

ՀՀ ԳԱԱ Ա. ԹԱԽՏԱԶՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ԲՈՒՄԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ԼԻԼԻԹ ՌՈԲԵՐՏԻ

ԱՐԵՎԵԼՅԱՆ ՍՈՍՈՒ ԵՎ ՍՈՎՈՐԱԿԱՆ ՀԱՅԵՆՈՒ ՈՐՈՇ  
ԷԿՈՀԱՄԱԿԱՐԳԱՅԻՆ ԾԱՌԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՐԵՎԱՆ  
ՔԱՂԱՔՈՒՄ

Գ.00.05 - «Բուսաբանություն, սնկաբանություն, էկոլոգիա»

մասնագիտությամբ կենսաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական  
աստիճանի հայցման աստենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2022

---

ИНСТИТУТ БОТАНИКИ ИМЕНИ А. ТАХТАДЖЯНА НАН РА

ХАЧАТРЯН ЛИЛИТ РОБЕРТОВНА

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ  
ВОСТОЧНЫМ ПЛАТАНОМ И ОБЫКНОВЕННЫМ ЯСЕНЕМ В ГОРОДЕ  
ЕРЕВАНЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук  
по специальности 03.00.05 - "Ботаника, микология, экология"

ЕРЕВАН – 2022

**Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ա. Թախտաջյանի անվան Բուսաբանության ինստիտուտում**

**Գիտական ղեկավար՝**

Կենսաբանական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր՝

**Գ. Մ. Ֆայվուշ**

**Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝**

Աշխարհագրական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր՝

**Հ. Յ. Սայադյան**

Կենսաբանական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր՝

**Չ. Ս. Վարդանյան**

**Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի պետական համալսարան**

Պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ. մայիսի 12-ին, ժամը 14<sup>00</sup> ՀՀ ԳԱԱ Ա.

Թախտաջյանի անվան Բուսաբանության ինստիտուտում գործող ՀՀ ԲՈԿ-ի  
“Բուսաբանություն” 035 մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ 0063, ք. Երևան, Աճառյան 1, ՀՀ ԳԱԱ Ա. Թախտաջյանի անվան

Բուսաբանության ինստիտուտ, e-mail: [botanvinst@sci.am](mailto:botanvinst@sci.am)

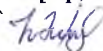
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ Ա. Թախտաջյանի անվան

Բուսաբանության ինստիտուտի գրադարանում և [www.botanv.sci.am](http://www.botanv.sci.am) կայքում:

Մեղմագիրն առաքված է 2022թ. ապրիլի 1-ին:

**035 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,**

Կենսաբանական գիտությունների թեկնածու, դոցենտ՝



**Տ. Տ. Վարդանյան**

---

**Тема диссертации утверждена в Институте ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА**

**Научный руководитель:**

Доктор биологических наук, профессор

**Г. М. Файвуш**

**Официальные оппоненты:**

Доктор географических наук, профессор

**Օ. Ե. Տայադյան**

Доктор биологических наук, профессор

**Չ. Տ. Վարդանյան**

**Ведущая организация: Ереванский государственный университет**

Защита диссертации состоится 12-го мая 2022 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании

Специализированного совета 035 по ботанике ВАК РА, действующего при  
Институте ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА

Адрес: 0063, Ереван, ул. Ачарян 1, Институт ботаники им. А. Тахтаджяна

НАН РА, E-mail: [botanvinst@sci.am](mailto:botanvinst@sci.am)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института ботаники им. А.

Тахтаджяна НАН РА и на сайте [www.botanv.sci.am](http://www.botanv.sci.am).

Автореферат разослан 1-го апреля 2022 г.

**Ученый секретарь специализированного совета 035,**

Кандидат биологических наук, доцент



**Ջ. Օ. Օվակимյան**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Развивающаяся во всем мире быстрыми темпами урбанизация отрицательно сказывается на окружающей среде городов и качестве жизни их жителей, вызывая целый ряд трудноразрешимых природоохранных проблем. В этих условиях деревья в городских экосистемах выступают в качестве «зеленых докторов», предоставляя населению многочисленные экосистемные услуги: экологические, климаторегулирующие, фиторемедиционные, экономические, социальные и др.

Столица Армении город Ереван, как и большинство крупных городов Земного шара, стоит перед рядом серьезных природоохранных проблем. В результате многолетнего мониторинга, осуществляемого армянскими учеными, установлено, что в Ереване одним из важнейших и наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды являются тяжелые металлы. Они являются очень опасным загрязнителем, так как способны долгое время сохраняться в природной среде и, попадая в живые организмы, вызывать целый ряд тяжелых отрицательных последствий. Одной из важнейших экосистемных услуг, предоставляемых древесными растениями зеленых насаждений, является их способность поглощать и накапливать тяжелые металлы. Древесные растения, с одной стороны, считаются сильным природным фильтром для тяжелых металлов, с другой – эффективным индикатором для их обнаружения. В связи с тем, что Ереван расположен в зоне полупустынь, отличается интенсивным автомобильным движением и осуществляемыми строительными работами, город характеризуется высоким пылевым загрязнением атмосферы. Надо отметить, что согласно утверждениям Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), пылевые частицы являются одним из серьезнейших и опасных загрязнителей воздуха. При этом установлено, что городские древесные насаждения очень эффективно снижают содержание в атмосфере различных загрязнителей, особенно содержание пылевых частиц.

Однако необходимо указать, что разные виды деревьев и кустарников имеют различный потенциал по предоставлению экосистемных услуг, который связан не только с их анатомо-физиологическими особенностями, но и с устойчивостью к условиям окружающей среды.

Исходя из вышесказанного, считаем чрезвычайно актуальными, важными и срочными исследования по предоставлению фиторемедиационных экосистемных услуг со стороны древесных растений зеленых насаждений Еревана и по оценке их экологической устойчивости.

**Цель и задачи исследования.** Основной целью работы было исследовать и оценить ряд экосистемных услуг, предоставляемых наиболее распространенными в зеленых насаждениях Еревана двумя видами деревьев – платаном восточным

(*Platanus orientalis*) и ясенем обыкновенным (*Fraxinus excelsior*), а также оценить их устойчивость в насаждениях различного типа.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Исследовать экосистемную услугу по накоплению тяжелых металлов, предоставляемую вышеуказанными видами деревьев.
- Оценить экосистемную услугу по поглощению и накоплению различных фракций пылевых частиц, предоставляемую платаном и ясенем.
- Исследовать экологическую устойчивость и ряд физиолого-биохимических параметров указанных древесных растений.
- Используя компьютерную модель “i-Tree canopy”, провести количественную и экономическую оценку экосистемных услуг, предоставляемых зелеными насаждениями Еревана.

#### **Научная новизна исследования.**

Впервые в Армении:

- ✓ Осуществлены обобщающие исследования особенностей накопления тяжелых металлов платаном восточным и ясенем обыкновенным.
- ✓ С использованием новейших, признанных международным научным сообществом методов проведено исследование потенциала накопления платаном и ясенем различных фракций пылевых частиц и разностороннее исследование химического состава последних.
- ✓ Исследованы экологическая устойчивость в различного типа зеленых насаждениях города Еревана вышеуказанных видов древесных растений и ряд их физиолого-биохимических показателей.
- ✓ С использованием компьютерной модели “i-Tree canopy” на примере первого участка Кольцевого бульвара г. Еревана проведена количественная и экономическая оценка экосистемных услуг, предоставляемых зелеными насаждениями.

#### **Практическая значимость работы.**

Результаты проведенного исследования могут служить основой для проведения следующих работ.

1. При подборе видового состава для разработки и осуществления различных программ по озеленению Еревана.
2. При выявлении и оценке возможных рисков для здоровья населения от тяжелых металлов и пылевых частиц при планировании и проведении санитарно-гигиенических исследований.
3. При создании и разработке новых компьютерных моделей для оценки экосистемных услуг, предоставляемых древесными растениями.

4. При проведении подобных исследований в других населенных пунктах Армении, где стоит сходная задача по оценке последствий загрязнения территорий различными техногенными загрязнителями.

#### **Вклад автора в исследование.**

Исследования по теме диссертации осуществлялись в Институте ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА, в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА и в Исследовательском институте сухопутных экосистем Национального Исследовательского совета Италии. Автор принимал непосредственное участие в сборе всех образцов, их предварительной обработке, в осуществлении количественного и качественного анализа пылевых частиц, в создании базы данных, в анализе и обобщении полученных результатов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на:

- XXV-й Международной конференции «Экология и безопасность» - Болгария, Элените, 2016 г. (устный доклад);
- Международной конференции «Зеленые инфраструктуры. Экологические решения для устойчивых городов» - Италия, Орвето, 2017 г. (устный доклад);
- Второй Международной конференции «Вклад женщин в области биологических наук» - Армения, Ереван, 2017 г. (устный доклад);
- “Sumforest” конференции «Исследование устойчивого управления лесами, мост между политикой и практикой» - Испания, Барселона, 2017 г. (стендовый доклад);
- Международной конференции «Экологические решения. От изобретения к использованию» - Эстония, Таллинн, 2017 г. (стендовый доклад);
- Втором симпозиуме по зеленым инфраструктурам европейских городов – Венгрия, Будапешт, 2017 г. (приглашенный лектор и стендовый доклад);
- Второй международной конференции “SmartBio” –Литва, Каунас, 2018 г. (стендовый доклад);
- Всемирном форуме по городским лесам – Италия, Мантова, 2018 г. (стендовый доклад);
- Международном семинаре по изучению биоразнообразия – Таджикистан, Душанбе, 2019 г. (устный доклад);
- Заседаниях Ученого совета Института ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА (2019, 2021).

**Публикации.** Основные результаты исследований отражены в 7 научных статьях и 3 тезисах конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 231

наименование. Диссертационная работа изложена на 117 страницах, включает 5 таблиц и 38 иллюстраций.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Во введении изложены актуальность исследования, цель и задачи, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

### **ГЛАВА 1. КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЭКОСИСТЕМНЫМ УСЛУГАМ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫМ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ГОРОДСКИХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

В данной главе приведено подробное описание экосистемных услуг, предоставляемых различными видами древесных растений и направленных на решение трудноразрешимых природоохранных задач, связанных с воздействием урбанизации на городские экосистемы. Также детально рассматриваются наиболее часто применяемые методы количественной и экономической оценки экологических услуг, предоставляемых древесными растениями.

### **ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования были осуществлены в период 2015-2021 гг.

**Объектом исследований** была столица Армении г. Ереван, занимающий площадь 223 км<sup>2</sup> (0.75% от территории республики), население города около 1.1 млн. жителей (36.6% от всего населения Армении). Расположен Ереван в центре Араратской межгорной котловины и окружен горными хребтами и массивами. Высота над уровнем моря от 865 до 1390 м. Рельеф Еревана сильно изрезанный, что сильно сказывается на особенностях его климата. Среднегодовая температура в центральной части города составляет 11.2°. Среднегодовое количество осадков в зависимости от района составляет от 250 до 370 мм.

Ереван является крупнейшим промышленным и экономическим центром Армении, где сосредоточено 37.7% промышленных предприятий республики и 53.2% всех строительных мероприятий. В городе насчитывается 420 организаций, которые оказывают сильное отрицательное воздействие на городскую среду. Ереван также отличается интенсивно растущей транспортной нагрузкой.

**Материалом для исследований** послужили листья и накапливаемая на них пыль от двух наиболее распространенных в зеленых насаждениях Еревана видов

древесных растений – платана восточного (*Platanus orientalis* L.) и ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.). Оба вида считаются аборигенными для Армении, произрастают в природных лесных экосистемах и широко используются в зеленом строительстве городов республики. При этом восточный платан включен в Красную книгу растений Армении (2010).

**Методы исследований.** В течение 2015-2016 гг. проводилось исследование особенностей поглощения и накопления двумя вышеуказанными видами деревьев тяжелых металлов (ТМ). С этой целью дважды в год (в начале и в конце вегетационного периода) в 9 точках города производился сбор листьев. В Центральной аналитической лаборатории Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА (Экоцентр) методом атомной абсорбции проводилось определение содержания в листьях 5 ТМ: Hg, Ni, Mo, Cu и Zn. Количественная оценка накопления ТМ деревьями осуществлялась в сухой массе листьев с указанием их фактического, а также нормального и токсического содержания (Baker et al., 1975).

Исследована и оценена экологическая устойчивость восточного платана и обыкновенного ясеня в условиях Еревана. В частности, проведена общая оценка состояния деревьев, а также в листьях определялось содержание общего и белкового азота и фотосинтетических пигментов. С этой целью также в начале и конце вегетационного сезона 2016 г. в тех же девяти пунктах Еревана проводился сбор образцов, лабораторное исследование которых было осуществлено в Экоцентре.

В 2018 г. осуществлялась оценка возможностей накопления различных фракций пылевых частиц (ПЧ) листьями платана и ясеня, а также осуществлялся анализ их химического состава. Исследовались фракции с размером частиц 100µm (ПЧ100), 10µm (ПЧ10), 2.5µm (ПЧ2.5) и 1µm (ПЧ1). Экспериментальная часть этого исследования осуществлялась в Исследовательском институте сухопутных экосистем Национального Исследовательского совета Италии. Образцы листьев были собраны в сентябре 2018 г. в четырех административных округах Еревана (Давташен, Кентрон, Нор Норк и Шенгавит). В округах Давташен, Кентрон и Нор Норк образцы были собраны как на сильно загруженных автотранспортом улицах, так и в близкорасположенных садах и парках. В округе Шенгавит образцы были собраны только с улиц, расположенных вблизи от химического комбината «Наирит». С целью общего количественного анализа ПЧ образцы листьев подвергались вакуумной фильтрации. Для определения размеров, количества и элементного состава ПЧ на поверхности листьев использовался сканирующий электронный микроскоп Phenom ProX. Оценка общего элементного состава ПЧ осуществлялась путем расчета процента взвешенного объема (weighed volume percentage -  $W_{\%x}$ ) для каждого элемента ( $x$ ).

Для количественной и экономической оценки экосистемных услуг, предоставляемых древесными растениями, была применена компьютерная

модель i-Tree сапору, для чего в качестве объекта исследования был выбран первый участок Кольцевого бульвара Еревана. В рамках этого исследования в качестве индекса оценки экосистемных услуг было выбрано удаление из атмосферного воздуха следующих загрязнителей: углерод и окись углерода (оценивалось также их накопление), NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, фракции ПЧ10 и ПЧ2.5. Учитывая, что вид и эффективность экосистемных услуг, предоставляемых зелеными насаждениями, зависят от многих факторов, в том числе от видового состава насаждений, количества деревьев, размера их крон, состояния деревьев, состояния окружающей среды и географического местоположения насаждений, нами также была исследована структура зеленых насаждений Первого участка Кольцевого бульвара г. Еревана. Полевые исследования были осуществлены в августе 2019 г.

С целью статистического анализа полученных данных использовались компьютерные программы Microsoft Office Excel и Statistics v.7. Все полученные данные были подвержены многостороннему статистическому анализу. Кроме того, в рамках исследования экосистемной услуги по массовому накоплению разных фракций ПЧ двумя видами деревьев использовался тест “one-way ANOVA”, принимая за основу данные нормального распределения, полученного при использовании теста Shapiro-Wilk. Для выделения гомогенных групп образцов применялся тест Fisher LSD. Для статистического анализа фракций ПЧ, накапливающихся на листьях, применялся анализ PCA (Principal component analysis). Также был проведен корреляционный анализ содержания хлорофилла “a” и “b” и ТМ.

### **ГЛАВА 3. ЭКОСИСТЕМНАЯ УСЛУГА ПО ПОГЛОЩЕНИЮ И НАКОПЛЕНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМАЯ ВОСТОЧНЫМ ПЛАТАНОМ И ОБЫКНОВЕННЫМ ЯСЕНЕМ В УСЛОВИЯХ ЕРЕВАНА**

В листьях обоих видов деревьев из исследованных ТМ больше всего накапливались Hg, Ni и Mo. Содержание Cu и Zn в листьях было в пределах нормы, не превышая ее верхнюю границу. Содержание ртути в листьях обоих исследованных видов деревьев превышало границы токсического содержания (0.04 мг/кг), содержание никеля и молибдена было близко к верхней границе нормального содержания (1 мг/кг). Бросается в глаза высокий потенциал обыкновенного ясеня по накоплению меди, цинка и ртути, а восточный платан более интенсивно накапливал никель и молибден (рис. 1). При исследовании сезонной динамики накопления ТМ в листьях двух исследованных видов деревьев в 2015-2016 гг. была выявлена необычная закономерность. В начале вегетации в листьях ясеня обыкновенного содержание меди было выше, чем в конце, а у платана восточного подобное явление было обнаружено в отношении ртути.



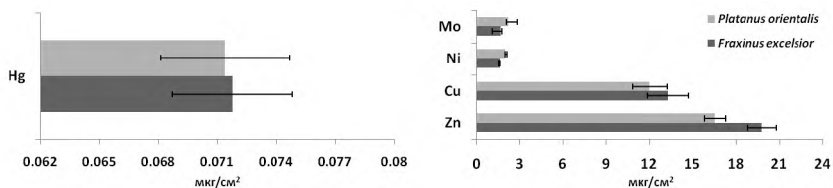


Рис. 1. Сравнительные показатели накопления ТМ листьями восточного платана и обыкновенного ясеня (2015-2016 гг.)

Содержание же в листьях молибдена у обоих видов и никеля у платана было выше в конце вегетации. Для остальных ТМ закономерности в содержании в связи с сезонной динамикой не обнаружены.

Наиболее высокий уровень загрязнения ТМ был обнаружен в точках сбора материала №5, №7, №6 и №4, которые располагались в южной (окрестности комбината «Наирит»), северо-западной (ул. Т. Петросяна), западной (ул. Раффи) и центральной (парк им. Комитаса) частях города (рис. 2).

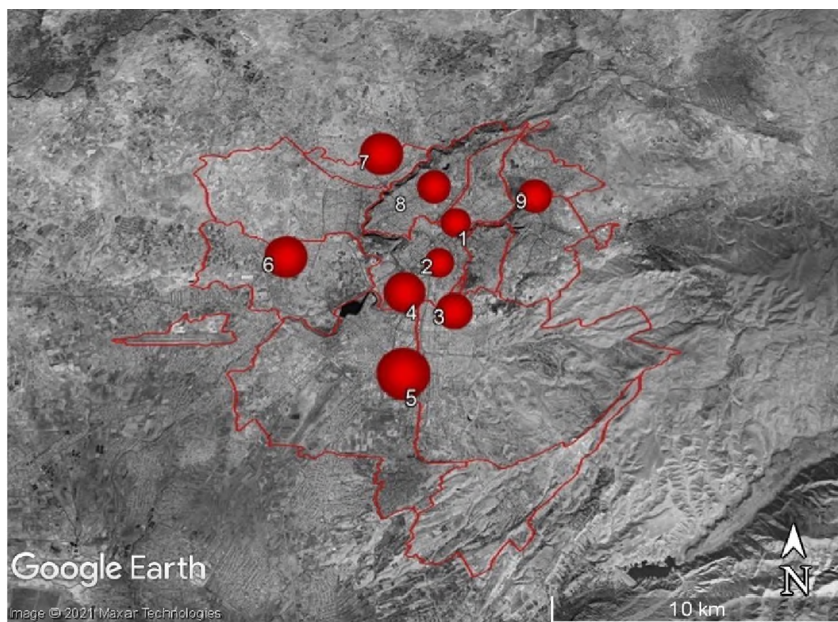


Рис. 2. Суммарное содержание исследованных ТМ в пунктах сбора образцов. Размеры точек отражают количество накопленных ТМ - чем больше размер кружка, тем больше накоплено ТМ.

#### ГЛАВА 4. ЭКОСИСТЕМНАЯ УСЛУГА ПО НАКОПЛЕНИЮ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМАЯ ВОСТОЧНЫМ ПЛАТАНОМ И ОБЫКНОВЕННЫМ ЯСЕНЕМ В УСЛОВИЯХ ЕРЕВАНА

Установлено, что растущие на улицах административных районов Кентрон, Давташен и Нор Норк деревья платана накапливали больше ПЧ100 по сравнению с деревьями, растущими в садах и парках. При этом у ясеня во всех административных районах и на улицах, и в садах и парках этот показатель существенно не различался (рис. 3).

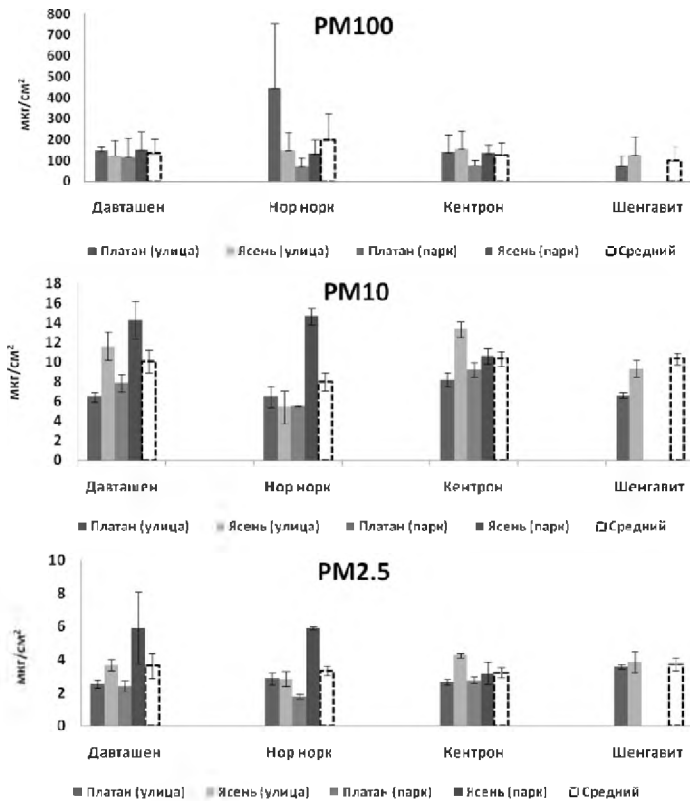


Рис. 3. Результаты анализа накопления различных фракций ПЧ на листьях платана и ясеня в исследованных административных районах Еревана

Произрастающие в садах и парках Давташена и Кентрона деревья платана более интенсивно накапливали фракцию ПЧ10, чем деревья на улицах. У ясеня в случае накопления фракций ПЧ10 и ПЧ2.5 в районах Давташен и Нор Норк наблюдалась сходная картина. У платана же во всех районах наблюдалось практически одинаковое накопление ПЧ2.5 и на улицах, и в парках.

Что касается сравнения двух исследованных видов деревьев по возможностям накопления на листьях ПЧ разных фракций, деревья платана накапливали несколько больше ПЧ10, чем деревья ясеня (рис. 4). Однако в отношении более мелких фракций (ПЧ10 и ПЧ2.5) проявляется иная картина. Листья ясеня накапливали больше, чем листья платана ПЧ10 и ПЧ2.5 соответственно в 1.6 и 1.7 раза. Этот факт объясняется особенностями морфологии листьев исследуемых деревьев, расположением, густотой ветвей, формой кроны и др.

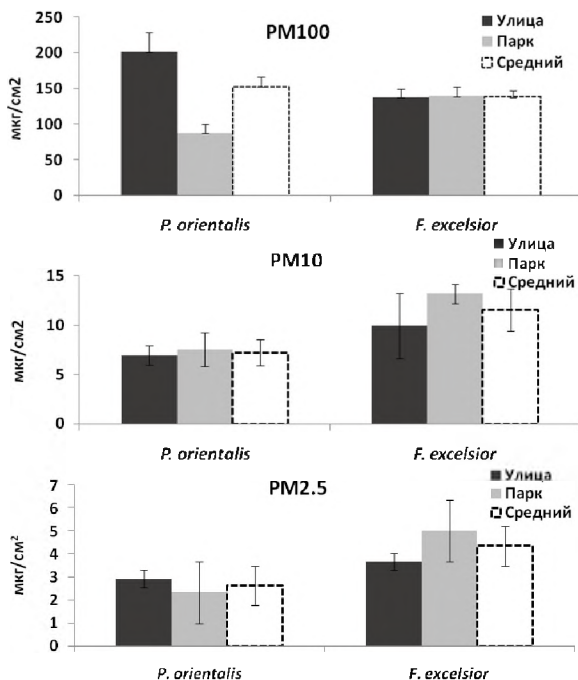


Рис. 4. Результаты сравнительного анализа ( $p < 0.1$ ) накопления различных фракций ПЧ листьями восточного платана и обыкновенного ясеня. На графиках указано также стандартное отклонение.

Анализ химического состава ПЧ различных фракций, собранных с абаксильной и адаксильной стороны листьев обоих видов древесных растений

на улицах и в садах и парках, показал высокое содержание Al, Si, Ca и Fe. Из ТМ, отличающихся большой токсичностью, высокое содержание в ПЧ отмечено для Se, Mo, Ba, Pb и еще более 10 других тяжелых металлов. Внимания заслуживает тот факт, что высокая концентрация указанных ТМ отмечено в ПЧ на улицах и в промышленных районах города.

На графиках, приведенных на рис. 5, можно увидеть, что во всех фракциях ПЧ во всех четырех административных районах Еревана содержание элементов земной коры не проявляются пиковые значения. Совершенно другая картина в случае токсичных элементов. Во всех трех фракциях высоким содержанием токсичных элементов отличались образцы из административного района Шенгавит – района, где сосредоточены основные производственные предприятия города.

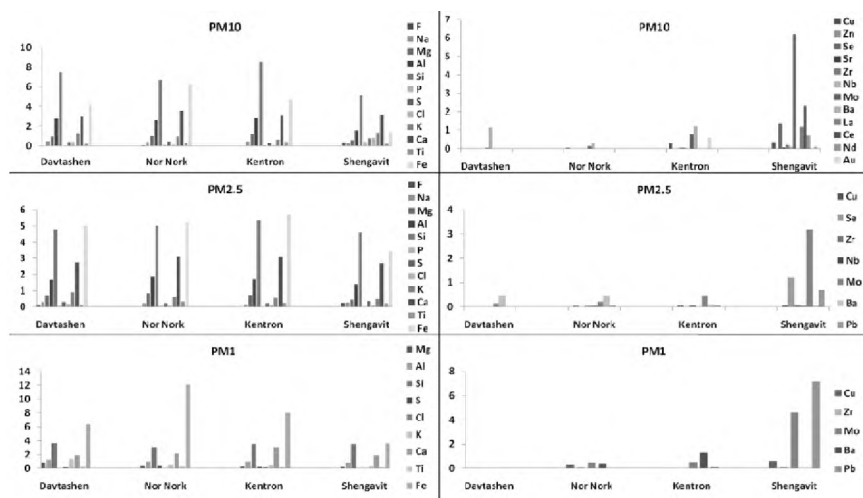


Рис. 5. Элементный состав ( $W\%$ ) ПЧ по фракциям по исследованным районам Еревана

Особое беспокойство вызывает высокое содержание трех элементов: Se, Mo и Pb. Наиболее высокое содержание ( $W\%$ ) селена зарегистрировано в ПЧ10 – 1.4%, в случае молибдена и свинца соответственно в ПЧ10 – 6.2% и ПЧ1 – 7.2%. Из четырех административных районов Еревана второе место по высокому содержанию токсических элементов занимает Kentron, что и не удивительно, так как этот район отличается очень высокой загруженностью автотранспортом. Относительно чистым является район Давташен.

## ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И НЕКОТОРЫЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОСТОЧНОГО ПЛАТАНА И ОБЫКНОВЕННОГО ЯСЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЕРЕВАНА

В рамках проведенного исследования было изучено состояние и ряд физиолого-биохимических показателей платана и ясеня, которые определяют адапционный ответ и экологическую устойчивость деревьев на стрессовые биотические и абиотические факторы в Ереване.

Анализ состояния деревьев показал, что по сравнению с платаном восточным деревья ясеня обыкновенного в 2015 и 2016 гг. находились в более хорошем состоянии. Среди исследованных платанов не было обнаружено деревьев первой категории, то есть экземпляров, находящихся в прекрасном состоянии. Среди деревьев ясеня большинство экземпляров относились к первой и второй категории, то есть находились в отличном и хорошем состоянии.

В ходе исследований в листьях платана и ясеня определено содержание хлорофилла “а” и “b” и их сезонные изменения (рис. 6).

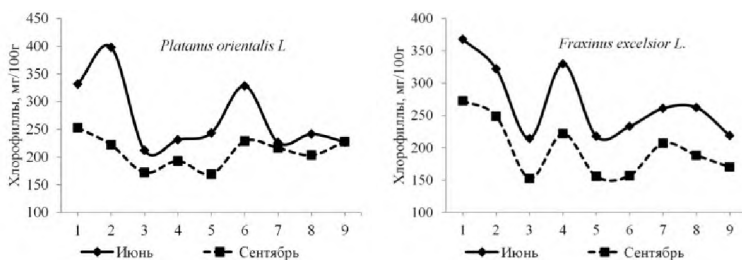


Рис. 6. Сезонные изменения суммарного содержания хлорофилла в листьях платана и ясеня по точкам отбора проб

У обоих изученных видов деревьев в конце вегетации отмечалось снижение содержания хлорофилла “а” и “b” в листьях.

Нами был проведен корреляционный анализ сезонных изменений содержания в листьях хлорофилла “а” и “b” и ТМ (рис. 7). Корреляционный анализ показал, что в листьях платана отмечена обратная связь – с увеличением содержания ТМ падает содержание хлорофилла “а” и “b”. У ясеня картина была несколько иной. По мере увеличения содержания в листьях ТМ падало только содержание хлорофилла “а”. Правда, корреляционная связь была не очень высокой ( $r = -0.2$ ). Что касается хлорофилла “b”, то при увеличении содержания ТМ изменений в его содержании практически не отмечалось ( $r = 0.09$ ).

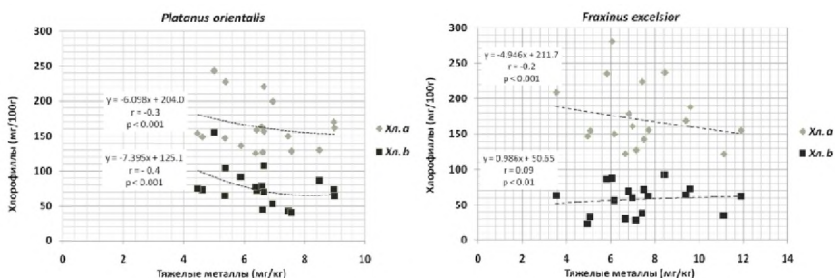


Рис. 7. Результаты корреляционного анализа сезонного изменения содержания хлорофилла “а” и “б” и тяжелых металлов в листьях платана восточного и ясеня обыкновенного

Полученные данные еще раз подтверждают тот факт, что в условиях Еревана деревья ясеня обыкновенного проявляют относительно более высокую устойчивость чем деревья платана.

Исследования динамики содержания в листьях платана и ясеня азота показали, что к концу вегетации содержание этого элемента проявляет явную тенденцию к снижению, что свидетельствует о снижении физиолого-биохимической активности в этот период.

## ГЛАВА 6. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ, И СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ КОЛЬЦЕВОГО БУЛЬВАРА ЕРЕВАНА)

Для более ясного представления об экосистемных услугах, предоставляемых городскими древесными насаждениями мы впервые в Армении использовали компьютерную модель “i-Tree сапору”, являющуюся составной частью одноименного пакета программ. Эта модель вместе со спутниковыми изображениями Google Earth позволяет охарактеризовать и классифицировать почвенный покров на изучаемом участке.

В качестве экспериментального участка для программы “i-Tree сапору” нами был выбран первый участок Кольцевого бульвара г. Еревана, расположенный между улицами Е. Кочара, Ханджяна, Вардананц и А. Манукяна и занимающий площадь 3.6 га.

Прежде всего на данном участке была проведена инвентаризация древесных растений. Здесь зарегистрировано 757 деревьев, относящихся к 27 видам. Наиболее часто встречающимися деревьями здесь были два вида рода *Ulmus* (*U. foliacea* и *U. laevis*) - всего 265 деревьев. Следующими наиболее распространенными видами являются *Sophora japonica* (45 деревьев) и *Fraxinus*

*pennsylvanica* (44 дерева). *Platanus orientalis* и *Fraxinus excelsior* среди видов деревьев составляют 4% и 2% соответственно.

Было оценено также состояние деревьев на исследуемом участке Кольцевого бульвара. Было установлено, что более половины всех деревьев (55%) находятся в ослабленном состоянии, только 13% деревьев были в отличном состоянии, а 3% были полностью засохшими. Наиболее распространенный здесь вид *Ulmus foliacea* в своем большинстве относился к категориям «ослабленный», «крайне ослабленный» и «полностью засохший». В отличном и хорошем состоянии в основном были деревья *Fraxinus pennsylvanica*, *Ailanthus altissima*, *Armeniaca vulgaris* и *Juglans regia*.

Нами были также зафиксированы некоторые дендрометрические показатели произрастающих на исследуемом участке деревьев – в первую очередь, высота деревьев и диаметр ствола. Около 30% всех деревьев имели диаметр ствола от 16 до 30 см, и более 50% были высотой 6-11 м. Крупные деревья с диаметром ствола более 62 см составляли 6.5% от общего количества деревьев. Деревья более 18 м высотой составляли всего 3%. Все это говорит, что большинство деревьев на исследуемом участке являются средневозрастными.

В рамках настоящего исследования для классификации почвенного покрова с применением модели “i-Tree сапору” были выбраны 500 случайных точек (рис. 8). Были выделены 4 категории покрытия почвы: T – деревья, G – травяной покров, SA – асфальтовое или каменистое покрытие, SB – голая почва. От общей площади исследованного участка (3.6 га) 60.5% отнесено к категории “Т”.

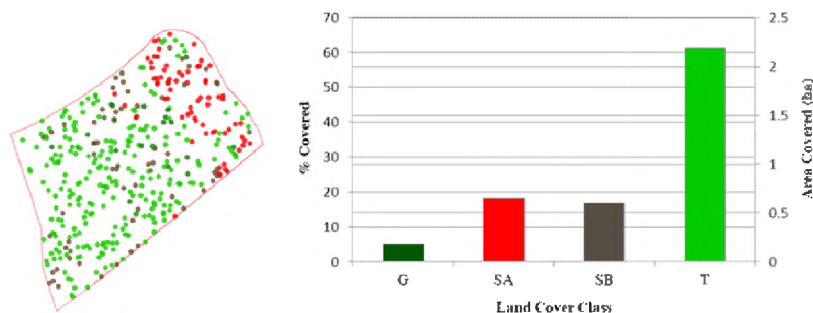


Рис. 8. Местоположение случайно выбранных точек и распределение классов покрытия почвы

В рамках настоящего исследования в качестве индексов оценки экосистемных услуг были приняты приведенные в таблице 1 значения удаления из атмосферы загрязнителей и углекислого газа.

Полученные с помощью модели “i-Tree сапору” данные показывают, что в 2019 г. деревья на первом участке Кольцевого бульвара Еревана удалили около 183 кг загрязнителей воздуха, что оценивается в 1.290 долларов США. Стоимость поглощения и накопления углекислого газа оценивается в 32.815 долларов США. Учитывая, что в настоящее время мы в контакте с американскими учеными разработчиками программы “i-Tree сапору”, используя наш опыт и некоторую адаптацию программы к нашим условиям, мы надеемся доработать программу так, что будет возможность ее использования для оценки экосистемных услуг, предоставляемых отдельными видами древесных растений.

*Таблица 1.*  
*Результаты оценки экосистемных услуг, предоставляемых древесными растениями первого участка Кольцевого бульвара г. Еревана*

<b>Удаление загрязнителей воздуха</b>						
<b>Сокращение</b>	<b>Описание</b>	<b>Количество (кг)</b>	<b>±SE*</b>	<b>Стоимость (\$)</b>	<b>±SE</b>	
CO	Годовое удаление окиси углерода	2.77	±0.11	4	±0	
NO <sub>2</sub>	Годовое удаление двуокиси азота	15.28	±0.62	7	±0	
O <sub>3</sub>	Годовое удаление озона	118.04	±4.77	338	±14	
SO <sub>2</sub>	Годовое удаление диоксида серы	7.51	±0.30	1	±0	
PM <sub>10</sub>	Годовое удаление пылевых частиц размером более 2.5µm и менее 10µm	33.5	±1.35	231	±9	
PM <sub>2.5</sub>	Годовое удаление пылевых частиц размером менее 2.5µm	6.03	±0.24	708	±29	
<b>Итого</b>		<b>183.12</b>	<b>±7.40</b>	<b>1.290</b>	<b>±52</b>	
<b>Поглощение и накопление углерода</b>						
<b>Описание</b>	<b>Углерод (т)</b>	<b>±SE</b>	<b>CO<sub>2</sub> Эквивалент (т)</b>	<b>±SE</b>	<b>Стоимость (\$)</b>	<b>±SE</b>
Годовое поглощение деревьями	6.68	±0.27	24.51	±0.99	1.257	±51
Накопление**деревьями	167.86	±6.78	615.49	±24.87	31.558	±1.2

\*Стандартная ошибка

\*\*Данный показатель не имеет годовой стоимости



## ВЫВОДЫ

1. В условиях Еревана листьями восточного платана и обыкновенного ясеня из тяжелых металлов больше всего накапливались ртуть, никель и молибден. При этом содержание ртути в листьях обоих видов деревьев содержание ртути превышало норму токсического содержания, а содержание никеля и молибдена превышало границу нормального содержания. Обыкновенный ясень отличался высоким потенциалом накопления меди, цинка и свинца, а восточный платан более интенсивно накапливал никель и молибден.
2. Динамика накопления тяжелых металлов в 2015-2016 гг. была схожей у обоих видов деревьев и в основном носила нерегулярный характер. Исключение составил молибден, содержание которого в конце вегетации было выше, чем в начале.
3. Наибольший уровень загрязнения тяжелыми металлами отмечался в южном (производственном) районе Еревана, далее следовали юго-западный, западный и центральный районы.
4. Восточный платан отличается несколько более высокой способностью накопления пылевых частиц фракции ПЧ100, чем обыкновенный ясень. В то же время ясень накапливал более чем в 1.5 раза больше ПЧ10 и ПЧ2.5 фракций.
5. Больше всего пылевых частиц фракции ПЧ100 накапливалось в административном районе Нор Норк. ПЧ10 больше всего накапливались в районах Кентрон и Давташен, а ПЧ2.5 – производственном районе Шенгавит.
6. В химическом составе всех фракциях пылевых частиц отмечено высокое содержание Al, Si, Ca, Fe, Se, Mo, Ba и Pb. Важно отметить, что высокий уровень загрязнения токсичными тяжелыми металлами зарегистрирован на улицах города и в производственном районе Еревана.
7. Оценка состояния деревьев в насаждениях Еревана показала более высокую экологическую устойчивость обыкновенного ясеня по сравнению с восточным платаном.
8. Накопление тяжелых металлов в листьях платана коррелировало со снижением количества хлорофилла “а” и “b”, у ясеня же снижение количества хлорофилла было выражено очень слабо, что свидетельствует об относительно более высокой устойчивости этого вида по сравнению с платаном.
9. У обоих видов исследованных деревьев отмечено снижение в конце вегетации содержания в листьях азота, что свидетельствует о снижении физиолого-биохимической активности.
10. При оценке экологических услуг, предоставляемых древесными растениями, на примере первого участка Кольцевого бульвара г. Еревана, было установлено, что в 2019 г. деревья удалили из воздуха 183.12 кг загрязнителей, что с экономической точки зрения оценивается в 1.290

долларов США. При этом теми же деревьями было поглощено и накоплено углекислого газа на общую сумму 31.558 долларов США.

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Учитывая высокую эффективность платана восточного и ясеня обыкновенного в предоставлении фиторемедиционных экосистемных услуг в условиях Еревана рекомендуется их широкое и комплексное использование во всех типах зеленых насаждений города.
2. Рекомендуется использовать вышеуказанные виды деревьев в качестве фитоиндикаторов загрязнения территории произрастания тяжелыми металлами.
3. Учитывая высокую способность поглощения из воздуха зелеными насаждениями пылевых частиц, рекомендуется как расширять площади садов, парков, бульваров, так и трансформировать однорядные уличные посадки в многорядные.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Hovhannisyan H. A., Nersisyan G. S., Khachatryan L. R. Greening as one of efficient urban environment pollution management methods for city of Yerevan, Armenia. Proceedings of the 6th international conference on biotechniques for air pollution control, Ghent, Belgium, 2-4 September, 2015, p. 377-383.
2. Khachatryan L. R., Hovhannisyan H. A. Seasonal variations of heavy metal contents in leaves of *Platanus orientalis* growing in Yerevan, Armenia. Journal Ecology & Safety, International Scientific Publications, V. 10, 2016, p. 295-302.
3. Khachatryan L. R., Nersisyan G. S., Hovhannisyan H. A. Studying diversity and heavy metal absorption properties of urban tree species used in environmental pollution control in Yerevan (Armenia). Book of abstracts of International Conference “Green infrastructure: Nature Based Solutions for Sustainable and Resilient Cities”, Orvieto, Italy, 04-07 April, 2017, p. 131.
4. Nersisyan G.S., Hovhannisyan H.A., Khachatryan L.R., Grigoryan M.A. Studying phytofiltration properties of tree species in green infrastructure of city of Yerevan. Proceedings of the “7th International Conference on Biotechniques for Air Pollution Control and Bioenergy”, La Coruna, Spain, 19-21 July, 2017, p. 52-53.
5. Хачатрян Л.Р., Нерсисян Г.С., Навасардян М.А., Саргсян, Т.А., Межунц Б.Х., Оганесян А.А. Изучение физиолого-биохимических показателей листьев деревьев в зеленых зонах города Еревана. Биологический журнал Армении, 69(1), 2017, с. 74-81.

6. Khachatryan L.R., Hovhannisyan H.A. The heavy metal uptake potential of *Fraxinus excelsior* involved in green infrastructure of Yerevan (Armenia). Abstract book of the 2nd International Conference “Smart Bio”, Kaunas, Lithuania, 03-05 May, 2018, p. 114.
7. Խաչատրյան Լ.Ռ. Ծանր մետաղների պարունակությունների սեզոնային դինամիկան Հացենի սովորականի տերևներում / Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր, շ. XV 3, 2018, էջ 484-487:
8. Khachatryan L.R., Hovhannisyan H.A. Heavy metal absorption characteristics of European Ash in conditions of Yerevan (Armenia). Book of abstracts of the World Forum on Urban Forests, Mantova, Italy, 28 November - 01 December, 2018, p. 173.
9. Khachatryan L.R. Community structure and ecosystem services of trees of the first section of Circular Park in Yerevan, Armenia. Electronic Journal of Natural Sciences of National Academy of Sciences RA, 1(36), 2021, p. 9-13.
10. Khachatryan L.R. The assessment of total suspended particle mitigation potential of *Platanus orientalis* and *Fraxinus excelsior* in Yerevan conditions. Electronic Journal of Natural Sciences of National Academy of Sciences RA, 2(37), 2021, p. 9-12.

#### ԼԻԼԻԹ ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԱՐԵՎԵԼՅԱՆ ՍՈՍՈՒ ԵՎ ՍՈՎՈՐԱԿԱՆ ՀԱՑԵՆՈՒ ՈՐՈՇ  
ԷԿՈՀԱՄԱԿԱՐԳԱՅԻՆ ԾԱՌԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՑՈՒՄԸ ԵՐԵՎԱՆ  
ՔԱՂԱՔՈՒՄ

#### ԱՍՓՈՓԱԳԻՐ

Արագ տեմպերով ընթացող ուրբանիզացիան բացասաբար է անդրադառնում քաղաքների շրջակա միջավայրի և քաղաքային բնակչության կյանքի որակի վրա՝ առաջ բերելով դժվարալույծ բնապահպանական խնդիրներ: Նման պայմաններում քաղաքային ծառատեսակները գործում են որպես քաղաքային էկոհամակարգերի լավագույն «բժիշկներ»: Դրանք մատուցում են էկոլոգիական, կլիմայակարգավորիչ, ֆիտոռեմեդիացիոն, ամստեսական, սոցիալական և բազմաթիվ այլ էկոհամակարգային ծառայություններ: Հաշվի առնելով այն փաստը, որ ՀՀ մայրաքաղաք Երևանը աշխարհի բազմաթիվ քաղաքների պես կանգնած է բնապահպանական լուրջ մարտահրավերների առջև՝ վերոնշյալ հետազոտության նպատակն է եղել ուսումնասիրել և գնահատել Երևանում ամենատարածված ծառատեսակներից երկուսի՝ արևելյան ստառ (*Platanus orientalis*) և սովորական հացենու (*Fraxinus excelsior*) կողմից տրամադրված մի շարք էկոհամակարգային ծառայությունները և կայունությունը Երևանի պայմանների նկատմամբ: Վերոնշյալ ծառատեսակների կողմից մասնավորապես

հետազոտվել են. ա) մի շարք ծանր մետաղների (ՇՄ) (Hg, Ni, Mo, Cu, Zn) կլանման և կուտակման առանձնահատկությունները, բ) փոշու մասնիկների (ՓՄ) տարբեր ֆրակցիաների (ՓՄ100, ՓՄ10, ՓՄ2.5, ՓՄ1) կլանման էկոհամակարգային ծառայությունը և վերջիններիս քիմիական կազմը, գ) ծառատեսակների էկոլոգիական կայունությունն ու ֆիզիոլոգիա-կենսաքիմիական մի շարք ցուցանիշներ: Օղակաձև այգու առաջին հատվածի օրինակով իրականացվել է նաև ծառատեսակների էկոհամակարգային ծառայությունների քանակական և տնտեսական գնահատում i-Tree canopy ծրագրակազմի օգնությամբ:

Պարզվել է, որ սովորական հացենին այքի է ընկել հետազոտված ՇՄ-ներից Cu, Zn և Hg կլանելու բարձր պոտենցիալով, իսկ արևելյան սոսին ավելի ինտենսիվորեն կլանել է Ni և Mo տարրերը: Հետազոտված ՇՄ-ներով աղտոտման առավել բարձր մակարդակ գրանցվել է քաղաքի հարավային (արդյունաբերական), հյուսիս-արևմտյան, արևմտյան և կենտրոնական հատվածներում: ՓՄ տարբեր ֆրակցիաներից արևելյան սոսին այքի է ընկնել ՓՄ100 կլանման փոքր ինչ ավելի բարձր կարողությամբ, քան սովորական հացենին: Մակայն հացենին սառու համեմատ դրսևորել է ՓՄ10 և ՓՄ2.5 ֆրակցիաների կլանման ավելի քան 1.5 անգամ առավել բարձր արդյունավետություն: ՓՄ10, ՓՄ2.5 և ՓՄ1 ֆրակցիաների քիմիական կազմում բարձր պարունակությամբ հայտնաբերվել են Al, Si, Ca, Fe, Se, Mo, Ba, և Pb տարրերը: Ուշադրության է արժանի այն փաստը, որ տոքսիկության բարձր մակարդակ ունեցող ՇՄ-ների բարձր կոնցենտրացիաներ արձանագրվել են փողոցների և քաղաքի արդյունաբերական հատվածի փոշու մասնիկներում: Ծառերի վիճակի գնահատման տվյալների համաձայն սովորական հացենին արևելյան սառու համեմատ Երևանի պայմանների նկատմամբ դրսևորել է ավելի բարձր էկոլոգիական կայունություն: Օղակաձև այգու առաջին հատվածի օրինակով ծառատեսակների էկոհամակարգային ծառայությունների գնահատման արդյունքում պարզվել է, որ 2019թ.-ի ընթացքում ծառերը հեռացրել են 183,12 կգ օդի աղտոտիչ, որը տնտեսապես գնահատվել է 1 290 ԱՄՆ դոլար: Նույն ծառերի կողմից ածխաթթու գազի կլանման և պահեստավորման ցուցանիշները համապատասխանաբար կազմել են 24,51 տոննա – 1 257 ԱՄՆ դոլար և 615,49 տոննա – 31 558 ԱՄՆ դոլար:

Հետազոտության արդյունքները կարող են ծառայել որպես գիտամեթոդական հիմք քաղաքային տարածքների կանաչապատման տարբեր ծրագրերի մշակման ժամանակ՝ տեսականու ընտրության նպատակով, ծանր մետաղների և փոշու մասնիկների կողմից առաջացրած հավանական առողջական ռիսկերի հայտնաբերման և գնահատման բժշկական ուսումնասիրությունների նախագծման ժամանակ, ծառատեսակների էկոհամակարգային ծառայությունների գնահատման նոր մոդելների մշակման և ստեղծման նպատակով, Հայաստանի այլ բնակավայրերում, որտեղ առկա է տեխնոլոգիական ազդեցության հետևանքով տարածքների տարբեր աղտոտիչներով աղտոտման խնդիրը, համանման ուսումնասիրությունների իրականացման նպատակով:

LILIT KHACHATRYAN  
ASSESSMENT OF SEVERAL ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY  
ORIENTAL PLANE AND EUROPEAN ASH IN  
THE CITY OF YEREVAN

RESUME

The rapid urbanization adversely impacts the urban environment and quality of urban population life thus leading to serious environmental issues. In these conditions, urban trees act as “healers” of urban ecosystems. They provide a range of ecological, climate regulating, phytoremediative, economic, and social ecosystem services and forming, therefore, a vital component of livable cities. Taking into account the fact that Yerevan - the capital of Armenia, like many other cities in the world, faces serious environmental challenges, the aim of the current research was to study and assess a number of ecosystem services provided by Oriental plane (*Platanus orientalis*) and European ash (*Fraxinus excelsior*) - the most widespread tree species found in Yerevan and their ecological tolerance to the city conditions. Particularly have been studied: a) absorption and accumulation peculiarities of several of heavy metals (HM) (Hg, Ni, Mo, Cu, Zn) by tree species; b) ecosystem service of species on deposition of particulate matter three size fractions (PM100, PM10, PM2.5, PM1) and their chemical composition, c) ecological stability of trees and a number of physiological-biochemical indicators. c) ecological tolerance of trees and a number of physio-biochemical indices. Following the example of the first section of the Circular Park, a quantitative and economic assessment of the ecosystem services of the tree species was carried out with the help of i-Tree canopy.

It turned out that from the studied HMs European ash tree had a high potential to absorb Cu, Zn and Hg, while the oriental plane absorbed Ni and Mo more intensively. The highest level of pollution with the surveyed HMs was registered in the southern (industrial), north-western, western and central parts of the city. From PM size fractions, the plane tree showed a slightly higher absorption capacity of PM100 than ash tree. However, ash has shown to be more than 1.5 times efficient at depositing PM10 and PM2.5 fractions than plane. Al, Si, Ca, Fe, Se, Mo, Ba, and Pb with high content were found in the chemical composition of PM10, PM 2.5 and PM1 fractions. It is noteworthy that high concentrations of the elements the with a high level of toxicity were recorded in PM sampling points generally located in streets and industrial part of the city. According to the assessment of the trees condition, European ash has shown a higher ecological tolerance to the conditions of Yerevan compared to the Oriental plane tree. As a result of the ecosystem service assessment of the tree species by the example of the first part of the Circular Park, it was found out that in 2019 the trees removed 183.12 kg of air pollutants, which was valued at approximately \$1.290. For carbon

storage and sequestration the indicators respectively were 24.51 tons - \$1,257 and 615.49 tons - \$ 31,558.

The results of this research can serve as a scientific-methodological basis for:

- developing of various urban greening programs;
- designing of medical studies on the detection and assessment of potential health risks caused by heavy metals and particulate matter;
- the development of new models for the assessment of ecosystem services of trees;
- conducting similar studies in other cities and settlements of Armenia where there is a problem with environmental pollution.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. H. H.', located in the lower right quadrant of the page.