбонатом кальция [11].

Процесс взят из базы ecoinvent из openLCA nexus под названием «calcium carbonate production, precipitated» и описывает производство 1 кг осажденного карбоната кальция. География процесса отражает результаты для всего мира (RoW).

Количество диоксида титана и карбоната кальция, используемых для моделирования, основывается на исследовании «Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006», проведенном агентством по охране окружающей среды Великобритании [10].

2.2.2 Производство бумажного пакета

Когда бумажные рулоны поступают на производство, первым этапом создания пакета являются печатные работы. На этой стадии производится вывод пленок, создание матриц (в зависимости от типа печати) и нанесение рисунка на бумагу. Печать на бумажных пакетах может осуществляться различными методами: офсет, флексография, шелкография, тиснение. Однако печатные работы не рассматриваются в данном исследовании, как упомянуто выше.

Следующим этапом может быть ламинирование. Бумажные пакеты, в силу особенностей материала изготовления, могут быть подвержены воздействию влаги, высоких температур, выгоранию на солнце, истиранию поверхности и иным внешним факторам. Ламинация позволяет повысить износостойчивость изделий, придать им большую жесткость, водостойкость, улучшить эстетические качества. Но в данном исследовании в технологическом процессе отсутствует ламинация.

Далее следует этап вырубки, эта стадия необходима для последующей сборки бумажных пакетов. Она производится на прессах (тигельном ручном/автоматическом или, например, стопцилиндровом) специальным штанцевальным штампом. Каркас штампа определяет линии разреза и биговок (мест сгиба), что делает последующую сборку изделий простой.

И заключительным этапом является сборка продукции. Бумажные пакеты собираются при помощи автоматических сборочных линий. Вырубленные листы фальцуют (складывают) по биговкам (местам сгиба). Сложенные листы склеивают по определённому алгоритму. С этой целью могут использоваться водно-дисперсионные, акриловые, термоклей, а также специальный двусторонний узкий скотч.

Возможно укрепление дна и ручек будущих пакетов плотным материалом (картоном).

Далее следует их упаковка и транспортировка к месту непосредственного использования (распространения).

Таким образом, основными входными потоками данного этапа являются:

- крафт бумага,
- клей
- электроэнергия

Значения входных и выходных потоков процесса производства пакета из крафт-бумаги приведены в таблице 6.

Таблица 6 — Инвентаризационные данные для процесса производства пакета из бумаги

Название	Величина	Ед. изм.
Входящие потоки		
Электроэнергия ^a	8,20	Вт*ч
Бумага крафт	37,95	г
Клей (32% ABS, 48% phenolic resin, 20% paraffin) ^a	1,0064	г
Упаковка (пленка ПВД)	0,34	г
Выходящие потоки		
Бумажный пакет — 1 шт	37,00	г
^a — Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006 (UK, Environmental agency) [10]		

В данном исследовании из-за отсутствия информации о составе клея используемого для производства пакетов, было принято решение использовать состав из литературных источников. Согласно [10] клей на 32% состоит из ABS пластика, на 48% из фенольной смолы и на 20% из парафина.

Значения входных и выходных потоков процесса производства клея для бумажного пакета приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Инвентаризационные данные для процесса производства клея для бумажного пакета

Название	Величина	Ед. изм.
Входящие потоки		
Электроэнергия	0,252	Вт*ч
Водяной пар	0,423	г
Акрилонитрил-бутадиен-стирольный гранулят (ABS)	0,322	г
Фенольная смола	0,483	г

Парафин	0,201	г
Выходящие потоки		
Клей (32% ABS, 48% phenolic resin, 20% paraffin)	1,0064	г

Для акрилонитрил-бутадиен-стирола (ABS) процесс взят из базы данных ELCD v 3.2 из openLCA nexus под названием «Acrylonitrile-Butadiene-Styrene granulate (ABS), production mix, at plant» и отражает результаты для Европы (RER).

Фенольные смолы используются при необходимости придания клею изолирующих и термостойких свойств. Фенольные смолы представляют собой продукты поликонденсации фенолов и альдегидов, в частности, фенола и формальдегида. Процесс взят из ELCD v 3.2 из openLCA nexus под названием «phenolic resin production» и отражает результаты для Европы (RER).

Для проклейки бумаги применяется парафин, представляющий собой смесь твердых углеводородов. Их неполярная структура придает им высокую гидрофобность.

Процесс взят из ELCD v 3.2 из openLCA nexus под названием «paraffin production» и отражает результаты для Европы (RER). В процессе учитывается средняя технология, типичная для условий европейского производства в середине 90-х годов.

Также для производства пакетов используется водяной пар [10]. Процесс взят из базы данных Ecoinvent из openLCA nexus под названием «steam production, in chemical industry» и отражает результаты для Европы (RER).

2.3 Транспортировка

В исследовании была смоделирована транспортировка от стадии производства материалов до стадии производства пакетов, а также распространение готовых пакетов от стадии производства до магазинов Яндекс.Лавки в трех городах: Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде.

Транспортировка на стадиях добычи сырья и производстве материалов была включена в процессы, использованные при моделировании этих стадий. В работе было принято допущение, что доставка продуктов из магазинов Яндекс.Лавки покупателям осуществляется только на велотранспорте и не производит выбросов, поэтому исключена из

исследования. Транспортировка до объектов утилизации отходов также не рассматривалась, так как может сильно варьироваться.

Для расчета дистанции от производителя полиэтиленового гранулята было взято расстояние от ООО «ЗапСибНефтеХим» до производителя пакетов ООО «Анкора Восток» (Ancona Vostok Ltd). Расстояние для транспортировки материалов из ПНД и ПВД было принято одинаковым. В качестве производителя бумаги рассматривалось ПАО «Бумажная Фабрика «Коммунар» и производитель бумажных пакетов — ООО «Тек-Пак». В работе предполагается, что все перевозки осуществлялись автотранспортом. Используемые в модели процессы и дистанции сведены в таблицу 8.

Таблица 8 — Инвентаризационные данные для транспортировки

Тип пакетов	Откуда	Куда	Тип транспорта	Расстояние, км
HDPE/ LDPE пакет	Производитель полимеров	Производитель пакетов	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, RoW	2380
	Производитель пакетов	Распределительный центр Яндекс.Лавки в Москве	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	30
Бумажный пакет	Производитель бумаги	Производитель пакетов	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, RoW	735
	Производитель пакетов	Распределительный центр Яндекс.Лавки в Москве	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	50
Любой тип пакета	Распределительный центр Яндекс.Лавки в Москве	Магазины Яндекс.Лавки в Москве	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	30
	Распределительный центр Яндекс.Лавки в Москве	Магазины Яндекс.Лавки в Санкт-Петербурге	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	694

	Распределительный центр Яндекс.Лавки в Москве	Магазины Яндекс.Лавки в Нижнем Новгороде	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	422
--	---	--	---	-----

Процесс транспортировки гранулята от производителя до производства пакета взят из базы данных Ecoinvent из openLCA nexus под названием «transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 4» и отражает географию для всего мира — Rest of the World (RoW).

Этот процесс представляет собой услуги по перевозке 1 тонны груза на дистанцию 1 км (1 т*км) на грузовом автомобиле размерного класса 16-32 метрических тонн и 4 EURO-класса выбросов. Данные для транспорта относятся ко всему жизненному циклу транспорта, т.е. к строительству, эксплуатации, техническому обслуживанию и окончанию срока службы транспортных средств, а также дорожной инфраструктуры. Расход топлива и выбросы относятся к среднеевропейским поездкам и коэффициентам нагрузки и не являются репрезентативными для конкретного транспортного сценария. При расчёте воздействия на окружающую среду конечные значения пересчитываются на массу транспортируемого пакета.

Расстояние основывается на данных Яндекс.Карт и составляет 2380 км от завода производства гранулята до адреса производителя пакетов, предоставленного Яндекс.Лавкой.

Процесс транспортировки до потребителей взят из базы данных ecoinvent из openLCA nexus под названием «market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4, RoW». География взята Rest of the World (RoW).

Этот процесс представляет собой услуги по перевозке 1 тонны груза на дистанцию 1 км (1 т*км) на грузовом автомобиле размерного класса 3,5-7,5 метрических тонн и 4 EURO-класса выбросов. При расчёте воздействия на окружающую среду конечные значения пересчитываются на массу транспортируемого пакета.

Согласно данным Яндекс.Карт, расстояние от адреса производителя пакетов до адреса магазина Яндекс.Лавки, где производится распределения пакетов в другие лавки, составляет около 30 км.

В взятые процессы не включено воздействие на окружающую среду от производства топлива для автомобилей. Поэтому дополнительно к этим процессам был взят процесс для производства дизеля. Данный процесс взят из базы данных ELCD v 3.2 из openLCA nexus под названием «Diesel, consumption mix, at refinery, from crude oil, 200 ppm sulphur» и отражает географию для стран EU-15. В EU-15 входили следующие 15 стран: Австрия,

Бельгия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Испания, Швеция, Великобритания.

2.4 Завершение жизненного цикла

Чтобы ясно представлять воздействие от рассматриваемых пакетов разных материалов на окружающую среду на этапе утилизации, необходимо знать, какое количество использованных пакетов отправляется на переработку, захоронение, мусоросжигание и другие этапы обработки отходов. В России отсутствует качественная статистическая информация по отдельному сбору и переработке фракций ТКО, но ожидается, что с совершенствованием системы раздельного сбора отходов и развитием отрасли переработки появятся необходимые данные для анализа.

В настоящем исследовании было решено опираться на недавно разработанные территориальные схемы по обращению с отходами в трех исследуемых городах: Москве [12], Санкт-Петербурге [13 и 14], Нижнем Новгороде [15].

Таким образом, было принято, что в Москве 7% всех использованных пакетов подвергается мусоросжиганию, а остальные 93% — захораниваются на полигонах. Также было принято, что в Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде 100% использованных пакетов подвергается захоронению. Процесс переработки не включен в базовый сценарий, однако учитывался в разделе 2.5.

2.4.1 Окончание жизненного цикла ПНД и ПВД пакетов

Захоронение отходов было смоделировано одинаково для разных городов с помощью процесса «treatment of waste polyethylene, unsanitary landfill, wet infiltration class (500mm)» для пластиковых пакетов (ПВД и ПНД).

Набор данных для полиэтилена представляет процесс утилизации отходов полиэтилена на полигоне. Полиэтилен поступает на захоронение в составе смеси коммунальных отходов (состав отходов, поступающих на полигон, указан в описании процесса).

В процессе смоделировано захоронение твердых коммунальных отходов без сбора свалочного газа, а также системы очистки фильтрата, так как сбор и утилизация свалочного газа отсутствуют практически на всех используемых полигонах в России. Конечная средняя высота полигона составляет 15 метров. Продолжительность этапа эксплуатации — 25 лет. Процент прямого выброса свалочного газа — 100%. Процесс взят из базы

данных Ecoinvent из openLCA nexus и отражает географию для всего мира (GLO).

В Москве существующие заводы по термической утилизации отходов не вырабатывают электроэнергию в сеть, а лишь покрывают собственные нужды. Процесс мусоросжигания представлен процессом «treatment of waste polyethylene, municipal incineration» для полиэтиленовых. Процесс взят из базы данных Ecoinvent и отражает географию Швейцарии.

2.4.2 Окончание жизненного цикла бумажного пакета

Захоронение бумажных пакетов было смоделировано одинаково для разных городов с помощью процесса «treatment of waste paperboard, sanitary landfill», а сжигание — с помощью процесса «treatment of waste paperboard, municipal incineration». Оба процесса отражают швейцарские технологии захоронения и сжигания, которые близки к российским, и взяты из базы данных Ecoinvent из openLCA nexus.

При сжигании и захоронении смоделировано, что доля биогенного углерода в отходах равна 100%.

При сжигании из одного кг этих отходов образуется 0,006637 кг шлака и 0,00345 кг остатков, которые размещаются на полигоне. Смоделированы выбросы в атмосферу и воду от сжигания отходов, расход вспомогательных материалов для очистки дымовых газов. Краткосрочные выбросы в речную воду и долгосрочные выбросы в грунтовые воды из шлакового отсека (из донного шлака) и свалки остаточных материалов (из затвердевшей летучей золы и шлама скруббера).

В процессе захоронения принято, что бумажные отходы в течение 100 лет разлагаются на 32.44%. В процессе анаэробного разложения выделяется свалочный газ, примерно на 50% которого приходится метан. Система сбора свалочного газа отсутствует.

2.5 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности проводится с целью определения воздействия вариаций в допущениях, методах и данных на результаты. На этапе завершения жизненного цикла было сделано допущение, что использованные пакеты утилизируют вместе с ТКО согласно территориальным схемам обращения с отходами г. Москвы, Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода. Однако при изменении методов обращения с отходами и внедрения раздельного сбора отдельных фракций отходов, воздействие от их утилизации будет значительно меняться. В

данном случае была поставлена цель выявить, насколько использование различных методов обращения с отходами на этапе завершения жизненного цикла влияет на результаты исследования.

Было решено проанализировать и сравнить следующие ситуации:

1. пакеты из рассматриваемых материалов подвергаются 100% захоронению;
2. пакеты из рассматриваемых материалов подвергаются 100% сжиганию на МСЗ (мусоросжигательные заводы);
3. пакеты из рассматриваемых материалов подвергаются 100% сжиганию на МСЗ с выработкой электроэнергии в энергосеть;
4. пакеты из рассматриваемых материалов подвергаются 100% вторичной переработке и заменяют товары первичного производства;
5. пакеты из рассматриваемых материалов подвергаются вторичной переработке на 36% и заменяют товары первичного производства; 7% подвергаются сжиганию, а остальные 57% подвергаются захоронению на полигонах.

Согласно цели национального проекта «Экология» [16], к 2025 году не менее 36% твердых коммунальных отходов должно подвергаться переработке. Пакет, использованный для доставки продуктов покупателям, относится именно к ТКО. Поэтому было решено проанализировать именно этот показатель переработки.

Для моделирования захоронения и сжигания использованы процессы из базы данных ecoinvent v2, описанные в разделе 2.4.

Для анализа чувствительности были смоделированы процессы переработки пакетов, а также процедура расширения системы (System expansion) для того, чтобы рассчитать, предотвращенное негативное воздействие на окружающую среду. С помощью расширения системы моделируется замещение продуктов на рынке из первичного сырья, продуктами, образовавшимися в процессе переработки вторичных материалов или производства энергии из отходов. Таким образом, переработанный ПНД и ПВХ заменят на рынке часть первичных гранул ПНД и ПВХ, макулатура заменит часть первичного бумажного сырья, а электроэнергия, вырабатываемая на МСЗ, заменит потребляемую энергию из энергосети.

Продукты из вторичных материалов зачастую не могут заменить 100% продукции из первичного сырья из-за отличий в технических характеристиках и особенности рыночных отношений, поэтому в работе были использованы коэффициенты замещения из исследования 2017 года «Environmental performance of household waste management in Europe — an example of 7 countries» [17]. Коэффициент замещения — коэффициент, описывающий возможности замещения материала из первичного сырья

материалом из вторичного сырья. Для ПНД коэффициент замещения равен 0,73. Для ПВД из-за отсутствия информации коэффициент замещения принят таким же, как и для ПНД, — 0,73. Для бумаги и картона — 0,83.

Чтобы смоделировать сжигание отходов на МСЗ с выработкой электроэнергии в энергосеть, было рассчитано количество вырабатываемой электроэнергии от сжигания каждого вида пакетов. Количество вырабатываемой энергии рассчитывается по формуле:

$$E = m \cdot q \cdot \eta,$$

где m — масса пакета, q — низшая теплота сгорания, η — эффективность преобразования электроэнергии

В таблице 9 представлены данные для расчета и моделирования количества электроэнергии, которая может быть выработана на МСЗ.

Таблица 9 — Данные о выработке электроэнергии при сжигании отходов

Показатель	Кол-во	Ед. изм.
Низшая теплота сгорания ПНД	37,1 (а)	МДж/кг
Низшая теплота сгорания ПВД	40,8 (а)	МДж/кг
Низшая теплота сгорания бумаги	10,0 (б)	МДж/кг
Эффективность преобразования электроэнергии	27,0	%
Масса пакета из ПНД	8,5	г
Масса пакета из ПВД	17,0	г
Масса пакета из бумаги	37,0	г
Электроэнергия от сжигания пакета из ПНД	85,1 (0,024)	кДж (кВт·ч)
Электроэнергия от сжигания пакета из ПВД	187,3 (0,052)	кДж (кВт·ч)
Электроэнергия от сжигания пакета из бумаги	99,9 (0,028)	кДж (кВт·ч)
а - HEATING VALUE OF NON-RECYCLED WASTE PLASTICS (americanchemistry.com) [18] б - Heating value of municipal solid waste - ScienceDirect [19]		

Процесс переработки ПНД и ПВД пакетов подразумевает переработку полимеров обратно в гранулят. Процесс для ПНД взят из Ecoinvent из openLCA nexus под названием «polyethylene production, high density,

granulate, recycled» и отражает географию для всего мира Rest of the World (RoW).

Процесс переработки ПВД отсутствует в взятых базах данных Ecoinvent, и из-за отсутствия информации принят аналогичным процессу для ПНД.

В исследовании предполагается, что переработанный бумажный пакет используется при изготовлении газетной бумаги, так как бумажный крафт-пакет не обладает высоким качеством целлюлозы, что не позволяет ему быть переработанным, например, в писчую бумагу. Для производства газет из макулатуры из Ecoinvent был взят процесс «paper production, newsprint, recycled», отражающий мировое производство газетной бумаги из вторичного сырья.

Для производства газет из первичной целлюлозы был взят процесс из Ecoinvent под названием «paper production, newsprint, virgin» и отражает географию для мирового производства (RoW). В этот процесс была включена транспортировка на бумажную фабрику, обработка древесины, механическая варка и отбеливание, производство бумаги, производство энергии на месте и очистка внутренних сточных вод.

Процессы производства первичного ПНД и ПВД взяты из базы данных Ecoinvent из openLCA nexus с названием «polyethylene production, high density, granulate» и «polyethylene production, low density, granulate» соответственно. Оба процесса отражают результаты для следующих географических рамок: Rest of the World (RoW).

Результаты анализа чувствительности представлены в разделе 4.1.

Глава 3. Оценка воздействия жизненного цикла

После инвентаризационного анализа жизненного цикла моделируются сравниваемые продуктовые системы и проводится оценка воздействия жизненного цикла (ОВЖЦ). Обязательными стадиями оценки воздействия являются: выбор категорий воздействия, показателей категории и характеристических моделей, соотнесение результатов ИАЖЦ к выбранным категориям воздействия (классификация); вычисление показателей категории (характеризация).

На рисунке 7 описан принцип получения результатов воздействия систем на окружающую среду. В результате инвентаризационного анализа становятся известны эмиссии каждого моделируемого процесса. На этапе классификации эмиссии распределяются по категориям, на которые они оказывают влияние, а затем на этапе характеристики переводятся в эталонные единицы данной категории воздействия (например, для категории «Изменение климата» такой единицей является кг CO₂-экв).

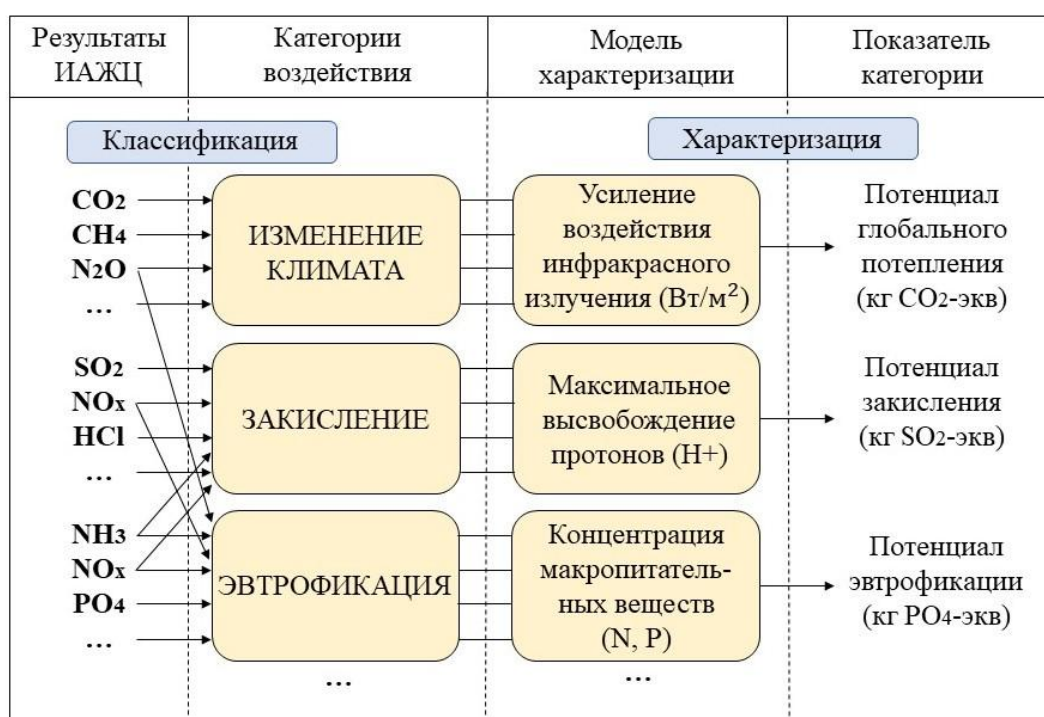


Рисунок 7 — Принцип получения показателей категорий воздействия на окружающую среду

В соответствии с целями исследования, воздействие исследуемых систем оценивается для четырех категорий воздействия, а именно: изменения климата, закисления, эвтрофикации и истощения абиотических ресурсов. В качестве характеристической модели для всех шести категорий воздействия была выбрана модель CML 2001, версия января 2016 г., реализованная в программном обеспечении OpenLCA. Показатели категорий и их обозначения перечислены в

таблице 10. Из двух вариантов имеющегося потенциала глобального потепления был выбран тот, который не включает биогенный углерод. Под биогенным углеродом подразумевается углекислый газ (CO₂), поглощенный во время роста растений и связанный в растительных тканях. Биогенный углерод в конечном итоге может быть высвобожден обратно в воздух в виде CO₂ (биогенного диоксида углерода) или CH₄ (биогенного метана). Категории истощения абиотических ресурсов включает в себя потребление ископаемого топлива, минералов и металлов. Величина потребления абиотических ресурсов (например, бурого угля или каменного угля) является мерой дефицита вещества. Это означает, что она зависит от количества ресурсов и скорости их извлечения из недр. Она формируется количеством ресурсов, которые истощаются, и измеряется в эквивалентах сурьмы.

Преобразование выбросов в эталонные единицы категории воздействия происходит на этапе характеристики путем умножения каждого вида выбросов на свой характеристический коэффициент. Основные характеристические коэффициенты для оцениваемых категорий воздействия приведены в таблице 10.

Таблица 10 — Коэффициенты характеристики CML — 2001 (январь 2016)

Вещ-во	GWP 100a	AP	EP	ADP	HTP 100a	FAETP 100a
	кг CO ₂ -экв / кг вещ-ва	кг SO ₂ -экв / кг вещ-ва	кг PO ₄ -экв / кг вещ-ва	кг Sb экв / кг вещ-ва	кг 1,4 дихлорбензол экв / кг вещ-ва	кг 1,4 дихлорбензол экв / кг вещ-ва
CO ₂	1	-	-	-	-	-
CH ₄	25.0	-	-	-	-	-
N ₂ O	265	-	0.27	-	-	-
NF ₃	17200	-	-	-	-	-
NO _x	-	0.7	0.13	-	-	-
SO ₂	-	1.0	-	-	-	-
NH ₃	-	1.88	0.35	-	-	-
PO ₄	-	-	1	-	-	-
CO	1,57	-	-	-	-	-
NO ₂ -	-	-	0.1	-	-	-

NH3-	-	-	0.35	-	-	-
N	-	-	0.42	-	-	-
N2O	298		0.27	-	-	-
SF6	22800	-	-	-	-	-
H2SO4	-	0.65	-	-	-	-
SO3	-	0.8	-	-	-	-
HCl	-	0.88	-	-	-	-
HF	-	1.6	-	-	-	-
P	-	-	3.06	8.443E-5	-	-
H3PO4	-	0.98	-	-	-	-
H2S	-	1.88	-	-	-	-
Fe	-	-	-	8.433E-8	-	-
AL	-	-	-	1.0014E-8	-	-
Уголь	-	-	-	0.0134	-	-
Природны й газ	-	-	-	0.0187	-	-
Нефть	-	-	-	0.0201	-	-
Ксенон	-	-	-	17500	-	-
He (гелий)	-	-	-	147.56	-	-
Серебро(A g)	-	-	-	1.8449	-	-
Золото (Au)	-	-	-	89.51	-	-
Бензол	-	-	-	-	209.89	8.37E-5
Мышьяк	-	-	-	-	347700	-
Бензол, гексахлор-	-	-	-	-	3155000	-
Хром (VI)	-	-	-	-	3425200	0.32362

Бериллий	-	-	-	-	226630	90274
Диоксины	-	-	-	-	1,9347E9	2112300
ПАУ (полицилические углеводороды)	-	-	-	-	572470	27544
Ванадий	-	-	-	-	261.63	8904.3
Таллий	-	-	-		134190	7955
Кобальт	-	-	-	2.6196E-5	17264	3384.5
Никель	-	-	-	1.075E-4	35033	3215.5
Кадмий	-	-	-	0.33008	145040	1512.5
Медь	-	-	-	0.00194	4282.9	1149.3
Аценафтен	-	-	-	-	-	27544
Селен	-	-	-	-	-	2899.1
Ртуть	-	-	-	-	-	1704.1
Формальдегид	-	-	-	-	-	280.73
Цинк	-	-	9.923E-4	-	-	91.085

3.1 Результаты оценки воздействия жизненного цикла для трех исследуемых пакетов

На рисунках 8-11 представлены воздействия на окружающую среду от каждого этапа жизненного цикла трёх рассматриваемых пакетов, используемых компанией Яндекс.Лавка. Также на рисунках 12-13 подробнее рассмотрены выбросы на этапе производства пакетов, а также вклад различных входных потоков в категории воздействия. Результаты представлены на примере города Москвы, а для двух других городов рассматриваются далее на рисунках 14-17. Информация о количественных величинах рассчитанных выбросов сведена в таблицы 14, 15, 16 в приложении А.

Все результаты представлены для функциональной единицы, т.е. 1 пакета из ПНД, ПВД и крафт-бумаги, подходящего для перевозки заказа средним весом 2,8 кг и объемом 15 л. Гистограммы отражают вклад каждого этапа жизненного цикла для каждого типа пакетов в ту или иную категорию воздействия. Эти этапы включают:

- добычу сырья и производство материалов (ПНД, ПВД, ПП, бумага)
- производство пакета (использование энергии, химических добавок и клея в процессе производства)
- транспортировку (от производителя гранул до производителя пакетов, а также от производителя пакетов до магазинов Яндекс.Лавки)
- окончание жизненного цикла (включая захоронение и сжигание)

3.1.1. Потенциал глобального потепления (GWP)

На рисунке 8 отчетливо видно, что наибольший суммарный потенциал глобального потепления (GWP) на всем жизненном цикле имеет бумажный пакет. При этом основной вклад вносит именно этап завершения жизненного цикла, а именно захоронение на полигоне без сбора свалочного газа. На остальных этапах ЖЦ: добыче ресурсов, производстве и транспортировке, самыми большими выбросами парниковых газов обладает пакет из LDPE. Тем не менее, из-за того, что на полигоне он почти не подвергается процессам разложения и не выделяет парниковые газы, его суммарный GWP в 1,4 раза меньше, чем у бумажного пакета. Пакет из материала HDPE обладает самыми низкими эмиссиями, в 2,8 и 2,0 раза меньше, чем бумажный и LDPE пакет, так как имеет достаточно маленькую массу по сравнению с другими и не разлагается на полигоне.

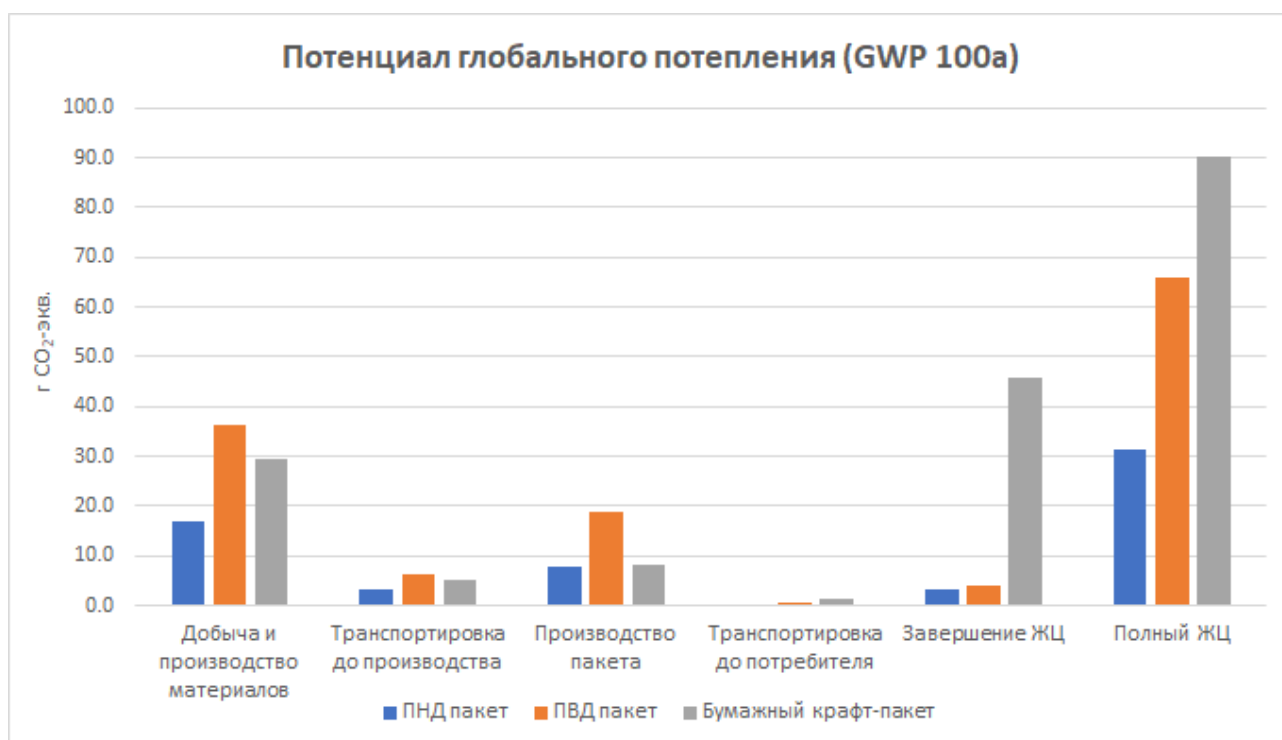


Рисунок 8 — потенциал глобального потепления для жизненного цикла пакетов, используемых в г. Москве

3.1.2 Потенциал закисления

Этапы добычи и производства материалов и производства пакетов вносят основной вклад в потенциал закисления на всем жизненном цикле пакетов, как видно на рисунке 9. При этом наибольшее воздействие на этапе добычи и производства сырья оказывает бумажный пакет: его значения в 4 раза больше, чем у ПНД, и в 1,6 раз больше, чем у ПВД.

Однако из-за этапа производства пакета ПВД пакет обладает наибольшими эмиссиями, которые на 62% и на 10% больше, чем у ПНД и бумажного пакета соответственно. Остальные этапы — транспортировка и завершение ЖЦ — вносят небольшой вклад в потенциал закисления, по сравнению этапами добычи и производства материалов и производства пакетов.

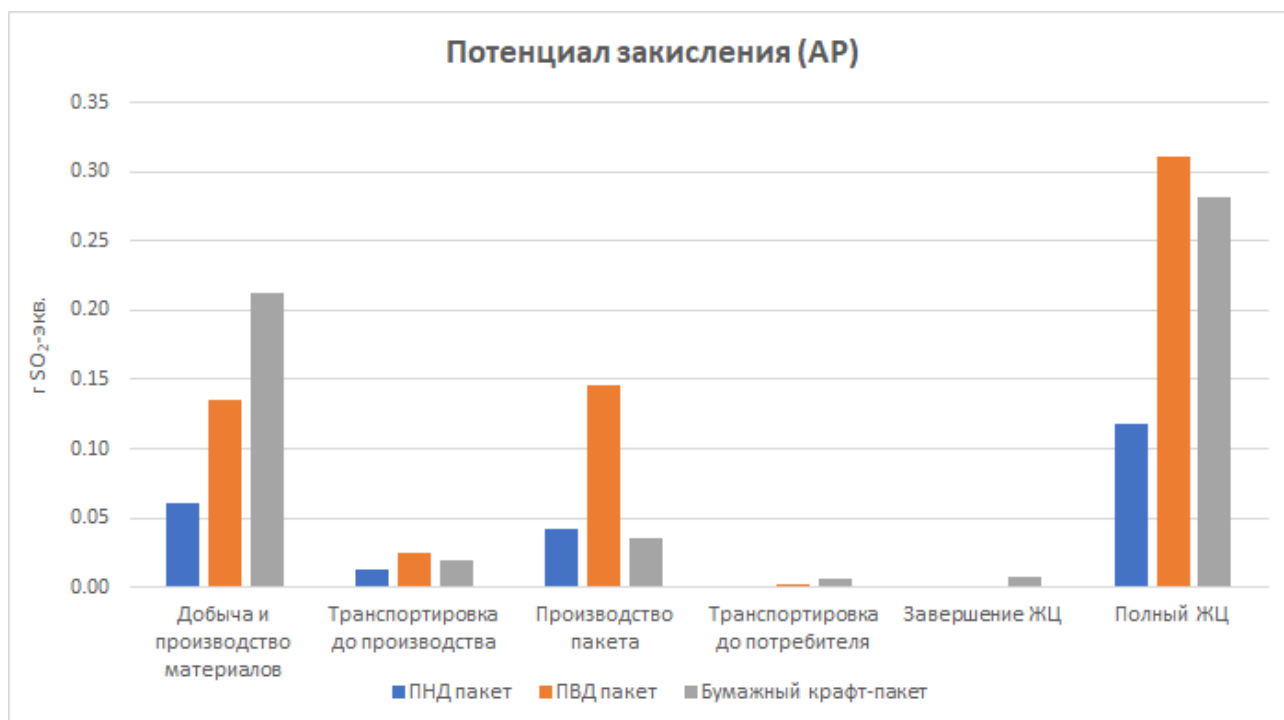


Рисунок 9 — потенциал закисления (AP) для жизненного цикла пакетов, используемых в г. Москве

3.1.3 Потенциал эвтрофикации

На рисунке 10 отчетливо видно, что добыча и производство материалов вносят существенный вклад в потенциал эвтрофикации для бумажного пакета, и составляют около 80% от вклада на всем жизненном цикле бумажного пакета. Это обусловлено наличием большого количества сточных вод во время производства бумаги на целлюлозно-бумажном комбинате. Транспортировка и завершение жизненного цикла не вносят значительного вклада в потенциал эвтрофикации. В итоге воздействие бумажного пакета в 4,2 раза больше, чем у ПНД пакета, и в 1,67 раза больше, чем у ПВД пакета.

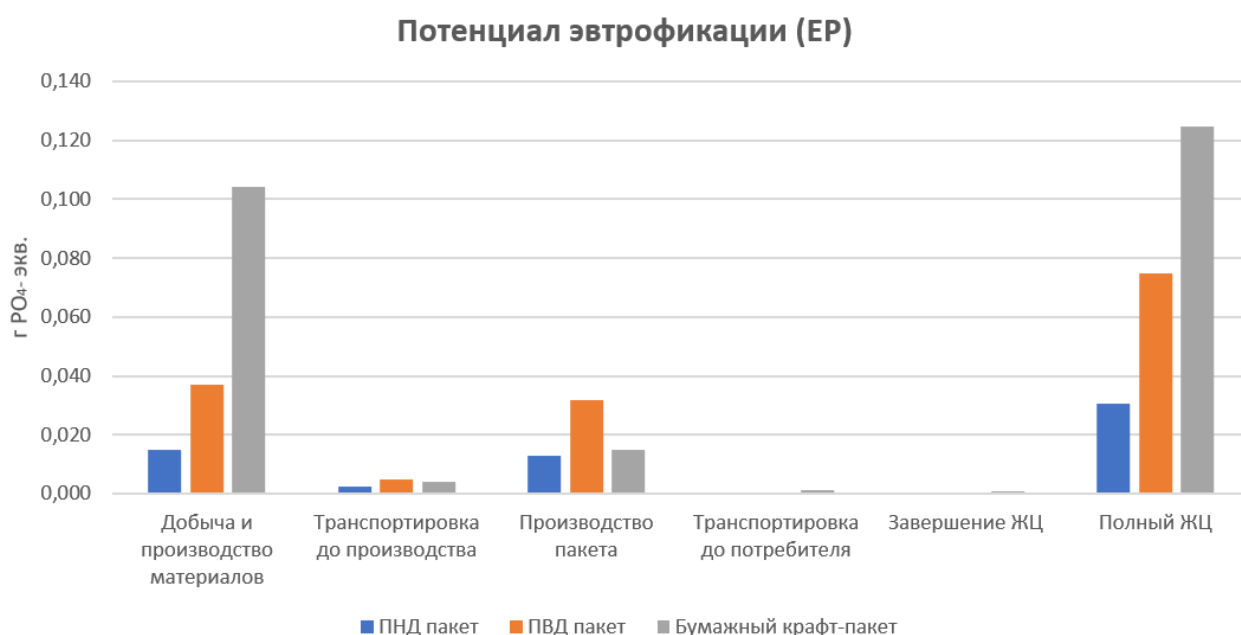


Рисунок 10 — потенциал эвтрофикации для жизненного цикла пакетов, используемых в г. Москве

3.1.4 Потенциал истощения абиотических ресурсов

На рисунке 11 показано, что наибольшее истощение ресурсов в течение ЖЦ происходит у пакета из ПВД, который обозначается маркировкой с цифрой (4). На втором месте — пакет из ПНД, а самым низким суммарным ADP обладает бумажный крафт-пакет, но разница между ним и пакетом из ПНД незначительна. В этой категории основной вклад в потенциал истощения абиотических ресурсов также приходится на стадию добычи и производства материалов. Эта стадия занимает 75% суммарного потенциала ADP для пластиковых пакетов и около 60% для бумажного. На втором месте, как и в предыдущих категориях по вкладу в суммарные выбросы, следует производство пакетов из-за потребления электроэнергии и использования добавок.



Рисунок 11 — потенциал истощения абиотических ресурсов для жизненного цикла пакетов, используемых в г. Москве

3.1.5 Резюме результатов

Таким образом, можно сделать вывод, что для всех категорий воздействия основной вклад в воздействие на окружающую среду вносит этап добычи сырья и производства материалов, а на втором месте по величине находится этап производства пакетов. Исключением является этап окончания ЖЦ бумажного пакета, который при захоронении на полигоне вносит самый значительный вклад в категорию изменения климата. Вклад от транспортировки не превышает 16%. Этап окончания жизненного цикла может сильно влиять на результаты в зависимости от используемых методов обращения с отходами, поэтому подробно рассмотрен в анализе чувствительности в разделе 2.5.

Чтобы резюмировать выводы о суммарных выбросах на всем ЖЦ исследуемых пакетов, была составлена таблица 11, в которой виды пакетов ранжированы в соответствии с величиной выбросов в каждой категории воздействия на окружающую среду. При смоделированных условиях, которые приближены к реальности на момент 2020-2021 года, в 5-ти из 6-ти рассматриваемых категорий пакет-майка из материала ПНД имеет самое низкое воздействие на окружающую среду. Пакет из ПВД и бумажный пакет чередуются по степени воздействия в разных категориях. В категории изменения климата и эвтрофикации меньшими выбросами обладает ПВД пакет. В категориях закисления и истощения абиотических ресурсов показатели лучше у бумажного крафт-пакета.

Таблица 11 — ранжирование пакетов в соответствии с величиной воздействия

Категория воздействия/ тип пакета	ПНД пакет	ПВД Пакет	Бумажный крафт-пакет
Изменение климата	1	2	3
Закисление	1	3	2
Эвтрофикация	1	2	3
Истощение абиотических ресурсов	2	3	1
1 — наименьшее воздействие на ОС на всем жизненном цикле 2 — среднее воздействие на ОС на всем жизненном цикле 3 — наибольшее воздействие на ОС на всем жизненном цикле			

3.1.6 Результаты на этапе производства пакетов

Ниже на рисунках 12-13 подробнее рассмотрены выбросы на этапе производства пакетов, а также вклад различных добавок, потребления энергии и использования упаковки. При производстве пакетов потребление электроэнергии вносит серьезный вклад: от 50 до 64% в потенциал GWP, 25-40% для пластиковых пакетов и 60% для бумажного в AP, 57-73% в EP и 50-65% в потенциал ADP. В производстве пластиковых пакетов также серьезный вклад по всем категориям наблюдается от использования диоксида титана и карбоната кальция. Использование клея при сборке бумажного пакета вносит от 14 до 35% вклада по разным категориям. Вклад в выбросы от упаковки готовых пакетов наименее заметен и для пластиковых пакетов не превышает 5%. Для бумажных это значение несколько больше из-за того, что и масса самих пакетом тоже больше — до 15%.

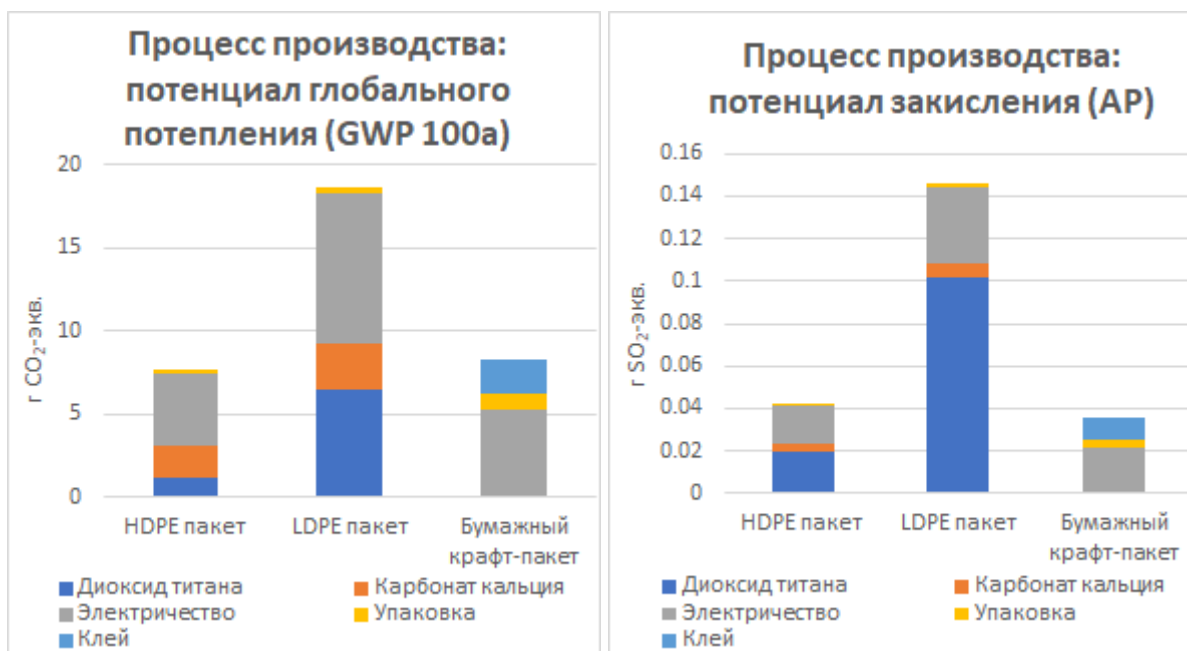


Рисунок 12 — результаты воздействия на окружающую среду на этапе производства пакета: а — потенциал глобального потепления, б — потенциал закисления

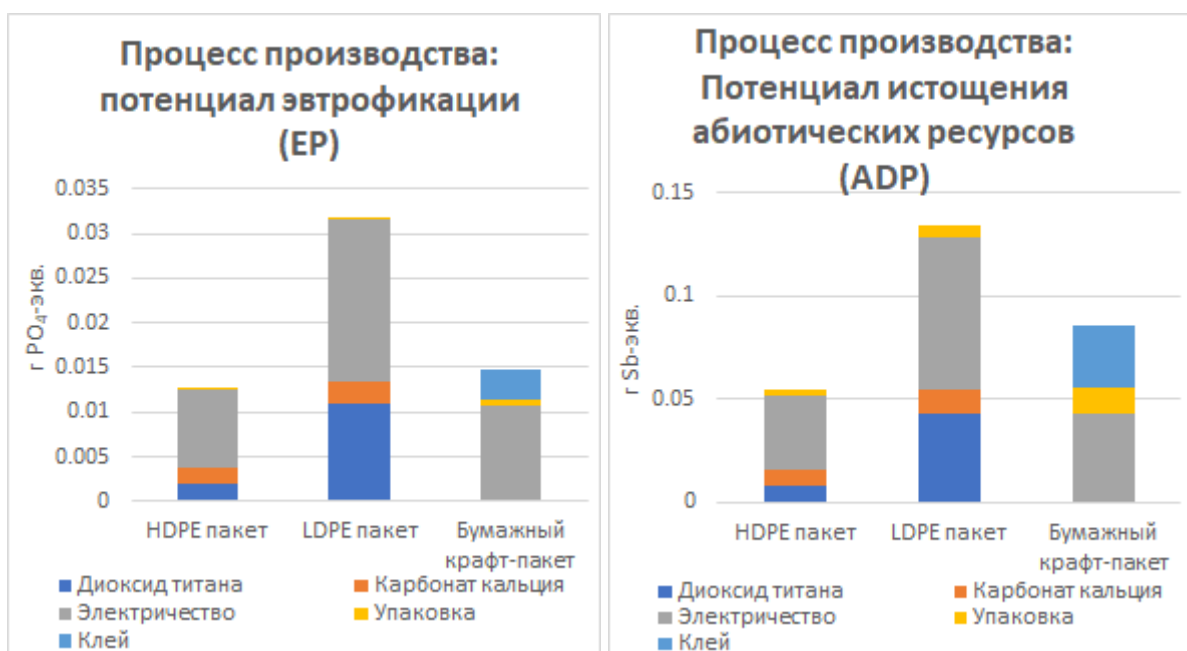


Рисунок 13 — результаты воздействия на окружающую среду на этапе производства пакета: а — потенциал эвтрофикации, б — потенциал истощения абиотических ресурсов

3.1.7 Результаты для разных городов

Далее на рисунках 14-17 представлены результаты для исследуемых пакетов по городам присутствия Яндекс.Лавки при базовом сценарии (7% сжигания и 93% захоронения в Москве, 100% захоронения в Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде), а также вклад каждого из этапов в общее воздействие на окружающую среду.

Как было сказано ранее, основной вклад в потенциал глобального потепления для полиэтиленовых пакетов (ПВД и ПНД) вносит этап добычи и производства материалов. А различия между ними заключаются в основном в количестве используемого материала на 1 пакет. В случае с бумажным пакетом, от 45 до 55% воздействия производится на этапе завершения ЖЦ в зависимости от города. Ранжирование пакетов по данному параметру не меняется в зависимости от города: наименьшее воздействие имеет пакет ПНД; наименее предпочтительным является бумажный пакет из-за большей массы, а также из-за большого влияния при завершении ЖЦ.

Вклад транспортировки до потребителя увеличивается для всех видов пакетов, но остается в пределах 10-15% от суммарных GWP и в пределах 20% по остальным категориям. А выбросы заключительного этапа жизненного цикла для ПВД и ПНД пакетов уменьшаются на 55% по сравнению с Москвой, так как, согласно территориальным схемам Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода, основным методом обращения с отходами является захоронение, а мусоросжигание в модели принято за 0. По аналогичной причине выбросы бумажного пакета на данном этапе увеличиваются на 11%.

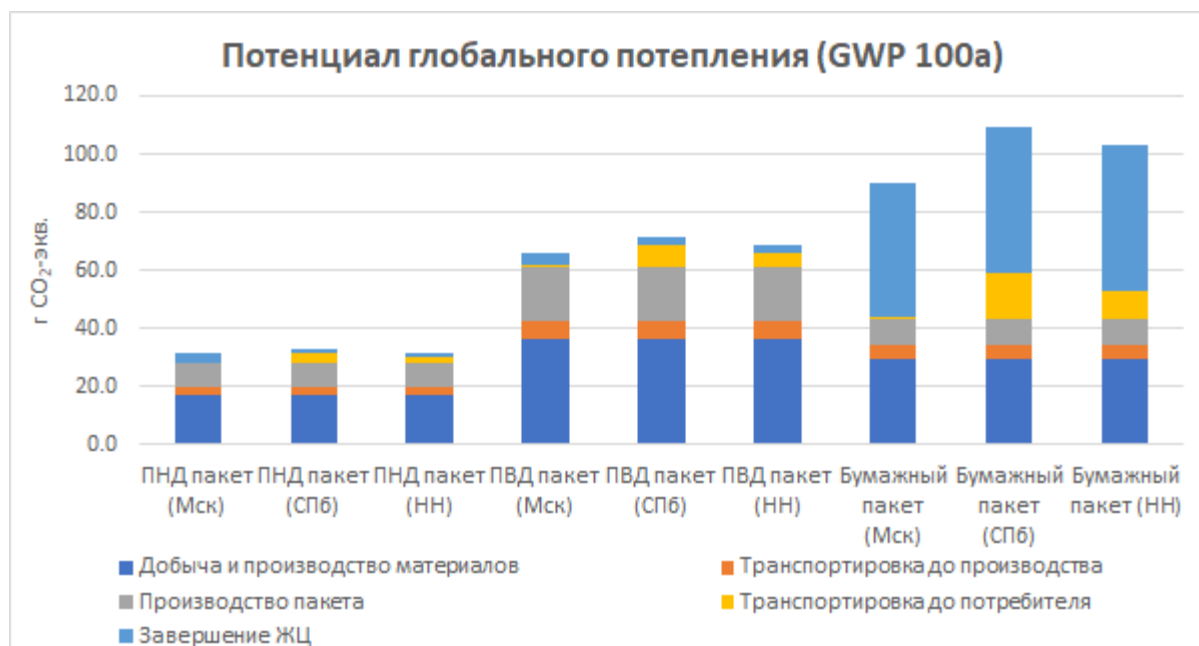


Рисунок 14 — потенциал глобального потепления для жизненного цикла пакетов для Москвы, Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода

На рисунке 15 отчетливо видно, что этап транспортировки влияет на ранжирование пакетов в зависимости от того, в какой город отправляется пакет. ПНД вне зависимости от города является наиболее приемлемым материалом. Однако если говорить про ПВД и бумагу, то при транспортировке в Санкт-Петербург из-за большего веса бумажный пакет становится менее приемлемым, чем ПВД пакет. И в данном случае суммарный вклад на обоих этапах транспортировки бумажного пакета увеличивается с 9 % в Москве до 26% для Санкт-Петербурга.

Вклад этапа окончания ЖЦ не вносит значительных изменений.

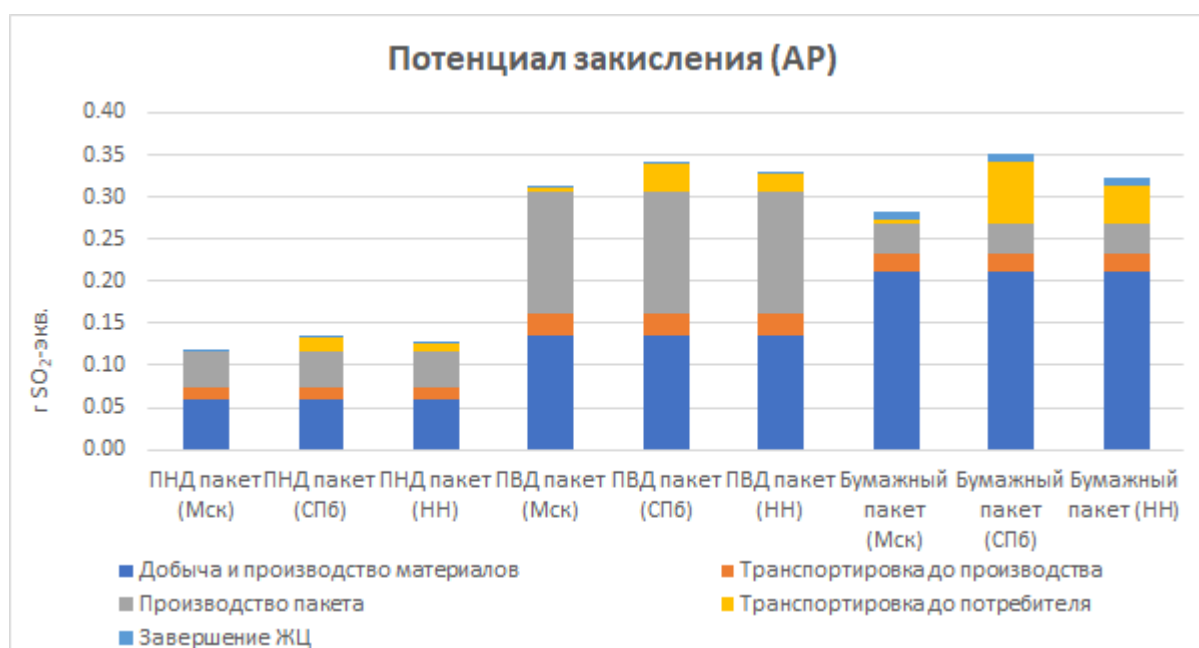


Рисунок 15 — потенциал закисления для жизненного цикла пакетов для Москвы, Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода

Для потенциала эвтрофикации порядок ранжирования по величине воздействия не поменялся. ПНД пакет все еще обладает наименьшим ЕР, за ним следует ПВД и на последнем месте пакет из крафт-бумаги. Вклад транспортировки для пластиковых пакетов увеличился в 1,5-2 раза, а для бумажного — в 2,5-3 раза. Изменения в окончании жизненного цикла незначительны.

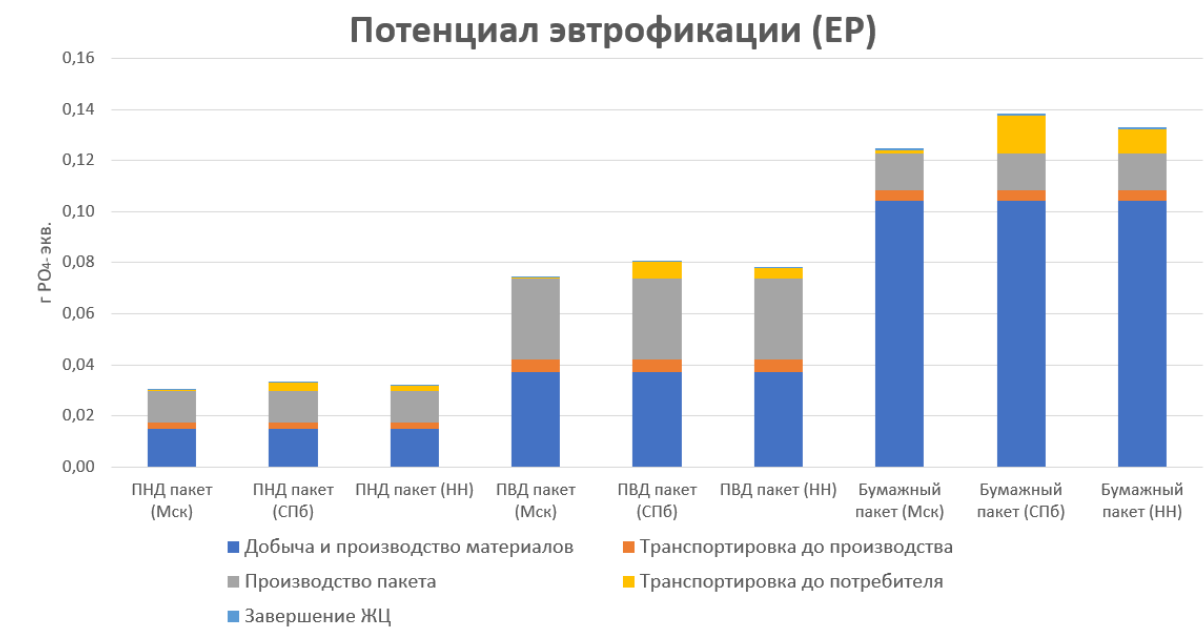


Рисунок 16 — потенциал эвтрофикации для жизненного цикла пакетов для Москвы, Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода

В категории истощения абиотических ресурсов бумажный пакет был самым оптимальным вариантом для г. Москвы, но при транспортировке в Санкт-Петербург и Нижний Новгород его суммарный потенциал ADP увеличивается. Поэтому для этих двух городов более оптимальным вариантом становится ПНД пакет, а пакет из ПВД остается на последнем месте по приоритету. Изменения в окончании жизненного цикла несильно влияют на изменение результатов.

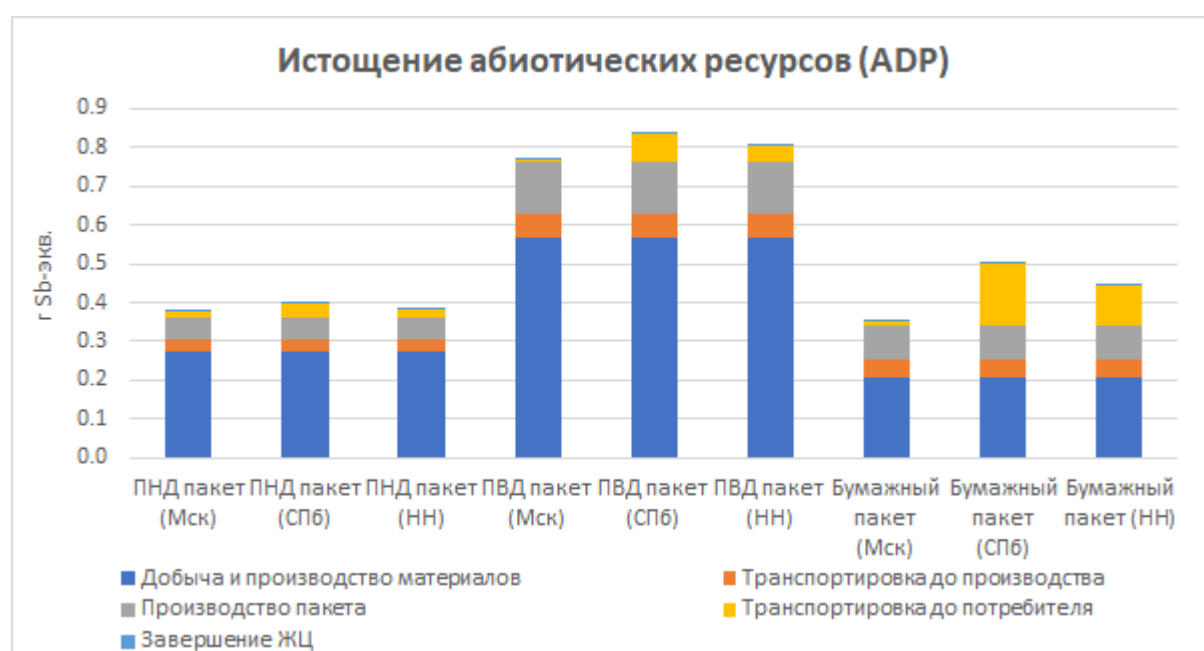


Рисунок 17 — потенциал истощения абиотических ресурсов для жизненного цикла пакетов для Москвы, Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода

3.2 Выводы

Резюмируя графики 14-17, можно сделать следующие выводы:

С учетом текущей инфраструктуры утилизации отходов в России ранжирование между городами меняется незначительно. Почти во всех категориях, кроме истощения абиотических ресурсов, ПНД пакет более предпочтителен. Бумажный пакет из-за большей массы при транспортировке оказывает большее воздействие на окружающую среду и при увеличении расстояния транспортировки показывает ухудшение позиции. Так, ПНД пакет становится более оптимальный в категории по истощению абиотических ресурсов при доставке пакетов в Санкт-Петербург или Нижний Новгород.

А между ПВД и бумажным крафт-пакетом происходит чередование в ранжировании по категориям воздействия. Например, по потенциалу глобального потепления и потенциалу эвтрофикации ПВД пакет предпочтительнее, а по истощению абиотических ресурсов для всех городов и потенциалу закисления для Москвы и Нижнего Новгорода значения лучше у бумажного пакета.

Глава 4. Интерпретация результатов

4.1 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности системы проводится для того, чтобы оценить влияние ключевых переменных на результаты оценки воздействия. В ходе анализа чувствительности оценивались различные варианты окончания жизненного цикла, то есть методы обращения с отходами, которые могут быть реализованы в будущем. Следующие параметры были рассмотрены как альтернатива базовому сценарию утилизации:

1. 100% отходов подвергается захоронению
2. 100% отходов подвергается сжиганию на МСЗ
3. 100% отходов подвергается сжиганию на МСЗ с выработкой электроэнергии в энергосеть
4. 100% отходов подвергается вторичной переработке
5. 36% отходов подвергается вторичной переработке согласно целям национального проекта «Экология», 7% сжигается на МСЗ и 57% подвергается захоронению

Для расчета вырабатываемой на МСЗ энергии использовались значения, расписанные в разделе 2.5.

4.1.1 Анализ чувствительности окончания жизненного цикла

Далее на рисунках 18-21 представлены результаты анализа чувствительности для пяти вариантов окончания ЖЦ исследуемых видов пакетов. В первом столбце представлен базовый случай окончания жизненного цикла, который рассматривался в исследовании первоначально.

4.1.1.1 Потенциал глобального потепления

На рисунке 18 отчетливо видно, что 100% захоронения по сравнению с базовым случаем утилизации, в котором захоронение составляет 93%, позволяет снизить выбросы парниковых газов от пластиковых пакетов в 2 раза, так как на полигоне они практически не влияют на GWP, но эмиссии от захоронения бумажного пакета еще больше увеличиваются.

При 100% сжигании увеличиваются выбросы от пакетов из полиэтилена более чем в 8 раз. Но при этом же сценарии выбросы у бумажных пакетов снижаются практически до нуля. Это обусловлено тем, что бумажные пакеты содержат биогенный углерод. Он не учитывается при расчете GWP, так как может быть поглощен из атмосферы тем же количеством деревьев, что были использованы при его производстве. Если на мусоросжигательном заводе вырабатывается электроэнергия и идет в сеть, то происходит замещение электроэнергии, производимой из

ископаемого топлива и других источников. В этом случае выбросы от предотвращенного производства энергии в сети взяты со знаком минус. На гистограмме представлен уже результат вычитания предотвращенных выбросов из прямых выбросов на мусоросжигательном заводе. Значения GWP для бумаги становятся отрицательными, то есть эта величина выбросов CO₂ в атмосферу не образуется. Воздействие от ПНД и ПВД уменьшаются на 60% и 66% соответственно за счет замещения электроэнергии, но остаются положительными по величине.

В случае, когда рассматривается 100% переработка у всех видов пакетов с учетом дальнейшего замещения продуктов из первичного сырья, предотвращенные эмиссии больше, чем прямые эмиссии от переработки. Поэтому потенциал глобального потепления для всех трёх пакетов принимает отрицательные значения по величине. Наименьшим GWP на данном этапе обладает пакет из ПВД. Его значения лучше, чем у ПНД, из-за массы перерабатываемого материала, который впоследствии замещает большее количество первичного гранулята.

В условиях достижения целей Национального проекта «Экология», то есть достижения 36% переработки для каждого вида пакета, вклад окончания ЖЦ у ПНД и ПВД пакетов в глобальное потепление очень незначителен и почти равен нулю. А самым неблагоприятным вариантом остается бумага, так как 57% все еще подвергается захоронению и генерирует метан в составе свалочного газа.

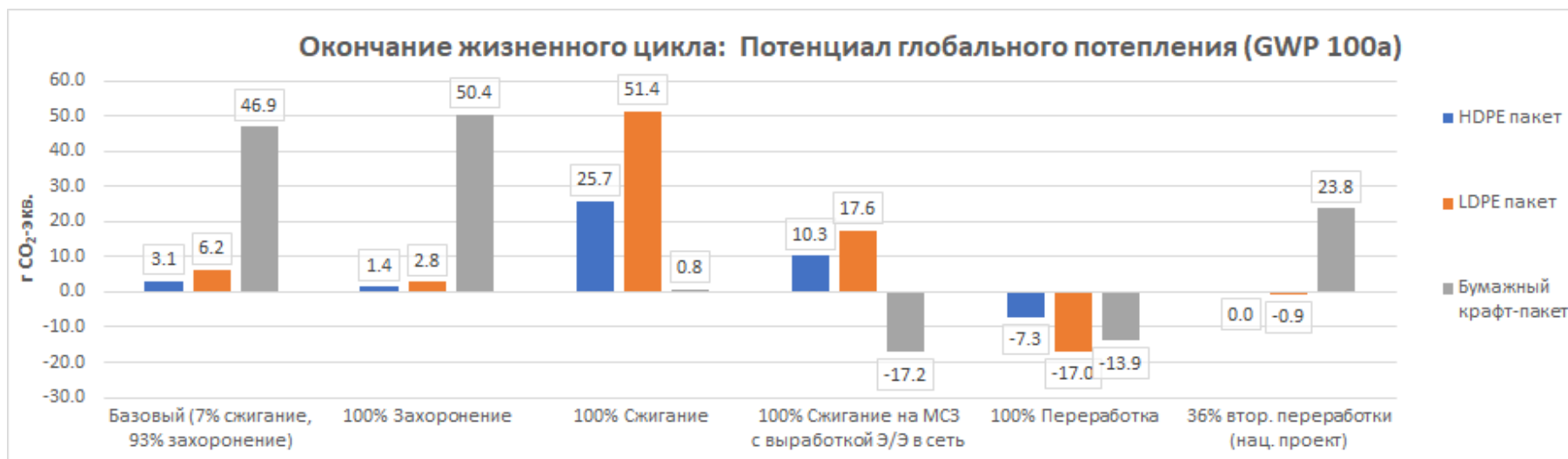


Рисунок 18 — потенциал глобального потепления для различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.1.2 Потенциал закисления

На рисунке 19 представлены результаты окончания ЖЦ по потенциалу закисления. При 100% захоронении полиэтиленовых пакетов их воздействие очень мало и стремится к нулю, а потенциал закисления ПНД пакета почти в 21 раз меньше, чем у бумажного и почти в два раза меньше чем у ПВД, что обусловлено разницей в массе пакетов. Тем не менее, в данной категории выбросы от бумажного пакета на полигоне не настолько значительные, как в категории изменения климата.

При 100% сжигании образуются продукты горения, которые вносят более серьезный вклад в АР. В такой ситуации наименьший АР все еще имеет пакет из ПНД, а наибольший — бумажный крафт-пакет.

При сжигании с подачей электроэнергии в энергосеть все типы пакетов показывают отрицательные значения, и интересно то, что при 100% сжигании наилучший результат показывает ПВД пакет, затем ПНД и с небольшим отставанием бумажный. Это объясняется разным количеством вырабатываемой энергии из-за разницы в массах и низшей теплоте сгорания этих материалов.

При 100% переработке, как и при реализации поставленных Национальным проектом «Экология» показателей, бумага обладает самым лучшим результатом на этапе окончания ЖЦ по сравнению с полиэтиленовыми пакетами.

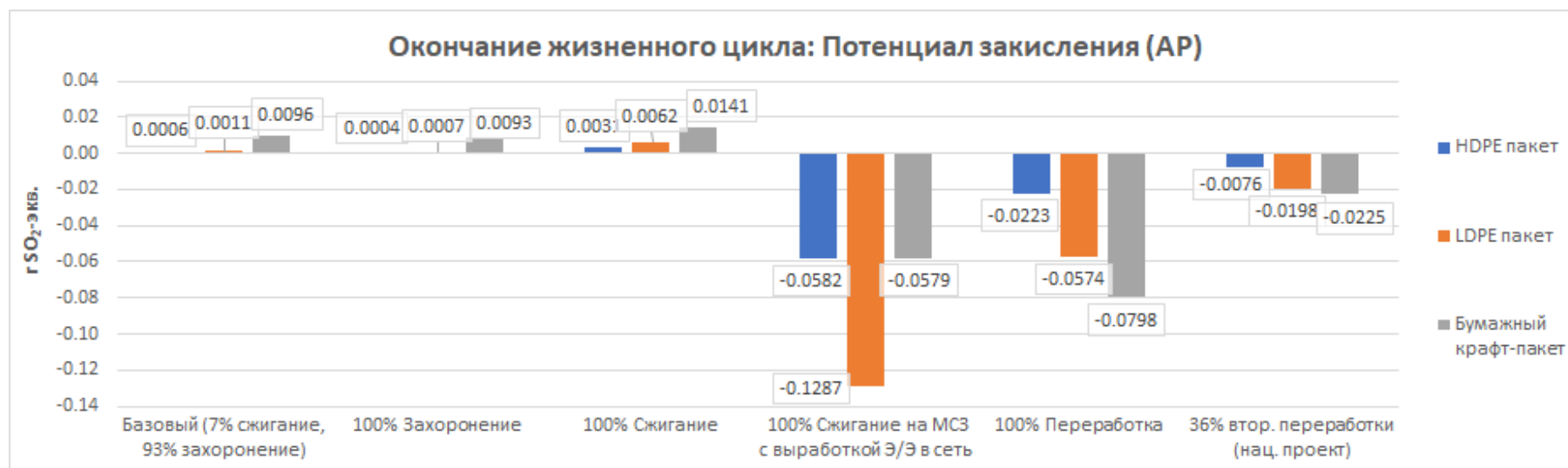


Рисунок 19 — потенциал закисления для различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.1.3 Потенциал эвтрофикации

Аналогичная прошлому графику ситуация наблюдается на рисунке 20. При базовом сценарии, 100% захоронении и 100% сжигании, окончание ЖЦ ПНД пакета является более предпочтительным. При мусоросжигании с выработкой электроэнергии ПВД пакет показывает результаты в 2 раза лучше, чем бумажный пакет, и в 2,2 раза лучше, чем ПНД пакет. А при 100% переработке и в случае реализации целей Национального проекта «Экология» показатели окончания ЖЦ бумажного пакета в 2-7 раз лучше, чем у двух других.

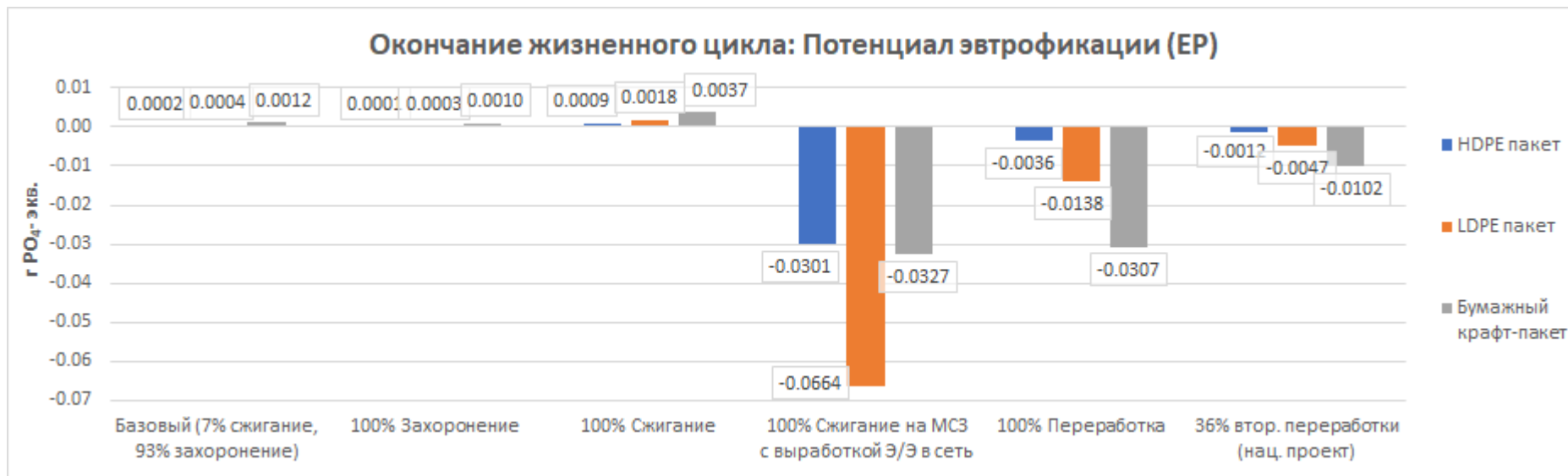


Рисунок 20 — потенциал эвтрофикации для различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.1.4 Потенциал истощения абиотических ресурсов

Такие низкие значения при захоронении и сжигании обусловлены тем, что этап окончания ЖЦ не сопровождается особо большим истощением абиотических ресурсов по сравнению, например, с этапом добычи и производства первичных материалов. Поэтому при переработке и при сжигании отходов с выработкой электроэнергии в энергосеть получают значительно большие по величине показатели ADP со знаком минус. Как видно на рисунке 21, при 100% захоронении и 100% сжигании отходов наиболее предпочтительным на этапе окончания ЖЦ является ПНД пакет.

Однако при сжигании с выработкой электроэнергии и переработке ситуация меняется. При производстве электроэнергии, а также при производстве и полимеров, и целлюлозы используется большое количество абиотических ресурсов (нефти, воды, природного газа и т.д.). Переработка в том или ином виде (в продукт или

энергию), значительно способствует сохранению абиотических ресурсов. При сжигании с выработкой электроэнергии окончание ЖЦ ПВД пакета показывает результаты на 120% лучше чем, у ПНД, из-за большей теплоты сгорания и вдвое большей массы. А для бумажного крафт-пакета значения лишь на 15% лучше чем ПНД.

В сценарии со 100% переработкой бумажный пакет показывает наименьшие значения по сравнению с полиэтиленовыми пакетами. Аналогично пропорция сохраняется при реализации национального проекта «Экология».

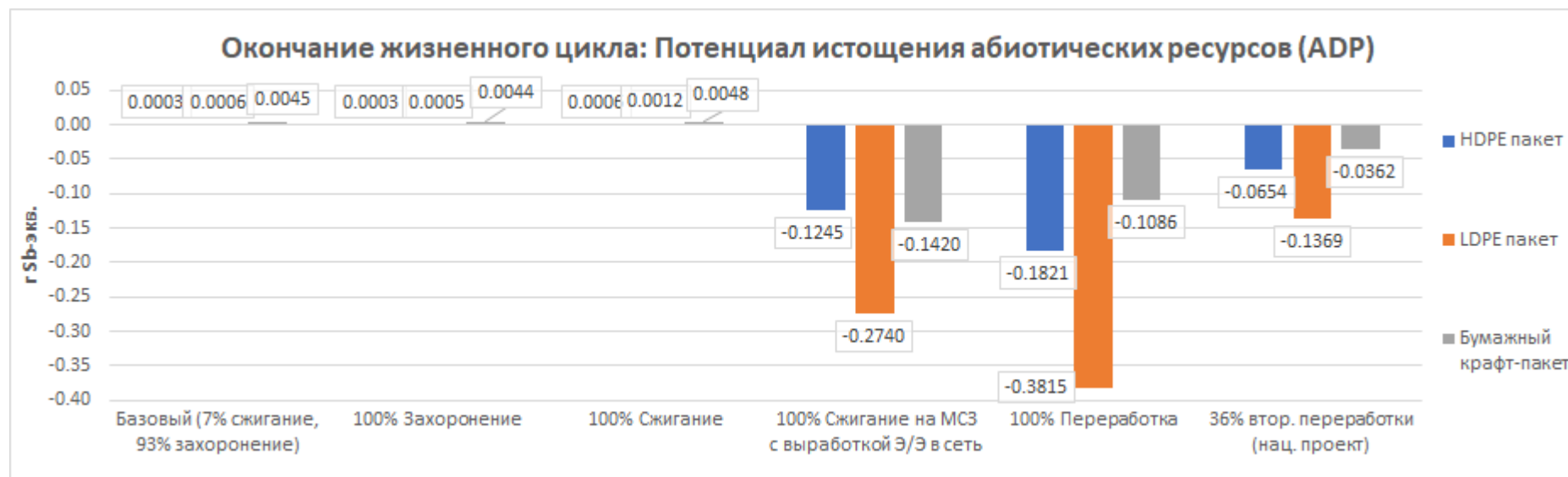


Рисунок 21 — потенциал истощения абиотических ресурсов для различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.1.5 Резюме по окончанию жизненного цикла

Таким образом, можно сделать вывод, что условия утилизации отходов в конце жизненного цикла колоссально различаются по величине и характеру выбросов. Переработка вторичного сырья и выработка электроэнергии в энергетическую сеть от сжигания отходов могут значительно снизить и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду по всем рассмотренным категориям. Рассматривая только этап окончания жизненного цикла,

можно отметить, что ПНД пакет является самым предпочтительным только в условиях захоронения отходов на полигоне и мусоросжигании без выработки электроэнергии. В случае же наличия на МСЗ генерации энергии, ПВД пакет занимает первые позиции по наименьшим воздействиям в данных категориях. Что касается случая, когда бумажный пакет перерабатывается, он становится самым оптимальным вариантом, опережая своих конкурентов из полиэтилена. Такая картина наблюдается практически во всех категориях воздействия, за исключением категории изменения климата. При мусоросжигании с или без выработки энергии бумажный пакет имеет самый маленький потенциал GWP, а ПВД — самый большой. А при переработке пакет из ПВД немного обгоняет бумажный, и становится самым оптимальным в категории изменения климата.

Ниже приведена сводная таблица 12 с результатами оценки окончания жизненного цикла исследуемых пакетов. В ней виды пакетов ранжированы в соответствии с величиной выбросов в каждой категории воздействия на окружающую среду для всех исследуемых сценариев.

Таблица 12 — ранжирование окончания ЖЦ пакетов в соответствии с величиной воздействия

Сценарии	Тип пакета	Изменение климата	Закисление	Эвтрофикация	Истощение абиотических ресурсов
Базовый сценарий (7% сжигание, 93% захоронение)	ПНД пакет	1	1	1	1
	ПВД Пакет	2	2	2	2
	Бумажный крафт-пакет	3	3	3	3
100% Захоронение	ПНД пакет	1	1	1	1
	ПВД Пакет	2	2	2	2
	Бумажный крафт-пакет	3	3	3	3
100% Сжигание	ПНД пакет	2	1	1	1

	ПВД Пакет	3	2	2	2
	Бумажный крафт-пакет	1	3	3	3
100% Сжигание на МСЗ с выработкой электроэнергии в энергосеть	ПНД пакет	2	2	3	3
	ПВД Пакет	3	1	1	1
	Бумажный крафт-пакет	1	3	2	2
100% Переработка	ПНД пакет	3	3	3	2
	ПВД Пакет	1	2	2	3
	Бумажный крафт-пакет	2	1	1	1
Нацпроект (36% переработка, 7% сжигание, 57% захоронение)	ПНД пакет	2	3	3	2
	ПВД Пакет	1	2	2	1
	Бумажный крафт-пакет	3	1	1	3
1 — наименьшее воздействие этапа окончания жизненного цикла на ОС; 2 — среднее воздействие этапа окончания жизненного цикла на ОС; 3 — наибольшее воздействие этапа окончания жизненного цикла на ОС					

4.1.2 Анализ чувствительности полного жизненного цикла

Далее на рисунках 22-25 представлены результаты оценки полного жизненного цикла в зависимости от сценария окончания ЖЦ для города Москвы. Для представления результатов принята Москва, так как основная часть операционной деятельности Яндекс.Лавки сконцентрирована в данный момент здесь. По сравнению с другими городами основные изменения будут в основном на этапе транспортировки до потребителя, поэтому для анализа чувствительности достаточно рассмотрения одного города.

4.1.2.1 Потенциал глобального потепления

При 100% захоронении пакетов на полигоне значительных изменений в ранжировании по сравнению с базовым сценарием не происходит. ПНД пакет является наиболее оптимальным вариантом, затем следует ПВД пакет, и последнюю позицию занимает бумажный крафт-пакет. Это происходит потому, что в базовом сценарии 93% процента отходов идет на захоронение.

В случае, когда 100% отходов идут на сжигание, ситуация меняется, и бумажный крафт-пакет становится наиболее предпочтительным вариантом; ПНД пакет занимает среднее положение, а ПВД пакет остается на последней позиции. Происходит это по причинам, указанным ранее при рассмотрении окончания жизненного цикла пакетов. Аналогичная ситуация обстоит при сжигании отходов с выработкой электроэнергии в энергосеть. Несмотря на то, что при сжигании ПНД и ПВД пакетов выделяется большее количество энергии и предотвращенные выбросы у них больше, чем у бумажных, бумажные являются наиболее оптимальными по GWP.

В сценарии со 100% переработкой пакетов наиболее оптимальным является ПНД пакет. Воздействие бумажного пакета на 50% больше по сравнению с ПНД пакетом, а ПВД пакета на 125%.

При достижении целей, установленных Национальным проектом «Экология», наиболее предпочтителен ПНД пакет с точки зрения потенциала глобального потепления. А наименее оптимальным будет являться бумажный пакет, поскольку большая доля бумажных отходов все еще подвергается захоронению.

Интересные моменты заключаются в том, что:

Бумажный пакет при его 100% переработке оказывает воздействие на GWP немного меньше, чем ПНД пакет при текущем сценарии окончания ЖЦ. (на 3,5 %)

ПВД пакет при его 100% переработке оказывает воздействие на GWP, сопоставимое с 100% сжиганием бумажного пакета без выработки электроэнергии в энергосеть.

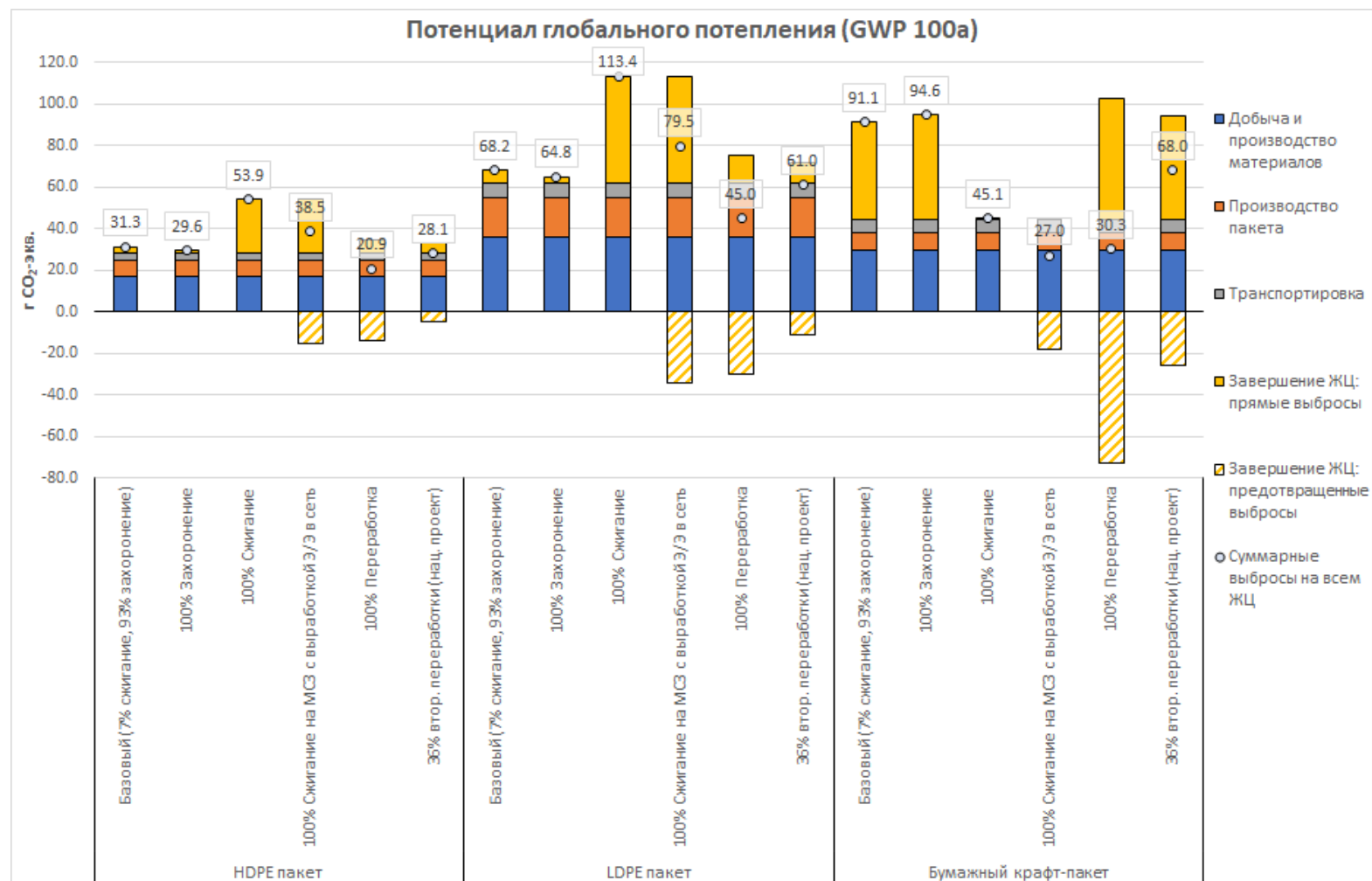


Рисунок 22 — Зависимость потенциала глобального потепления на всем жизненном цикле от различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.2.2 Потенциал закисления

В категории закисления при 100% захоронении и при 100% сжигании без поставки электроэнергии в энергосеть ранжирование по сравнению с базовым сценарием не претерпевает значительных изменений. Во всех вариантах утилизации ПНД пакет является наиболее оптимальным и показывает результат на всем жизненном цикле в 2-3 раза лучше, чем два других пакета.

ПВД пакет и пакет из крафт-бумаги показывают относительно близкие значения для всех вариантов утилизации. При 100% сжигании с выработкой электричества и поставкой ее в энергетическую систему ПВД пакет показывает значения лучше, чем бумажный пакет в аналогичном сценарии.

При 100% переработке бумажного пакета выделяется большое количество прямых выбросов, сопоставимых с этапом добычи и производства материалов, однако из-за учета предотвращенного воздействия получается результат на 30% меньший по сравнению с базовым сценарием. А ПВД пакет показывает незначительное сокращение воздействия при переработке и в конечном итоге является самым нежелательным вариантом по данной категории.

По мере достижения целей Национального проекта воздействие всех исследуемых пакетов будет снижаться, однако ранжирование пакетов по данной категории от этого не поменяется.

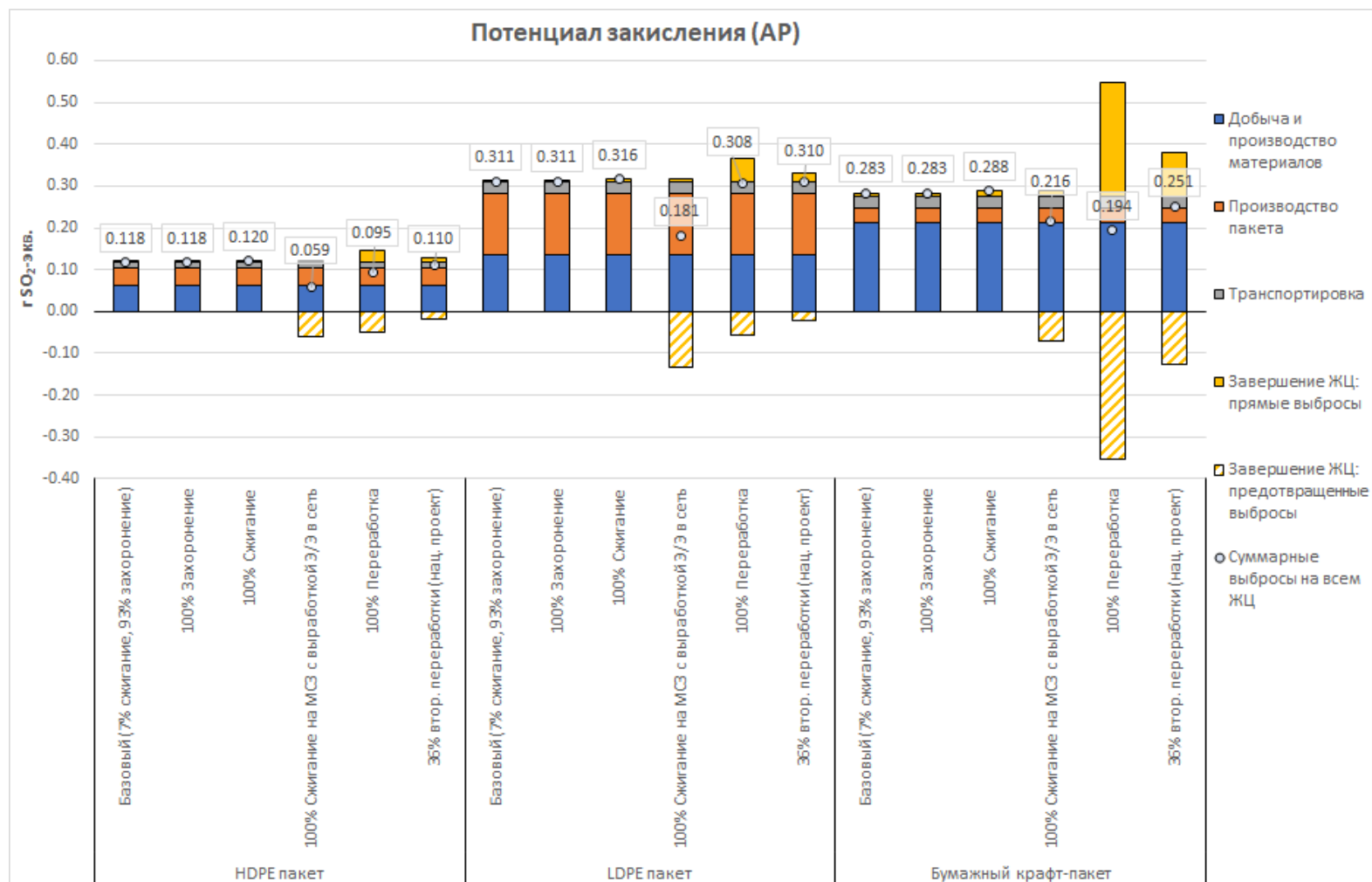


Рисунок 23 — Зависимость потенциала закисления на всем жизненном цикле от различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.2.3 Потенциал эвтрофикации

В категории эвтрофикации при 100% захоронении и при 100% сжигании без поставки электроэнергии в энергосеть по сравнению с базовым сценарием значительных изменений не происходит. Наименьшим показателем ЕР в этих случаях обладает ПНД пакет, а наибольшим - бумажный крафт-пакет. При производстве электроэнергии на МСЗ полиэтиленовые пакеты обладают самыми низкими показателями ЕР из рассматриваемых сценариев утилизации, которые близки к нулевому значению. У бумажного пакета количество выбросов РО₄-экв. по сравнению с базовым сценарием снижается на 30%, но остается самым высоким из трех видов пакетов. Как при 100% переработке, так и в случае целей Национального проекта «Экология», ранжирование трех видов пакетов не изменяется по сравнению с базовым сценарием.

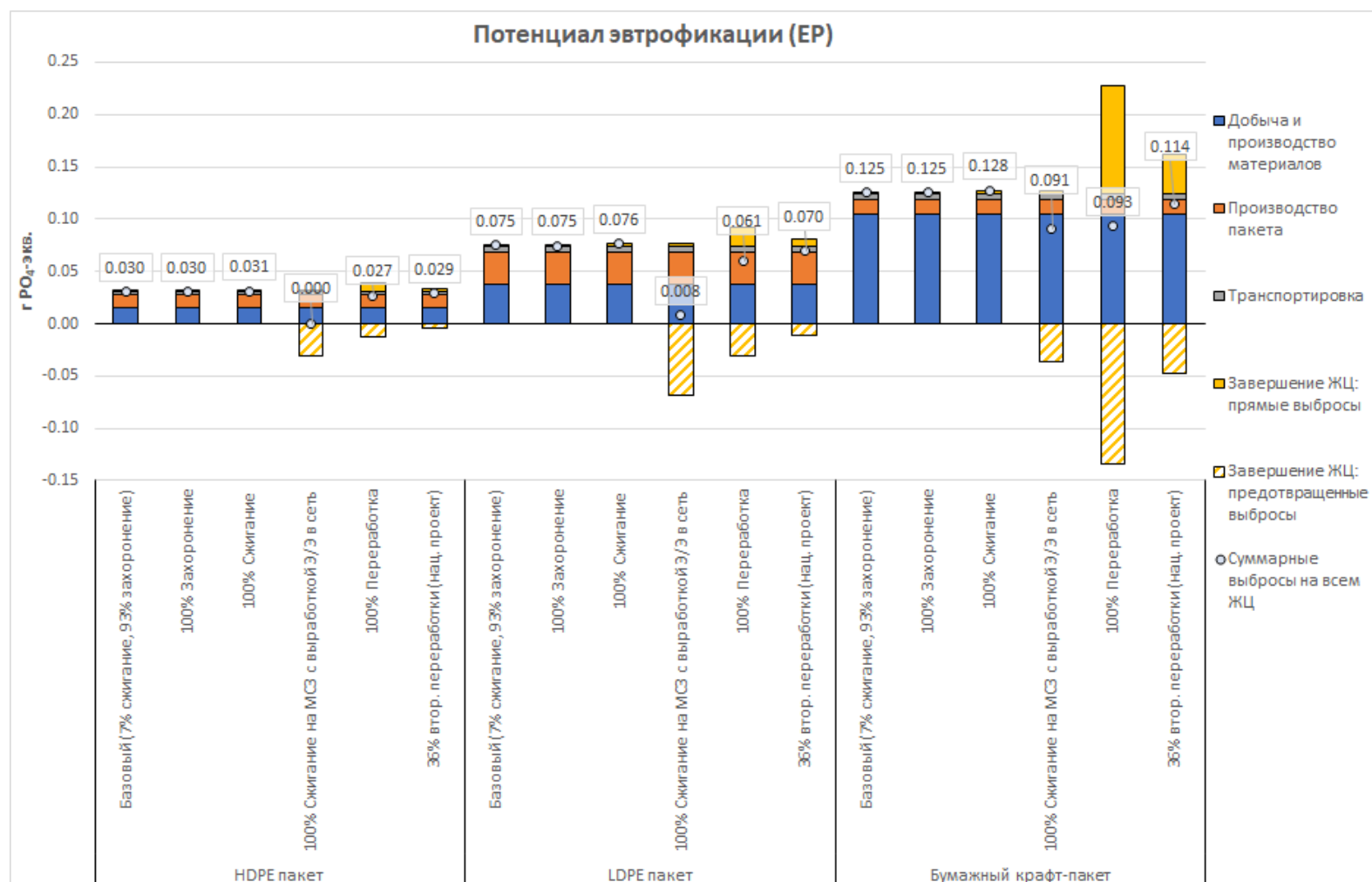


Рисунок 24 — Зависимость потенциала эвтрофикации на всем жизненном цикле от различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.2.4 Потенциал истощения абиотических ресурсов

В категории истощения абиотических ресурсов при 100% захоронении и при 100% сжигании без поставки электроэнергии в энергосеть ранжирование по сравнению с базовым сценарием значительных изменений не происходит. Бумажный пакет с небольшим перевесом является наиболее оптимальным вариантом, а вторую позицию занимает ПНД пакет. Такое же распределение позиций наблюдается и в сценарии сжигания отходов на МСЗ с генерацией электроэнергии. В случае 100% переработки отходов суммарный показатель ADP у ПНД пакета ниже, чем у бумажного пакета, на 28%, а у ПВД в 2,2 раза больше, чем у ПНД. При переработке всего 36% отходов потенциал для ПНД и бумаги практически выравнивается с небольшим положительным перевесом в сторону ПНД. ПВД пакет остается самым не предпочтительным.

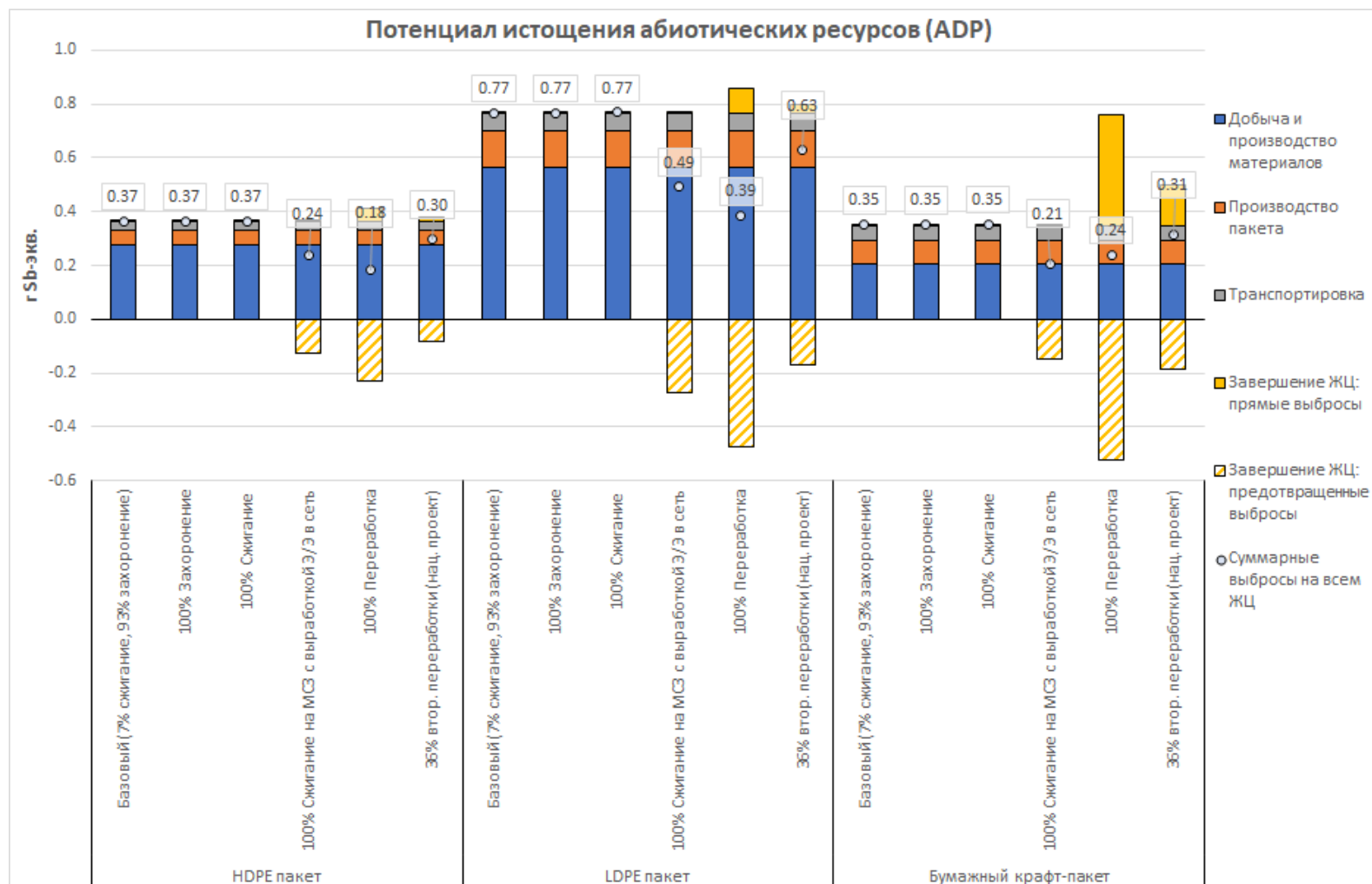


Рисунок 25 — Зависимость потенциала истощения абиотических ресурсов на всем жизненном цикле от различных сценариев окончания жизненного цикла пакетов

4.1.2.5 Резюме по полному жизненному циклу

В качестве резюме о суммарных выбросах на всем ЖЦ в зависимости от сценариев окончания ЖЦ исследуемых пакетов была составлена таблица 13. В ней виды пакетов ранжированы в соответствии с величиной выбросов в каждой категории воздействия на окружающую среду.

В сценарии со 100% захоронением порядок распределения приоритетов для трех видов пакетов сохраняется таким же, как в базовом сценарии. В сценарии со 100% сжиганием поменялось ранжирование только в категории изменения климата. Бумажный пакет стал самым оптимальным вариантом по величине воздействия на климат, на втором месте — ПНД, и на третьем — ПВД. В сценарии с 100% сжиганием и генерацией электроэнергии распределение результатов в категории изменения климата осталось таким же, как при обычном сжигании, а в категории закисления поменялись местами бумажный и ПВД пакеты.

В случае 100% переработки, по сравнению с базовым сценарием, ПНД пакет оказывает по всем категориям воздействия наименьшее негативное воздействие на окружающую среду. У ПВД пакета позиция ухудшилась, по 3-м из 4-х категорий он занимает последнее место по приоритетности. Для бумажного пакета ранжирование тоже изменилось: он на втором месте по показателю GWP вместо третьего и на втором по ADP вместо первого. Другие 2 категории у него не поменялись по сравнению с базовым сценарием.

В условиях достижения целей Национального проекта по переработке 36% отходов, результаты ранжирования практически совпадают с базовым сценарием — за исключением ПНД и бумажного пакета, которые меняются местами в категории истощения абиотических ресурсов. ПНД занимает первую позицию по всем категориям. ПВД пакет на втором месте в категориях изменения климата и эвтрофикации, а бумажный — на втором месте в категориях закисления и истощения абиотических ресурсов.

Таблица 13 — ранжирование воздействия ЖЦ пакетов

Сценарии	Тип пакета	Изменение климата	Закисление	Эвтрофикация	Истощение абиотических ресурсов
Базовый сценарий (7% сжигание, 93% захоронение)	ПНД пакет	1	1	1	2
	ПВД Пакет	2	3	2	3
	Бумажный крафт-пакет	3	2	3	1
100% Захоронение	ПНД пакет	1	1	1	2
	ПВД Пакет	2	3	2	3
	Бумажный крафт-пакет	3	2	3	1
100% Сжигание	ПНД пакет	2	1	1	2
	ПВД Пакет	3	3	2	3
	Бумажный крафт-пакет	1	2	3	1
100% Сжигание на МСЗ с выработкой электроэнергии и в энергосеть	ПНД пакет	2	1	1	2
	ПВД Пакет	3	2	2	3
	Бумажный крафт-пакет	1	3	3	1
100%	ПНД пакет	1	1	1	1

Переработка	ПВД Пакет	3	3	2	3
	Бумажный крафт-пакет	2	2	3	2
Нацпроект (36% переработка, 7% сжигание, 57% захоронение)	ПНД пакет	1	1	1	1
	ПВД Пакет	2	3	2	3
	Бумажный крафт-пакет	3	2	3	2
1 — наименьшее воздействие на ОС на всем жизненном цикле; 2 — среднее воздействие на ОС на всем жизненном цикле; 3 — наибольшее воздействие на ОС на всем жизненном цикле					

4.2 Анализ качества информации

Проект не был сосредоточен на обширном сборе данных, и предполагалось, что он будет основываться на существующих запасах ресурсов и данных, содержащихся в литературе, а также информации, предоставленной компанией Яндекс.Лавка. По этой причине исследование было в большей степени основано на данных, имеющихся в открытом доступе, и базах данных Ecoinvent v2, ELCD v 3.2, а также научной и справочной литературе, которая представляет собой вторичный источник информации.

Отсутствие информации и баз данных с Российскими технологическими процессами в значительной степени усложнило проведение исследования. Однако информация, взятая из литературных источников, также является достоверной, а процессы взяты из признанных в мире баз данных, которые соответствуют высокому качеству информации, поэтому точность данного исследования на данный момент является максимально возможной. Исследователи осознают, что из-за другой инфраструктуры в нашей стране процессы могут быть не совсем релевантны контексту, однако подбор процессов происходил по принципу их подобия Российским процессам.

Поставленные в начале исследования требования к возрасту, полноте и качеству информации, а также к соответствию процессов цели и предполагаемой глубине исследования были выполнены.

4.3 Интерпретация результатов и рекомендации

Во всех четырех рассмотренных категориях в базовом сценарии основной вклад в негативное воздействие на окружающую среду вносит стадия добычи ресурсов и производства материалов, а на втором месте — стадия производства пакетов. Транспортировка и завершение жизненного цикла в базовом сценарии вносят небольшой вклад — за исключением процесса захоронения бумажного пакета в категории изменения климата, так как при анаэробных условиях разложения он выделяет свалочный газ.

В 3-х из 4 категорий ПНД пакет обладает наименьшими воздействиями на окружающую среду, а в условиях транспортировки и использования его в Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде он становится приоритетным по всем 4-м категориям воздействия. ПВД и пакет из крафт-бумаги делят второе и третье место в базовом сценарии. В категории изменения климата и эвтрофикации предпочтителен ПВД пакет, а в истощении абиотических ресурсов и закислении — бумажный, хотя в последней категории бумажный пакет может уступать пакету из ПВД при транспортировке в другие города.

В анализе чувствительности были проанализированы 5 дополнительных сценариев окончания жизненного цикла для рассматриваемых пакетов. Этап окончания жизненного цикла может вносить настолько серьезные изменения, что приоритетность одного пакета сменяется другим в некоторых категориях воздействия. Так бумажный пакет занимает первое место по наименьшему воздействию на окружающую среду при условиях сжигания отходов и сжигания с выработкой электроэнергии в сеть в категории изменения климата и истощения абиотических ресурсов. ПВД пакет становится самым неблагоприятным вариантом в условиях сжигания отходов и 100% переработки в категории изменения климата.

Полученные результаты позволяют сравнивать также пакеты при разных условиях утилизации. Это важный момент, так как переработка разных материалов может развиваться с разной скоростью. Например, если пакет из ПНД не может быть переработан, а возможность для сбора и переработки ПВД и бумажного пакета существует, то переработанный бумажный пакет имеет меньшее воздействие на климат, чем ПНД пакет. ПВД даже при переработке имеет большее воздействие по всем категориям, чем не переработанный ПНД.

В России есть инфраструктура по переработке бумажных и полиэтиленовых отходов. Бумага хорошо перерабатывается на промышленных производствах, в то время как со сбором макулатуры от населения до сих пор существуют проблемы. Основными причинами данной проблемы являются отсутствие налаженного отдельного сбора перерабатываемых фракций отходов и высокого содержания органических отходов в смешанных ТКО, которое может достигать до 40% от всего количества.

В Москве есть возможность извлечения ПВД пакетов из общего потока отходов поступающих в сортировочный центр. Об этом говорится в онлайн-экскурсии на КПО «Восток» компании «Эколайн»[20]. В то время как ПНД пакеты из потока отходов извлечь очень проблематично. А из-за тонкой толщины стенки и маленькой массы, за счет которой делает данный вид пакетов нерентабельным при переработке.

Заключительные выводы

Компанией «Простое дело» была проведена оценка жизненного цикла с использованием программного обеспечения OpenLCA и баз данных ELCD v3.2 и Agribalyse v3.

Исследование проводилось в соответствии с Международными стандартами ISO 14040 и 14044, однако отчет не претендует на строгое соответствие стандартам. Отчет предназначен для внутренней поддержки принятия решений в Яндекс.Лавка.

В данном исследовании оценивается воздействие трех типов пакетов на окружающую среду в течение жизненного цикла при добыче и производстве материалов, производстве пакетов, транспортировке и утилизации ПНД, ПВД и бумажных крафт-пакетов в Москве, Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде в 2020-2021 годах.

По итогам исследования можно сделать следующие выводы:

- В нынешней ситуации пакет из материала ПНД обладает самым низким воздействием на окружающую среду в 3-х из 4-х категорий воздействия в Москве и по всем категориям воздействия в Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде.
- ПВД пакет оказывает меньшее воздействие, чем бумажный крафт-пакет, только в категориях изменения климата и эвтрофикации, в остальных двух категориях бумажный пакет демонстрирует более низкие показатели.
- Воздействие на окружающую среду, оказываемое пакетами, в основном связано с этапами добычи и производства ресурсов. На этой стадии для ПНД и ПВД пакетов приходится около 75% воздействия на категорию истощения абиотических ресурсов и 50% выбросов в других категориях. У бумажных пакетов этап производства занимает около 30% выбросов в категории изменения климата, достигает 50-80% в других категориях.
- Производство непосредственно самих пакетов вносит серьезный вклад в основном в жизненный цикл ПНД и ПВД.
- Транспортировка вносит не более 12% эмиссий по разным категориям, если рассматривается использование пакетов в Москве и может достигать до 22% для полиэтиленовых пакетов и до 30% для бумажных пакетов при распространении в других городах.
- Окончание жизненного цикла в конце срока службы пакетов из ПНД и ПВД, как правило, оказывает незначительное влияние на их экологическое воздействие. Противоположная картина наблюдается с окончанием жизненного цикла бумажных крафт-пакетов, при захоронении которых выделяются свалочные газы, основным

компонентом которого являются метан. Он, попадая в атмосферу, увеличивает воздействие в категории изменения климата;

- В условиях использования мусоросжигания как метода обращения с отходами, самым низким негативным воздействием в категориях изменения климата и истощения абиотических ресурсов обладает бумажный пакет, а в остальных двух — ПНД пакет;
- Переработка пакетов приводит к снижению выбросов абсолютно во всех категориях по сравнению с базовым сценарием обращения с отходами, поскольку позволяет предотвратить выбросы от производства материала из первичного сырья. В условиях, когда все виды пакетов могут быть переработаны, лучшим все равно остается пакет из ПНД, а затем следует крафт-пакет. ПВД обладает самыми большими показателями в 3-х из 4-х категорий;
- При условиях переработки только 36% отходов ранжирование по наименьшим воздействиям на окружающую среду практически не изменяется. ПНД пакет остается оптимальным вариантом.
- Бумажный пакет при 100% переработке оказывает меньший вклад в изменение климата, чем неперерабатываемый ПНД пакет при базовом сценарии;
- Переработка и сжигание с выработкой электроэнергии при грамотной реализации этих процессов позволяют снизить воздействие всего жизненного цикла за счет предотвращения использования ресурсов.

Исследование в дальнейшем может быть усовершенствовано. Ниже представлены направления для продолжения исследования данной темы:

- Исследовать влияние повторного использования пакетов на окружающую среду;
- Рассмотреть другие категории воздействия (например, токсичность для человека, пресноводная экологическая токсичность, замусоривание и другие);
- Собрать информацию от производителей пакетов, переработчиков и других участников цепочки создания ценности Яндекс.Лавки, а также смоделировать российские процессы и их влияние на окружающую среду, чтобы повысить качество данных ;
- Рассмотреть нормализацию результатов для сравнения категорий воздействия между собой.

Список использованной литературы

1. Новость «ЕС запретил с 2021 года одноразовую пластиковую посуду и ватные палочки», INTERFAX.RU (март 2019) <https://www.interfax.ru/world/656050>
2. Страница Яндекс.Лавки «Что делать с упаковкой?» (2021) <https://lavka.yandex/recyclecodes>
3. Стандарт ISO 14040 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework (июль 2006) <https://www.iso.org/standard/37456.html>
4. Стандарт ISO 14044 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines (июль 2006) <https://www.iso.org/standard/38498.html>
5. Сайт OpenLCA <https://www.openlca.org/>
6. Волкова А. В. Рынок утилизации отходов // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт «Центр развития», Москва (2018) <https://dcenter.hse.ru/data/2018/07/11/1151608260/%D0%A0%D1%8B%D0%B D%D0%BE%D0%BA%20%D1%83%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0% B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BE%D1%82%D1%85%D0%B E%D0%B4%D0%BE%D0%B2%202018.pdf>
7. Гурьянов А. Три барьера, препятствующих удвоению отрасли сбора и переработки макулатуры // По заказу СРО Ассоциации «Лига переработчиков макулатуры», Центр Системных Решений (июль-август 2018) http://www.ncpack.ru/analitika/A_Guryanov_CSR.pdf
8. Twede D., Selke S.E.M. Cartons, Crates and Corrugated Board: Handbook of Paper and Wood Packaging Technology // DESIGN HOUSE Incorporated, 517 стр., с. 173-189 (2005) https://books.google.ru/books?id=kc0MSzFvrH8C&redir_esc=y
9. IEA World Energy Statistics and Balances // International Energy Agency, OECD iLibrary https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/iea-world-energy-statistics-and-b alances_enestats-data-en
10. Edwards C., Fry J.M., Life cycle assessment of supermarket carrier bags: a review of the bags available in 2006 // Bristol, United Kingdom (февраль 2011) https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/upload s/attachment_data/file/291023/scho0711buan-e-e.pdf
11. Kenny M, Oates T. Lime and Limestone // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. (2007) https://www.studmed.ru/ullmanns-encyclopedia-of-industrial-chemistry-op -2007_659264c94b1.html

12. Территориальная схема обращения с отходами города Москвы (2019) https://www.mos.ru/upload/documents/files/5871/02_TSOO-Moskva-2019-12-26-v19.pdf
13. Распоряжение Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления (2020) <https://npa.gov.spb.ru/SpbGovSearch/Document/38370.html>
14. Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления по городу Санкт-Петербургу (приложения) (2020) <http://kb.gov.spb.ru/docs/uzn/tso2020/>
15. Территориальная схема обращения с отходами по Нижнему Новгороду <https://government-nnov.ru/?id=271920>
16. Сайт «Национальные проекты», Проект экология (2021) https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--plai/projects/ekologiya?utm_source=Yandex_Search&utm_medium=CPC&utm_campaign=56246390&utm_term=%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F&utm_content=ekologiya&yclid=2667259613409476374
17. Bassi S.A., Christensen T. H., Damgaard A. Environmental performance of household waste management in Europe — An example of 7 countries // Waste Management, том 69, с. 545-557 (ноябрь 2017) (Table 46: Recovery efficiencies (A) and market ratio (B) for the recycling processes. The substitution ratio is equal to A*B) <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.042>
18. Tsiamis D. A., Castaldi M. J. Determining accurate heating values of non-recycled plastics (NRP) // Earth Engineering Center, City College City University of New York (март 2016) <https://plastics.americanchemistry.com/Energy-Values-Non-Recycled-Plastics.pdf>
19. Finet C. Heating value of municipal solid waste // Waste Management & ResearchБ том 5, выпуск 2, с. 141-145 (июнь 1987) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0734242X87900474>
20. Онлайн-экскурсия на КПО Восток (2021) <https://youtu.be/EkPy1gXmmXg>

Приложение А — Результаты оценки жизненного цикла по городам

Таблица 14 — Результаты оценки жизненного цикла ПНД, ПВД и бумажного пакетов для г. Москвы

Москва				
ПНД (2) пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ - экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	16.93	0.0608	0.0148	0.2763
Транспортировка до производства	3.25	0.0128	0.0025	0.0304
Производство пакета	7.70	0.0422	0.0127	0.0551
Транспортировка до потребителя	0.29	0.0014	0.0003	0.0030
Завершение ЖЦ	3.09	0.0005	0.0002	0.0003
Полный ЖЦ	31.27	0.1177	0.0304	0.3651
ПВД (4) пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ - экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	36.29	0.1356	0.0371	0.5666
Транспортировка до производства	6.43	0.0253	0.0049	0.0601
Производство пакета	18.65	0.1462	0.0318	0.1343
Транспортировка до потребителя	0.59	0.0027	0.0005	0.0059
Завершение ЖЦ	4.13	0.0011	0.0003	0.0006
Полный ЖЦ	66.09	0.3109	0.0747	0.7674
Бумажный крафт- пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ - экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	29.58	0.2117	0.1044	0.2072
Транспортировка до производства	5.06	0.0200	0.0038	0.0473
Производство пакета	8.29	0.0359	0.0147	0.0855
Транспортировка до потребителя	1.28	0.0060	0.0012	0.0085
Завершение ЖЦ	45.94	0.0083	0.0007	0.0028
Полный ЖЦ	90.16	0.2819	0.1248	0.3513

Таблица 15 — результаты для Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург				
ПНД (2) пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ - экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	16.93	0.0608	0.0148	0.2763
Транспортировка до производства	3.25	0.0128	0.0025	0.0304
Производство пакета	7.70	0.0422	0.0127	0.0551
Транспортировка до потребителя	3.55	0.0165	0.0033	0.0358
Завершение ЖЦ	1.41	0.0004	0.0001	0.0003
Полный ЖЦ	32.84	0.1327	0.0334	0.3979
ПВД (4) пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ - экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	36.29	0.1356	0.0371	0.5666
Транспортировка до производства	6.43	0.0253	0.0049	0.0601
Производство пакета	18.65	0.1462	0.0318	0.1343
Транспортировка до потребителя	7.10	0.0330	0.0066	0.0715
Завершение ЖЦ	2.82	0.0007	0.0003	0.0005
Полный ЖЦ	71.29	0.3409	0.0806	0.8329
Бумажный крафт- пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ - экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	29.58	0.2117	0.1044	0.2072
Транспортировка до производства	5.06	0.0200	0.0038	0.0473
Производство пакета	8.29	0.0359	0.0147	0.0855
Транспортировка до потребителя	15.88	0.0739	0.0147	0.1599
Завершение ЖЦ	50.38	0.0093	0.0010	0.0044
Полный ЖЦ	109.19	0.3507	0.1386	0.5044

Таблица 16 — результаты для Нижнего Новгорода

Нижний Новгород				
ПНД (2) пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ -экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	16.93	0.0608	0.0148	0.2763
Транспортировка до производства	3.25	0.0128	0.0025	0.0304
Производство пакета	7.70	0.0422	0.0127	0.0551
Транспортировка до потребителя	2.22	0.0103	0.0020	0.0223
Завершение ЖЦ	1.41	0.0004	0.0001	0.0003
Полный ЖЦ	31.51	0.1265	0.0322	0.3845
ПВД (4) пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ -экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	36.29	0.1356	0.0371	0.5666
Транспортировка до производства	6.43	0.0253	0.0049	0.0601
Производство пакета	18.65	0.1462	0.0318	0.1343
Транспортировка до потребителя	4.43	0.0206	0.0041	0.0446
Завершение ЖЦ	2.82	0.0007	0.0003	0.0005
Полный ЖЦ	68.63	0.3285	0.0782	0.8061
Бумажный крафт- пакет				
Этапы	Climate change GWP 100a, г CO ₂ -экв.	Acidification potential, г SO ₂ -экв.	Eutrophication potential, г PO ₄ - экв.	Depletion of abiotic resources, г Sb-экв.
Добыча и производство материалов	29.58	0.2117	0.1044	0.2072
Транспортировка до производства	5.06	0.0200	0.0038	0.0473
Производство пакета	8.29	0.0359	0.0147	0.0855
Транспортировка до потребителя	10.07	0.0469	0.0093	0.1015
Завершение ЖЦ	50.38	0.0093	0.0010	0.0044
Полный ЖЦ	103.38	0.3237	0.1332	0.4459

Таблица 17 — Результаты анализа чувствительности жизненного цикла ПНД, ПВД и бумажного пакетов для г. Москвы, категория изменения климата

Climate change GWP 100a, r CO2-экв.						
ПНД (2) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	16.93	16.93	16.93	16.93	16.93	16.93
Производство пакета	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70
Транспортировка	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	3.11	1.41	25.71	25.71	6.62	4.99
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.00	0.00	0.00	-15.38	-13.93	-5.02
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	31.29	29.58	53.88	38.50	20.86	28.14
ПВД (4) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	36.29	36.29	36.29	36.29	36.29	36.29
Производство пакета	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65
Транспортировка	7.01	7.01	7.01	7.01	7.01	7.01
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	6.22	2.82	51.42	51.42	13.23	9.97
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.00	0.00	0.00	-33.83	-30.24	-10.88
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	68.18	64.78	113.38	79.55	44.96	61.05
Бумажный крафт- пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	29.58	29.58	29.58	29.58	29.58	29.58
Производство пакета	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29
Транспортировка	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34	6.34
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	46.91	50.38	0.85	0.85	58.48	49.83
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.00	0.00	0.00	-18.05	-72.42	-26.07
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	91.12	94.59	45.06	27.01	30.27	67.97

Таблица 18 — Результаты анализа чувствительности жизненного цикла ПНД, ПВД и бумажного пакетов для г. Москвы, категория закисления

Acidification AP, r SO ₂ -экв.						
ПНД (2) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
Производство пакета	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
Транспортировка	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.001	0.000	0.003	0.003	0.028	0.010
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.061	-0.050	-0.018
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.118	0.118	0.120	0.059	0.095	0.110
ПВД (4) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136
Производство пакета	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146
Транспортировка	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.001	0.001	0.006	0.006	0.056	0.021
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.135	-0.057	-0.021
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.311	0.311	0.316	0.181	0.308	0.310
Бумажный крафт- пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212
Производство пакета	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
Транспортировка	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.010	0.009	0.014	0.014	0.275	0.105
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.072	-0.354	-0.128
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.283	0.283	0.288	0.216	0.194	0.251

Таблица 19 — Результаты анализа чувствительности жизненного цикла ПНД, ПВД и бумажного пакетов для г. Москвы, категория эвтрофикации

Eutrophication EP, г PO4-экв.						
ПНД (2) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Производство пакета	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
Транспортировка	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.000	0.000	0.001	0.001	0.009	0.003
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.031	-0.012	-0.004
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.030	0.030	0.031	0.000	0.027	0.029
ПВД (4) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037
Производство пакета	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
Транспортировка	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.000	0.000	0.002	0.002	0.017	0.006
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.068	-0.031	-0.011
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.075	0.075	0.076	0.008	0.061	0.070
Бумажный крафт- пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104
Производство пакета	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Транспортировка	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.001	0.001	0.004	0.004	0.103	0.038
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.036	-0.134	-0.048
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.125	0.125	0.128	0.091	0.093	0.114

Таблица 20 — Результаты анализа чувствительности жизненного цикла ПНД, ПВД и бумажного пакетов для г. Москвы, категория истощение абиотических ресурсов

Depletion of abiotic resources ADP, г Sb-экв.						
ПНД (2) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
Производство пакета	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Транспортировка	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.000	0.000	0.001	0.001	0.045	0.016
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.125	-0.227	-0.082
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.365	0.365	0.365	0.240	0.183	0.299
ПВД (4) пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.567	0.567	0.567	0.567	0.567	0.567
Производство пакета	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134	0.134
Транспортировка	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.001	0.001	0.001	0.001	0.091	0.033
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.275	-0.472	-0.170
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.767	0.767	0.768	0.493	0.385	0.630
Бумажный крафт- пакет						
Этапы / сценарии	Базовый (7% сжигание, 93% захоронение)	100% Захоронение	100% Сжигание	100% Сжигание на МСЗ с выработкой Э/Э в сеть	100% Переработка	36% втор. переработки (нац. проект)
Добыча и производство материалов	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207
Производство пакета	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085
Транспортировка	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
Завершение ЖЦ: прямые выбросы	0.004	0.004	0.005	0.005	0.414	0.152
Завершение ЖЦ: предотвращенные выбросы	0.000	0.000	0.000	-0.147	-0.522	-0.188
Суммарные выбросы на всем ЖЦ	0.353	0.353	0.353	0.206	0.240	0.312

Приложение Б — Описание категорий воздействия (impact categories)

Истощение абиотических ресурсов (Depletion of abiotic resources)

Что это такое?

Данная категория воздействия относится к истощению неживых (абиотических) ресурсов — таких, как ископаемое топливо, минералы, глина и торф.

Как измеряется?

Абиотическое истощение измеряется в килограммах сурьмы (Sb) эквивалентах.

Потенциал глобального потепления (Global warming potential, Climate change GWP 100a)

Что это такое?

Потенциал глобального потепления — это мера того, сколько из данной массы парникового газа (например, CO₂, метана, закиси азота) способствует глобальному потеплению. Глобальное потепление происходит из-за увеличения в атмосфере концентрации парниковых газов — это изменяет поглощение инфракрасного излучения в атмосфере, известное как радиационный форсинг, приводящий к изменению климатических моделей и повышению средней глобальной температуры.

Как измеряется?

Потенциал глобального потепления измеряется в эквивалентах CO₂.

Потенциал эвтрофикации (Eutrophication potential)

Что это такое?

Причиной эвтрофикации является попадание питательных веществ в почву или водную систему в чрезмерном количестве, что приводит к увеличению биомассы, нанося ущерб другим формам жизни. Азот и фосфор являются двумя основными питательными веществами, которые наиболее причастны к процессу эвтрофикации.

Как она измеряется?

Эвтрофикация измеряется в количестве эквивалентов фосфатов (PO_4^{3-}).

Потенциал закисления (Acidification potencial)

Что это такое?

Закисление — результат осаждения кислот, которое приводит к снижению pH, уменьшению содержания минералов в почве и увеличению концентрации потенциально токсичных элементов в почвенном растворе. Основными веществами, влияющими на потенциал закисления, являются SO_2 , NO_x , HCl и NH_3 .

Как измеряется?

Закисление измеряется в эквивалентах SO_2 .

Приложение В — Результаты критического обзора

Заявление о критическом анализе

Нижеподписавшийся эксперт-рецензент подтверждает, что исследование, представленное в пункте 1.1., было выполнено в соответствии с принципами стандарта ИСО 14040 и требованиями стандарта ИСО 14044 и включает в себя всю необходимую информацию. Выводы исследования соответствуют его целям и отображают допущения, присутствующие в Исследовании.



D.Sc. (Tech.) Иван Девяткин*,
Научный сотрудник ЛУТ Университета,
Sustainability and LCA эксперт,
Лаппеэнранта, Финляндия

** - экспертное мнение, выраженное в данном обзоре, является мнением частного лица, не представляющего интересы ЛУТ Университета*

Заявление о критическом анализе

Нижеподписавшийся эксперт-рецензент подтверждает, что исследование, представленное в пункте 1.1., было выполнено в соответствии с принципами стандарта ИСО 14040 и требованиями стандарта ИСО 14044 и включает в себя всю необходимую информацию. Выводы исследования соответствуют его целям и отображают допущения, присутствующие в Исследовании.



Евгения Кузнецова,
Руководитель органа по сертификации «Экологический союз»,
Head of the certification body Ecological Union,
г. Санкт-Петербург, Россия