DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-107-129 УДК 504.73.03:504.064.36:574:630*425:630*561.24 (477.60)

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В ПРЕДЕЛАХ МЕГАПОЛИСА С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ г. КИЕВА

Н.В. Мирошник

ГУ «Институт эволюционной экологии НАН Украины»,
Украина, 03143, г. Киев, ул. акад. Лебедева, 37; *miroshnik_n_v@mail.ru*

Реферат. В статье приведены результаты интегральной оценки техногенной нагрузки на урбоэкосистему г. Киева с помощью комплекса методов биоиндикации, которые коррелируют с градиентом антропогенного загрязнения городских экосистем Киева. Значительное количество автотранспорта, перегруженность автодорог, приводит к загрязнению аэрополлютантами, особенно в час пик, что очевидно негативно сказывается на здоровье населения. Предельные значения содержания загрязнителей в воздухе часто превышают нормированные значения, что отрицательно влияет на состояние деревьев в городе. Исследованы адаптационные реакции биоиндикатора *Tilia cordata* Mill. в зависимости от градиента техногенного загрязнения города на уровне органа, организма, популяции, экосистемы в полуестественных (парки), искусственных (в пределах жилых застроек) и лесных (полосы деревьев, аллеи) экотопах. Для диагностики состояния древесных растений в пределах мегаполиса рекомендовано использовать систему методик: лесоводственно-таксационные, фитосанитарное состояние насаждений, степень дефолиации кроны и дехромации листьев, степень преждевременного пожелтения листьев и повреждения их ожогами. Также следует учитывать наличие, количество и состояние естественного возобновления, как один из стабилизирующих факторов в буферной функции экосистем.

Ключевые слова. Техногенное загрязнение, тяжелые металлы, мегаполис, биоиндикация, дефолиация.

ESTIMATION OF AIR POLLUTION IN KIEV MEGALOPOLIS USING THE COMPLEX OF BIOINDICATION METHODS

N.V. Miroshnyk

Institute for evolutionary ecology NAS Ukraine,
37, Lebedeva str., 03143, Kiev, Ukraine; *miroshnik_n_v@mail.ru*

Abstract. In this study a results integrative approach of bioindication correlated with an gradient of anthropogenic pollution on urban ecosystems of Kiev. A large number of cars lead to elevated traffic density and intense traffic jams, with level increase on air pollution levels and obvious negative impacts on human health. Airborne dust matter limit values are frequently exceeded the norm, making

negatively affects condition of trees in city. Trees of *Tilia cordata* Mill. served as the indicators of air pollution at 36 sites. This are phytosanitary condition of trees, defoliation and dehromation, premature yellowing of leaves, the degree of leaves damage burns, the presence, quantity and condition of natural regrowth). This is observation of technogenic transformation of urban ecosystems at the level of organ, organism, population, ecosystem in the semi-natural (parks), artificial (within residential developments) and forest (shelterbelts along the roads) ecotopes. We recommended a system of methods: silvicultural taxation, phytosanitary state of plantations, degree of the crown defoliation and leaf dehromation, premature yellowing of leaves, degree of their damage by technogenic burns to diagnose the condition of woody plants within the megacity. It is important to consider the presence, quantity and condition of natural regrowth, as one of the stabilizing factors in the buffer function of ecosystems.

Keywords. Air pollution, heavy metals, megacity, bioindication, defoliation.

Введение

Урбоэкосистемы крупных городов находятся под избыточным отрицательным воздействием факторов антропогенного происхождения. Воздух и почвы в мегаполисах загрязнены твердыми частицами (пылью, сажей, пеплом), газами, аэрозолями, фильтратами свалок, тяжелыми металлами и прочими вредными веществами, которые не только негативно влияют на все живое, но и, под воздействием внешних условий, превращаются в комплексы других веществ с непредсказуемыми свойствами и трудно прогнозируемыми последствиями для окружающей природной среды. Смешивание различных по свойствам и происхождению загрязнителей, их взаимодействие, синергетический и аддитивный эффекты, серьезно затрудняют оценку влияния каждого отдельно взятого компонента и прогноз последствий для экосистемы города и здоровья человека. Сейчас общество стремится к установлению баланса между экономикой, развивающейся современной промышленностью, обеспечением жизнедеятельности большого количества людей и природной средой. Одним из путей решения этой многокомпонентной проблемы может стать создание системы устойчивых зеленых насаждений в условиях мегаполисов, поскольку озеленению отводится основная роль в стабилизации и оздоровлении городской среды (Коршиков, 1996; Лавров, 2003; Лавров и др., 2016). Урбоэкосистемы так же сами являются трансформирующим фактором, вследствие наличия дополнительных источников образования тепла, избыточных выбросов химических веществ, перераспределения воздушных масс, источников воды, снижения относительной влажности воздуха, преобразования почвенного покрова (Биоиндикация ..., 1988; Сейдафаров, 2009). Следовательно, древесные растения в пределах мегаполисов находятся в экстремальных условиях существования, их адаптивные стратегии направлены на выживание в зоне экстремумов и реализуются на различных уровнях организации: клетка (Бессонова, 1999; Виноградова, 2010; Глібовицька, 2013), орган, организм (Коршиков, 1996; Гнатів, 2008; Сейдафаров, 2009; Одукалець, 2011;

Хвостов, Капелюш, 2011; Клевцова, 2014), популяция, экосистема (Лавров, 2003; Парпан, Миленька, 2010) и обуславливают лучшее состояние и устойчивость некоторых видов по сравнению с другими. Обратной стороной приспособительных реакций древесных растений к условиям мегаполисов является их стабилизирующая функция и снижение канцерогенного риска для жителей, вследствие поддержания ими искусственной равновесности урбоэкосистем, благодаря фотосинтезу и способности аккумулировать вредные химические вещества и пыль (Гетко, 1989; Сейдафаров, 2009; Лавров, 2003; Лавров и др., 2016). Поэтому биоиндикаторами опасного уровня загрязнения окружающей среды являются древесные насаждения в пределах влияния мегаполиса (Коршиков, 1996; Бессонова, 1999; Лавров, 2003; Гнатів, 2008; Луцишин и др., 2010).

Наиболее специфическими фенотипическими биоиндикаторами в условиях городских экосистем при большой аэротехногенной нагрузке считают *Acer platanoides* L., все виды рода *Tilia* L., *Picea abies* (L.) H. Karst и *Pinus sylvestris* L. (Aboal et al., 2004; Сейдафаров, 2009; Рассадина, 2010; Глібовицька, 2013; Rud, 2015). Актуальны вопросы разработки экспресс-методов мониторинга состояния урбанизированной окружающей среды с использованием отдельных видов растений и растительных сообществ в качестве адекватных биоиндикаторов (Біоіндикація …, 2016). Но интегрированные исследования адаптационных реакций биоиндикатора *Tilia cordata* Mill. в зависимости от градиента техногенного загрязнения мегаполиса на разных уровнях организации биосистем не проводились. Также ранее не предлагались объединенные системы методик диагностики состояния древесных растений в пределах урбоэкосистем.

В связи с обострением экологической ситуации в г. Киеве и для осуществления своевременных мер по защите природной среды важно разработать систему раннего выявления и экспресс-диагностики изменений в зеленых насаждениях под влиянием аеротехногенного загрязнения на примере биоиндикатора *T. cordata*, которые составляют почти 30% всех зеленых насаждений города. Таким образом, основной целью нашего исследования была оценка техногенной нагрузки в пределах г. Киева с помощью комплекса методов биоиндикации в зависимости от градиента техногенного загрязнения города на уровне органа, организма, популяции, экосистемы в полуестественных (парки), искусственных (в пределах жилых застроек) и лесных (полосы деревьев, аллеи) экотопах.

Методы и материалы

Объектами исследований были деревья *T. cordata* парков, жилых застроек и линейных защитных насаждений вдоль дорог (табл. 2). По классификации экотопов г. Киева, разработанной (Дідух, Альошкіна, 2012), которая максимально приближена к классификации European Nature Information System, EUNIS (Оселищна концепція ..., 2012), изученные экотопы относятся к полуестественным (парки), искусственным (насаждения в пределах жилых

застроек) и лесным (полосы деревьев, аллеи) экотопам. Нами исследовано 10 административных районов города с разной степенью загрязнения атмосферного воздуха (наибольший уровень аэротехногенной нагрузки и превышение ПДК тяжелыми металлами в почвах – Днепровский, Оболонский районы; средний и низкий уровень – контроль – Голосеевский район). Условным контролем служили деревья *T. cordata* лесного массива «Феофания», как зеленой зоны, которая испытывает минимальную техногенную нагрузку, поскольку расположена на южной границе г. Киева в 15 км от центра и входит в Днепровский экокоридор Национальной экосети Украины. Изучали группы модельных деревьев *T. cordata* среднего возраста (25-45 лет) со средней высотой и размером кроны в разных экотопах урбоэкосистемы: парковые насаждения (8 парков), придомовые территории жилых застроек (5 жилых массивов), линейные насаждения (26 точек) вдоль интенсивно загруженных транспортом улиц центра и в зависимости от содержания тяжелых металлов в почвах (исследования содержания тяжелых металлов в почвах 2014-2015 гг. по биоиндикации техногенного загрязнения (Біоіндикація …, 2016). Визуальную оценку состояния зеленых насаждений проводили в первой декаде августа 2016 г., поскольку в этот период наиболее заметны последствия воздействия аэрополлютантов на древесные растения, а долговременные летние засухи усиливают негативное влияние газов.

Исследования проводили по следующим параметрам: фитосанитарное состояние (индекс состояния (I_c) (Санітарні правила ..., 1995)), количественная и качественная оценка повреждений листьев: степень дехромации, степень дефолиации кроны дерева (Improved Pan-European ..., 2002; Букша, 2009).

Степень повреждения деревьев определяли по (Санітарні правила ..., 1995; Діагностика та зонування …, 2011). Фитосанитарное состояние древостоев рассчитывали как средневзвешенный индекс (I_c) с помощью визуальной оценки каждого дерева по категориям состояния деревьев (Санитарные правила ..., 1995) по формуле (Діагностика та зонування …, 2011):

$$I_C = \frac{\sum k_i \cdot n_i}{N} \qquad (1)$$

где I_c – индекс состояния древостоя, k_1 - k_6 – категория состояния деревьев (от I до VI) по (Санитарные правила ..., 1995), n_i – количество деревьев соответствующей категории состояния, N – общее количество деревьев.

Степень повреждения насаждений определяли по шкале (табл. 1).

Степень дефолиации оценивали визуально по 5 классам: 0 – дефолиации нет (0-10%), 1 – слабая степень дефолиации (11-25%), 2 – средняя (26-60%), 3 – сильная (61-99%), 4 – усохшие деревья (100%). Дефолиацию определяли с 5-10%-ной точностью для верхней 1/3 части кроны (что учитывает суховершинность, как показатель избыточного аеротехногенного загрязнения) и для всей кроны (как показатель всего комплекса факторов, которые обычно влияют на развитие деревьев) (Improved Pan-European ..., 2002; Букша, 2009).

Таблица 1. Шкала значений индексов состояния для определения уровня повреждения насаждений (Діагностика та зонування …, 2011)

Індекс состояния	Степень повреждения	Состояние насаждений
1.00-1.50	отсутствует	здоровые
1.51-2.50	слабая	ослабленные
2.51-3.50	средняя	сильно ослабленные
3.51-4.50	сильная	усыхающие
4.51-6.00	очень сильная	усохшие

Степень повреждения листьев ожогами от воздействия фитотоксикантов оценивали визуально по шкале оценки газостойкости Н.П. Красинского (Красинский, 1950):

0 – заметных ожогов листьев нет;

1 – очень слабые ожоги (1-10% листовой поверхности повреждено ожогами);

2 – слабые ожоги (11-20% листовой поверхности);

3 – средние ожоги (21-40% листовой поверхности);

4 – сильные ожоги (41-80% листовой поверхности);

5 – очень сильные ожоги (> 81% листовой поверхности поражено некрозами).

Также отмечали поражения листьев вредителями и болезнями и повреждения ствола (морозобойные трещины, раковые заболевания). Лесоводственно-таксационное состояние (диаметр, высота дерева *T. cordata*, место дерева в древесном пологе – Класс Крафта) изучали по (Воробьев, 1967). В нашем исследовании необходимо было оценить, имеется ли возобновление липы в экстремальных условиях урбоэкосистемы Киева, и насколько сильно оно повреждается аэротоксикантами. Поэтому нами предложена шкала оценки естественного вегетативного возобновления деревьев *T. cordata*, апробированная в ходе исследований:

0 – возобновление отсутствует;

1 (+) – возобновление единичными экземплярами, высотой до 15 см;

2 (++) – возобновление единичными экземплярами, высотой до 30 - 50 см;

3 (+++) – густая поросль у ствола высотой более 1 м.

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам с использованием программы MS Excel с доверительной вероятностью 0.95 (Лакин, 1990).

Также для сравнения интегрированных показателей состояния зеленых насаждений, уточнения границ действия биоиндикатора мы использовали данные предыдущих исследований по тяжелым металлам (Біоіндикація …, 2016) и Индексу стресса (Nebesnyi et al., 2016). Для оценки степени опасности тяжелых металлов использовали коэффициент опасности (*Кнб*) – соотношение между концентрацией определенного тяжелого металла и его предельно допустимой концентрацией (ПДК) по формуле:

$$K_{нб} = \frac{C_i}{ПДК_i} \qquad (2)$$

где C_i – концентрация і-того загрязняющего вещества, мг/кг; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация і-того загрязняющего вещества, мг/кг; $K_{нб} \geq 1$ (Агроекологічний …, 2002).

Результаты

Урбанизация и высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Киеве представляют угрозу здоровью населения и природной среде. Аэротехногенное загрязнение города обусловлено выбросами стационарных (промышленные предприятия, ТЭЦ) и передвижных источников (речной и автотранспорт, авиационная техника). В связи со снижением уровня промышленного производства и закрытием некоторых предприятий, увеличением количества автотранспорта, наличием на территории столицы аэропорта, уровень выбросов от передвижных источников значительно превышает выбросы промышленности, несмотря на то, что в последние годы ТЭЦ перешли на твердое топливо и мазут, что увеличило уровень выбросов стационарными источниками (особенно соединениями серы, сажей, формальдегидом, тяжелыми металлами). Самыми опасными для зеленых насаждений городов являются высокие концентрации аэрофитотоксикантов NH_3, NO_x (NO, NO_2, NO_3), SO_2, тяжелых металлов (Cu, Pb, Ni, Cr, Cd, Co, Zn) (Фитотоксичность …, 1986), которые выбрасывают промышленные предприятия, ТЭЦ и автотранспорт. По объемам выбросов с 2000 по 2014 гг. отмечено снижение их от стационарных источников на 3.7% и увеличение – от передвижных на 24.6% (рис. 1), что обусловлено уменьшением мощностей промышленного производства и увеличением количества автотранспорта.

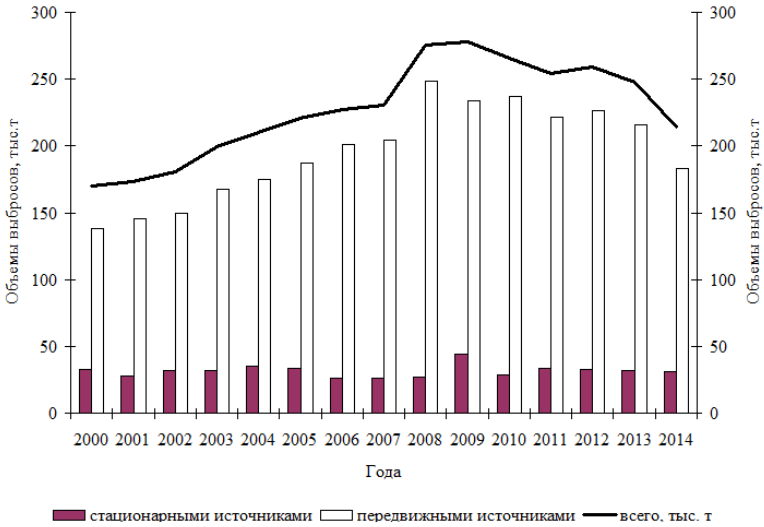


Рисунок 1. Выбросы загрязнителей в воздух в целом по г. Киеву
(Національна доповідь …, 2016)

Обобщенное представление о состоянии воздуха дает индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), который рассчитывают как сумму разделенных на ПДК средних концентраций пяти примесей с наибольшими объемами выбросов (рис. 2) (Національна доповідь …, 2016). За последние два года общий уровень загрязнения атмосферного воздуха в Киеве увеличился и оценивался по ИЗА как высокий, что обусловлено значительным содержанием в воздухе формальдегида и NO_2, среднегодовые концентрации которых превышали ПДК с.с. почти на всех стационарных постах (Огляд про стан …, 2016).

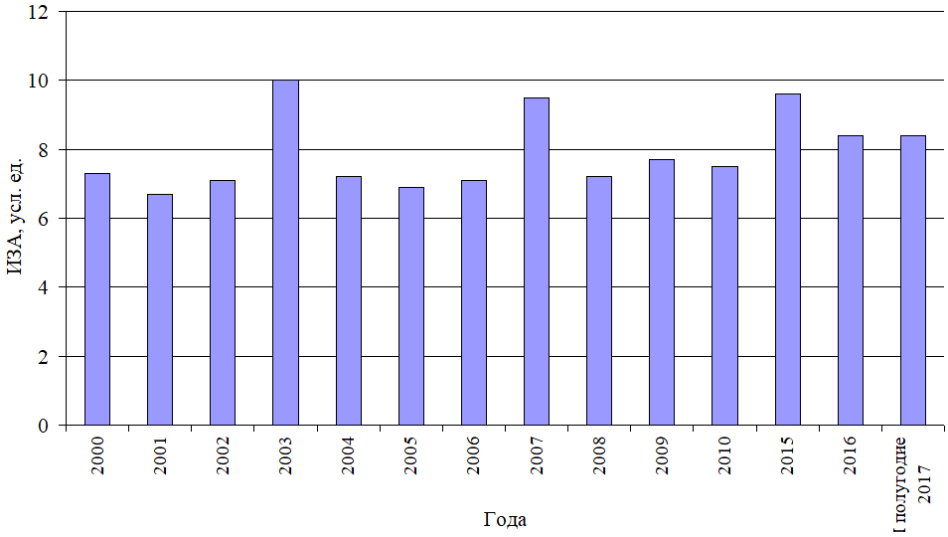


Рисунок 2. Значение индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) в г. Киеве
(Огляд про стан …, 2016; Огляд стану …, 2017; Вишневський, Колісник, 2011)

В первом полугодии 2016 г. Киев занимал 9-е место среди 15 городов Украины с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА 8.7 усл. ед. – «высокий уровень загрязнения», который почти достиг уровня 2015 г.) (рис. 2). На содержание в воздухе загрязнителей влияют неблагоприятные метеорологические явления, которые задерживают рассеивание их в атмосфере и тем самым повышают уровень загрязнения воздуха. Для Киева опасными метеорологическими условиями являются солнечная погода, высокая температура (25°С и выше), особенно, когда она сочетается с длительными безосадочными периодами, продолжительные застойные явления (приземная инверсия и скорость ветра 0-1 м/сек), отсутствие термодинамического слоя перемешивания (Вишневський, Колісник, 2011). В течение года наибольший уровень ИЗА наблюдали в летние месяцы, что связано с большими выбросами от автотранспорта, запыленностью атмосферы, меньшей скоростью ветра. Кроме того, значительную роль играет фотохимический фактор при интенсивном солнечном освещении, который вызывает рост содержания формальдегида и других продуктов свободнорадикальных фотохимических реакций и образование новых соединений, многие из которых являются еще более токсичными для человека и растений (Огляд про стан …, 2016).

Несколько последних лет летние месяцы в г. Киеве характеризуются превышением среднесуточной температуры воздуха и недостатком атмосферных осадков, что вызывает застойные явления в атмосфере (Огляд про стан …, 2016), смог и фотохимические повреждения листьев древесных растений. По данным Центральной геофизической обсерватории среднемесячная температура июля 2016 г. в Киеве составила +22.4°С, что превысило климатическую норму на 3.1°С, выпало 46 мм осадков (52% от климатической нормы), тогда как в июне – 15 мм (21% от нормы). Среднемесячная температура августа 2016 г. в Киеве составила +21.1°С, что превысило климатическую норму на 2.6°С, также в этом месяце выпало 27 мм осадков (39.1% от нормы). Эти показатели стали одним из условий превышения уровней загрязнения в мегаполисе. Начиная с третьей декады июня, почти весь июль и август 2016 г. в Киеве наблюдали метеорологические условия, способствовавшие накоплению и удерживанию вредных примесей в приземном слое воздуха. Отсутствие перемешивания в вертикальном слое и высокая ночная влажность воздуха способствовали накоплению вредных примесей в приземном слое, что обусловило образование смога, который повышает риск фотохимических повреждений (ожогов) растений. В такие периоды уровень аеротехногенного загрязнения достигал 6-13 ПДК. Например, в июле 2016 г. были зафиксированы высокие концентрации фитотоксикантов: формальдегид (4.1-5.9 ПДКс.с.), NO (1.9-2.2 ПДКс.с.), NO_2 (5-13 ПДКс.с.) (Огляд про стан …, 2016).

Таким образом, загрязнение окружающей среды мегаполиса стало одной из самых животрепещущих проблем, поскольку техногенная нагрузка на экосистемы города приобрела опасные и даже катастрофические темпы и формы. Так за 2014 г. в атмосферу г. Киева выброшено 31.4 тыс. т загрязняющих веществ или 37619.1 кг на 1 км^2 (Національна доповідь …, 2016). В расчете на 1 человека в городе выброшено 10.9 кг поллютантов, в Киевской области – 55.7 кг.

Аэротехногенное загрязнение негативно влияет на все живое в мегаполисе, в частности происходит нарушение феноритмов роста и развития растений, ускорение процессов старения организмов (Бухарина и др., 2007), в том числе и ускорение начальных фаз распускания почек и пожелтения листьев. При этом часто сокращаются сроки вегетации, хотя листопад может заканчиваться в те же сроки, что и в незагрязненной среде (Одукалець, 2011). Отмечено также, что промышленные газы в диапазоне концентраций от 1 ПДК снижают линейный прирост побегов и сокращают сроки жизни деревьев (Биоиндикация ..., 1988; Гетко, 1989), в ассимиляционных органах древесных растений снижается антиоксидантная защита, что способствует активности пероксидного окисления липидов и вызывает деградацию пигментного комплекса (Бессонова, 1999; Виноградова, 2010).

В процессе полевых исследований нами было установлено, что в первой декаде августа наблюдается полное пожелтение листьев у деревьев *T. cordata*, которое занимает от 5 до 33% и имеет рассеянную локализацию в кроне. Мы вычислили долю преждевременного пожелтения листьев, как

долю от всей кроны дерева, и обобщили полученные данные по исследованным урбоэкотопам.

Деревья *T. cordata* зеленых насаждений г. Киева находятся в угнетенном состоянии (ослаблены и сильно ослаблены) (табл. 2), в пологе занимают 2-3 ярус (II-III класс Крафта), повреждены ожогами, вредителями, болезнями, значительная часть их усыхает. В парковых насаждениях состояние деревьев ослабленное, в пологе находятся в III-IV классе Крафта, ожоги меньшей интенсивности. По районам Киева наиболее повреждены насаждения Днепровского, Деснянского, Оболонского районов – они сильно ослаблены, усыхают, некротизация листовой поверхности по шкале Красинского достигает 70% (табл. 3).

Обобщающим показателем состояния зеленых насаждений является дефолиация кроны, которая интегрально характеризует влияние на них негативных факторов (Puhe, Ulrich, 2001). Согласно (Improved Pan-European ..., 2002) дефолиация (потеря ассимиляционного аппарата) официально признана общеевропейским индикатором устойчивого ведения лесного хозяйства, свидетельствующем о состоянии и жизнеспособности насаждений. Вдоль дорог обнаружена наибольшая степень повреждения верхней 1/3 кроны деревьев (суховершинность) (рис. 3), что указывает именно на аэротехногенный характер поражения. Средний уровень дефолиации (до 60% кроны без листьев) у 25% деревьев. Сильное повреждение вершин деревьев *T. cordata* также в экотопах жилых застроек (10.6%), поскольку они часто расположены на расстоянии 10-50 м от дорог с интенсивным движением. В парках степень дефолиации ниже, чем вдоль автодорог и в пределах жилых застроек, так как они расположены дальше от источников выбросов и создают микроклимат под пологом насаждений, с меньшей температурой воздуха и интенсивностью солнечного света летом.

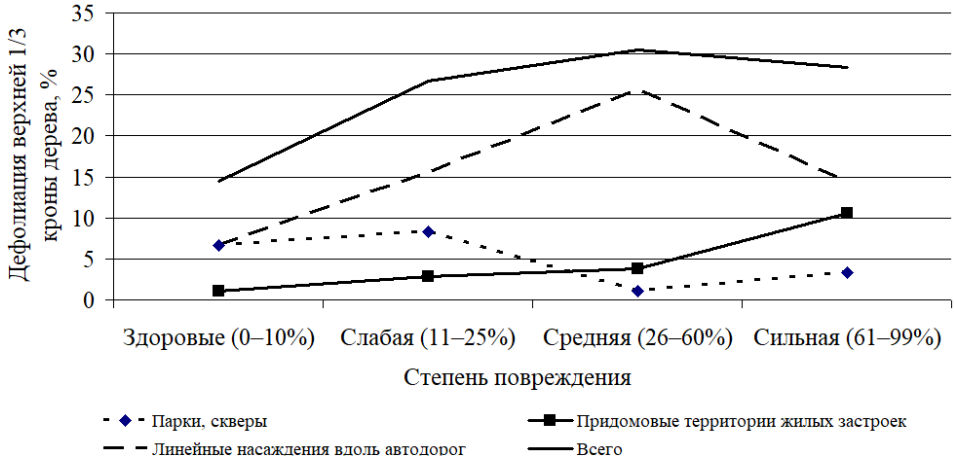


Рисунок 3. Распределение деревьев *T. cordata* по степени повреждения (дефолиации) верхней 1/3 кроны и урбанизированным экотопам

Дефолиация всей кроны дерева в целом повторяет картину суховершинности (рис. 4). Наибольшее количество деревьев со средним уровнем поврежде-

ния вдоль автодорог – 36.1%. Наименьший уровень поражений деревьев на территории жилых застроек, хотя 5.6% деревьев здесь сильно повреждены (дефолиация составляет до 99% кроны), что может быть следствием застойных явлений между высотными жилыми домами и большого количества стоянок автомобилей на придомовых территориях.

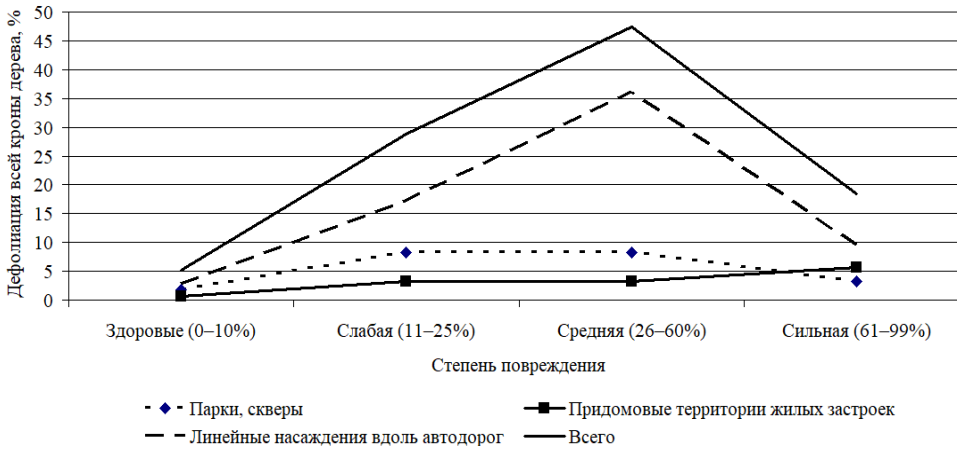


Рисунок 4. Распределение деревьев *T. cordata* по степени повреждения (дефолиации) всей кроны и урбанизированным экотопам

По шкале Красинского степень повреждения листьев ожогами от воздействия фитотоксикантов колеблется от 40 до 90%, в среднем составляет 50-70% (табл. 2, 3). Наименьшие повреждения в парковых насаждениях (рис. 5). Сильнее степень техногенных ожогов на листьях со стороны дорог (более 81% по шкале Красинского), как на возобновлении так и на взрослых особях, тогда как со стороны домов и с противоположной стороны от дорог они меньше (до 50% листовой поверхности, или 3.5 балла), также естественное возобновление повреждается в большей степени – некрозы занимают до 60% площади листа, особенно вдоль дорог с интенсивным движением (ул. Метрологическая, Героев Днепра, Крещатик, Харьковское шоссе, пр-т Степана Бандеры), состояние – сильно ослабленные, усыхают (рис. 5). Если деревья находятся в тени домов только с одной стороны, а другая сторона кроны – на интенсивно освещенной стороне улицы, тогда эта сторона на 50-60% больше повреждена ожогами (до 80-90% листа некротизировано), чем «теневая» сторона, т.е. солнечное облучение (как прямое, так и отраженное от твердого покрытия дорог и стен домов) усиливает повреждаемость листьев токсичными выбросами автотранспорта.

По бальным оценкам повреждения деревьев на придомовых территориях жилых застроек и вдоль автодорог больше чем в парках (рис. 5); по санитарному состоянию деревья сильно ослаблены и усыхают; естественного возобновления растения вдоль дорог не дают (как адаптация к выживанию в экстремальных условиях). В парковых насаждениях состояние деревьев лучше, степень дефолиации меньше, имеется вегетативное возобновление (табл. 3).

Таблица 2. Состояние и повреждаемость деревьев *T. cordata* по урбоэкотопам г. Киева

Место отбора проб/ Характеристики повреждений	Парки, скверы	Придомовые территории жилых застроек	Линейные насаждения вдоль автодорог
D, см	30.2	26.9	26.8
H, м	16.7	14.7	12.3
КК	II.0	II.5	II.5
Повреждение листовой пластинки[1], баллы	2.3	3.0	3.0
Ic [2]	ослабленные	сильно ослабленные	сильно ослабленные
Наличие возобновления, баллы	1.4	0.8	0.6
Ic [3]	ослабленные	ослабленные	усыхающие
Дефолиация кроны[4], %	38.7	48.6	41.5
Доля преждевременного пожелтения листьев [5], %	15.8	19.8	15.3
Дехромация листьев, %	6.1	2.1	8.9
Раны на стволе, случаев / площадь, м^2	2/2.6	1/0.2	4/0.4
Cu [6, 7]	96.0±0.4	97.0±0.8	99.6±0,6
Pb [6, 7]	53.3±0.1	67.5±0.6	112.2±0.4

Примечания: D, H – средневзвешенные, соответственно, диаметр и высота дерева; КК – класс Крафта; [1] – по шкале Красинского; Ic [2] – индекс состояния деревьев основного полога, Ic [3] – индекс состояния подроста; [4] – по (Букша, 2009); [5] – в кроне дерева; [6] - по (Біоіндикація …, 2016); [7] - содержание тяжелых металлов в почвах г. Киева (мг/кг), которые превышают ГДК, ГДК (Cu) 55 мг/кг с.р., ГДК (Pb) 32 мг/кг с.р., по (Санитарные нормы …, 1988).

Таблица 3. Состояние и повреждаемость деревьев *T. cordata* по районам г. Киева

Место отбора проб (район города)	Расстояние до дороги, м	D, см	H, м	КК	Повреждение листовой пластинки[1], баллы	Ic[2]	Возобновление, баллы	Дефолиация кроны[4], %	Доля преждевременного пожелтения листьев[5], %	Дехромация листьев, %
Дарницкий	11.4	23.9	9.1	2	2.7	сильно ослабленные	0.9	29.9	4.6	10.1
Деснянский	5.8	31.6	10.5	4	3.0	сильно ослабленные	0.9	50.8	11.0	0
Днепровский	8.5	18.4	9.7	3	2.6	сильно ослабленные	1.3	53.5	4.4	0
Голосеевский	143.8	31.7	17.7	3	2.2	ослабленные	0.6	34.1	3.2	5.6
Печерский	69.7	30.0	17.3	3	3.1	сильно ослабленные	0.5	52.2	2.8	1.6
Подольский	84.2	23.3	13.8	4	3.3	сильно ослабленные	1.3	48.9	21.0	0
Шевченковский	82.0	32.2	15.8	3	3.6	сильно ослабленные	0.8	35.7	24.8	8.3
Соломенский	17.7	32.1	15.3	3	2.8	сильно ослабленные	0.6	32.2	17.7	1.4
Святошинский	12.1	27.4	14.9	4	2.9	сильно ослабленные	0.5	45.4	20.2	2.3
Оболонский	51.0	17.5	8.8	3	3.8	усыхающие	1.3	66.8	32.6	22.1

Примечание. Обозначения как в табл. 2.

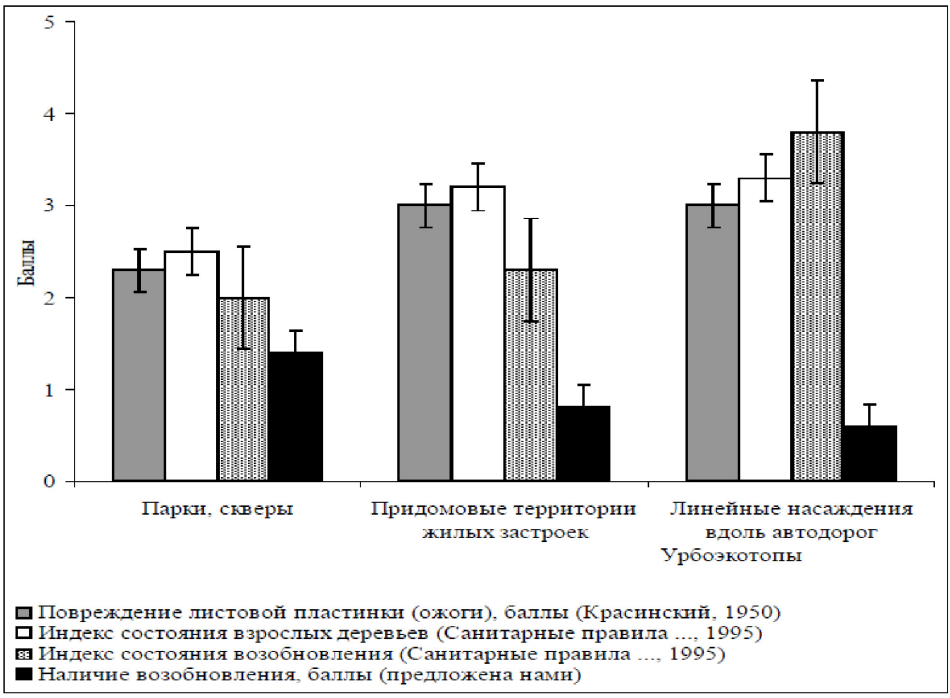


Рисунок 5. Балльная оценка состояния деревьев по разным методикам

Нами проведено картографирование техногенного загрязнения г. Киева по интегральному показателю – Индексу состояния деревьев *T. cordata* (рис. 6) – большинство исследованных насаждений липы г. Киева являются сильно ослабленными и усыхают.

На придомовых территориях повреждения растений аеротехногенными выбросами иногда значительнее чем вдоль автодорог, так, дефолиация здесь достигает 48%, доля преждевременного пожелтения листьев – до 20%, дехромация листьев увеличена в 1.2 раза, что может быть обусловлено различными условиями инсоляции, направлением воздушных потоков от автодорог к жилым застройкам, а так же различным влиянием разных видов токсикантов на органы растений. Тяжелые металлы (Pb, Cr (VI), Zn), которые накапливаются в почвах урбоэкосистем и длительно негативно влияют на биоту, вызывают дехромацию и усыхание, тогда как летучие соединения NO_x, SO_2, NH_3 интенсивнее повреждают листья непосредственно в зоне контакта (вдоль автодорог) и меньше – при рассеивании – на расстояние более 100 м от автодорог. Повышенное содержание меди, свинца, никеля, хрома в почвах вдоль дорог коррелирует с ухудшением состояния деревьев (r = 0.76-0.95), дефолиацией (r = 0.85), дехромацией листьев (r = 0.62-0.88).

Повышенное содержание меди, свинца, никеля в листьях деревьев *T. cordata* вдоль автодорог коррелирует с ухудшением состояния деревьев (r = 0.87-0.93) и дехромацией листьев (r = 0.50-0.99). Наиболее низкие значения коэффициентов опасности тяжелых металлов в парках (рис. 7), повышаются вдоль автодорог, наибольшие значения характерны для меди и свинца.

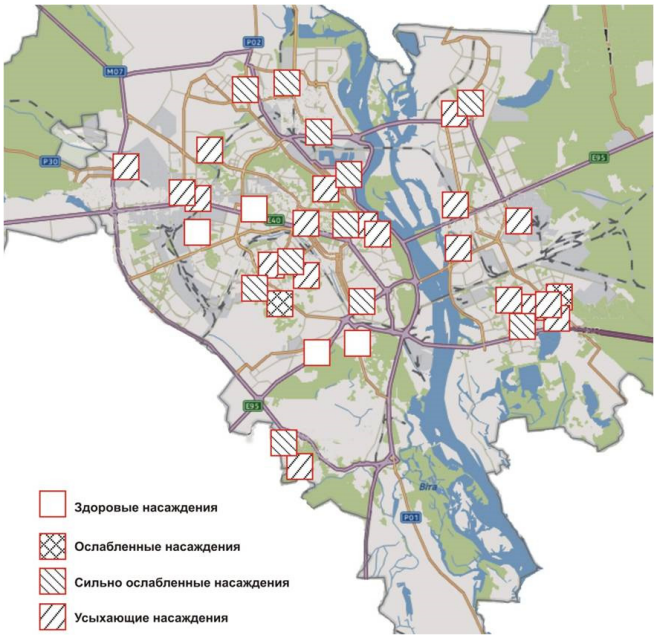
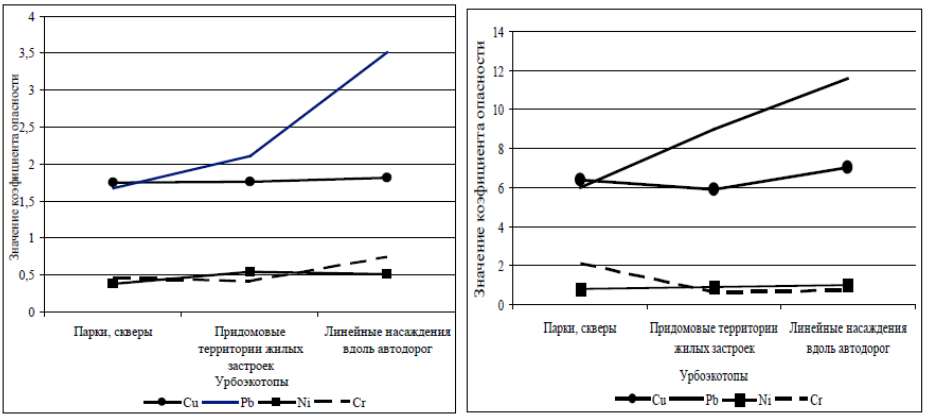


Рисунок 6. Карта – схема состояния насаждений *T. cordata* в пределах г. Киева по интегральному показателю – Индексу состояния древостоя



а) **б)**

Рисунок 7. Значения коэффициентов опасности тяжелых металлов в: а) почвах, б) листьях *T. cordata* урбоэкотопов г. Киева, вычислено по данным (Біоіндикація …, 2016)

Для комплексной оценки техногенного воздействия на экосистемы мегаполиса мы сравнили интегральный показатель – Индекс состояния деревьев *T. cordata* с Индексом стресса (обратным вегетационным индексом) по (Nebesnyi et al., 2016; Біоіндикація …, 2016), который численно определяет состояние растения, степень угнетения фотосинтеза и нарушения водного баланса в тканях листа.

На основе проведенных исследований (Nebesnyi et al., 2016) по модифицированной нами шкале (табл. 4) (введены категории «степень повреждения», «состояние растений», уточнены диапазоны значений индекса стресса

согласно степени повреждения растений) (Біоіндикація …, 2016) оценено состояние насаждений *T. cordata* по урбоэкотопам г. Киева в зависимости от влияния загрязнителей (рис. 8).

Таблица 4. Шкала значений индекса стресса (*Icm*) для определения уровня повреждения растительных организмов

Индекс стресса	Степень повреждения	Состояние растений
0-0.131	отсутствует	здоровые
0.132-0.167	слабое	ослаблены
0.168-0.225	среднее	сильно ослаблены
0.226-0.255	сильное	угнетены все функции

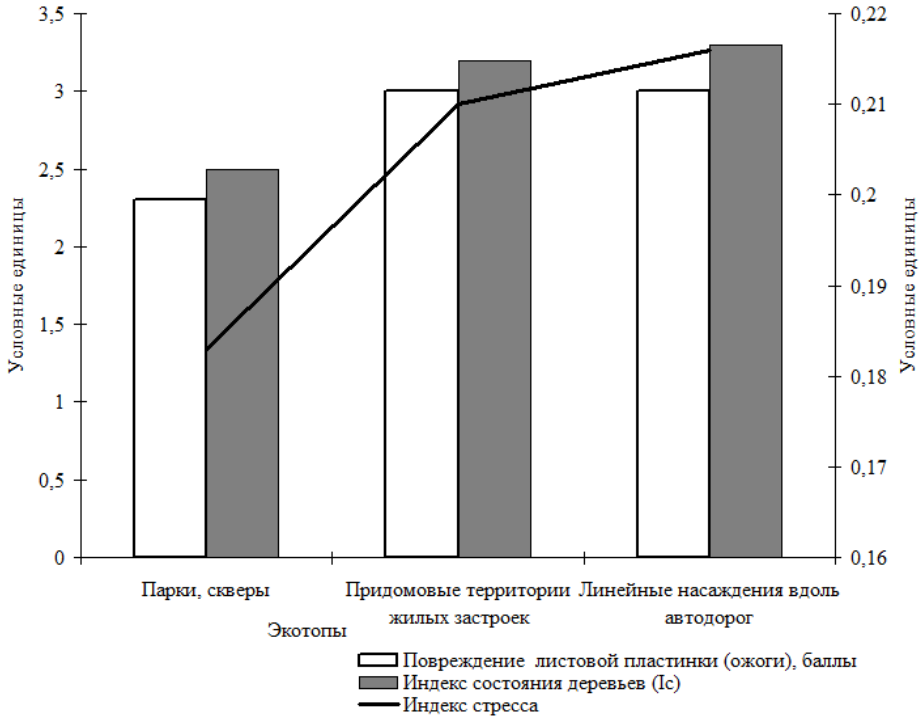


Рисунок 8. Повреждения деревьев *T. cordata* по урбоэкотопам г. Киева
Индекс стресса по (Nebesnyi at al., 2016)

Хотя Индекс стресса находится в диапазоне средней степени повреждения деревьев (0.168-0.225), но увеличивается на 15.2% на градиенте от парков до сильно загрязненных экотопов вдоль автодорог (рис. 8), что повторяет тенденцию по Индексу состояния деревьев, следовательно, биоиндикация антропогенного загрязнения урбоэкосистем по спектральным характеристикам листьев *T. cordata* и интегральному показателю состояния деревьев (Индекс состояния) является перспективным, быстрым методом экологического мониторинга, позволяющим в короткие сроки обследовать значительную территорию (в пределах крупных городов, например), и выявить состояние зеленых насаждений, сделать выводы об их устойчивости к условиям окружающей среды.

По результатам проведенных исследований для диагностики состояния древесных растений рекомендуем систему методик: основных лесоводственно-таксационных – диаметр, высота дерева *T. cordata* (как характеристики динамики роста, состояния и продуктивности деревьев в урбоэкосистеме), место дерева в древесном пологе – Класс Крафта, и фитосанитарное состояние насаждений, степень дефолиации кроны и дехромации листьев, степень преждевременного пожелтения листьев и повреждения их ожогами. Также следует учитывать наличие, количество и состояние естественного возобновления, поскольку способность к самовозобновлению (репродуктивная функция) является одним из стабилизирующих факторов в буферной функции экосистем (рис. 9).

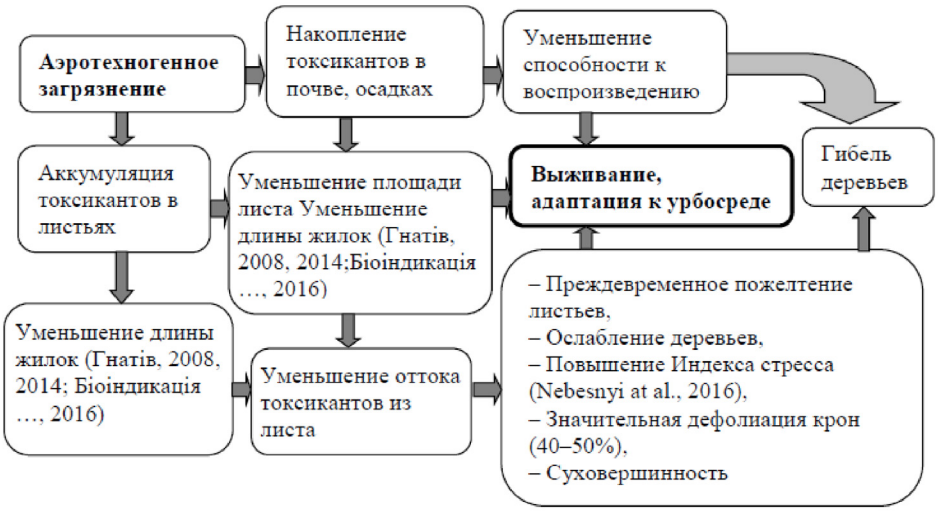


Рисунок 9. Схема адаптационного отклика деревьев *T. cordata* в условиях урбоэкосистемы г. Киева

Гнатів (2008, 2014) и другие авторы (Біоіндикація …, 2016) указывают на уменьшение длины жилок и площади листа разных пород деревьев вследствие аэротехногенного загрязнения (рис. 9).

Мы предложили систему показателей для оценки состояния зеленых насаждений в условиях воздействия неблагоприятных факторов среды на разных уровнях организации живых систем. Достоверными показателями качества состояния урбосреды являются: на уровне органа – доля дехромации, некрозов листа, накопление тяжелых металлов в органах растений и в почвах; на уровне организма, популяции – продолжительность онтогенеза (т.е. возможность растения прожить достаточно длительную жизнь, которая не ограничивается несколькими годами и отмиранием / дефолиацией вследствие аэротехногенного загрязнения) (Лавров, 2003), интенсивность дефолиации кроны дерева; на уровне экосистемы – способность к самовозобновлению, продуктивность (рис. 10) (Лавров, 2003; Лавров и др., 2016).

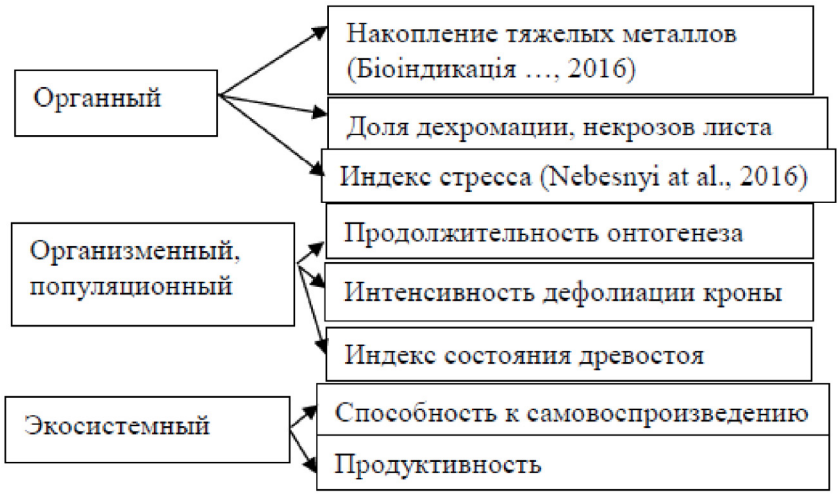


Рисунок 10. Система показателей биоиндикации и пределы адаптационного отклика биоиндикатора *T. cordata* в зависимости от уровня организации биосистемы

Заключение

Основным фактором загрязнения атмосферного воздуха в г. Киеве является автотранспорт. Наибольший уровень загрязнения воздуха (2.0 ПДК и выше) фитотоксикантами NO_x, SO_2, формальдегидом, тяжелыми металлами, что обуславливает катастрофическое состояние уличных зеленых насаждений (некрозы, дехромацию листьев, значительную дефолиацию кроны, усыхание деревьев), и требует проведения неотложных мероприятий по оздоровлению древостоев, посадки деревьев устойчивых пород, увеличения площади зеленых зон, уменьшения техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Нами проведена интегральная оценка техногенного загрязнения урбоэкосистемы г. Киева с помощью комплекса методов биоиндикации на примере *T. cordata* на уровне органа, организма, популяции, экосистемы. Предложена система показателей для экспресс-диагностики состояния зеленых насаждений в пределах мегаполиса. Модифицирована шкала значений индекса стресса (*Icm*) для определения уровня повреждения растительных организмов, по которой оценено состояние насаждений *T. cordata* по урбоэкотопам г. Киева в зависимости от влияния загрязнителей. Выявлено, что Индекс стресса находится в диапазоне средней степени повреждения деревьев и увеличивается на 15.2% на градиенте от парков до сильно загрязненных экотопов вдоль автодорог, что совпадает с данными Индекса состояния деревьев. Предложена и апробирована в ходе исследований шкала оценки естественного вегетативного возобновления деревьев *T. cordata* в условиях мегаполиса. Установлено, что повышенное содержание тяжелых металлов (меди, свинца, никеля) в листьях деревьев *T. cordata* вдоль автодорог коррелирует с ухудше-

нием фитосанитарного состояния деревьев (r = 0.87-0.93) и дехромацией листьев (r = 0.50-0.99). Наиболее низкие значения коэффициентов опасности ($K_{нб}$) тяжелых металлов в парках, повышаются вдоль автодорог, наибольшие значения характерны для меди и свинца. Повышенное содержание меди, свинца, никеля, хрома в почвах вдоль дорог коррелирует с ухудшением фитосанитарного состояния деревьев (r = 0.76-0.95), дефолиацией (r = 0.85), дехромацией листьев (r = 0.62-0.88).

Указанные показатели можно использовать также в качестве критериев интегральной оценки устойчивости древесных растений к действию урботехногенных факторов при создании долголетних зеленых насаждений в крупных городах.

Список литературы

Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель: методично нормативне забезпечення. 2002. /За заг. ред. В.П. Патики, О.Г. Тараріка. – К., Фітосоціоцентр, с. 35-37.

Бессонова В.П. 1999. Цитофизиологические аспекты воздействия тяжелых металлов на рост и развитие растений. – Запорожье, 208 с.

Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. 1988. /Э. Вайнерт, Р. Вальтер, Т. Ветцель и др. – М., Мир, 350 с.

Біоіндикація техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи. 2016. /Г.А. Гродзинська, В.Б. Небесний, Г.Ю. Гончар та ін.; під заг. ред. чл.-кор. НАН України О.П. Дмитрієва. – Київ, Наш формат, 122 с. – Электронный ресурс. URL: https://www.researchgate.net/publication/319173270_Bioindikacia_stanu_tehnogennogo_zabrudnenna_mKieva_metodicni_pidhodi (дата обращения 22 августа 2017).

Букша І.Ф. 2009. Методичні рекомендації з моніторингу лісів України І рівня. – Харків, с. 27-28.

Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. 2007. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. – Ижевск, Ижевская ГСХА, 216 с.

Виноградова О.М. 2010. Фізіолого–біохімічні реакції рослин за умов техногенно забрудненого середовища у Донбасі. – Автореф. дис. … канд. биол. Наук. – Київ, 23 с.

Вишневський В.І., Колісник І.А. 2011. Забруднення атмосферного повітря в Києві протягом 1991-2010 рр. – Український географічний журнал, № 3, с. 57-61.

Воробьев Д.В. 1967. Методика лесотипологических исследований. – Киев, Урожай, 388 с.

Гетко Н.В. 1989. Растения в техногенной среде. Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Минск, Наука и техника, 205 с.

Глібовицька Н.І. 2013. Фізико-хімічні параметри стану листків липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) в урботехногенних умовах зростання. – Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна, серія: біологія, вип. 18, № 1079, с. 180-185.

Гнатів П.С. 2008. Середовище, антропогенні чинники й адаптація рослин. – Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки, сер.: Біологічні науки. – Луцьк, ВНУ ім. Лесі Українки, вип. 3, с. 257-264.

Гнатів П.С. 2014. Функціональна діагностика в дендроекології: Наукова монографія. – Львів, В-во Камула, 336 с.

Діагностика та зонування пошкодження лісів України аеротехногенним забрудненням (методичні рекомендації): Навчальне видання. 2011. /Упорядн.: В.П.Ворон, В.В.Лавров, М.А.Бондарук, Т.Ф.Стельмахова, С.П.Распопіна, І.А.Коваль, О.І.Романенко, О.В.Лєман, О.Г.Целіщев. – Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів: Збірник рекомендацій УкрНДІЛГА. – Харків, Нове слово, с. 113-165.

Дідух Я.П., Альошкіна У.М. 2012. Біотопи міста Києва. – Київ, НаУКМА, Аграр Медіа Груп, 163 с.

Клевцова М.А. 2014. Фитоиндикационная оценка состояния заповедных и урбанизированных территорий (на примере Воронежской области). – Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, № 5, с. 1301-1303.

Коршиков И.И. 1996. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев, Наукова думка, 239 с.

Красинский Н.П. 1950. Методы изучения газоустойчивости растений. – В кн.: Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты. – М., Наука, с. 268-272.

Лавров В.В., Блінкова О.І., Мірошник Н.В., Іваненко О.М. 2016. Синекологічні засади діагностики трансформації структурно-функціональної організації лісових екосистем в аспекті еволюції. – Фактори експериментальної еволюції організмів, т. 18, с. 186-191.

Лавров В.В. 2003. Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми). – В кн.: Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України /відп. ред. О. В. Дудкін. – Київ, Хімджест, с. 156-273.

Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. – Москва, Высшая школа, 352 с.

Луцишин О.Г., Радченко В.Г., Палапа Н.В., Яворовський П.П. 2010. Макроморфологічні зміни реакції-відповіді рослинних організмів деревних вуличних насаджень Київського мегаполісу при стресовому рівні техногенного забруднення. – Доповіді Національної академії наук України, № 6, с. 180-187.

Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. 2016. – Київ, Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С., 350 с.

Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2015 році. 2016. – Київ, Центральна геофізична обсерваторія (ЦГО). Рукопис., 41 с.

Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за І півріччя 2017 р. 2017. Рукопис., 133 с.

Одукалець І.О. 2011. Морфолого фізіологічні зміни деревних рослин за атмосферного забруднення. – Питання біоіндикації та екології, Запоріжжя, ЗНУ, вип. 16, № 1, с. 54-78.

Оселищна концепція збереження біорізноманіття: базові документи Європейського союзу. 2012. /За ред. О.О. Кагало, Б.П. Проця. – Львів, ЗУКЦ, 278 с.

Парпан В.І., Миленька М.М. 2010. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно-змінених територій. – Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія, т. 2, вип. 18, с. 61-68.

Рассадина Е.В. 2010. Фитоиндикация состояния урбосистем. – Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, № 12, с. 22-26.

Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. СанПиН42-128-1433-87. 1988. – М., Изд-во "Минздрав", 27 с.

Санітарні правила в лісах України. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.07.1995 р., № 555. 1995. – Київ, Урожай, 16 с.

Сейдафаров Р.А. 2009. Эколого-биологические особенности липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях техногенного загрязнения: на примере Уфимского промышленного центра. – Дис. … канд. биол. наук. – Уфа, 221 с.

Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей. 1986. / В.П. Тарабрин, Е.Н. Кондратюк, В.Г. Башкатов и др. – Киев, Наукова думка, 216 с.

Хвостов О.О., Капелюш Н.В. 2011. Вплив аерогенного забруднення на стан деревної рослинності м. Запоріжжя. – Питання біоіндикації та екології, Запоріжжя, вип. 16, № 1, с. 103-108.

Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. 2004. Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution. – Environmental and Experimental Botany, vol. 51 (3), pp. 215-225.

Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting, 7-8 October. 2002. – Vienna, Austria, 6 p.

Nebesnyi V.B., Grodzinskaya A.A., Gonchar A.Yu., Konyakin S.M., Schur K. Yu. 2016. The use of *Tilia cordata* Mill. as bioindicator for the evaluation of the

ecological state of Kiev urbanized areas (Ukraine). – Journal of Medicinal Plants Studies, vol. 4 (3), pp. 277-282.

Puhe J., Ulrich B. 2001. Global climate change and human impacts on forest ecosystems: postglacial development, present situation, and future trends in Central Europe. – Berlin, Springer, 594 p.

Rud N.V. 2015. Crown defoliation of *Tilia cordata* Mill. as an indicator of air pollution levels in landscape garden areas within city environment. – Studia Biologica, No. 1, pp. 135-142.

References

Ahroekolohichnyi monitorynh ta pasportyzatsiia silskohospodarskykh zemel: metodychno normatyvne zabezpechennia [Agroecological monitoring and certification of agricultural land, methodically regulatory support. 2002. Kiev, pp. 35-37.

Bessonova V.P. 1999. *Tsitofiziologicheskie aspekty vozdeistviia tiazhelykh metallov na rost i razvitie rastenii* [Cytofiziologic aspects of the effect of heavy metals on the growth and development of plants]. Zaporozh'e, 208 p.

Bioindikatsiia zagriazneniia nazemnykh ekosistem [Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems]. 1988. Moscow, 350 p.

Bioindykatsiia tekhnohennoho zabrudnennia m. Kyieva: metodychni pidkhody [Bioindication of technogenic pollution of Kiev-city, methodological approaches]. 2016. Kiev, 122 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/319173270_Bioindikacia_stanu_tehnogennogo_zabrudnenna_mKieva_metodicni_pidhodi (accessed 22 august 2017).

Buksha I.F. *Metodychni rekomendatsii z monitorynhu lisiv Ukrainy I rivnia* [Guidelines for monitoring of forests and Ukraine]. 2009. Kharkiv, pp. 27-28.

Buharina I.L., Povarnicina T.M., Vedernikov K.E. 2007. *Jekologo-biologicheskie osobennosti drevesnyh rastenij v urbanizirovannoj srede* [Ecological and biological features of woody plants in an urbanized environment]. Izhevsk, 216 p.

Vynohradova O.M. 2010. *Fizioloho–biokhimichni reaktsii roslyn za umov tekhnohenno zabrudnenoho seredovyshcha u Donbasi* [Physiological and biochemical responses of plants under conditions of technologically polluted environment in Donbass]. Extended abstract of candidate's thesis, Kiev, 23 p.

Vyshnevskyi V.I., Kolisnyk I.A. 2011. Zabrudnennia atmosfernoho povitria v Kyievi protiahom 1991–2010 rr. [Air pollution in Kiev during the years 1991-2010]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journa*l, no. 3, pp. 57-61.

Vorob'ev D.V. 1967. *Metodika lesotipologicheskih issledovanij* [Methods of forest typology research]. Kiev, 388 p.

Getko N.V. 1989. *Rasteniia v tekhnogennoi srede. Struktura i funktsiia assimiliatsionnogo apparata* [Plants in the technogenic environment. Structure and function of assimilation apparatus]. Minsk, 205 p.

Hlibovytska N.I. 2013. Fizyko-khimichni parametry stanu lystkiv lypy sertselystoi (*Tilia cordata* Mill.) v urbotekhnohennykh umovakh zrostannia [Physico-chemical parameters of cordata leaves linden (*Tilia cordata* Mill.) in terms of anthropogenic growth]. *Visn. Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina, seriia: biolohiia – Bull. of Kharkiv Karazin National University Series: Biology,* vol. 18, no. 1079, pp. 180-185.

Hnativ P.S. 2008. Seredovyshche, antropohenni chynnyky y adaptatsiia roslyn [Environment, anthropogenic factors and adaptation of plants]. *Naukovyi visnyk Volynskoho natsionalnoho universytetu im. Lesi Ukrainky, ser.: Biolohichni nauky – Scientific Journal Volyn National University Lesi Ukrainky, Series: Biological sciences*, Lutsk, vol. 3, pp. 257-264.

Hnativ P.S. 2014. *Funkcional'na diagnostika v dendroekologiï: Naukova monografija* [Functional diagnostics in dendroecology: Scientific monograph]. L'viv, 336 p.

Diagnostika ta zonuvannja poshkodzhennja lisiv Ukraïni aerotehnogennim zabrudnennjam (*metodichni rekomendacii*): *Navchal'ne vidannja* [Diagnostics and zoning of damage of forests of Ukraine by aerotechnogenic pollution (methodical recommendations): Educational edition]. 2011. Monitoring ta pidvishhennja stijkosti antropogenno porushenih lisiv: Zbirnik rekomendacij UkrNDILGA [Monitoring and increasing the stability of anthropogenic disturbed forests: UkrNIILGA recommendations booklet]. Harkiv, pp. 113-165.

Didukh Ya.P., Aloshkina U.M. 2012. *Biotopy mista Kyieva* [Biotopes in Kiev]. Kiev, 163 p.

Klevtsova M.A. 2014. Fitoindikacionnaja ocenka sostojanija zapovednyh i urbanizirovannyh territorij (na primere Voronezhskoj oblasti) [Phytoindicative assessment of the state of protected and urbanized territories (on the example of the Voronezh region)]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences*, no. 5, pp. 1301-1303.

Korshikov I.I. 1996. *Adaptatsiia rastenii k usloviiam tekhnogenno zagriaznennoi sredy* [Adaptation of plants to conditions of technogenically polluted environment]. Kiev, 239 p.

Krasinskii N.P. 1950. Metody izucheniia gazoustoichivosti rastenii [Methods study for gas resistance plants]. V kn.: *Dymoustoichivost' rastenii i dymoustoichivye assortimenty* [Smoke-resistant plants and smoke-resistant assortments]. Moscow, pp. 268-272.

Lavrov V.V., Blinkova O.I., Miroshnyk N.V., Ivanenko O.M. 2016. Synekolohichni zasady diahnostyky transformatsii strukturno–funktsionalnoi

orhanizatsii lisovykh ekosystem v aspekti evoliutsii [Synecological principles of diagnosis transformation structural and functional organization of forest ecosystems in terms of evolution]. *Faktory eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv – Factors of organisms experimental evolution*, vol. 18, pp. 186-191.

Lavrov V.V. 2003. Systemnyi pidkhid yak metodolohichna osnova dlia otsinky i zmenshennia zahroz bioriznomanittiu (lisovi ekosystemy*)* [System approach as a methodological framework for assessing and reducing threats to biodiversity (forest ecosystems)]. *– V kn.: Otsinka i napriamky zmenshennia zahroz bioriznomanittiu Ukrainy* [Assessment and help reduce threats to biodiversity Ukraine]. Kiev, pp. 156-273.

Lakin G.F. 1990. *Biometriia* [Biometrics]. Moscow, 352 p.

Lutsyshyn O.H., Radchenko V.H., Palapa N.V., Yavorovskyi P.P. 2010. Makromorfolohichni zminy reaktsii-vidpovidi roslynnykh orhanizmiv derevnykh vulychnykh nasadzhen Kyivskoho mehapolisu pry stresovomu rivni tekhnohennoho zabrudnennia [Makromorfology change reactions and answers plant organisms street tree plantings metropolis of Kiev in the stress level of technogenic pollution]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy – Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, no. 6, pp. 180-187.

Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2014 r. [National Report on the State of Environment in Ukraine in 2014]. 2016. Kiev, 350 p.

Ohliad pro stan zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na terytorii Ukrainy za danymy sposterezhen hidrometeorolohichnykh orhanizatsii u 2015 r. [Review of the state of environmental pollution in Ukraine, according to observations of meteorological organizations in 2015]. 2016. Kiev. Manuscript. 41 p.

Ohliad stanu zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u I pivrichchi 2017 r. (za danymy merezhi sposterezhen Natsionalnoi Hidrometsluzhby Ukrainy) [Review of environmental pollution in Ukraine in the first half of 2017 (according to the National Meteorological monitoring network Ukraine)]. Manuscript, 133 p.

Odukalets I.O. 2011. Morfoloho fiziolohichni zminy derevnykh roslyn za atmosfernoho zabrudnennia [Morphologic physiological changes woody plants for air pollution]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii – The question of ecology and bioindication*, vol. 16, no. 1, pp. 54-78.

Oselyshchna kontseptsiia zberezhennia bioriznomanittia: bazovi dokumenty Yevropeiskoho soiuzu [The natural habitats concept for biodiversity conservation: basic documents of the European Union]. 2012. Lviv, 278 p.

Parpan V.I., Mylenka M.M. 2010. Metodolohichni aspekty otsinky ekolohichnoho stanu urbanizovanykh i tekhnohenno-zminenykh terytorii [Methodological aspects of the environmental status of urban and technologically-

altered areas]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia. Ekolohiia – Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, vol. 2, no. 18, pp. 61-68.

Rassadina E.V. Fitoindikacija sostojanija urbosistem [Phytoindication of the state of urbosystems]. 2010. *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii – Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy,* no. 12, pp. 22-26.

Sanitarnye normy dopustimyh koncentracij himicheskih veshchestv v pochve. SanPiN42-128-1433-87 [Sanitary norms of permissible concentrations of chemical substances in soil. SanPiN42-128-1433-87]. 1988. Moscow, 27 p.

Sanitarni pravyla v lisakh Ukrainy. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27.07.1995 r. № 555 [Sanitary rules in forests of Ukraine. Cabinet of Ministers of Ukraine 27.07.1995, no. 555]. 1995. Kiev, 16 p.

Seidafarov R.A. 2009. *Ekologo-biologicheskie osobennosti lipy melkolistnoi (Tilia cordata Mill.) v usloviiakh tekhnogennogo zagriazneniia: na primere Ufimskogo promyshlennogo tsentra* [Ecological and biological features of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) In conditions of technogenic pollution: by the example of the Ufa Industrial Center]. Candidate's thesis, Ufa, 221 p.

Fitotoksichnost' organicheskikh i neorganicheskikh zagriaznitelei [Phytotoxicity of organic and inorganic pollutants]. 1986. Kiev, 216 p.

Khvostov O.O., Kapeliush N.V. 2011. Vplyv aerohennoho zabrudnennia na stan derevnoi roslynnosti m. Zaporizhzhia [Aerogenic Effect of pollution on the state of woody vegetation Zaporozhye town]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii – The question of ecology and bioindication*, vol. 16, no. 1, pp. 103-108.

Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. 2004. Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution. – Environmental and Experimental Botany, vol. 51 (3), pp. 215-225.

Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting, 7-8 October. 2002. – Vienna, Austria, 6 p.

Nebesnyi V.B., Grodzinskaya A.A., Gonchar A.Yu., Konyakin S.M., Schur K. Yu. 2016. The use of Tilia cordata Mill. as bioindicator for the evaluation of the ecological state of Kiev urbanized areas (Ukraine). – Journal of Medicinal Plants Studies, vol. 4 (3), pp. 277-282.

Puhe J., Ulrich B. 2001. Global climate change and human impacts on forest ecosystems: postglacial development, present situation, and future trends in Central Europe. – Berlin, Springer, 594 p.

Rud N.V. 2015. Crown defoliation of Tilia cordata Mill. as an indicator of air pollution levels in landscape garden areas within city environment. – Studia Biologica, no. 1, pp. 135-142.

Статья поступила в редакцию: 23.05.2017 г. *После переработки: 20.02.2018 г.*