

Многофакторная модель как основа для управления качеством окружающей среды урбанизированных территорий

© 2018. Е. В. Сокольская^{1,2}, зав. лабораторией, соискатель,
Б. И. Кочуров³, профессор, д. г. н., в. н. с.,
Ю. А. Долгов², академик РАЕН, профессор, д. т. н.,
В. А. Лобковский³, к. г. н., н. с.,

¹ РНИИ экологии и природных ресурсов,

3200, Приднестровье, г. Бендеры, Каховский тупик, 2,

² Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко,
3300, Приднестровье, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128,

³ Институт географии РАН,
119017, Россия, Москва, Старомонетный переулок, 29,

e-mail: sevchik85@mail.ru, inecol@mail.ru

В статье рассматривается математический подход к управлению качеством окружающей среды урбанизированных территорий для повышения экологической комфортности проживания населения. Описана проблема управления природоохранной деятельностью с использованием многофакторной модели качества окружающей среды с учётом весовых коэффициентов важности её компонентов: атмосферный воздух, акустическое воздействие, почвенный слой, водные ресурсы, обеспеченность территории зелёными насаждениями, доступность природно-рекреационных зон. Значения весовых коэффициентов важности влияющих факторов на экологическую комфортность среды жизни определены методом экспертного оценивания. Многофакторная модель использована для детальной оценки экологического качества городской среды. Предложенный количественный подход также позволяет сравнить экологическую комфортность различных жилых районов или изучить динамику экологической комфортности конкретной городской территории.

Значительное внимание уделено научно-методическим принципам управления и формализации понятия «качество окружающей среды». Приведена стратегия природоохранного управления при экологическом обосновании различных хозяйственных решений. Представлен план мероприятий по организации оптимального управления качеством среды жилого микрорайона г. Тирасполь для повышения экологической комфортности проживания населения. Дана графическая схема результатов интегрального анализа разнообразных экологических показателей и оценок для повышения комфортности окружающей среды городских территорий.

Реализация управления качеством окружающей среды урбанизированных территорий на основе многофакторной модели способствует поэтапному изменению опасных экологических состояний факторов окружающей среды, повышению комфортности территории с учётом реальных предпочтений и потребностей населения.

Ключевые слова: управление качеством среды, факторы окружающей среды, экологическая комфортность, обобщённая функция желательности, экспертная оценка, комплексный показатель.

A multi-factor model as the basis for the environmental quality management of urban areas

© 2018. E. V. Sokolskaya^{1,2}, B. I. Kochurov³,
Yu. A. Dolgov², V. A. Lobkovsky³,

¹State Institute of Ecology and Natural resources of Bendery,
2, Kahovsky Tupik, Bendery, 3200,

²Pridnestrovian State University named Taras Shevchenko,
128, 25 Oktyabrya St., Tiraspol, 3300,

³Institute of Geography of Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetny Pereulok, Moscow, Russia, 119017,

e-mail: sevchik85@mail.ru, inecol@mail.ru

The article considers mathematical approach to environmental quality management to improve the ecological comfort of living for the population. The problem of environmental management is described using a multi-factor model of quality of the environment with the weight coefficients of the importance of its components: atmospheric air, acoustic impact, soil, water resources, and green spaces, accessibility of natural and recreational areas. The values of weight coefficients

of importance of influencing factors for environmentally comfortable living are determined by the method of expert assessment. A multi-factor model is used for detailed assessment of the ecological quality of the urban environment. The proposed quantitative approach also allows to compare the environmental comfort of the different residential districts or to study the dynamics of environmental comfort of specific urban area.

Much attention is paid to scientific and methodological principles of management and the formation of the concept of «environmental quality». The strategy of environmental management with ecological foundation of various practical solution is shown. The plan of measures on organization of optimal management of quality of the environment to improve comfort of living for the population of the residential microdistrict of Tiraspol is presented. Graphical scheme of the results of integral analysis of various environmental indicators and assessments for improving the comfort of the environment is given.

Realization of environmental quality management of the urban areas on the basis of a multi-factor model contributes to the gradual change of dangerous ecological conditions of environmental factors, to increase a comfort of the territory taking into account the real preferences and needs of the population.

Keywords: environmental quality management, environmental factors, ecological comfort, generalized desirability function, expert assessment, complex indicator.

Ухудшение экологического состояния городской среды способствует актуализации вопроса о «качестве жизни» населения. Термин «качество жизни» раскрывается через «соответствие среды жизни человека его потребностям, интегрально отражаемое средней продолжительностью жизни, мерой здоровья людей и уровнями их заболеваемости». Благоприятный уровень качества жизни создаёт возможность для гармоничного существования и развития человека как биологического и социального организма [1–4].

Управление «качеством жизни» выражается в эффективном экологическом менеджменте состояния окружающей среды. Управление экологическими условиями городской среды осуществляется через экологическое нормирование, регулирование допустимого антропогенного воздействия на городскую систему и способствует достижению экологически безопасного и устойчивого развития урбанизированных территорий [3–6].

Современная «негативная» среда урбанизированных территорий требует создания «имиджа» комфортного города, для чего наряду с подготовкой нормативных требований по формированию благоприятной среды необходимо разрабатывать методологические подходы к количественной оценке и управлению её качеством при учёте множества факторов окружающей среды, охватывающих все сферы жизнедеятельности человека (рис. 1).

В связи с этим целью данной работы является формализация оценки экологического качества среды жизни и управления её состоянием для улучшения комфортности проживания человека. В основу управления качеством среды жизни человека положено построение многофакторной модели с использованием системы индикаторов, отражающих

Управление качеством окружающей среды урбанизированной территории

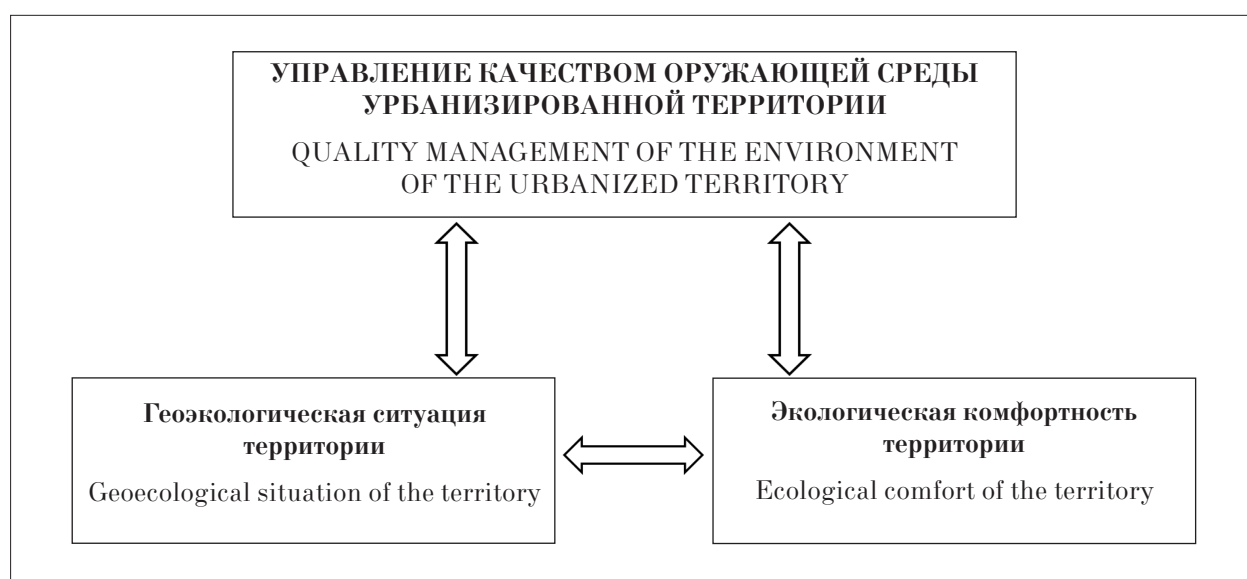


Рис. 1. Схема управления качеством окружающей среды урбанизированных территорий
 Fig. 1. The scheme of quality management of the environment of the urbanized territories

Таблица 1 / Table 1

Согласованность экспертных суждений согласно шкале Харрингтона [11]
Coherence of expert judgments according to Harrington's scale [11]

Коэффициент конкордации Concordance coefficient	Степень согласованности Coherence degree
0,80–1,00	очень высокая / very high
0,63–0,80	высокая / high
0,37–0,63	средняя / middle
0,20–0,37	низкая / low
0,00–0,20	незначительная / small

состояние отдельных компонентов городской среды [7, 8].

Методика исследования

Для построения математической модели, отражающей состояние городской среды, вначале была разработана единая совокупность факторов, влияющих на качество производственной, жилой и рекреационной сфер жизни человека. Учитывая комплексный характер воздействия природных и техногенных факторов на качество среды, дальнейшим шагом стало определение обобщённого показателя качества среды. Однако разработка такого комплексного показателя является достаточно сложной методологической задачей, поскольку суммарное воздействие факторов на природную среду не равносильно сумме воздействий отдельных факторов. Для разных типов функциональных сфер выбранные факторы имеют различный уровень предпочтительности для человека [9, 10].

Степень значимости факторов оценивалась путём их «взвешивания». Значения весовых коэффициентов важности влияющих факторов в функциональных сферах жизнедеятельности удалось определить экспертными методами [11–13]. Под методом экспертного оценивания следует понимать «методы выявления, формализации и обработки неявной, качественной, субъективной информации, которая может содержаться в мнениях, поведении и высказываниях людей» [12]. Особенно важным этапом в применение экспертного метода была верификация результатов опроса на согласованность суждений. Для проверки согласованности мнений использовался коэффициент конкордации Кендалла, так как экспертное оценивание проводилось путём ранжирования факторов. Коэффициент конкордации Кендалла означает, что суммарное мнение экспертов содержит объективную истину [11, 12].

В качестве экспертов выступали компетентные специалисты, однако степень согласованности их балльных оценок в опросе согласно шкале Харрингтона оказалась «низкой» (табл. 1), что привело к составлению нескольких подмножеств из результатов оценивания.

Такой подход, основанный на выделении подгрупп экспертов с коррелируемыми мнениями, позволил составить альтернативные математические модели для оценки и управления качеством городской среды. Для формализации многофакторной оценки экологического качества среды жизни человека предлагается использовать так называемую функцию желательности Харрингтона-Менчера, отражающую объективно действующие законы существования естественных систем [12].

Комплексный показатель качества городской среды (КПКС) рассчитывался по формуле:

$$D = \sqrt[w]{d_1^{w_1} \cdot d_2^{w_2} \cdot d_3^{w_3} \cdot d_4^{w_4} \cdot d_5^{w_5} \cdot d_6^{w_6}},$$

где $w = \sum_{i=1}^6 w_i$, как среднее геометрическое взвешенное частных показателей d_i ($i = 1 \dots 6$), отражающих состояние различных факторов, влияющих на качество среды; d_i – частный показатель качества компонента среды (атмосферного воздуха, акустического воздействия, почвенного слоя, водных ресурсов, обеспеченности территории зелёными насаждениями, доступности природно-рекреационных зон); w_i – значение весов частных показателей.

Основной принципиальной идеей использования комплексного показателя качества среды послужило преобразование натуральных значений частных параметров различной экологической сущности и размерности в единую безразмерную шкалу желательности (предпочтительности).

Связь между количественными показателями в комплексной геоэкологической оценке территории (пятибалльная шкала) и

психологическим восприятием экологической комфортности среды человека согласно шкале ЮНЕСКО рассмотрена в таблице 2.

Характерной особенностью расчёта комплексного показателя качества среды стало нахождение математических моделей для частных функций желательности в виде логистических кривых. Классическая теория частных функций желательности, описанная в [12], не соответствовала пятибалльной шкале изменения экологических показателей (рис. 2 а), представленная в [14]. Поэтому нам пришлось их модифицировать.

В связи с этим исходная формула частной функции для показателя «атмосферный воздух»:

$$d = 1 - \exp\left\{-\exp\left\{-\left[9\left(\frac{Y-3}{18}\right)^{1,834} - 2\right]\right\}\right\}$$

должна быть трансформирована в иную аналитическую формулу:

$$d = 1 - \exp\left\{-\exp\left\{-\left[4\left(\frac{Y-3}{18}\right)^{0,395} - 2,5\right]\right\}\right\}.$$

График этого выражения, представленный на рис. 2 б, после модификаций соответствовал той градации, которая была определена для этого фактора, согласно таблице 1 в [14]. Погрешность соответствия делений (градаций) шкал изменения значений факторов со шкалой желательности ЮНЕСКО составляла менее 10% (рис. 2 б).

Предлагаемый методический подход для оценки экологического качества городской

среды позволяет анализировать городскую территорию в целом, отдельные его районы и даже зоны с учётом выбранных факторов окружающей среды, а также изучать динамику экологической комфортности конкретной территории и проводить сопоставление с другими районами.

Результаты и обсуждение

В качестве примера реализации многофакторного управления состоянием городской экосистемы на основе комплексного показателя качества среды выбран жилой микрорайон Текстильщиков, г. Тирасполь (рис. 3).

Уровень экологической комфортности микрорайона Текстильщиков, рассмотренный в работе [15], характеризуется оценкой «условно опасный». Столь неблагоприятное качество среды обусловлено значительным загрязнением воздуха и сверхнормативными уровнями шума от интенсивных потоков легкового и грузового, железнодорожного транспорта, переносом вредных веществ, выбрасываемых промышленными предприятиями, удалённостью от природно-рекреационных пространств. Отрицательное воздействие на состояние экосистемы и качество среды оказывает высокое загрязнение ручья Колкотовый.

Конкретные значения частных факторов для оценки качества среды функциональных районов были определены на этапе исследования экологической ситуации [14]. Однако в данной работе в качестве критерия обеспеченности жилого микрорайона зелёными

Таблица 2 / Table 2

Связь значений комплексной оценки территорий и значений комплексного показателя качества городской среды (КПКС) / Relations of values of complex assessment of territories and values of a complex indicator of quality of the urban environment (CIQUE)

Комплексная геоэкологическая ситуация Complex geoeological situation	Уровень показателя (пятибалльная оценка) Indicator level (five-point assessment)	Экологическая комфортность (желательность) Ecological comfort (desirability)	Значение КПКС (отметки по шкале ЮНЕСКО) CIQUE value (marks on a scale of UNESCO)
Благоприятная / favorable	1	Очень хорошая / very good	0,88–1,00
Условно благоприятная / conditionally favorable	2	Хорошая / good	0,71–0,87
Удовлетворительная / satisfactory	3	Удовлетворительная / satisfactory	0,51–0,70
Напряжённая / intense	4	Плохая / bad	0,37–0,50
Критическая / critical	5	Очень плохая / very bad	0,00–0,36

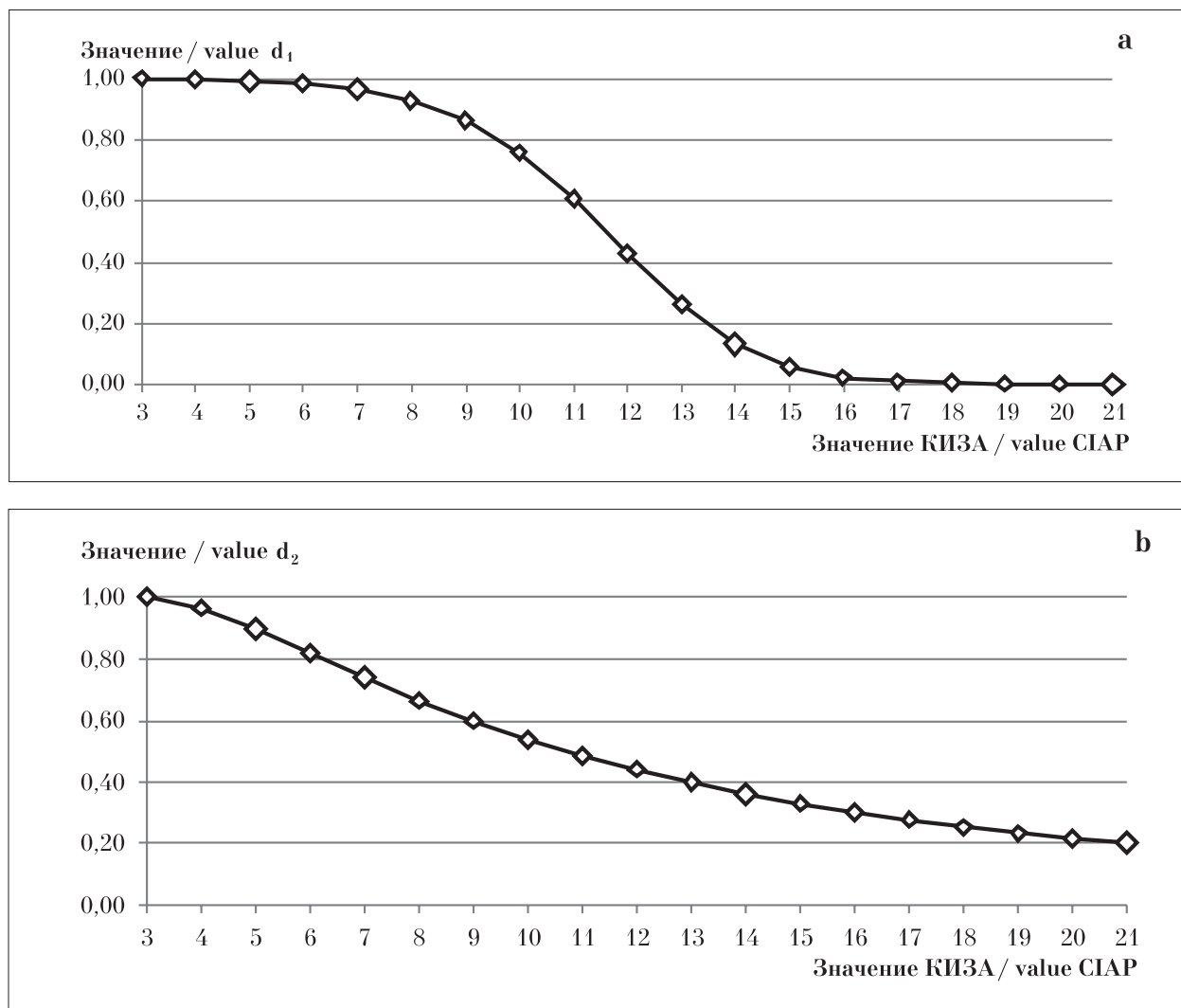


Рис. 2. Графики частных функций желательности: а) d_1 – для атмосферного воздуха по значению комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) согласно классической теории, б) d_2 – для атмосферного воздуха по значению КИЗА после модификации
Fig. 2. Plots of partial functions of desirability: а) d_1 – for atmospheric air on complex index of atmosphere pollution (CIAP) value according to the classical theory, б) d_2 – for atmospheric air on CIAP value after modification



Рис. 3. Территория микрорайона Текстильщикова, г. Тирасполь
Fig. 3. Territory of the Residential Tekstilshchikov microdistrict, Tiraspol

Таблица 3 / Table 3

Оценка экологической комфортности по результатам экспертного опроса /
Assessment of ecological comfort by results of expert poll

Номер группы экспертов Number of group of experts	Значение КПКС (D) Value CIQUE (D)	Экологическая комфортность согласно шкале ЮНЕСКО Ecological comfort according to a scale of UNESCO
1	0,44	Плохая / poor
2	0,43	
3	0,49	
Среднее значение по группам 1–3 / Average value on groups 1–3	0,45	

насаждениями общего пользования взят показатель соотношения площади озеленения высотной застройки, занятого древесно-кустарниковыми насаждениями, к площади территории многоэтажного сектора (в %).

Экологическая ситуация микрорайона Текстильчиков с учётом вышеперечисленных критериев представлена в виде вектора:

$$\vec{E}_{S_{19}} (14,8; 82; 19; 6,2; 48; 480),$$

что соответствует вектору значений частных показателей качества среды (ТС):

$$\vec{d}_{19} (0,34; 0,46; 0,38; 0,31; 0,75; 0,60).$$

Анализ результатов экспертного опроса показал отсутствие единого мнения респондентов о степени важности факторов, поэтому для оценки комфортности городской среды применены альтернативные математические формулы для нахождения значения комплексного показателя (табл. 3).

Вне зависимости от состава группы экспертов экологическая комфортность микрорайона Текстильчиков оценивается как «плохая».

Мероприятия по улучшению качества городской среды согласно представленной математической модели принимались системно, с учётом неблагоприятных состояний всех её компонентов.

Улучшение экологического состояния, повышение комфортности проживания населения и обеспечение устойчивого развития городской территории на перспективу представлено в виде следующего плана мероприятий с учётом приоритета всех показателей качества городской среды и индексов в комплексной оценке экологической ситуации (табл. 4).

Исходя из таблицы 4, управление состоянием городской среды при рассмотрении различных мнений групп экспертов практически

всегда (за исключением мероприятия **М1**) совпадает с результатами на основе усреднённой оценки мнения трёх групп экспертов. Поэтому целесообразно реализовывать на практике модель управления качеством среды на основе усреднённого значения оценок всех групп экспертов.

Для визуального восприятия стратегии управления качеством городской среды, представленной в таблице 4, использована графическая интерпретация результатов интегрального анализа разнообразных экологических показателей и оценок. Графическая схема характеризует не только текущее экологическое состояние управляемого объекта, но и то состояние, к которому необходимо стремиться. Диаграмма управления состоянием городской среды с учётом значений частных функций желательности (в %) для экологических показателей представлена на рисунке 4.

Исходя из графического представления (рис. 4) критерием успешности организации средоулучшающей политики, направленной на повышение комфортности проживания человека, служит условие:

$$P_{M4} \geq P_{M3} \geq P_{M2} \geq P_{M1} \geq P_{ТС}$$

где P_{M_i} – периметр многоугольника в результате реализации мероприятия M_i , ($i = 1...4$); $P_{ТС}$ – периметр многоугольника согласно комплексной геоэкологической ситуации территории на текущее состояние.

В случае микрорайона Текстильчиков можно утверждать, что для городской среды наиболее благоприятной является экологическая ситуация, определяемая последовательностью применения мероприятий «ТС → М1 → М2 → М3 → М4». Перспективное значение комплексного показателя качества среды для данной территории соответствует «хорошему» уровню экологической комфортности проживания человека. Таким образом,

Таблица 4 / Table 4
 План мероприятий с учётом приоритетов показателей качества городской среды и индексов в комплексной оценке экологической ситуации / The plan of measures taking into account priorities of indicators of the urban environment and indices in complex assessment of an ecological situation

№	Содержание мероприятия Content of an event	Экологический эффект от выполнения мероприятий Ecological effect of implementation of event	1**	2**	3***
М1	Сокращение выбросов автотранспорта в атмосферный воздух по периметру микрорайона Текстильщиков / Reduction of motor transport emissions in the ambient air along the perimeter of the Tekstilshchikov microdistrict	1. Значение комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) по расчётным данным уменьшится на 22% / The value of the complex index of atmospheric pollution (CIAP) according to the calculated data will decrease by 22%. 2. Уровни шума от транспортных потоков на автодорогах оцениваются значением: 70–75 дБА / Noise levels from traffic flows on highways are evaluated by the value: 70–75 dBA. 3. Снижение накопления тяжёлых металлов на 25% / Decrease in the accumulation of heavy metals by 25%.	1 гр./гр.	0,51	удовлетворительная / satisfactory плохая / bad удовлетворительная / satisfactory удовлетворительная / satisfactory
			2 гр./гр.	0,50	
			3 гр./гр.	0,55	
М2	Реконструкция зелёной защитной (буферной) зоны по периметру микрорайона / Reconstruction of the green protective (buffer) zone along the perimeter of the microdistrict	4. Увеличится обеспеченность микрорайона ЗПОП на 5% / The provision of the microdistrict with green zone will increase by 5%. 2. Значение КИЗА по расчётным данным снизится в среднем на 15–20% / The value of CIAP according to the calculated data will decrease by 15–20%. 3. Уровень акустического дискомфорта на территории жилой застройки будет равен 55–65 дБА / The level of acoustic discomfort in the residential territory will be equal to 55–65 dBA. 4. Концентрация тяжёлых металлов (свинца и его соединений) уменьшится от 30 до 50% / The concentration of heavy metals (lead and its compounds) will decrease by 30–50%.	СЗ/АВ	0,52	удовлетворительная / satisfactory
			1 гр./гр.	0,58	
			2 гр./гр.	0,56	
М3	Реконструкция озеленения многоэтажного сектора для формирования ландшафтно-пространственных и породно-возрастных насаждений / Reconstruction of landscaping of a multi-storey sector for the formation of landscape-spatial and species-age plantations	1. Увеличится обеспеченность многоэтажного сектора древесно-кустарни-ковыми породами на 15% / The provision of a multi-storey sector with tree and shrub species will increase by 15%. 2. Значение КИЗА по расчётным данным составит от 7 до 10% / The value of CIAP according to the calculated data will be from 7 to 10%. 3. Уровень акустического дискомфорта на территории многоэтажного сектора будет равен от 50 до 60 дБА / The level of acoustic discomfort in the multi-storey sector will be between 50 and 60 dBA.	СЗ/АВ	0,58	удовлетворительная / satisfactory
			1 гр./гр.	0,62	
			2 гр./гр.	0,60	
М4	Благоустройство сквера для отдыха населения микрорайона в водоохранной зоне ручья Колкотовый и на прилегающей к ней территории / Landscaping of the square for rest of the population of the microdistrict in the water protection zone of the Kolkotovy stream and on the adjacent territory	1. Удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ) для ручья Колкотовый (в границах этой территории) будет соответствовать значению от 2 до 4 / Specific combinatorial index of water pollution for the Kolkotovy stream (within the boundaries of this territory) will correspond to a value from 2 to 4. 2. Радиус доступности природно-рекреационных зон для жителей микрорайона составит до 350 м / The radius of accessibility of natural-recreational zones for residents of the microdistrict will be less than 350 m.	СЗ/АВ	0,62	удовлетворительная / satisfactory
			1 гр./гр.	0,73	
			2 гр./гр.	0,73	
			3 гр./гр.	0,65	хорошая / good
			3 гр./гр.	0,74	
			СЗ/АВ	0,73	

Примечание / Note: 1* – номер группы экспертов / number of group of experts; 2** – значение КИПС / value CIQUE; 3*** – комфортность среды по шкале ЮНЕСКО / ecological comfort according to a scale of UNESCO; СЗ/АВ – среднее значение / average value

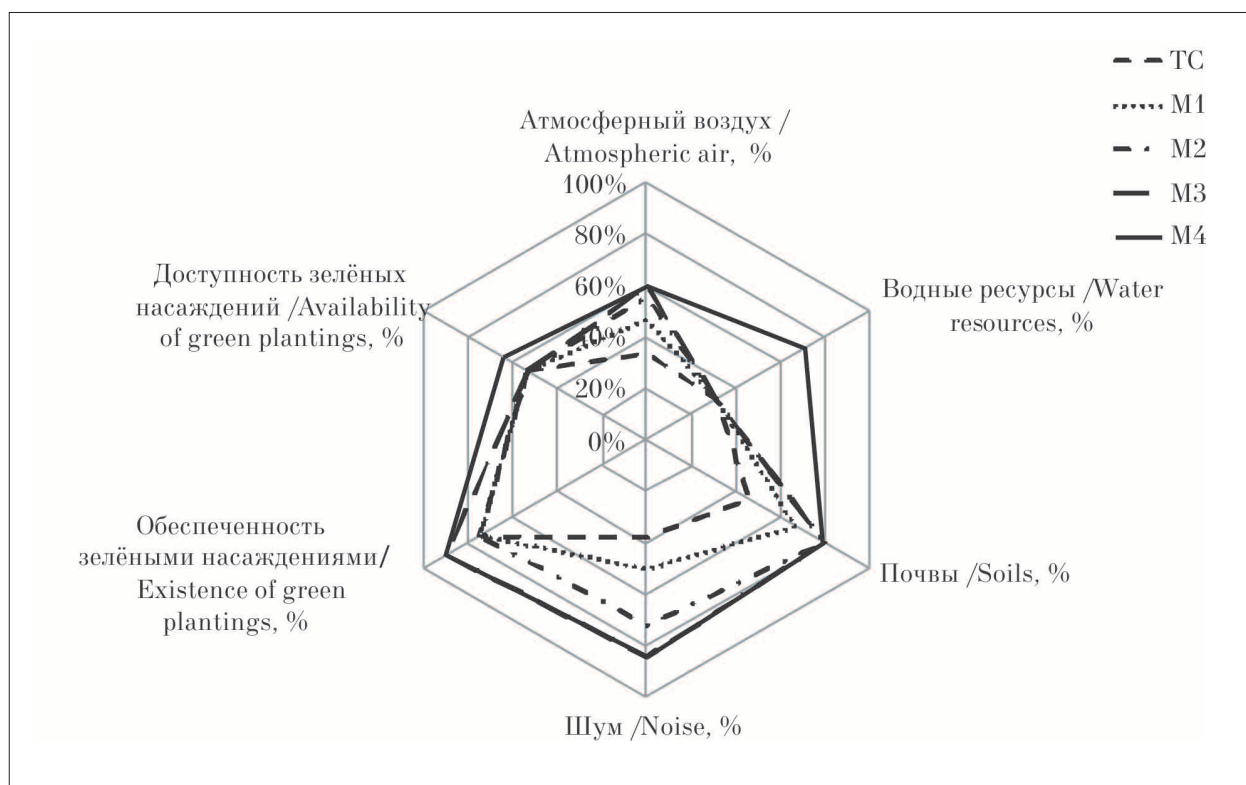


Рис. 4. Диаграмма управления качеством окружающей среды (на примере микрорайона Текстильщиков, г. Тирасполь)
Fig. 4. The chart of quality management of the environment (on the example of the Residential Tekstilshchikov microdistrict of Tiraspol)

сравнивая последовательность состояний в динамике реализации мероприятий, можно выявлять и предупреждать опасные отклонения от нормального состояния, повышать комфортность территории с учётом предпочтений и потребностей населения.

Выводы

Для управления качеством городской среды предложена математическая модель с использованием шести экологических показателей.

Разработан комплексный показатель качества жизни в городе на основе обобщённой функции желательности с учётом весовых коэффициентов важности факторов окружающей среды: загрязнение атмосферного воздуха, уровень акустического воздействия, состояние почвенного слоя, качество водных ресурсов, обеспеченность территории зелёными насаждениями, доступность природно-рекреационных зон.

Управление комфортностью проживания населения в г. Тирасполь осуществляется в форме плана средоулучшающих мероприятий. Реализация управления представлена в

виде многофакторной графоаналитической схемы.

Экологическая комфортность микрорайона Текстильщиков (г. Тирасполь), определяемая последовательностью применения природоохранных мероприятий, повышается от категории «*плохая*» до уровня «*хорошая*».

Исследование выполнено в рамках темы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг., 0148-2014-0027, рег. № 01201352469.

Литература

1. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: Учебное пособие. Москва – Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.
2. Richard T.T. Forman. URBAN REGIONS – ecology and planning beyond the city // Cambridge University Press. 2008. 478 p.
3. Gehl J. Cities for people. Washington-Covelon-London: Island Press. 2010. 288 p.
4. Jacobs J. The death and life of great American cities. New York: Vintage books, 1961. 473 p.
5. Planning sustainable cities. Global report on human settlements 2009 // United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). 2009. 305 p.

6. Кочуров Б.И., Юлинов В.Л. Экономика природопользования: Учебное пособие. М.: ЛЕНАНД, 2015. 232 с.

7. Muzalevsky A.A., Isidorov V.A. The urban ecosystem and the method of its description in terms of quality indices. In environmental indices systems analysis approach. EOLSS Publishers Co. Ltd. Oxford, UK. 1998. P. 467–475.

8. Muzalevsky A.A. A systems approach to the problem of environmental indicators and sustainable development indices. Terms, definitions, dimensions, units. structuration and classification. Second biennial international conference “Indices-99”. Russia, St.-Petersburg, 1999. Abstract book. P. 95–97.

9. Lindstrom H., Skansholm J. How to make your own simulation system // Software-Practice and Experience. 1981. V. 11. No. 6. P. 629–637.

10. Efron B. Computers and the theory of statistics: unthinkable // SIAM Review, 21. 1979. P. 460–480.

11. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография. Архангельск: Поморский университет, 2008. 236 с.

12. Долгов Ю.А. Статистическое моделирование: Учебник для вузов. Тирасполь: Изд-во Приднестровского ун-та, 2011. 346 с.

13. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учебник в 3 ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.

14. Сокольская Е.В., Ивашкина И.В. Пространственная оценка экологической ситуации г. Тирасполь на основе ГИС-технологий // Проблемы региональной экологии. 2016. № 6. С. 105–112.

15. Сокольская Е.В., Кочуров Б.И. Количественная оценка экологической комфортности городской среды с использованием экспертных мнений (на примере г. Тирасполь) // Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов: Материалы первого международного экологического форума в Рязани. Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, 2017. Т. 1. С. 186–192.

3. Gehl J. Cities for people. Washington-Covelondon: Island Press. 2010. 288 p.

4. Jacobs J. The death and life of great American cities. New York: Vintage books. 1961. 473 p.

5. Planning sustainable cities. Global report on human settlements 2009 // United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). 2009. 305 p.

6. Kochurov B.I., Yulinov V.L. Environmental economics: a training manual. Moskva: LENAND, 2015. 232 p. (in Russian).

7. Muzalevsky A.A., Isidorov V.A. The urban ecosystem and the method of its description in terms of quality indices. In environmental indices systems analysis approach. EOLSS Publishers Co. Ltd. Oxford, UK. 1998. P. 467–475.

8. Muzalevsky A.A. A Systems Approach to the problem of environmental indicators and sustainable development indices. Terms, definitions, dimensions, units. structuration and classification. Second biennial international conference “Indices-99”. Russia, St.-Petersburg, 1999. Abstract book. P. 95–97.

9. Lindstrom H., Skansholm J. How to make your own simulation system // Software-Practice and Experience. 1981. V. 11. No. 6. P. 629–637.

10. Efron B. Computers and the theory of statistics: unthinkable // SIAM Review, 21. 1979. P. 460–480.

11. Korobov V.B. Expert methods in geography and geoeology. Arkhangelsk: Pomorskiy universitet, 2008. 236 p. (in Russian).

12. Dolgov Yu.A. Statistical modeling: A training manual for high schools. Tiraspol: Izdatelstvo Pridnestrovskogo universiteta, 2011. 346 p. (in Russian).

13. Orlov A.I. Organizational-economic modeling: a training manual in 3 parts. Part 2: Expert assessments. Moskva: MGTU im. N.E. Bauman, 2011. 486 p. (in Russian).

14. Sokolskaya E.V., Ivashkina I.V. The spatial assessment of the environmental situation of Tiraspol based on GIS-technology // Problemy regionalnoy ekologii. 2016. No. 6. P. 105–112 (in Russian).

15. Sokolskaya E.V., Kochurov B.I. Quantitative assessment of ecological comfort of the urban environment using expert opinions (on the example of Tiraspol) // Healthy environment – the basis of regional security: Materialy pervogo mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma v Ryazani. Ryazan: FGBOOU VO RGATU, 2017. V. 1. P. 186–192 (in Russian).

References

1. Kochurov B.I. Eco-diagnostics and balanced development. Moscow, Coursebook, Smolensk: Magenta, 2003. 384 p. (in Russian).

2. Richard T.T. Forman. URBAN REGIONS – ecology and planning beyond the city // Cambridge University Press. 2008. 478 p.