

**Татьяна Геннадьевна Середа**

д-р техн. наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова. Россия, 614990, Пермь, ул. Петропавловская, 23

**Сергей Николаевич Костарев**

д-р техн. наук, профессор кафедры вычислительных машин, комплексов систем и сетей (факультета связи), Пермский военный институт войск Национальной гвардии Российской Федерации. Россия, 614030, Пермь, ул. Гремячий лог, 1;

e-mail: iums@dom.raid.ru

**Эдуард Станиславович Цховребов✉**

канд. экон. наук, доцент, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. Россия, 121352, Москва, ул. Давыдовская, 7;

e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

**СОЦИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ПРОГНОЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО  
ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ПОТРЕБЛЕНИЯ В ГОРОДАХ**

На основе социоэкологических исследований (исследований экологических проблем социального плана) факторов и условий социально-экономического развития региона сформированы подходы к прогнозированию экологически безопасной системы обращения городских отходов на примере г. Перми. Приведен сопоставительный анализ формулирования термина «отходы». В работе показано, что одним из наиболее приемлемых механизмов предупреждения негативного воздействия отходов, создающих высокий уровень экологической опасности для природной среды и жизнедеятельности населения, является новый подход к понятию «отходы» как предмету экологических, товарно-денежных и иных видов правоотношений и переход всей системы обращения с вышедшей из употребления, использованной продукцией на технико-социально-экономическую систему: ресурсопотребители — техника — вторичные ресурсы (ВР) и управление этой системой с использованием механизмов экономического и нормативно-правового регулирования, в которых предметом общественных отношений будут выступать ВР и альтернативные (неисчерпаемые) источники энергии, что будет способствовать устойчивому развитию экономики России в целом. Разработана структура технико-социально-экономической системы, на которой показаны материальные потоки ВР. В рамках государственного задания по расчету нормативов накопления твердых коммунальных отходов (ТКО) на территории Пермского края определено процентное содержание компонентов, пригодных для вторсырья. Проведена классификация ТКО в исследуемых пробах по степени биодеструкции ТКО с целью определения дальнейшей схемы движения потоков отходов. С помощью системы уравнений Колмогорова определены вероятности переходов в существующей и новой схемах движения вторичных ресурсов. Результаты исследования могут быть применены при разработке программ обеспечения экологической безопасности территорий, планов по предупреждению чрезвычайных ситуаций с негативными экологическими последствиями.

**Ключевые слова:** прогноз, социологические исследования, отходы, экологическая безопасность, городские территории, чрезвычайные ситуации.

**Для цитирования:** Серeda Т. Г., Костарев С. Н., Цховребов Э. С. Социоэкологические исследования и прогноз экологически безопасного обращения с отходами потребления в городах // Социология города. 2023. № 1. С. 113—124. DOI: 10.35211/19943520\_2023\_1\_113

## Введение

Исчерпание природных ресурсов для функционирования производственных процессов и удовлетворения нужд населения приводит к экологическим проблемам. Одной из центральных проблем экологии является проблема устойчивости и стабильности экосистем. Долго существовать могут лишь устойчивые системы. С другой стороны, пределы устойчивости устанавливают те максимальные нагрузки на нее, превышение которых приведет к разрушению экосистемы. Этот аспект приобретает особую актуальность в связи с усилением антропогенного влияния (Цховребов и др., 2012; Цховребов, Величко, 2017; Tshovrebov et al., 2021), в том числе за счет воздействия образующихся отходов на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО) на экосистемы.

В теории управления часто отмечают системы, которые содержат случайные изменения параметров и структур в процессе их функционирования, связанные с влиянием внутренних факторов, присущих системе, или внешних, обусловленных воздействием среды. Есть объективная необходимость рассмотрения задач, определяемых «условиями неопределенности», под которыми понимаются параметрическая и структурная нестабильность (непредсказуемая изменчивость системы, а также недостаток или отсутствие информации о статистических характеристиках возмущающих воздействий) (Флеминг, Ришел, 1978; Kostarev, Sereda, 2013).

Одной из проблем отсутствия эффективной ресурсосберегающей системы обращения с отходами является отсутствие обоснованной классификации, типологизации образующихся вторичных ресурсов (ВР), извлекаемых из отходов, по материальному составу и направлениям повторного использования, их категорирования по признакам, кодификации и каталогизации вторичного сырья. На основе сопоставительного анализа широкого спектра информационных источников проведена оценка компонентного состава отходов жизнеобеспечения населенных пунктов с целью определения потенциально возможных направлений дальнейшего использования ресурсной части.

Известны работы по определению стационарной неопределенности системы, которая не изменяется в процессе функционирования — система имеет неопределенные постоянные параметры и структуру. Особенностью таких динамических систем являются параметрическая и структурная неопределенности: в начальный момент, не изменяющиеся в процессе функционирования и стохастичности самого процесса при действии случайных сигналов и помех. Нестационарная параметрическая и структурная неопределенности состоят в их изменении в процессе функционирования системы (Пугачев, 1962).

Также для работы в условиях неопределенности известны основные методологии: стохастический подход, теория нечетких множеств и интервальный анализ (Флеминг, Ришел, 1978). При стохастическом подходе возможные значения исходных данных, необходимых для работы алгоритма по фор-

мированию управляющих воздействий, характеризуются вероятностной мерой, определяемой на основе наблюдений случайных событий. Естественно, возможный исход: значения критерия и ограничений также будут иметь вероятностный смысл.

В настоящее время термин «отходы» фактически характеризует полную утрату потребительских свойств товара. С введением в законодательство Российской Федерации данного термина понятие «утилизация отходов» предполагает некие дополнительные технологические операции, требующие значительных затрат. И если эти экономические средства по тем или иным причинам отсутствуют, то большинство отходов направляется на захоронение на полигонах (свалках) ТКО и действительно становится не утилизируемым. В законодательстве других стран введены такие понятия, как «Der Abfall» (нем.), фактически означает утилизируемую часть отходов, «Den Müll» (нем.) — мусор, не утилизируемая часть отходов, «Second Hand» (вторые руки) — англ. — возврат товара и приобретение новых потребительских свойств (Владимиров, 2016; Лунев, 2019; Чертес, Шестаков, 2020; Цховребов, Величко, 2017; Murray, 2002).

Вместе с тем в ряде стран мира руководствуются ресурсосберегающими концепциями и стратегиями, обеспечивающими ресурсосбережение и повторное использование в хозяйственном обороте ресурсных компонентов отходов (Domenech, Bahn-Walkowiak, 2019; Elgizawy et al., 2016; Hart et al., 2019; Hertwich et al., 2020; Kirchner et al., 2017).

Возникает необходимость нового системного подхода в ресурсосбережении, включающего в себя формирование нового термина «вторичные энерго-сырьевые ресурсы» взамен термина «отходы».

#### **Материалы и методы**

Морфологический состав отходов определялся в соответствии с ПНД Ф 16.3.55-08 «Твердые бытовые отходы. Определение морфологического состава гравиметрическим методом». Объектом исследования является поток ТКО от населенных пунктов Пермского края. Сроки проведения работ охватили 4 сезона в периоды: с 25 по 31 мая, с 6 по 12 июля, с 7 по 13 сентября и с 1 по 7 декабря 2020 г. Общая длительность и кратность проведения эксперимента составила 28 дней (по 7 дней в сезон с ежедневным отбором и анализом 2 проб — утренняя и вечерняя), всего за весь период исследовано 112 проб.

Проведены социо-экологические исследования мнения жителей по улучшению экологической обстановки, связанной с обращением отходов.

Построение концептуальной модели предлагаемого понятия ВР выполнено по системе уравнений Колмогорова на основе данных социо-экологических исследований городских территорий г. Перми.

#### **Результаты исследования**

Определение оценки функционирования системы является центральной задачей при нахождении управляющего воздействия. Выполненные в этом направлении работы [Костарев, 2009; Sereda et al., 2022; Sereda, Kostarev, 2021; Sereda, Kostarev, 2019; Tshovrebov et al., 2021] предлагают методологию выбора с учетом компромисса между абстрактно-математической теорией и прикладной теорией управления.

На основе проведенного системного анализа предложена структура технико-социально-экономической системы «Ресурсопользователи — техника — вторичные ресурсы» (система ВР) и выделены основные классы ее элементов. В рассматриваемую систему (рис. 1) включены следующие элементы: Р — ресурсопользователи, в том числе население и трудовые ресурсы; Э — экономические ресурсы; П — производственные ресурсы (техника и технологии); Т — товарные ресурсы, в том числе вторичные товарные ресурсы, не утратившие свои потребительские свойства (например, стеклотара, одежда, обувь, мебель и т. п.);  $U$  — управляющие воздействия (нормативно-правовые, экономические и т. п.) и  $Z$  — возмущающие воздействия (экологические, санитарно-эпидемиологические, климатические факторы).

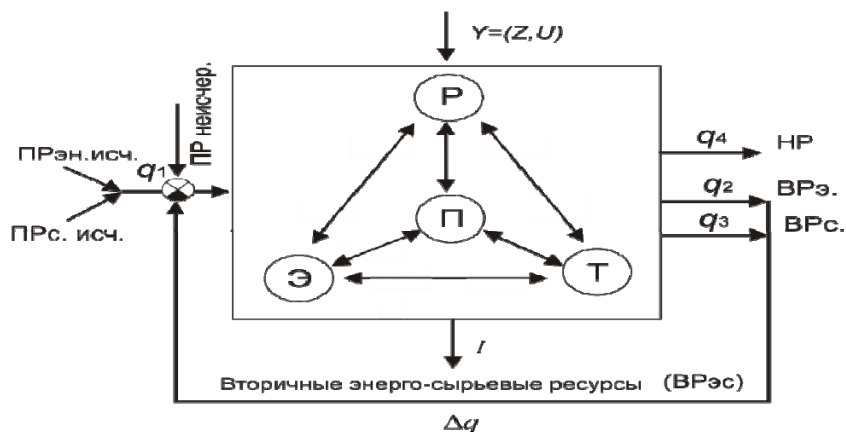


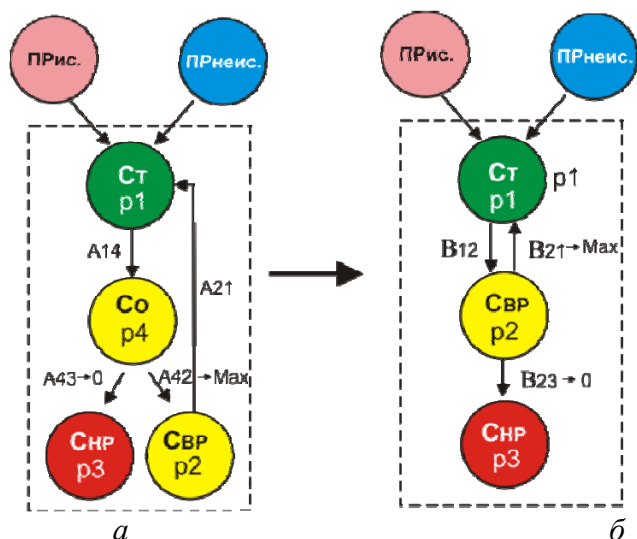
Рис. 1. Структура технико-социально-экономической системы ВР

Поток  $q_1$  складывается из четырех потоков: исчерпаемых природных ресурсов: природные ресурсы энергетические — исчерпаемые невозобновляемые ПР (нефть, газ, уголь и т. п.); ПР исчерпаемые возобновляемые — лесные, животного и растительного происхождения и т. п., ПР неисчерпаемые ПР<sub>неисчер</sub> (солнечная, ветровая, гидроэнергия, приливов, отливов и т. п.) и  $\Delta q$  — материально-энергетический поток, так называемые оборотные ПР или вторичные энерго-сырьевые ресурсы (ВР<sub>ЭС</sub>) ( $\Delta q = q_2 + q_3$ ). Введем следующие обозначения:  $I$  — информационные потоки мониторинга;  $R$  — отношения, отображающие связи элементов.

Выходные потоки включают три потока:  $q_2$  — ВР энергетические; ВР<sub>Э</sub> — утилизируемые (отработанная тепловая энергия, газообразные продукты, пар и т. п.);  $q_3$  — ВР сырьевые: утилизируемые — ВР<sub>С</sub> (стекло, бумага, текстиль, металл, пластик и т. п.) и выходной поток  $q_4$  — вторичные не утилизируемые ресурсы (НР) — отходы (в том числе опасные, требующие создания инженерных хранилищ).

Синтез АСУ сложной системы в основном сводится к разработке математической модели системы, которая должна обеспечить генерацию такого набора управляемых факторов, фактическое воздействие которых на систему в очередной цикл управления с максимальной возможной вероятностью трансформирует его в заранее определенное состояние. Наилучшее состояние

системы ВР определено условиями, при которых вероятность появления ВНР  $\rightarrow 0$ . Граф состояний системы РТВ дан на рис. 2.



**Рис. 2.** Граф состояний преобразования системы ВР: *a* — существующая схема; *б* — новая схема: Ст — состояние товарных ресурсов, имеющих целевые потребительские характеристики; Со — товарные ресурсы в состоянии отходов; СВР — состояние вторичных энерго-сырьевых ресурсов, утративших первоначальные потребительские свойства; СНР — состояние не утилизируемых ресурсов; B12, B21, B23, A21, A14, A43, A42 — вероятности перехода из одного состояния в другое; p1, p2, p3, p4 — вероятности состояний

В существующей схеме (см. рис. 2, *a*) вероятность использования ВР оценивается по системе уравнений Колмогорова (1).

В рассматриваемой системе вероятность перехода состояния товарных ресурсов во вторичные энерго-сырьевые ресурсы в ходе их жизненного цикла обозначена через  $B_{12}$ , а возврат в ходе переработки в товарные ресурсы имеет вероятность  $B_{21}$ . С вероятностью  $B_{23}$  в силу различных причин переработанные (или оборотные природные ресурсы) вторичные энерго-сырьевые ресурсы могут переходить в не утилизируемые ресурсы (отходы)  $B_{23}$ . Тогда эффективность ресурсосберегающей системы можно выразить выражением, включающим вероятности состояний  $p_1(Ст)$ ,  $p_2(СВР)$ ,  $p_3(СНР)$ .

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= A_{21} p_2(t) - A_{14} p_1(t), \\ \frac{dp_4(t)}{dt} &= A_{14} p_4(t) - A_{43} p_4(t) - A_{42} p_4(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= A_{43} p_3(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= A_{42} p_2(t), \end{aligned} \tag{1}$$

$$A_{43} \rightarrow 0, A_{42} \rightarrow \text{Max.}$$

где  $p_i$  — вероятности состояний;  $A_{ij}$  — вероятности перехода.

Система дифференциальных уравнений для графа состояний (см. рис. 2, б) запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= B_{21} p_2(t) - B_{12} p_1(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= B_{12} p_1(t) - B_{21} p_2(t) - B_{23} p_2(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= B_{23} p_2(t), \\ B_{21} &\rightarrow \max, B_{23} \rightarrow 0, \end{aligned} \tag{2}$$

где  $p_i$  — вероятности состояния;  $B_{ij}$  — вероятности перехода.

Неопределенность результата на каждом этапе обращения с отходами в предлагаемой системе приводит к сложности правового, технического регулирования, планирования и экономического обоснования мер его достижения.

Для оценки потенциальной возможности повторного применения отходов в рамках государственного контракта 2020 г. по Пермскому краю был определен морфологический поток отходов, поступающий от населения (Sereda, Kostarev, 2019; Sereda, Kostarev, 2021; Sereda et al., 2022).

Укрупненный морфологический и фракционный состав отходов включал 12 категорий. Изучена существующая и предложена новая схема движения отходов — ВР, не утративших своих потребительских свойств, для формирования обратного потока с целью рассмотрения его как ресурсного потенциала.

Проведенное исследование выявило, что условно все отходы можно разделить на 3 составные части по степени биодеструкции:

- разлагаемые — пищевые и растительные отходы (на полигонах ТКО полное биоразложение отходов происходит от 1 года до 3 лет с образованием биогаза и фильтрата при внедрении на полигонах управляющих технологий);
- трудноразлагаемые — макулатура, дерево, текстиль, отсев (протекание процессов биодеструкции на полигонах ТКО продолжается до 25—30 лет);
- условно неразлагаемые — полимеры, стекло, металлы, инертные материалы, прочие материалы (естественный процесс биодеструкции отходов может длиться до 100—1000 лет).

Основными компонентами в морфологическом составе ТКО, традиционно перерабатываемых в качестве вторсырья, являются компоненты, представленные в табл. 1.

**Таблица 1.** Содержание компонентов, пригодных для вторсырья, в исследуемых пробах ТКО по сезонам года (по результатам исследований)

Компоненты ТКО для вторсырья	Содержание компонентов ТКО, пригодных для вторичного сырья, % по сезонам года				
	Весенний	Летний	Осенний	Зимний	Средне-годовой
Макулатура	10,42	10,446	9,094	13,746	10,927
Полимеры	21,32	13,171	12,082	20,63	16,801
Стекло	11,90	14,675	10,831	14,430	12,959
Металлы	2,25	2,421	1,315	2,52	2,127
Текстиль	6,2	8,106	5,497	6,011	6,454
Дерево	1,82	1,323	1,371	0,662	1,294
Итого	53,91	50,142	40,19	57,999	50,56

Процентное содержание категорий ТКО показано в табл. 2.

**Таблица 2.** Классификация ТКО в исследуемых пробах по степени биодеструкции на полигонах ТКО (содержание категорий ТКО по сезонам года) (по результатам исследований)

Составные части ТКО по степени биодеструкции	Содержание составных частей ТКО по сезонам года, %				
	Весенний	Летний	Осенний	Зимний	Средне-годовой
Разлагаемые	27,76	28,75	41,741	21,934	30,045
Трудноразлагаемые	25,13	26,143	23,771	29,946	26,248
Условно неразлагаемые	47,06	45,074	34,429	48,052	43,656
Опасные	0,05	0,037	0,059	0,068	0,053

Содержание трудноразлагаемых компонентов составило, %:

– в весенний сезон: макулатура — 10,42, дерево — 1,82, текстиль — 6,2, комбинированные материалы — 1,30, отсев — 5,39;

– в летний сезон: макулатура — 10,446, дерево — 1,323, текстиль — 8,106, комбинированные материалы — 1,991, отсев — 4,277;

– в осенний сезон: макулатура — 9,094, дерево — 1,371, текстиль — 5,497, комбинированные материалы — 2,074, отсев — 5,735;

– в зимний сезон: макулатура — 13,746, дерево — 0,662, текстиль — 6,011, комбинированные материалы — 3,928, отсев — 5,599 (итого — 29,946 %).

Содержание условно неразлагаемых компонентов ТКО составило, %:

– в весенний сезон: полимеры — 21,32, стекло — 11,90, металлы — 2,25, инертные — 2,88, прочие — 8,71;

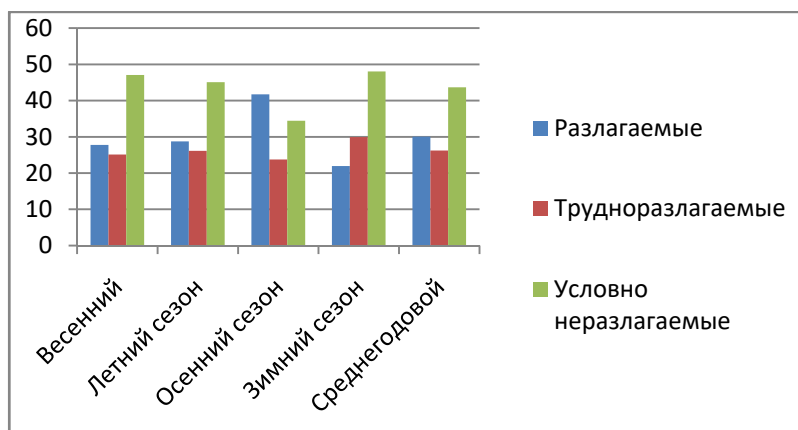
– в летний сезон: полимеры — 13,171, стекло — 14,675, металлы — 2,421, инертные — 6,12, прочие — 8,68;

– в осенний сезон: полимеры — 12,082, стекло — 10,831, металлы — 1,315, инертные — 3,257, прочие — 6,944;

– в зимний сезон: полимеры — 20,63, стекло — 14,43, металлы — 2,52 %, инертные — 2,762, прочие — 7,71 (итого — 8,052 %).

Гистограмма процентного содержания компонентов ТКО в зависимости от степени их биодеструкции на полигонах ТКО в исследуемых пробах ТКО по сезонам года показана на рис. 3.

С учетом того, что в трудноразлагаемую и условно неразлагаемую составную часть ТКО входят стекло, металлы, текстиль, дерево, которые подлежат утилизации в качестве вторсырья и при внедрении прогрессивных технологий раздельного сбора и/или сортировки ТКО, количество этих компонентов, транспортируемых на полигоны ТКО, снизится до следующих показателей (табл. 3).



**Рис. 3.** Гистограмма содержания составных частей ТКО в зависимости от степени их биодеструкции на полигонах ТКО (по результатам сезонных исследований), %

**Таблица 3.** Содержание составных частей ТКО после извлечения отходов, пригодных для вторсырья, транспортируемых на полигоны ТКО (по результатам сезонных исследований), %

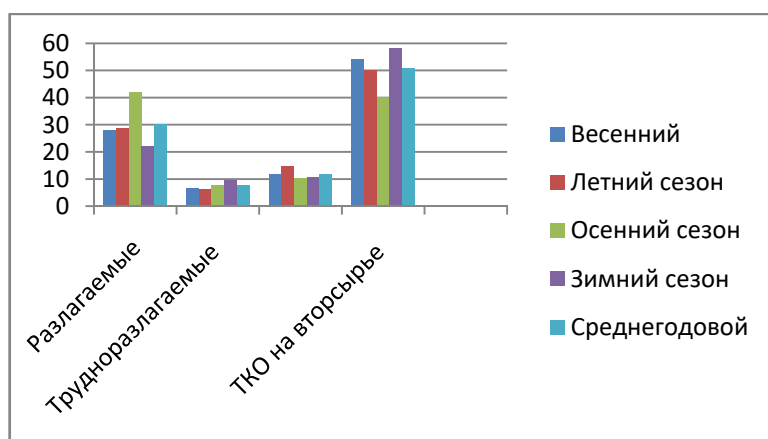
Составные части ТКО по степени биодеструкции	Содержание составных частей ТКО по сезонам года, %				Среднегодовой
	Весенний	Летний	Осенний	Зимний	
Разлагаемые (органические)	27,76	28,750	41,741	21,934	30,045
Трудноразлагаемые (комбинированные материалы, отсев)	6,690	6,300	7,809	9,527	7,582
Условно неразлагаемые (инертные и прочие материалы)	11,600	14,810	10,201	10,472	11,772
ТКО на вторсырье (в том числе опасные отходы (0,053% — среднегодовой показатель))	53,910	50,140	40,249	58,067	50,592

На рис. 4 приведена градация ТКО по степени биодеструкции отходов, подлежащих утилизации в качестве вторсырья и на полигонах ТКО, при внедрении технологий предварительной сортировки ТКО (по результатам сезонных исследований).

Исследования показали, что извлечение компонентов ТКО в ходе сортировки для вторичной переработки позволит сократить трудноразлагаемую и условно неразлагаемую составные части ТКО по степени их биодеструкции, транспортируемые на полигоны ТКО, в среднем соответственно на 8 и 12 %.

Результаты исследований показали, что более 50 % ТКО можно использовать в качестве вторсырья, а органическую биоразлагаемую часть, составляющую 30 %, можно утилизировать биокomпостированием, и в конечном итоге при захоронении на полигонах количество ТКО можно сократить до 80 %.





**Рис. 4.** Составные части ТКО по степени биодеструкции отходов, подлежащих утилизации на полигонах ТКО при внедрении технологий предварительной сортировки ТКО (по результатам сезонных исследований)

Анализ фактической технико-экономической и экологической ситуации в изучаемой сфере показал острую необходимость выработки новых научно-методических подходов, определяющих ресурсосберегающую стратегию обращения с использованной продукцией на последней стадии эксплуатации.

#### Заключение

По результатам социо-экологических исследований населенных пунктов по вопросу обращения с отходами сформированы подходы к классификации вторичных ресурсов, прогнозированию их безопасного обращения на основе вовлечения в хозяйственный оборот ресурсной составляющей использованной продукции на конечном этапе ее жизненного цикла. Результатом послужит создание благоприятных условий для безопасного перспективного развития строительной, коммунальной, транспортной инфраструктуры, зеленого строительства, благоустройства, бизнеса, инновационных производств, повышения качества и экологической безопасности городской среды, экономии природных ресурсов путем их замены вторичными с учетом социально-экономической, природоохранной, ресурсосберегающей направленности предложенной системы. Сравнительный анализ сложившихся научных подходов, парадигм, концепций, законодательной базы показал необходимость формирования новой научной стратегии, создания системы обращения с бывшими в употреблении предметами, веществами и энергией для обеспечения эффективной ресурсосберегающей экономики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Владимиров С. Н.* Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. № 19. С. 101—105.
- Костарев С. Н.* Статистически оптимальное управление процессом биодеструкции твердых бытовых отходов на полигоне захоронения // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 3. С. 6—8.
- Лунев Г. Г.* Развитие методологии комплексного использования вторичных строительных ресурсов. М.: Научтехлитиздат, 2019. 284 с.
- Пугачев В. С.* Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Физматгиз, 1962. 286 с.

*Флеминг У., Ришел Р.* Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами М.: Мир, 1978. 341 с.

*Цховребов Э. С., Величко Е. Г.* Теоретические положения формирования методологии создания комплексной системы обращения строительных отходов // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1. С. 83—93.

*Цховребов Э. С., Лебин А. Н., Белоусов В. Г.* Новейшая история развития природоохранной деятельности в России // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. 2012. Т. 18. № 2. С. 192—196.

*Чертес К. Л., Шестаков Н. И.* Современные биопозитивные технологии переработки отходов коммунально-строительного сектора // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 8. С. 1135—1146.

*Domenech T., Bahn-Walkowiak B.* Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States // Ecological Economics. 2019. Vol. 155. Pp. 7—19.

*Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K.* Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. Pp. 1306—1313.

*Hart J., Adams K., Giesekam J., Densley Tingley D., Pomponi F.* Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. No. 80. Pp. 619—624.

*Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N.* Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A Report of the Int. Resource Panel. United Nations Environment Programme, Kenya. 2020. URL: <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>. Accessed: 18.01.2023.

*Kirchherr J., Reike D., Hekkert M.* Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, Conservation & Recycling. 2017. No. 127. P. 9.

*Kostarev S. N., Sereda T. G.* Automated process control of sanitary municipal solid waste landfill // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 22 (SPL.Issue 2). Pp. 64—69.

*Murray R.* Zero waste. Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.

*Sereda T. G., Kostarev S. N.* Development of automated control system for waste sorting // IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 537 (6). P. 062012.

*Sereda T. G., Kostarev S. N.* Development of the automated workstation for the operator of the solid municipal wastes landfill // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. T. 677 (4). P. 042107.

*Sereda T. G., Kostarev S. N., Novikova (Kochetova O. V.), Ivanova I. E.* Study of solid municipal waste accumulation rates in penitentiary facilities in Perm Krai during the pandemic of 2020 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1043 (1). P. 012005.

*Tshovrebov E. S., Velichko E. G., Kostarev S. N., Niyazgulov U. D.* Mathematical model of environmentally friendly management of construction waste and waste of urban economy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. T. 937 (4). P. 042062.

Research Article

### **Tatiana G. Sereda**

Doctor of Engineering Sciences, Professor of Building Technology Department, Pryanishnikov Perm State Agro-Technological University. 23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russia

### **Sergey N. Kostarev**

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Computers, Systems and Networks (Faculty of Communications), Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation. 1, Gremyachiy log st., Perm, 614030, Russia; e-mail: iums@dom.raid.ru

**Eduard S. Tshovrebov**✉

Candidate of Economics, Associate Professor, Senior Researcher, Research Institute of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 7, Davydkovskaya st., 121352, Moscow, Russia;  
e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

**SOCIO-ECOLOGICAL RESEARCH AND FORECAST  
OF ENVIRONMENTALLY SAFE MANAGEMENT  
OF CONSUMPTION WASTE IN CITIES**

**Abstract.** Based on socio-ecological studies (studies of environmental problems of the social plan) of factors and conditions of socio-economic development of the region, approaches to forecasting an environmentally safe system of urban waste management are formed on the example of Perm. A comparative analysis of the formulation of the term “waste” is given. A comparative analysis of the formulation of the term “waste” is given. The paper shows that one of the most acceptable mechanisms for preventing the negative impact of waste that creates a high level of environmental danger to the natural environment and the life of the population is a new approach to the concept of “waste” as a subject of environmental, commodity-monetary and other types of legal relations and the transition of the entire system of handling disused, used products to technical and socio-economic system: resource consumers — technology — secondary resources and management of this system using mechanisms of economic and regulatory regulation, in which the subject of public relations will be: secondary resources and alternative (inexhaustible) energy sources, which will contribute to the sustainable development of the Russian economy as a whole. The structure of the technical-socio-economic system has been developed, which shows the material flows of secondary resources. Within the framework of the state task for calculating the standards for the accumulation of solid municipal waste in the Perm territory, the percentage of components suitable for recyclable materials has been determined. The classification of MSW in the studied samples according to the degree of biodegradation of MSW was carried out in order to determine the further scheme of movement of waste streams. The probabilities of transitions in the existing and new flow patterns of secondary resources are determined using the Kolmogorov system of equations. The results of the study can be applied in the development of programs to ensure environmental safety of territories, plans for the prevention of emergency situations with negative environmental consequences.

**Keywords:** forecast, sociological research, waste, environmental safety, urban areas, emergency.

**For citation:** Sereda T. G., Kostarev S. N., Tshovrebov E. S. (2023) Socio-ecological research and forecast of environmentally safe management of consumption waste in cities. *Sotsiologiya Goroda* [Urban Sociology], no. 1, pp. 113—124 (in Russian). DOI: 10.35211/19943520\_2023\_1\_113

**REFERENCES**

- Chertes K. L., Shestakov N. I. (2020) Modern biopositive technologies of waste processing in the municipal construction sector. *Bulletin of MGSU*, vol. 15, no. 8, pp. 1135—1146.
- Domenech T., Bahn-Walkowiak B. (2019) Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States. *Ecological Economics*, vol. 155, pp. 7—19 (in Russian).
- Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. (2016) Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 1306—1313.

Fleming W., Rishel R. (1978) *Optimalnoye upravlenie determinirovannymi i stokhasticheskimi sistemami* [Optimal control of deterministic and stochastic systems]. Moscow: Mir Publ. 341 p. (in Russian).

Hart J., Adams K., Giesekam J., Densley Tingley D., Pomponi F. (2019) Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*, no. 80, pp. 619—624.

Hertwich E., Lifset R., Pauliuk S., Heeren N. (2020) Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A Report of the Int. Resource Panel. United Nations Environment Programme, Kenya. URL: <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>. Accessed: 18.01.2023.

Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, no. 127, p. 9.

Kostarev S. N. (2009) Statistically optimal control of the process of biodegradation of solid household waste at the landfill. *Automation and Modern Technologies*, no 3, pp. 6—8 (in Russian).

Kostarev S. N., Sereda T. G. (2013) Automated process control of sanitary municipal solid waste landfill. *World Applied Sciences Journal*, vol. 22 (SPL.Issue 2), pp. 64—69.

Lunev G. G. *Razvitie metodologii kompleksnogo ispol'zovaniya vtorichnykh stroitel'nykh resursov* [Development of methodology for the integrated use of secondary building resources]. Moscow: Nauchtehlitizdat, 2019. 284 p. (in Russian).

Murray R. (2002) *Zero waste*. Greenpeace Environmental Trust. 211 p.

Pugachev B. S. (1962) *Teoriya sluchainykh funktsiy i ee primeneniye k zadacham avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of random functions and its application to automatic control problems]. Moscow: Fizmatgiz Publ., 286 p. (in Russian).

Sereda T. G., Kostarev S. N. (2019) Development of automated control system for waste sorting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 537 (6), p. 062012.

Sereda T. G., Kostarev S. N. (2021) Development of the automated workstation for the operator of the solid municipal wastes landfill. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677 (4), p. 042107.

Sereda T. G., Kostarev S. N., Novikova (Kochetova O. V.), Ivanova I. E. (2022) Study of solid municipal waste accumulation rates in penitentiary facilities in Perm Krai during the pandemic of 2020. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1043 (1), p. 012005.

Tshovrebov E. S., Lebin A. N., Belousov V. G. (2012) The newest history of development of nature protection activity in Russia. *Bulletin of N. A. Nekrasov Kostroma State University*, vol. 18, no. 2, pp. 192—196 (in Russian).

Tshovrebov E. S., Velichko E. G. (2017) Theoretical provisions of the formation of the methodology for the creation of an integrated system for the treatment of construction waste. *Bulletin of MGSU*, vol. 12, no 1, pp. 83—93 (in Russian).

Tshovrebov E. S., Velichko E. G., Kostarev S. N., Niyazgulov U. D. (2021) Mathematical model of environmentally friendly management of construction waste and waste of urban economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 937 (4), p. 042062.

Vladimirov S. N. (2016) Problems of waste processing in the construction industry. *System technologies*, no. 19, pp. 101—105 (in Russian).

Поступила в редакцию 19.01.2023  
Принята в печать 03.03.2023

Received 19.01.2023  
Accepted for publication 03.03.2023