

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТОМ РОЛИ СОХРАНИВШИХСЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ Г. КИЕВА)

© 2018 Н.В. Мирошник, И.К. Тесленко

Институт эволюционной экологии НАН Украины, г. Киев (Украина)

Поступила 20.07.2018

Представлены результаты оценки уровня антропогенной нагрузки на территорию административных районов г. Киева. С учётом принципов экологического нормирования и основных факторов, деформирующих природную среду, была проведена верификация интегрального индекса антропогенной нагрузки на урбоземосистему в процедуре экологического зонирования крупного промышленного центра на примере г. Киева по степени антропогенной нагрузки с учетом роли сохранившихся естественных экосистем, что позволяет оценивать фактический масштаб их трансформации, временную и пространственную динамику, риск дестабилизации. Выявлено, что самыми неблагоприятными являются центральные районы города – Соломенский, Шевченковский и Печерский. Количество сохранившихся зеленых насаждений, а так же плотность дорожно-транспортной сети района оказывают существенное влияние на величину индекса антропогенной нагрузки.

*Ключевые слова:* экологическое зонирование, антропогенная нагрузка, многомерный статистический анализ.

**Miroshnyk N., Teslenko I. Environmental zoning of territories with account of the role of preserved natural ecosystems (on the example of Kiev).** – In result of the level estimation of anthropogenic load on the territory of the administrative districts of Kiev are presented. The verification of the integrated index of anthropogenic load on the urban ecosystem in the procedure of ecological zoning of a large industrial center was carried out based on the example of the city Kiev according to the degree of anthropogenic load, taking into account the role of the preserved natural ecosystems. This allows us to assess the actual scale of their transformation, temporal and spatial dynamics, the risk of destabilization. It was revealed that the most unsuccessful are the central districts of the city Solomensky, Shevchenkivsky and Pechersky. The number of preserved green spaces, as well as the density of the road transport network of the region, have a significant effect on the magnitude of the anthropogenic load index.

*Key words:* ecological zoning, anthropogenic load, multidimensional statistical analysis.

Усиление и ускорение урбанизации приводит к уничтожению природных и измененных с участием природных, экосистем, что в свою очередь негативно влияет на глобальные процессы в масштабах планеты, а также здоровье и способность выживать – человечества (Ji-yuan et al., 2002; Лавров, 2003, 2009; Рыбак, 2015). Особенно конфликтны отношения «природа–человек» в крупных и средних городах (Лавров, 2003, 2009; Рыбак, 2015; Veselkin et

al., 2015; Костина, 2017). Комплексное антропогенное влияние осуществляют промышленность, коммунальное хозяйство, транспорт, рекреация населения, масштабные выбросы загрязняющих веществ, в том числе не разлагаемых, чуждых биосфере, в окружающую природную среду (ОПС).

Ученые всего мира работают в сфере решения вопросов уменьшения антропогенного пресса на природу и тем самым, сохранения биосферы, например в сфере устойчивого развития (Лавров, 2009; Mikhailova, Pleshanov et al., 2011; Костина, Розенберг и др., 2014; Костина, 2017), сохранения ландшафтов (Лавров, 2003, 2009) и биоразнообразия (Лавров, 2003;

---

Мирошник Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, miroshnik\_n\_v@mail.ru; Тесленко Игорь Константинович; igor1984@meta.ua

Venevsky, 2006; Pártl, Vačkář et al., 2017), экологической оценки, нормирования, контроля, прогнозирования антропогенных нагрузок на ОПС (Гелашвили, Басуров и др., 2003; Костина, 2017). Приоритетным направлением экологических исследований является оценка масштабов антропогенной нагрузки и границ устойчивости экосистем к ней. Ученые разрабатывают направления интегрального оценивания состояния урбоэкосистем, природных систем в условиях городов (Seidling, 2005; Venevsky, 2006; Mikhailova, Pleshanov et al., 2011); предотвращения экологических рисков для лесных и урбоэкосистем (Mill, 2000; Graham, Quigley et al., 2000; Ji-yuan, Watanabe et al., 2002; Xu et al., 2015; McDonough et al., 2017; Pártl et al., 2017); изучение градиентов урбанизации (Veselkin et al., 2015; Vyvolova, Trifonova, 2016); принципов индикации устойчивости экосистем (Лавров, 2003, 2009; Xu et al., 2015). Обоснованы интегральные оценки антропогенной нагрузки на урбоэкосистемы, сочетающие биоэкологические, эколого-экономические и социальные показатели (Гелашвили, Басуров и др., 2003; Зазнобина 2007, 2008; Костина, Розенберг и др., 2014). Поэтому активизация исследований в сфере оценки состояния природных экосистем зеленых зон вокруг промышленных городов является весьма актуальной задачей.

В экологии город ряд ученых рассматривают как сложную открытую зависящую от человека экосистему и подразделяя на более простые либо сравнивая с некой «идеальной» или природной экосистемой, исследуют процессы и проблемы, в нем происходящие. Наиболее удачным на наш взгляд для анализа техногенного воздействия на ОПС городских агломераций является понятие города как гетеротрофной экосистемы у Ю. Одума (1986), с чем согласны и ряд других ученых (Лавров, 2003, 2009; Зазнобина 2007, 2008; Беднова, 2012). В связи с накоплением отходов в городской среде (атмосфере, гидросфере, почве) урбоэкосистемы крайне неустойчивы и не могут находиться в равновесном регулируемом состоянии, поэтому их относят к категории «экологических паразитов» (Pártl, Vačkář et al., 2017), а некоторые авторы, учитывая глубину преобразования природных экосистем – к катастрофическим. Природа не может справиться с последствиями урбанизации, поскольку теряет способность к саморегуляции и восстановлению (Беднова, 2012, Антомонов, Русакова и др., 2015; Pártl et al., 2017), что ведет к глобальным процессам опустынивания, потепления климата, перераспределения наземных экосистем и границ мирового океана.

Условием устойчивости и саморегуляции экосистем является сохранение функционирования и направленности биогеохимических циклов, потоков энергии, вещества, информации (Гелашвили, Басуров и др., 2003) и структурно-функциональной организации самой экосистемы (Лавров, 2003). В пределах урбоэкосистем оценки равновесности процессов, нарушения связей, состояния структурных компонентов, устойчивости, является сверхсложной и важной задачей эволюционной экологии. Остатки природных экосистем в пределах урботерриторий являются стабилизирующими звеньями и требуют подходов к своему сохранению и использованию. Разработка системы методов оценки уровня антропогенного воздействия на их территории должна производиться с учетом роли сохранившихся естественных экосистем, как стабилизирующих компонентов; в условиях урбоэкосистемы ими могут выступать зеленые насаждения (Гелашвили, Басуров и др., 2003; Лавров, 2003, 2009).

Поскольку в сложных биологических системах трудно вести исследование процессов, явлений и взаимосвязей из-за сложности учитывания всех факторов влияния, учеными предложены интегральный (Костина, Розенберг и др., 2014; Рыбак, 2015; Костина, 2017) и системный подходы (Лавров, 2003, 2009; Беднова, 2012) в этом классе исследований биологических объектов (рис. 1).

Благодаря математическим и статистическим методам стало возможно компактно и информативно описывать и анализировать большое количество разнородных данных для максимально объективного отражения реального состояния исследуемого объекта, что особенно актуально для экосистем как сложных иерархических открытых структур. Важное место в анализе больших массивов данных занимают методы формирования интегральных показателей состояния исследуемых систем, являющихся способом информативной свертки множества исходных показателей в один. Несмотря на довольно сложную последовательность формирования, сам интегральный показатель позволяет исследователю с одной стороны существенно упростить работу с данными (скорость расчета и простота интерпретации), а с другой – повысить качество анализа, оценки, сравнения сложных систем по множеству исходных показателей, как каждую в отдельности, так и несколько вместе (Антомонов, Русакова и др., 2015). Интегральные показатели, как объединение многих исходных переменных в одну характеристику, могут быть инструментом критерияльной оценки, сравнительного сопоставле-

ния объектов между собой, выбора лучшей альтернативы, описания динамики изменения системы, прогнозирования ее состояния в будущем. Они обнаруживают, моделируют и объясняют законы поведения целых явлений в сложных системах, но их существенным недостатком является то, что агрегируя массив данных, они могут не учитывать некоторые важные параметры явлений, которые описывают, в результате чего возникают разногласия в оценках состояния исследуемых объектов по разным показателям (Антомонов и др., 2015), особенно в сложных биологических системах, для которых характерны явления аддитивности, эмерджентности, инерционности, резистентности связей и процессов, протекающих в них. Известно, что сложные системы обладают простыми (аддитивными) и сложными (неаддитивными) свойствами (Костина и др., 2014). Как доказывает репрезентативная теория измерений, такие показатели сложных характеристик сложных систем являются, как правило, неаддитивными и их агрегирование нельзя проводить путем расчета средневзвешенных величин, поскольку имеет место проявление экологического принципа лимитирующих факторов и закона критических значений фактора, т.е. если лишь один из анализируемых параметров экосистемы превысил летально опасный уровень, а все остальные показатели находятся на безопасном уровне воздействия, то комплексный индекс, построенный с использованием гипотезы аддитивности, может оценить текущую экологическую обстановку как вполне стабильную, хотя она является катастрофической. Поэтому другим возможным вариантом синтеза комплексных показателей является метод оценки расстояния до критического звена, например, использование в качестве метрики пространства расстояния по Евклиду, тогда будет подчеркнута влияние отдельных координат, имеющих аномально большие разности, поскольку они возводятся в квадрат (получается, своего рода, «мера диссонанса» (Брагазин и др., 2014; Костина и др., 2014) (рис. 2).

Объект исследования – Киев – крупнейший город, столица, промышленный, научный и культурный центр Украины; расположен в центре Восточной Европы, на севере Украины, на границе Полесья и Лесостепи по обе стороны реки Днепр, что определяет сложность и контрастность его ландшафтной структуры. Площадь города 836 км<sup>2</sup>, включая зеленую зону (460 км<sup>2</sup> или 55%), акватории (62 км<sup>2</sup>, 7%), искусственные урбоэкосистемы (314 км<sup>2</sup>, 38%), застроенные земли города – 364,0 км<sup>2</sup> (43,5%) (Рішення КМР..., 2005; Статистичний щоріч-

ник..., 2017). Совокупное население Киева, вместе с незарегистрированными гражданами – 3,14 млн чел. (Статистичний щорічник..., 2017). Вместе с окружающими пригородами Киев образует Киевскую агломерацию с совокупным населением по разным оценкам от 3,4 до 5 млн жителей и является показательным объектом значительной антропогенной нагрузки. Мегалополис имеет мощную систему зеленых насаждений и объектов природно-заповедного фонда. Наибольшую долю зеленой зоны города составляют хвойные и смешанные леса – 327 км<sup>2</sup> (39%), лиственные леса занимают площадь 42 км<sup>2</sup> (5%), агроэкосистемы, парки и скверы охватывают 33 км<sup>2</sup> (4%), на 1 городского жителя приходится 19 м<sup>2</sup> зеленых насаждений в пределах селитебных территорий. Сеть парков, скверов, бульваров, озелененных улиц и других насаждений тесно связана за счет «зеленых клиньев» с насаждениями лесопаркового пояса, окружающего город (Святошинское, Пушча-Водицкое лесничества, лесопарковое хозяйство «Конча-Заспа»), а дальше, за пределами города, с периферийной частью зеленой зоны. Территория зеленых насаждений всех видов в пределах города составляет около 56,5 тыс. га или 67,4% всей площади (Рішення КМР..., 2005; Статистичний щорічник ..., 2017). В то же время комплексное антропогенное влияние на экосистемы города осуществляется по трем векторам: промышленное загрязнение, автотранспорт, рекреация, и, следовательно, – высокие объемы твердых отходов. Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Киеве как одно из последствий урбанизации представляет угрозу здоровью населения и ОПС. Аэротехногенное загрязнение города обусловлено выбросами стационарных (промышленные предприятия, ТЭЦ) и передвижных источников (речной и автотранспорт, авиационная техника). Объемы выбросов аэрополлютантов от стационарных и передвижных источников свидетельствуют о ежегодном росте вредных выбросов в атмосферу. В частности, самыми опасными для зеленых насаждений городов являются чрезмерные концентрации аэрофитотоксикантов NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>), SO<sub>2</sub>, формальдегид, фенол, тяжелые металлы (Cu, Pb, Ni, Cr, Cd, Co, Zn), источниками поступления в ОПС которых являются промышленные предприятия, ТЭЦ и автотранспорт (Гончар, Гродзинська и др., 2016; Основні показники охорони ..., 2017).

Наши исследования направлены на совершенствование методических основ интегральной оценки состояния парковых лесных экосистем в условиях больших городов (на примере г. Киева) и определения направления процес-

сов, происходящих в них (Гончар, Гродзинська и др., 2016; Мірошник, Тесленко, 2018; Мірошник та ін., 2018), что позволяет оценить их состояние под влиянием комплексной антропогенной нагрузки, выявить наиболее острые экологические проблемы и предложить меры, направленные на их сохранение и поддержание. Для дальнейших исследований состояния парковых экосистем, как стабилизирующих структур урбоэкосистемы Киева, возникла необходимость оценить базовый уровень антропогенной нагрузки. Таким образом, **цель работы** – оценить экологическую ситуацию в административных районах г. Киева с помощью расчета интегрального индекса антропогенной нагрузки по (Зазнобина, 2007, 2008) и риск-оценки (Смельянова, 2017), провести экологическое зонирование по степени экологического неблагополучия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для количественной оценки антропогенной нагрузки на административные районы Киева нами использован интегральный индекс антропогенной нагрузки ( $J_{ai}$ ), предложенный (Гелашвили, Басуров и др., 2003; Зазнобина, 2007, 2008; Брагазин, Маркелов и др., 2014) по формуле (1). Нормирование проводили путем деления текущего значения показателя для данного административного района на его суммарное значение в целом по городу. Для анализа антропогенной нагрузки на территорию г. Киева использовали официальные статистические данные (Основні показники охорони..., 2017; Статистичний щорічник..., 2017), а так же (Тарабан, 2013; Смельянова, 2017; Цимбалюк, 2017).

$$J_{ai} = (\alpha \cdot \delta \cdot k) \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i, \quad (1)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент нарушенности хозяйственной деятельностью территории;

$p$  – нормированная плотность населения;

$I_i$  – нормированный базовый показатель,  $i = 7$ ;

$k$  – размерный множитель,  $k = 10$ ;

$n$  – число параметров.

Индекс антропогенной нагрузки рассчитан на основе семи базовых нормированных показателей:

$I_1$  – суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха веществами (формальдегид, бенз/а/пирен, нитрозодиметиламин, нитрозодиметиламин, кадмий, никель, свинец, хром) в разных районах г. Киева ( $C/ПДК \times k$ , где  $C$  – концентрация вещества,  $ПДК$  – предельно допустимая концентрация в воздухе,  $k$  – коэффициент, учитывающий класс опасности вещества:

для 1-го класса – 0,8; 2-го – 0,9; 3-го – 1,0; 4-го – 1,1) (Цимбалюк, 2017, с. 105);

$I_2$  – количество предприятий, которые осуществляли выбросы в окружающую среду, единиц (Основні показники охорони..., 2017; Статистичний щорічник..., 2017);

$I_3$  – концентрации приоритетных канцерогенных веществ в атмосферном воздухе различных районов г. Киева (усредненные данные за год, мкг/м<sup>3</sup>) (Цимбалюк, 2017);

$I_4$  – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками загрязнения по районам в 2016 году, тыс. т (Статистичний щорічник..., 2017);

$I_5$  – забор, сброс и безвозвратное водопользование в 2016 году по районам, млн м<sup>3</sup> (Статистичний щорічник..., 2017);

$I_6$  – образование отходов по классам опасности в 2016 году по районам, тыс. т (Статистичний щорічник..., 2017);

$I_7$  – насыщенность территории города улично-дорожной сетью в пределах районов, км/км<sup>2</sup> (Тарабан, 2013) (табл. 1).

Нормированная плотность населения ( $p$ ) и нарушенность хозяйственной деятельностью территорий ( $\alpha$ ), фактически характеризуют их «экологическую емкость» (Зазнобина, 2008) и, таким образом, учитывают площадь сохранившихся естественных экосистем.

Коэффициент нарушенности хозяйственной деятельностью территории ( $\alpha$ ) вычисляли как соотношение ненарушенных и нарушенных земель, где в качестве ненарушенных территорий были взяты площади зеленых насаждений в каждом административном районе, а в качестве нарушенных – общая площадь каждого административного района (ф-ла 2).

$$\alpha = \frac{S_{\delta-i\alpha} - S_{\zeta.i.}}{S_{\delta-i\alpha}} = 1 - \frac{S_{\zeta.i.}}{S_{\delta-i\alpha}}, \quad (2)$$

где:  $S_{p-n}$  – площадь административного района, км<sup>2</sup>;  $S_{z.n.}$  – площадь зеленых насаждений в данном районе, км<sup>2</sup>.

При увеличении доли зеленых насаждений, когда значение  $S_{z.n.}$  приближается к таковому  $S_{p-n}$ , нарушенность снижается и  $\alpha$  стремится к 0. Напротив, при  $S_{z.n.}$  стремящейся к 0, нарушенность возрастает, при этом  $\alpha$  стремится к 1, а  $J_{ai}$  – к максимальным значениям (Зазнобина, 2008).

Нормированную плотность населения вычисляли по формуле:

$$\delta = \frac{\delta_{\delta-i\alpha}}{\delta_{ai\delta i\alpha}}, \quad (3),$$

где:  $P_{p-n}$  – плотность населения административного района, чел/км<sup>2</sup>;  $P_{города}$  – плотность населения города, чел/км<sup>2</sup>.

Затем рассчитывали величину классового интервала по формуле (Зайцев, 1990):

$$C = \frac{[(X_{max} - X_{min}) \cdot \lg 2]}{\lg N} \quad (4)$$

где:  $X_{max}$  – максимальное значение индекса антропогенной нагрузки;

$X_{min}$  – минимальное значение индекса антропогенной нагрузки;

$N$  – объем выборки, соответствует числу значений индекса антропогенной нагрузки в пределах интервала (min ÷ max).

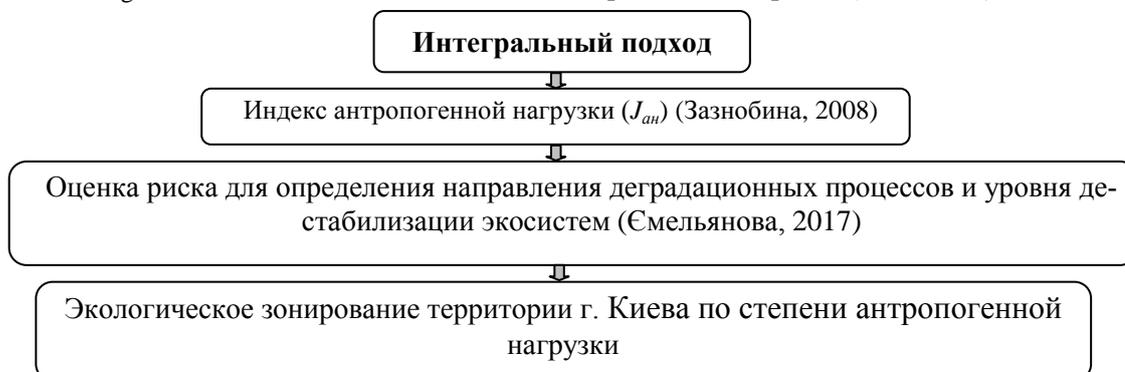


Рис. 1. Схема оценивания экологической ситуации в пределах урбоэкосистемы г. Киева с учетом роли сохранившихся естественных экосистем с помощью интегрального индекса антропогенной нагрузки

Экологический риск (*Risk*) для рассматриваемого состояния экосистем оценивали по вероятностной характеристике несоответствия для экосистемы в целом, где  $Risk = -I \cdot \ln(1-I)$  (5) (Ємельянова, 2017). Таким образом определяем нагрузку на урбоэкосистемы, а дополнительное использование риск –  $\square$  анализа позволяет прогнозировать последствия антропогенного воздействия на ОПС (Ємельянова, 2017) (рис. 1).

Но учитывая, что значения  $J_{ан}$  для условий Киева больше единицы, то формула была модифицирована:  $Risk = -I \cdot \ln(1/I)$  (6).

При увеличении значений риска возрастает вероятность дестабилизации урбоэкосистемы, что напрямую зависит от площади и состояния зеленых насаждений города и концентрации аэрофитотоксикантов в воздухе (табл. 2).

Расчеты проводили с помощью программ Microsoft Exel, Statistica 10. Для построения карты города, отражающей экологическую си-

туацию использовали пакет графических редакторов Corel Draw.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью интегрального индекса антропогенной нагрузки ( $J_{ан}$ ) была оценена экологическая обстановка в каждом административном районе г. Киева по уровню загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, насыщенностью территории города улично-дорожной сетью и т.п. в 2016 г. (табл. 1, 2).

По формуле (4) рассчитана величина классового интервала, составившая 3,43, что позволило выделить пять классов экологической ситуации (табл. 3). На основе рассчитанных значений  $J_{ан}$  и в соответствии с установленными градациями экологической ситуации построена карта экологического зонирования административных районов г. Киева (рис. 3).

Таблица 1

Значения базовых нормированных показателей индекса антропогенной нагрузки

Районы г. Киева	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$\alpha$	$p$
Голосеевский	0,85	0,15	0,57	0,14	0,935	0,05	0,11	0,93	0,45
Дарницкий	1,56	0,06	1,64	0,04	0,002	0,08	0,13	0,97	0,74
Деснянский	0,87	0,04	0,27	0,15	0,011	0,01	0,10	0,96	0,72
Днепровский	1,05	0,09	0,53	0,57	0,029	0,23	0,19	0,83	1,52
Оболонский	0,85	0,13	0,62	0,01	0,007	0,02	0,12	0,94	0,84
Печерский	1,20	0,05	0,98	0*	0,001	0,07	0,53	0,81	2,26
Подольский	1,17	0,10	1,14	0,02	0,001	0,01	0,45	0,94	1,68
Святошинский	0,84	0,10	0,90	0,02	0,003	0,01	0,17	0,97	0,95
Соломенский	0,83	0,16	1,71	0,02	0,002	0,06	0,53	0,93	2,61
Шевченковский	1,59	0,12	1,63	0,02	0,009	0,46	0,67	0,82	2,43

Примечание. \* – нет данных официальной статистики.

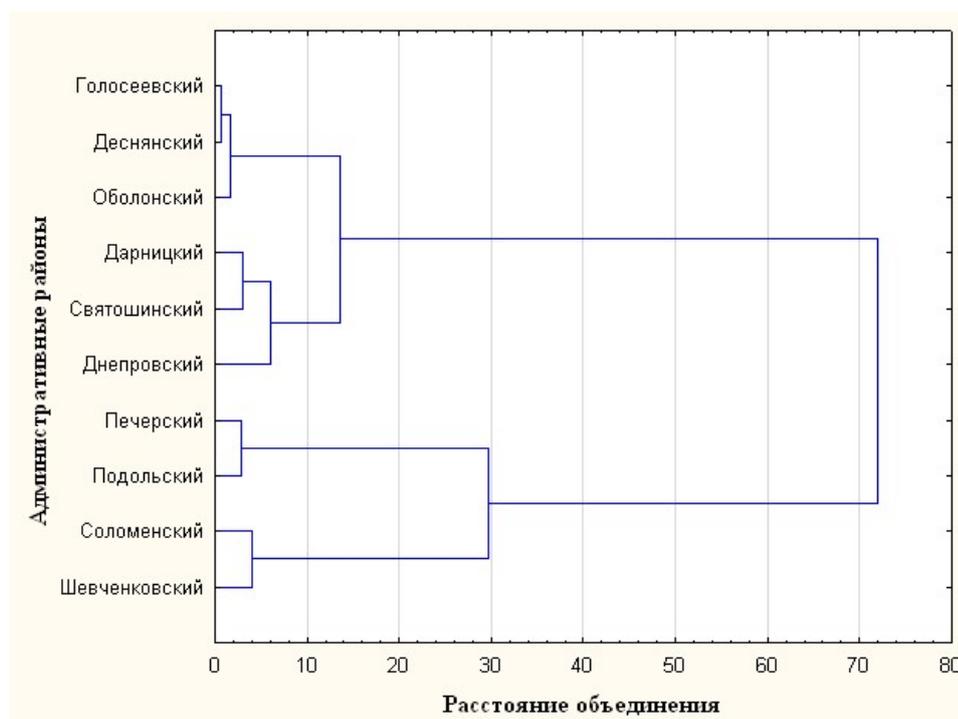
Таблица 2

**Экологическая ситуация в административных районах г. Киева в 2016 г. по значениям индекса антропогенной нагрузки и риска**

Районы г. Киева	Индекс антропогенной нагрузки ( $J_{ан}$ )	Характеристика экологической ситуации	Risk-оценка
Голосеевский	1,66	Очень хорошая	0,84
Дарницкий	3,64	Хорошая	4,70
Деснянский	1,42	Очень хорошая	0,50
Днепровский	4,85	Хорошая	7,66
Оболонский	1,99	Очень хорошая	1,37
Печерский	7,39	Удовлетворительная	14,78
Подольский	6,49	Хорошая	12,14
Святошинский	2,69	Очень хорошая	2,66
Соломенский	11,54	Плохая	28,22
Шевченковский	12,82	Плохая	32,70

Проверку разбиения полученных для различных районов значений  $J_{ан}$  на группы с различной антропогенной нагрузкой проводили с помощью кластерного анализа, используя Евклидовое расстояние, для объединения класте-

ров пользовались методом Варда (Ward, 1963), в основе которого лежит дисперсионный анализ оценки расстояний между кластерами (рис. 2).



**Рис. 2. Кластеризация 10 административных районов г. Киева по значениям индекса антропогенной нагрузки ( $J_{ан}$ ) в 2016 г.**

Самыми неблагополучными являются центральные районы города – Соломенский, Шевченковский и Печерский (рис. 3). В Соломенском районе размещены наибольшие транспортные объекты столицы – железнодорожные станции Киев-Пассажирский и Киев-Товарный, аэропорт Киев (Жуляны). В районе около 65 промышленных предприятий, что составляет 7,2% от общей численности по Киеву. В Шев-

ченковском районе 71 предприятие (7,9%), он занимает первое место по количеству твердых бытовых отходов (Основні показники охорони..., 2017; Статистичний щорічник..., 2017), т.к. является густонаселенным застроенным районом. Печерский район – наименьший по площади, густонаселенный, с высоким процентом высотной застройки и автодорог, занимает третье место по выбросам твердых бытовых

отходов. И хотя в нем находится всего 30 промышленных предприятий (3,3% от общей численности по городу), но высокая загруженность и плотность автодорог, населенность, плотность застройки, высокие концентрации канцерогенов, фитотоксикантов в воздухе и низкая насыщенность качественными зелеными насаждениями ставят его на третье место по

неблагополучию экологической ситуации в городе. Хорошая экологическая ситуация по числовым значениям индекса в Дарницком, Днепровском, Подольском районах; очень хорошая – в районах, которые размещены на окраинах города и граничат с его «зеленым поясом» лесопарков.

Таблица 3

Градации экологической ситуации по значению индекса антропогенной нагрузки г. Киева

Класс	Значения индекса	Характеристика экологической ситуации
1	<3,43	Очень хорошая
2	3,44÷6,86	Хорошая
3	6,87÷10,29	Удовлетворительная
4	10,30÷13,72	Плохая
5	>13,72	Очень плохая

*Risk*–оценка усиливает отражение экологической ситуации по районам, с увеличением ее значений ситуация иллюстрируется как более плохая, что указывает на нестабильность эко-

систем в этих районах и интенсивные деградиционные процессы под значительным антропогенным прессом (табл. 2).

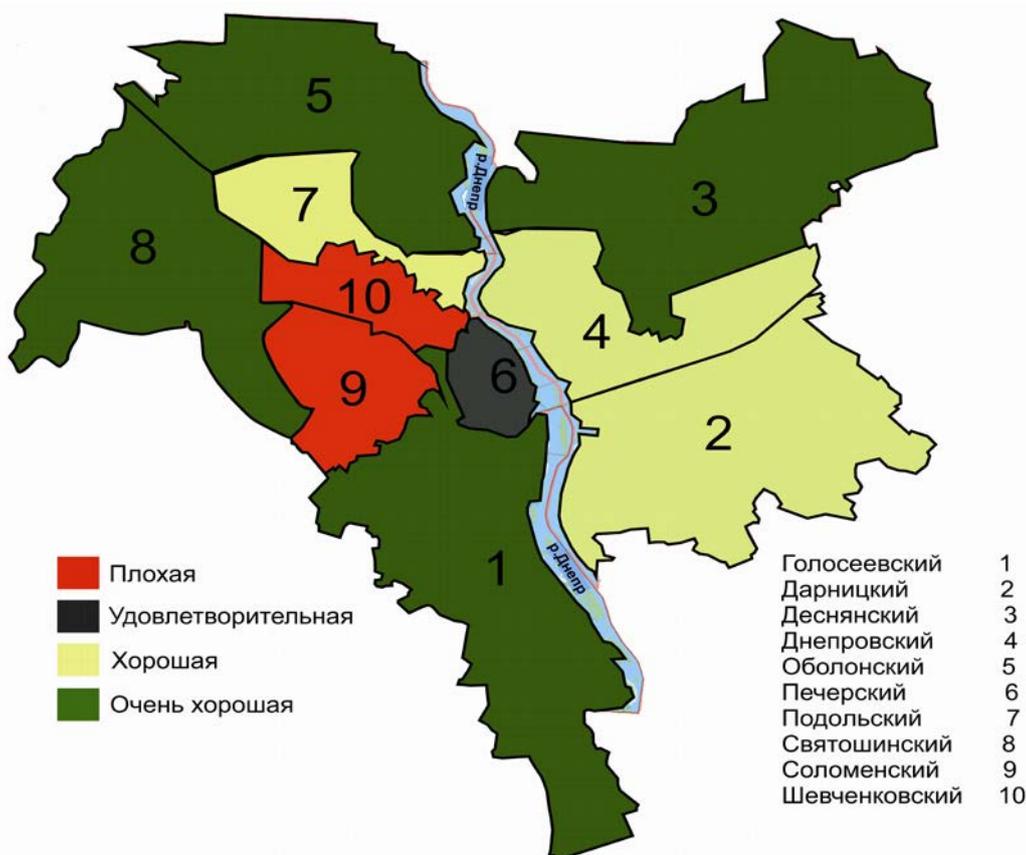


Рис. 3. Экологическое зонирование территории г. Киева по степени антропогенной нагрузки в 2016 г. Цветом обозначена характеристика экологической ситуации согласно табл. 3

### ВЫВОДЫ

Проведена верификация интегрального индекса антропогенной нагрузки на урбоэкосистему в процедуре экологического зонирования крупного промышленного центра на примере г.

Киева по степени антропогенной нагрузки с учетом роли сохранившихся естественных экосистем, что позволяет оценивать фактический масштаб их трансформации, временную и пространственную динамику. Выявлено, что са-

мыми неблагополучными являются центральные районы города – Соломенский, Шевченковский и Печерский. Хорошая экологическая ситуация по числовым значениям индекса в Дарницком, Днепровском, Подольском районах; очень хорошая – в районах, которые размещены на окраинах города и граничат с его «зеленым поясом» лесопарков (Голосеевский, Деснянский, Оболонский, Святошинский районы). Количество сохранившихся зеленых насаждений, а так же плотность дорожно-транспортной сети района оказывают существенное влияние на величину индекса. Риск-оценка на уровне урбоэкосистемы является уточняющей операцией и подчеркивает

направление деградационных процессов под значительным антропогенным прессом. Несколько нивелировать последствия агрегирования интегрального индекса для сложных экосистем позволяет использование кластерного анализа.

Результаты выполненного зонирования дают возможность оценить качество окружающей среды в каждом административном районе и проводить анализ временной и пространственной динамики экологической обстановки, что необходимо для принятия экологически корректных управленческих решений, осуществления контроля за состоянием атмосферного воздуха, почв, вод и зеленых насаждений в условиях крупных городов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**Антомонов М.Ю., Русакова Л.Т., Пашинська С.Л., Волощук О.В.** Інформаційна технологія конструювання інтегральних оцінок в екологічних та гігієнічних дослідженнях // Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України (результати наукових розробок 2014 р.); за ред. акад. НАМНУ А.М. Сердюка. К., 2015. С. 391-430.

**Беднова О. В.** Структурное разнообразие лесных экосистем как индикатор их нарушенности и основа для природоохранного планирования пространства городских ООПТ // Лесной вестник. 2012. № 9. С. 16-29.

**Брагазин А.А., Маркелов И.Н., Нижегородцев А.А., Басуров В.А.** Экологическое зонирование Нижегородской области 2014 г. // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. Биология. 2014. № 1 (1). С. 157-161.

**Гелашвили Д. Б., Басуров В. А., Розенберг Г. С.** Экологическое зонирование территорий с учетом роли сохранившихся естественных экосистем (на примере Нижегородской области) // Поволж. экол. журн. 2003. № 2. С. 99-108.

**Гончар Г.Ю., Гродзинська Г. А., Конякін С. М. та ін.** Біоіндикація стану техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи / За заг. ред. чл.-кор. НАН України О.П. Дмитрієва. К.: Наш формат, 2016. 122 с.  
[https://www.researchgate.net/publication/319173270\\_Bioindikacia\\_stanu\\_tehnogennogo\\_zabrudnenna\\_mKieva\\_metodicni\\_pidhodi](https://www.researchgate.net/publication/319173270_Bioindikacia_stanu_tehnogennogo_zabrudnenna_mKieva_metodicni_pidhodi)

**Смельянова Д.І.** Оцінка екологічної безпеки природно-техногенних об'єктів на основі інформаційно-методичного забезпечення: Дис. ... к.т.н., спец. 21.06.01 – екологічна безпека. Харків, 2017. 172 с.

**Зазнобина Н.И.** Интегральные оценки антропогенной нагрузки на городскую среду как гетеротрофную экосистему (на примере городов Нижегородской области). Автореф. дис. ... к.б.н., спец. 03.00.16 – экология. Н. Новгород, 2008. 24 с.

**Зазнобина Н.И.** Оценка экологической обста-

новки в крупном промышленном центре по степени антропогенной нагрузки с помощью обобщенной функции желательности (на примере г. Н. Новгорода). // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 2. С. 115–118.

**Костина Н. В., Розенберг Г. С., Хасаев Г. Р., Шляхтин Г. В.** Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала (на примере Волжского бассейна) // Изв. Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология. 2014. Т. 14, вып. 3. С. 54–70.

**Костина Н.В.** Интегральная оценка устойчивого развития территорий Волжского бассейна с применением экспертной информационной системы REGION: Автореф. дис. ... д.б.н., спец. 03.02.08 – экология (биология). Тольятти, 2017. 34 с.

**Лавров В.В.** Методологія сталого розвитку лісової галузі України: теорія і практика: Автореф. дис. ... д. с.-г. н.: спец. 03.00.16 – екологія. К., 2009. 44 с.

**Лавров В.В.** Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми) // Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України / [О.В. Дудкін, А.В. Єна, М.М. Коржнев та ін.]; відп. ред. О.В. Дудкін. – К.: Хімджест, 2003. С. 156–272.

**Мірошник Н.В., Тертична О.В., Тесленко І.К.** Сучасні методичні підходи до оцінювання стану паркових лісових екосистем // Фактори експериментальної еволюції організмів: зб. наук. пр. К.: УТГіС ім. М.І. Вавилова, 2018 (в печаті).

**Мірошник Н.В., Тесленко І.К.** Проблеми та вектори інтегрального оцінювання стану паркових лісових екосистем у міському середовищі // Регіональні проблеми охорони довкілля. Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених. Одеса: ТЕС, 2018. С. 156-159.

Основні показники охорони навколишнього природного середовища м. Києва. Статистичний

збірник / Головне упр-ня статистики у м. Києві; за ред. О.І. Настоящего. К., 2017. 75 с.

Рішення КМР від 19 липня 2005 року №806/3381 «Про затвердження Програми розвитку зеленої зони м. Києва до 2010 року та Концепції формування зелених насаджень в центральній частині міста» (продовжена до 31.12.2017 згідно Рішення КМР від 7 липня 2016 року №572/572).

**Рыбак Н.В.** Интегральная оценка экологического состояния урбанизированных территорий // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вып. 25.5. С. 135-145.

Статистичний щорічник м. Києва за 2016 р. / Головне упр-ня статистики у м. Києві. К., 2017. 427 с.

**Тарабан С.М.** Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К.: НТУ. 2013. Вып. 90. С. 24-32.

**Цимбалюк С.М.** Гігієнічна оцінка впливу канцерогенних речовин атмосферного повітря на формування захворюваності на рак щитоподібної залози: Автореф. дис. ... к.б.н., спец. 14.02.01 – гігієна та професійна патологія. Київ, 2017. 19 с.

**Buyvolova A.Y., Trifonova T.A., Bykova E.P.** Vegetation Indicators of Transformation in the Urban Forest Ecosystems of “Kuzminki-Lyublino” Park // I. Vasenev V., Dovletyarova E., Chen Z., Valentini R. (eds) Megacities 2050: Environmental Consequences of Urbanization. ICLASCSD 2016. Springer Geography. Springer, Cham. 2018. P. 118-124. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70557-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70557-6_13)

**Graham R.T., Quigley T.M., Gravenmier R.** An Integrated Ecosystem Assessment of the Interior Columbia Basin // Environ Monit Assessment. 2000. Vol. 64, №1. P. 31-40. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006482232447>

**Ji-yuan L., Watanabe M., Tian-xiang Y. et al.** Integrated ecosystem assessment for western development of China // J. Geogr. Sci. 2002. Vol. 12, № 2. P. 127-134. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02837466>

**McDonough K., Hutchinson S., Moore T.,**

**Hutchinson J.M. S.** Analysis of publication trends in ecosystem services research // Ecosystem Services. 2017. Vol. 25. P. 82-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.022>

**Mikhailova T.A., Pleshanov A.S., Afanasieva L.V.** Cartographic assessment of pollution of forest ecosystems on the Baikal natural territory by technogenic emissions // Mitig Adapt Strateg Glob Change. 2011. Vol. 16. P. 247-266. DOI: [10.1007/s11027-010-9254-x](https://doi.org/10.1007/s11027-010-9254-x)

**Mill W.** Integrated Modelling of Acidification Effects to Forest Ecosystems – Model Sonox // Water Air and Soil Pollution. 2001. V. 130, Issue 1. P. 1289-1294. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0810-5\\_62](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0810-5_62)

**Pártl, A., Vačkář, D., Loučková, B. et al.** A spatial analysis of integrated risk: vulnerability of ecosystem services provisioning to different hazards in the Czech Republic // Nat Hazards. 2017. V. 89, № 3. P. 1185-1204. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3015-z>

**Seidling W.** Outline and examples for integrated evaluations of data from the intensive (Level II) monitoring of forest ecosystems in Germany // Eur J Forest Res. 2005. V. 124, № 4. P. 273-287. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-005-0083-5>

**Venevsky S.A.** Method for Integrated Assessment of Vulnerability to Climate Change in Siberian Forests: Example of Larch Area // Mitig Adapt Strat Glob Change. 2006. V. 11, № 1. P. 241-268. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-006-1024-4>

**Veselkin, D.V., Galako, V.A., Vlasenko, V.E. et al.** Relationship between the characteristics of the state of Scots pine trees and tree stands in a large industrial city // Contemp. Probl. Ecol. 2015. V. 8. P. 243.

**Xu X., Xu L., Yan L. et al.** Integrated regional ecological risk assessment of multi-ecosystems under multi-disasters: a case study of China // Environ Earth Sci. Environmental Earth Sciences. 2015. V. 74, № 1. P. 747-758. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4079-2>