

УДК 502.504 : 628.54

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

© 2022 Э.С. Цховребов¹, Ф.Х. Ниязгулов²

¹ Академия инженерных наук им А.М. Прохорова, г. Москва, Россия

² Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 18.08.2022

Образование отходов приводит к всевозрастающей техносферной нагрузке на окружающую среду, представляя собой одну из главных угроз экологической безопасности территорий, устойчивого развития городских округов и регионов. Означенное способствует увеличению рисков и угроз для благоприятной и комфортной среды жизнедеятельности населения. Основополагающим вектором исследования определено формирование новых подходов, механизмов, методов, показателей оценки состояния защищенности природной среды от техногенного воздействия отходов, обеспечивая при этом благоприятные для человека условия существования в техносфере в виде преобразованной социумом части биосферы. Цель исследования - разработка нечеткой шкалы показателей оценки экологически безопасного функционирования систем жизнедеятельности и объектов жизнеобеспечения техносферных территорий на стадии разработки предпроектной, проектной документации и в процессе эксплуатации. В соответствии с поставленной целью, в рамках использования теории нечетких множеств и соответствующего математического аппарата мягких вычислений, на основе системного анализа антропогенных факторов воздействия отходов на экосистемы, осуществлена разработка нечеткой шкалы уровней ресурсно-экологических показателей для реализации прогнозных исследований перспективного развития систем жизнеобеспечения населенных пунктов на предпроектной стадии, в процессе осуществления проектной деятельности, при оценке сложившегося уровня воздействия опасных отходов на окружающую среду. Предложенный новый подход, основанный на комплексной оценке предотвращенной экологической опасности, был использован при формировании прогноза развития предприятий по обработке, утилизации отходов на период до 2030 года по регионам России. Представляется возможным применение индикаторов экологической безопасности и методов их определения при создании критериев устойчивого развития территорий, целевых показателей техносферной безопасности объектов, систем комплексной оценки безопасной и комфортной среды жизнедеятельности в населенных пунктах.

Ключевые слова: обращение с отходами, нечеткая шкала оценок, экологическая безопасность, комфортная среда, жизнедеятельность, устойчивое развитие.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-5-60-68

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы использования искусственного интеллекта в исследованиях перспектив развития методов оценки состояний техносферной безопасности территорий, объектов, процессов, материалов в настоящее время являются чрезвычайно актуальными и значимыми в свете поступательно реализуемого курса нашей страны на достижение устойчивого социально-экономического, экологического и технологического развития [1-4].

В работе означенные актуальные проблемы рассмотрены в новом формате создания нечеткой шкалы показателей интегральной

оценки уровня экологической безопасности жизнеобеспечения городских округов, регионов на базе теории нечетких множеств, увязывающих в единой системе оценки количественные и качественные ресурсно-экологические показатели с учетом обратной реакции природной среды на антропогенное воздействие отходов.

Концепция, направления, методы исследования коррелируются с принятыми в мировом сообществе принципами: «Zero waste» (ноль отходов), «RRR» (предотвращение образования отходов, повторное использование, переработка во вторичные ресурсы), «Green economy» («Зелёная» экономика), «Circular economy» (экономика замкнутого цикла) [5-9], опираются на достигнутые результаты исследований в области программ и проектов развития «зеленого» строительства, обеспечения экологической безопасности [10-14].

Методы исследования базируются на использовании системного анализа, теории не-

Цховребов Эдуард Станиславович, кандидат экономических наук; доцент, член-корреспондент Академии инженерных наук им А.М. Прохорова.

E-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

Ниязгулов Филюз Хайдарович, соискатель, старший преподаватель РУТ МИИТ. E-mail: transgeo@yandex.ru

четких множеств, реализующих возможности применения мягких вычислений при расчетах уровней экологической безопасности техносферных территорий, позволяя оценивать состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от опасных воздействий отходов.

Результаты исследования и обсуждение. По замыслу авторов исследования, полученные показатели на основе применения теории нечетких множеств и мягких вычислений призваны обеспечить всестороннюю обоснованную многофакторную оценку состояния экологической безопасности в отношении воздействия завершивших свой срок эксплуатации строительных материалов и конструкций, использованной продукции в процессе жизнеобеспечения. Возможности применения мягких показателей охватывают стадии бизнес-планирования, оценки воздействия на окружающую среду, разработки технико-экономического обоснования, экологических проектов, территориальных схем обращения с отходами, программ развития в рамках комплексной системы оценки уровня экологической безопасности городов и регионов [15].

Основным отличием предлагаемой нечеткой шкалы показателей оценки уровня экологической безопасности от известных сложившихся подходов является целенаправленность на формирование индикаторов оценки предотвращенного экологического вреда (риска) за счет трансформации ресурсной составляющей отходов в безопасное вторсырье с учетом факторов опасности прямого воздействия, обратной реакции экосистем, периодов их самовосстановления после устранения источника опасности, объединение в составном критерии ресурсосберегающих и природоохранных показателей.

Критерий экологической безопасности системы, объектов жизнеобеспечения территорий Q_{ji} определяется уровнем снижения степени экологической опасности в результате реализации технологических процессов трансформации опасных отходов в категорию вторичного сырья и выражается как сумма произведений показателей P_{ji} , определяемым в физических единицах массы и весовых коэффициентов снижения экологической опасности k_{ij} конкретного отхода после его преобразования во вторичное сырье:

$$r \quad w$$

$$Q_{ji} = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^w P_{ji} k_{ij}, \quad (1)$$

$$P_{ji} = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^w (C_j / O_i), \quad (2)$$

где P_{ji} – доля вторичного сырья, полученного из ресурсной составляющей $i=1...r$; O_i – количество

образующихся опасных $i=1...w$ видов; C_j – количество вторсырья $j=1...r$ видов, полученного из отходов; k_{ij} – показатель изменения экоопасности отхода при регулирующем воздействии, определяемый как соотношение уровней экологической опасности антропогенных объектов множеств O и C до и после технологических преобразований: $k_{ij}=k_r/k_j$. Величина C_j выражает уровень использования в производимой продукции и работах ресурсов $i=1...w$ отходов в качестве вторсырья $j=1...r$ видов на единицу образования отходов.

Показатель k_{ij} представлен в формуле (3) произведением трех критериев, определяющих конечную цель моделируемой системы экологически безопасного жизнеобеспечения:

а) минимизация опасности образующегося антропогенного объекта до малоопасного / практически неопасного уровня в источнике образования;

б) предотвращение попадания в природную среду, нанесения экологического вреда;

в) предупреждение нарушения, порчи экосистем при воздействии на них отходов в качестве источников опасности.

$$k_{ij} = k_o_{ij} k_{v_{ij}} k_e_{ij}. \quad (3)$$

Схема формирования предлагаемых весовых коэффициентов, характеризующих экологическую опасность отходов приведены в таблице 1.

Как следует из таблицы, основными критериями формирования коэффициентов служит восстановливаемость экосистем, степень нарушения, уровень опасности, длительность нахождения в ней опасных отходов, напрямую влияющие на реанимационные процессы восстановления природных объектов. Оперативный прогноз состояния защищенности природной среды от воздействия антропогенных объектов предлагается осуществлять на основе применения методов математической логики с помощью оценки групп экологических состояний: безопасное, опасное, катастрофическое в соответствии с разработанными выше индикаторами. Подобный подход применялся Т.Г. Середа и С.Н. Костаревым при оценке безопасности аппаратов [16].

Для формирования комплексной оценки состояний экологической опасности территории составляются конъюнкции всех переменных показателей (k_e k_o , k_v), при которых функция отклика \mathcal{E} равна 1, безопасных – нулю в рамках дизъюнкции рассматриваемых условий. Вышеуказанные факторы служат индикаторами для построения формы выражения логических функций экологической опасности (ЭО) и экологической катастрофы (ЭК), а также совершенной конъюнктивной нормальной формы, отражающей логическую функцию состояния экологической безопасности (ЭБ) территории, объекта в отношении воздействия отходов:

Таблица 1 – Схема предлагаемых весовых коэффициентов, характеризующих экологическую опасность ресурсных составляющих отходов
Table 1 – Scheme of the proposed weight coefficients characterizing the environmental hazard of the resource components of waste

Показатель	Коэффициент эко-опасности антропогенного объекта k_{oj}	Коэффициент опасности прямого временного воздействия k_{vij}	Коэффициент опасности обратной реакции экосистем k_{eij}
Методическая основа	Класс опасности отходов производства и потребления	Сроки естественного разложения источника опасности в природной среде	Состояние, период восстановления экосистем после устранения воздействия источника опасности
Оцениваемый показатель	Уровень опасности для окружающей среды	Длительность временного воздействия	Длительность восстановления экологических систем
Качественная характеристика базового исходного показателя	Чрезвычайно, высоко-, умеренно, малоопасные, практически неопасные	Распределение по группам: 1. Цветмет; стекло; синтетические полимеры. 2. Черные металлы; минеральные. 3. Древесные; текстиль; макулатура	Необратимо нарушена, сильно нарушена, нарушена, незначительно нарушена, практически не нарушена
Соответствующее численное значение	1, 2, 3, 4, 5 по убыванию опасности	Ранжирование по периодам:]100; 1000];]10; 100]; [1; 10]	{30; 10; 3; 1}. Максимальный период восстановления принят от 100 лет
Формализация показателя в виде весового коэффициента	Обратная величина числа класса опасности отхода: {1/1; 1/2; 1/3; 1/4; 1/5}	Соотношение шкалы границ периодов разложения при принятии максимальной за единицу {1; 0,1; 0,01}	Соотношение сроков восстановления экосистем при принятии за единицу наибольшего {1; 0,3; 0,1; 0,03; 0,01}
Математический смысл	Пороговое возрастание весового коэффициента, определяющего весомость предотвращения образования образования отходов более высокого класса экологической опасности	Пороговое возрастание весового коэффициента, характеризующего весомость предотвращения размещения отходов с более высокими сроками естественного разложения	Пороговое возрастание весового коэффициента, определяющего весомость предотвращения загрязнения природной среды теми отходами, негативное воздействие которых приводит к большим срокам восстановления экосистем
Экологический смысл	Оценка значимости снижения уровня экологической опасности более опасного антропогенного объекта	Оценка временного воздействия отходов на окружающую среду с учетом сроков естественного разложения	Оценка обратной связи экосистемы на нахождение источника экологической опасности в природной среде в виде ответной реакции.
Научно-практическое значение	Придание приоритетности мерам предупреждения образования и снижению уровня экоопасности завершившей срок эксплуатации продукции в источнике появления	Придание значимости мерам предотвращения попадания в природную среду отходов с более высокими сроками разложения (пылеунос, смыв, захоронение)	Придание значимости предотвращению попадания в природную среду отходов, последствия воздействия которых обусловлены более значительными сроками восстановления экосистем после устранения источника

$$\mathcal{E}(\mathcal{EB}, \mathcal{EO}, \mathcal{EK}) = F(k_e, k_o, k_v). \quad (4)$$

Сделано допущение, что необходимым условием (показателем) состояния экологической катастрофы территории является необратимость последствий нарушения экологической системы, невозможность или длительный (от 100 лет) период её искусственного восстановления при размещении в природной среде чрезвычайно и высоко опасных отходов и/или со сроками разложения более 100 лет - в качестве достаточных условий: $\mathcal{EK} = 1$, если $k_e = 1, k_o \vee k_v = 1$.

Экологически безопасное состояние определено в случаях:

а) экосистема нарушена незначительно или практически не нарушена и имеет способность к самовосстановлению в периоде до трех лет при локальных кратковременных воздействиях;

б) уровень экоопасности антропогенных объектов, не обладающих состоянием опасных отходов – практически неопасный;

в) срок естественного разложения не утилизируемых, размещенных в виде биорекультиванта обработанных вторичных ресурсов (ВР) составляет не более 3-х лет, в отдельных случаях, при применении в качестве технического рекультиванта – до 10 лет: $\mathcal{EB} = 1$, если $k_e = 0, k_o = 0, k_v = 0$.

Необходимым условием экоопасного состояния служит нарушение экосистемы, повлекшее за собой невозможность самовосстановления и, соответственно, необходимость искусственного восстановления экосистемы после устранения воздействия источника опасности периодом от 10 лет и более, а достаточными условиями – раз-

мещение в природной среде умеренно опасных, малоопасных отходов и/или со сроками естественного разложения от 10 до 100 лет. Данные условия определены логическим выражением:

$$\mathcal{EO} = 1, \text{ если } \begin{cases} k_e = 0, k_o \vee k_v = 1, \\ k_e = 1, k_o = 0, k_v = 0. \end{cases} \quad (5)$$

С учётом изложенного, построена таблица оценки состояний (таблица 2).

Установление ресурсного показателя P_{ji} основывается на принципе предотвращения образования опасных отходов в количественном выражении. Он определяется уровнем повторного использования ресурсной части использованной продукции, овеществлённой в процессе производства товаров, работ, энергии. Ресурсовосстановительный смысл показателя заключается в максимизации уровня применения ресурсного потенциала в виде вторсырья (в качестве альтернативы природным ресурсам) на единицу образования отхода.

Необходимость создания ресурсных критериев экологически безопасного функционирования динамичных производственных процессов обусловлена тем, что существующие методы оценки ресурсов применимы, в основном, к процессам заводского выпуска продукции. По мнению авторов, эти индикаторы по содержанию не могут обоснованно дать эколого-ресурсную нестационарных, динамичных объектов строительства, демонтажа, ремонта, содержания. Это обуславливает разработку новых методических подходов к формированию системы ресурсных показателей (см. таблица 3).

Таблица 2 – Нечёткая оценка состояний территории муниципальных образований
Table 2 – Fuzzy assessment of the state of the territory of municipalities

Приведенный срок восстановления нарушенных экосистем, k_e	Приведенная экоопасность источника воздействия, k_o	Приведенный срок нахождения в природной среде, k_v	Экологически безопасное состояние	Экологически опасное состояние	Состояние экологической катастрофы
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1
1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1

Таблица 3 – Шкала нечётких индикаторов использования ресурсов
Table 3 – Scale of fuzzy indicators of resource use

Нечеткий показатель. Обозначение, наименование, описание и целевое назначение показателя	Стадия и условия оценки	Выражение единицы измерения
Ресурсная пригодность P_c Количество (масса) извлеченных, раздельно собранных, изолированных от взаимодействия с компонентами природной среды и между собой ресурсных составляющих с сохраненными (пригодными) характеристиками и свойствами, позволяющими использование в виде возобновляемых ВМР и ВЭР	Раздельный сбор и накопление (при условии наличия технической возможности, допустимости, целесообразности повторного применения)	Уровень выделения ресурсной части, пригодной для обработки в качестве ВМР и ВЭР на единицу использованной продукции
Ресурсная восстановимость P_v Количество (масса) технологически преобразованных ВМР и ВЭР с нормативными, стандартизованными технико-эксплуатационными характеристиками сырья, обладающего потребительскими свойствами для производства с его применением продукции, работ, энергии	Обработка (при условии восстановления ВР до уровня свойств и характеристик востребованного на потребительском рынке товара)	Уровень восстановления ВР до предъявляемых требований к вторсырюю на единицу исходных ВР
Ресурсная заменимость P_z Количество (масса) вторичного сырья, используемого в качестве замены (аналога) сырья из природного ресурса и в полном объеме или частично замещающего его в хозяйственном обороте на основании документов по стандартизации, технической документации.	Утилизация (при условии, что в результате замены природного сырья вторичным будет получена продукция аналогичного или лучшего качества)	Уровень замены (высвобождения) сырья из природных ресурсов на единицу замещаемого вторсыря

Модель составного критерия комплексной ресурсно-природоохранной оценки экологически безопасного жизнеобеспечения муниципальных образований в отношении воздействия отходов представлена на рисунке 1.

Каждый из критериев определяется набором характеристик, обусловленных совокупностью параметров или конкретным параметром. Исходное множество альтернатив описывается тремя показателями (P_c , P_v , P_z) и весовыми признаками (k_e , k_o , k_v), имеющими упорядоченные пороговые шкалы дискретных оценок: $X_e = \{0, 1, 2, 3, 4\}$; $X_o = \{0, 1, 2, 3, 4\}$; $X_v = \{0, 1, 2\}$. Множество альтернатив группируются в четыре упорядоченных класса: $\mathcal{E}B_1$, $\mathcal{E}B_2$, $\mathcal{E}B_3$, $\mathcal{E}B_4$ - «Экобезопасность территории» с оценками уровней: 0 – критический, 1 – недопустимый, 2 – нормативный, 3 – комфортный, соответствующие градациям

шкалам составного критерия верхнего уровня $Z = \{z^0, z^1, z^2, z^3\}$. Показатели нечеткой шкалы оценки соответствуют четырем составным критериям оценки. Совокупность впервые показателей образует нечеткую шкалу уровня экологической безопасности территорий городов, регионов в целом (рис. 2).

Для количественной интерпретации нечеткой оценки уровня экологической безопасности муниципального образования в части антропогенного воздействия отходов предлагается балльная оценка весомости нечетких показателей с последующим ранжированием пороговых уровней экологической безопасности по сумме присвоенных баллов в результате экспертной оценки, основанной на системном анализе природоохранной ситуации (рис. 3). Факторам, характеризующим «критический» качественный



Рисунок 1 – Шкала составных критериев оценки экоопасности отходов
Figure 1 – Scale of composite criteria for assessing the environmental hazard of waste



Рисунок 2 - Шкала уровней экологической безопасности городов и регионов на основе нечёткой оценки качественных показателей техносферного воздействия отходов
Figure 2 - Scale of environmental safety levels of cities and regions based on a fuzzy assessment of qualitative indicators of technosphere impact of waste

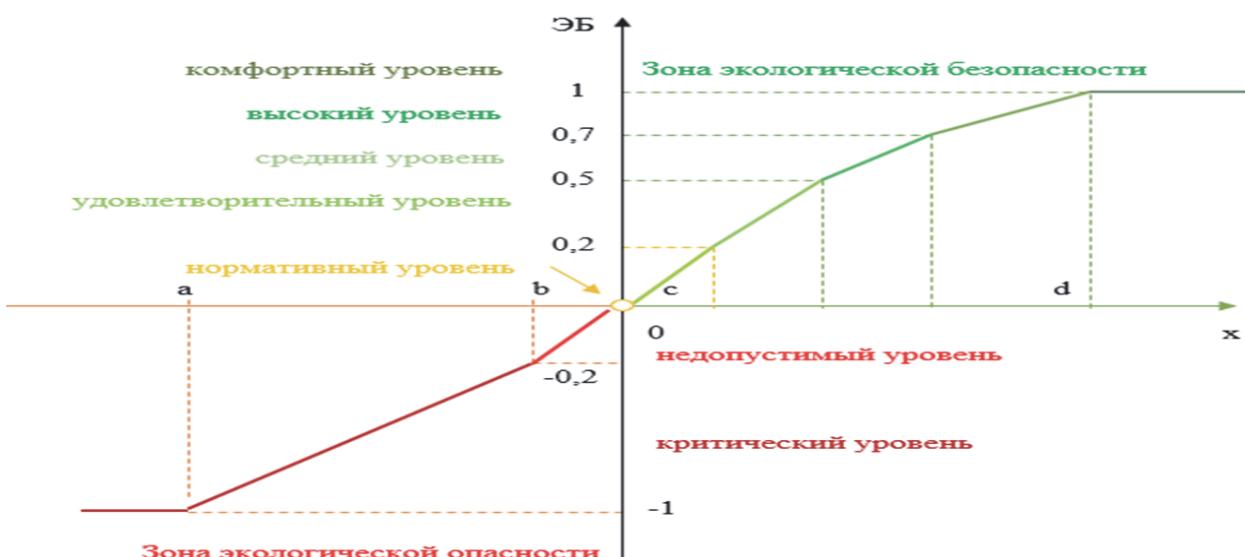


Рисунок 3 – Графическая интерпретация функции принадлежности оценок показателей экологической безопасности нечёткой балльной шкалы
Figure 3 – Graphical interpretation of the membership function of assessments of environmental safety indicators of a fuzzy point scale

индикатор, присваивается численное значение «минус 0,2», «недопустимый – «минус 0,04», «нормативный» - «ноль», комфортный – «плюс 0,2» с учётом перехода с одного порогового уровня на другой в границах нечёткой шкалы оценок [-1;1] при введённых обозначениях: а – нижняя граница критического уровня (-1); б – недопустимого (-0,2); с - нормативного (0); д – комфорtnого (1).

Нормативный (допустимый) нулевой уровень, по замыслу авторов, означает базовую исходную точку состояния системы жизнеобеспечения для формирования природоподобных технологий среды жизнедеятельности, реализующих переход городских округов и регионов на ресурсосберегающий технологический уклад устойчивого экологически безопасного развития.

Предполагается, что суммарный баланс показателей, определяющий минимальный уровень экобезопасного состояния территории, объекта должен иметь положительное значение, удовлетворительный - превышать величину «0,2», средний – «0,5», высокий – «0,7», наивысший - единицу. В этом случае экологически безопасному качественному уровню будет соответствовать нахождение индикатора состояния территории в интервале нечетких оценок [0;1] по предлагаемой нечеткой шкале. Расширение состава критериев комфорtnого состояния территорий будет напрямую связано с социально-экономическим развитием регионов, инновационных методов, организационно-технических систем, безопасных технологий среды жизнедеятельности.

ВЫВОДЫ

В работе впервые сформирована нечёткая шкала ресурсно-экологических показателей, позволяющая использовать численный аппарат мягких вычислений и отображающая в формализованном виде текущее состояние, условия, потенциал перехода комплекса жизнеобеспечения и систем жизнедеятельности муниципальных образований регионов России на ресурсосберегающий технологический уклад устойчивого экологически безопасного развития:

а) показатель оценки состояния экологической безопасности процессов жизнеобеспечения, устанавливающий зависимость уровней использования ресурсного потенциала отходов, их ресурсной ценности и предотвращенного антропогенного воздействия, позволяющий проводить системный анализ состояния защиты природной среды от негативного воздействия объектов;

б) показатель оценки экологической безопасности территорий городов и регионов в отношении техносферного воздействия отходов

на базе вводимого понятия: нечеткой шкалы уровней, отражающей количественную интерпретацию их весомости с применением балльной оценки.

Научно-прикладная значимость разработанной нечеткой шкалы показателей экологической безопасности подтверждается широким диапазоном возможностей практической реализации: при создании экологических разделов предпроектной, проектной документации, обосновании требований безопасности на этапах инвестиционной деятельности; в качестве критериев экологической оценки территорий, безопасности и комфорtnости для жизнедеятельности городской среды при разработке территориальных схем обращения с отходами, концепций социально-экономического развития; анализе эффективности работы государственных органов путем введения нечеткого показателя, отражающего ситуацию в области ресурсосбережения и экологической безопасности как индикатора устойчивого развития регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человек: монография. М.: Изд-во Ассоциация строительных вузов, 2015. 186 с.
2. Судалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосфера // Геоэкология. инженерная геология. гидрогеология. Геокриология. 2020. № 1. С. 6–11.
3. 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.
4. 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.
5. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. Procedia Engineering. Vol. 145. 2016. Pp. 1306–1313.
6. 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.
7. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation & Recycling. 2017. No 127. P.9.
8. Hart, J., Adams, K. and others. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP. 2019. No 80. Pp. 619–624.
9. Ehresman T. Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy International Environmental Agreements: Politics, Law & Economic, 2015. Vol. 15. Iss. 1. Pp. 13–27.

10. 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 ; <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>.
11. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of Buildings and the Built Environment. Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 2018. Chapter 28. Pp. 695–720.
12. Celik N., Antmann E., Shi X., Hayton B. Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs. University of Miami. 2012. 34 p.
13. Bartoleto A. Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts. Routledge studies in waste management and policy. L.; N.Y.: Routledge. 2015. P. 30.
14. Azarov V.N., Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K. Organizational and economic problems of ecological safety in construction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» - Organisation and Technology of Construction Production. 2019. P. 055007.
15. Макаров Г.В., Слесарев М.Ю. Применение нечетких множеств в экспертных системах экологического мониторинга // Экологические системы и приборы. 2006. № 2. С. 39-45.
16. Костарев С.Н., Середа Т.Г. Проектирование комбинированного автомата для оценки безопасности источника опасности // Вестник ПНИПУ. 2016. № 4. С.77-87.

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF REGIONS BASED ON FUZZY INDICATORS

© 2022 E.S. Tskhovrebov¹, F.Kh. Niyazgulov²

¹ Academy of Engineering Sciences, Moscow, Russia

² Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russia

Abstract. Waste generation leads to an ever-increasing technosphere load on the environment, representing one of the main threats to the environmental safety of territories, sustainable development of urban districts and regions. This contributes to an increase in risks and threats to a favorable and comfortable living environment of the population. The fundamental vector of the research is the formation of scientific approaches, methods, indicators of achieving the state of protection of the natural environment from the anthropogenic impact of waste, while providing favorable conditions for human existence in the technosphere in the form of a part of the biosphere transformed by society. The purpose of the study is to develop a fuzzy scale of indicators for assessing systems, facilities, life support technologies of technosphere territories at the stage of development of pre-project and project documentation. In accordance with this goal, within the framework of using the theory of fuzzy sets and the corresponding mathematical apparatus of soft computing, a fuzzy scale of levels of resource and environmental indicators was developed for the implementation of predictive studies of the long-term development of life support systems of settlements at the pre-project stage, during the implementation of project activities, when assessing the current level of technosphere impact of hazardous waste on the environment. The proposed new approach, based on a comprehensive assessment of the prevented environmental hazard, was used in the formation of a forecast for the development of waste treatment and disposal enterprises for the period up to 2030 in the regions of Russia. It seems possible to use environmental safety indicators and methods of their determination when creating criteria for sustainable development of territories, target indicators of technosphere safety of objects, systems for integrated assessment of safe and comfortable living environment in settlements.

Keywords: waste management, fuzzy assessment scale, environmental safety, comfortable environment, vital activity, sustainable development.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-5-60-68

REFERENCES

1. Il'ichev, V.A. Emel'yanov, S.G., Kolchunov, V.I., Gordon, V.A., Bakaeva, N.V. Principy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyj i razvivajushhij cheloveka [Principles of transformation of the city into a biosphere-compatible and developing human being]. Moscow. Assotsiatsiya stroitelnyh vuzov Publ. 2015. 186 p. (In Russ.).
2. Suzdaleva A.L. Ekologicheskaya globalistika i ustoichivoe razvitiye na etape tehnogennoy transformatsii biosfery [Ecological globalistics and sustainable development at the stage of technogenic transformation of the biosphere]. Geokologiya, ingenernaya geologiya, gidrogeologiya. Geokryologiya [Geoecology. engineering geology. hydrogeology. Geocryology]. 2020. No.1. Pp. 6-11. (In Russ.).
3. Tshovrebov E.S., Velichko E.G. Teoreticheskie polozheniya formirovaniya metodologii sozdaniya kompleksnoy sistemy obrasheniya stroitelnyh othodov [Theoretical provisions of the formation of

- the methodology for the creation of an integrated system for the treatment of construction waste]. *Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]*. 2017. Vol. 12. No. 1, Pp. 83–93. (In Russ.).
4. *Tshovrebov, E.S., Lebin, A.N., Belousov, V.G.* Noveishaya istoriya razvitiya prirodoohrannoi deyatelynosti v Rossii [The newest history of development of nature protection activity in Russia]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova [Bulletin of N.A. Nekrasov Kostroma State University]*. 2012. Vol.18. No. 2. Pp. 192–196. (In Russ.).
 5. *Elgizawy S., El-Haggag S., Nassar K.* Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. Vol. 145. 2016. Pp. 1306–1313.
 6. *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.
 7. *Kirchherr J., Reike D., Hekkert M.* Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*. 2017. No 127. P. 9.
 8. *Hart, J., Adams, K. and others.* Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019. No 80. Pp. 619–624.
 9. *Ehresman T., Okereke C.* Environmental justice and conceptions of the green economy International Environmental Agreements: Politics, Law & Economic, 2015. Vol. 15. Iss. 1. Pp. 13–27.
 10. *Hertwich E., Lüsch 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; <https://www.unep.org/resources/report/resource-efficiency-and-climate-change-material-efficiency-strategies-low-carbon>.
 11. *Goldstein B., Rasmussen F.* LCA of Buildings and the Built Environment. Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 2018. Chapter 28. Pp. 695–720.
 12. *Celik N., Antmann E., Shi X., Hayton B.* Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs. University of Miami. 2012. 34 p.
 13. *Bartoletti A.* Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts. Routledge studies in waste management and policy. L.; N.Y.: Routledge. 2015. P. 30.
 14. *Azarov V.N., Manzhilevskaia S.E., Petrenko L.K.* Organizational and economic problems of ecological safety in construction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development». 2019. P. 055007.
 15. *Makarov G.V., Slesarev M.Yu.* Primenenie nechetkih mnozhestv v ekspertnyh sistemah ekologicheskogo monitoringa [Using of fuzzy sets in expert system of ecological monitoring] *Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological systems and automatics]*. 2006. No. 2. Pp. 39–45 (in Russ.).
 16. *Kostarev S.N., Sereda T.G.* Proektirovanie kombinatsionnogo appara dlya otsenki bezopasnosti itochnika opasnosti [Design of a combinational automaton for assessing the safety of a hazard source]. *Vestnik PNIPU [Bulletin of PNIPU]*. 2016. No. 4. Pp. 77–87. (in Russ.).

Eduard Tskhovrebov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Corresponding member of A.M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences.

E-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

Filyuz Niyazgulov, Applicant, Senior Lecturer of RUT MIIT.

E-mail: transgeo@yandex.ru