

**ЛИСТЬЯ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ КАК БИОИНДИКАТОРЫ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Т.В. Макаренко**

**Научный руководитель старший преподаватель А.Р. Ялалтдинова  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г.Томск, Россия**

Уровень загрязнения городских и пригородных районов быстро растет. Современные антропогенные источники загрязнения окружающей среды в городских районах включают в себя промышленное производство, выбросы транспортных средств и теплоэнергетики.

Городская растительность является фильтром и биологическим поглотителем атмосферных загрязнителей. Исследование растительных тканей городских районов показало, что насаждения являются эффективными индикаторами загрязнения приземной атмосферы.

Так, во многих городах проводится оценка качества воздуха в городской среде комплексным мониторингом, включающим исследование листьев и осажденных на них частиц с помощью электронного микроскопа и различных приставок, позволяющих определять содержание химических элементов.

Таким образом, целью данной работы было изучение имеющего у зарубежных коллег опыта по данной тематике для дальнейшего проведения собственных исследований на территории Томской области. Нами было собрано и проанализировано 16 работ, проведенных для различных целей на территории городов Европы и Азии.

В городе Антверпен, Бельгия, исследовались листья плюща обыкновенного (*Hedera helix* L.) [2,3]. В качестве мест отбора проб листьев были выбраны лесопарковая зона, сельская местность, перегруженные перекрестки дорог в городе, район промышленного комплекса и железнодорожных линий. Анализом остаточной намагниченности изучалось содержание Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb в зависимости от типа землепользования. Наибольшие величины твердых осажденных частиц и показатели загрязнения металлами были выявлены на перекрестках дорог и в промышленном районе.

В Белграде, Сербия, отбор проб листьев конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), орешника медвежьего (*Corylus colurna* L.) и липы пушистой (*Tilia tomentosa*) проводился также с учетом нагрузки на территорию (район офисных зданий в городе, автопарк, парки и ботанический сад) в период с 2002 по 2006 года [11-13]. Отбор проб проводился в начале и конце вегетации. Исследования на электронном микроскопе показали, что 50-60% осажденных частиц на обеих сторонах листьев относятся к классу мелких частиц ( $D < 2$  мкм). Твердые частицы были распределены с более высокой плотностью на адаксиальной поверхности листьев. Химический анализ показал, что наиболее распространенными частицами были сажа (C) и пыль (Si, Al, Fe, Mg, N, S, Ca, K, Cl) с незначительным количеством других компонентов: Pb, Zn, Ni, V, As, Ti, Cu и Cd. Также выявлено сезонное увеличение концентраций элементов с мая по сентябрь. Было выдвинуто предположение, что в основном частицы оседают на листьях в результате движения транспорта.

Sawidis et al. (2011) [9] изучали лиственный платан восточный (*Platanus orientalis*) и хвойную сосну черную (*Pinus nigra* Arn.) в 3 городах Европы: Зальцбург (Австрия), Белград, (Сербия), Салоники (Греция). Деревья были выбраны в зоне, находящейся недалеко от центра города, и зоне без прямого источника загрязнения за городом (фон). Наименьшие концентрации загрязняющих веществ были обнаружены в пробах Зальцбурга. Исследователи объяснили это меньшим размером и населением города и значительным сокращением использования этилированного бензина по сравнению с Белградом и Салониками, где распространено использование старых автомобилей, работающих на таком бензине.

Много проводится исследований состояния растительности, растущей вдоль дорог. В Больцано, Италия, на содержание Pb, Cd, Mn, Cu, Mo, Sb, Zn, Pt, Pd были исследованы листья клена белого (*Acer pseudoplatanus* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth), граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.) и др. в районах с различной степенью интенсивности движения: 5000, 5000-7500 и >10000 автомобилей в день [4]. Общее содержание металлов в листьях, как показало исследование, в значительной степени связано с различной степенью интенсивности движения на участках отбора проб. Кроме того, образцы с фоновой участка показали значительную нагрузку на листья по сравнению с городскими участками.

Подобные исследования проводились в Дамаске, Сирия (изучение химического состава листьев кипариса вечнозеленого (*Ligustrum ovalifolium*) и бересклета японского (*Euonymus japonicus*)) [7]. Было установлено, что Zn в листьях обусловлен выхлопами автомобилей, также износом шин, загрязнение Pb обусловлено использованием этилированного бензина.

В Афинах, Греция, исследования показали, что Zn, Cu, Pb, Fe, Cd, Mg, Mn в листьях связаны с загрязнением в результате движения транспорта, но также привнос идет и с промышленными выбросами [1].

Некоторые исследования направлены на изучение морфологических изменений листьев, связанных с загрязнением окружающей среды. Изменение морфологических параметров листьев городских деревьев может быть использовано в качестве эффективного экологического показателя загрязнения воздуха в городских районах.

В Лакхнау, Индия, где одной из главных проблем также является плотность транспортного движения, были отобраны листья растений, растущих вдоль дорог: ночной жасмин (*Nyctanthes arbor-tristis* L.), квискалис индийский (*Quisqualis indica* L.), кукухба (*Terminalia arjuna*) - с целью изучения под микроскопом наличия осажденных частиц и морфологических изменений [8]. По сравнению с листьями на фоновом участке, на загрязненных участках эпидермиальные клетки нерегулярные и неправильной формы, клеточные границы не

ясны, устья засорены в результате осаждения частиц.

Цель ряда исследований заключается в идентифицировании растений (по морфологическим признакам листовой поверхности), способных к наибольшему пылевому захвату. Так выявляются растения с наибольшей стрессоустойчивостью и рекомендованные для городской экологизации. Например, листья с неровной шероховатой поверхностью, липким веществом и впалыми устьицами на поверхности благоприятны для осаждения частиц.

Исследования в Пекине показали, что вяз (*Ulmus pumila* L.) и ива (*Salix babylonica* L.) эффективно накапливали мелкодисперсную пыль (PM<sub>2,5</sub>), гинкго (*Ginkgo biloba* L.) же имеет наименьшую способность к осаждению твердых частиц [15]. Wang et al. (2015) [14] также подтвердили, что на листьях гинкго осаждается меньше твердых частиц. В этом же исследовании показано, что наибольший захват пыли имеют питтоспорум тобира (*Pittosporum tobira*), красная китайская сосна (*Pinus tabuliformis*), бирючина лоснящаяся (*Ligustrum lucidum*), калина душистая (*Viburnum odoratissimum*), кедр гималайский (*Cedrus deodara*), платан клёнолистный (*Platanus hispanica*).

Листья бирючины японской (*Ligustrum japonicum*) и оливы европейской (*Olea Europea*) были рекомендованы в качестве биоиндикатора тяжелых металлов по результатам исследования, проведенного в Баку, Азербайджан [16]. Несмотря на то, что исследованные виды страдали от некоторых морфологических изменений, они оставались здоровыми, и могут быть рекомендованы для выращивания вдоль обочин в районах, загрязненных выбросами автомобилей.

В Манчестере, Великобритания, изучались растения, высаженные на двух крышах в районах с большой транспортной нагрузкой [10]. Были выбраны следующие растения: полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*), овсяница красная (*Festuca rubra*), подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata*), очиток белый (*Sedum album*), все они выращивались вдали от источников загрязнения. Исследования показали, что такие «зеленые крыши» с полевицей и овсяницей эффективны, хотя и не столь эффективны, как уличные деревья – из-за пониженной шероховатости поверхности, длины листьев и удаленного расстояния от источников.

Исследования некоторых растений обусловлено их ролью в жизни человека. Так, в Замбии была исследована маниока, листья и клубни которой местные жители употребляют в пищу [6]. Результаты показали, что содержание Zn в листьях очень высоко и даже выше, чем содержание этого элемента в почве примерно в 2,5 раза. Содержание Cu в листьях также выше, по сравнению с содержанием в клубнях. Листья маниоки, выращиваемые в непосредственной близости к алюминиевому заводу в Коппербельте покрыты мелкими частицами пыли, состоящей обычно из фрагментов кварца, полевого шпата и глинистых минералов. Иногда также встречаются фрагменты шлака с повышенным содержанием металлов – Fe и Cu – а также потенциально токсичных элементов, таких как Bi и Pb.

В Индии исследовано осаждение частиц на листе двух важных для медицины растений: кукухба (*Terminalia arjuna*) и шелковица белая (*Morus alba*) [5]. Листья были отобраны в жилой зоне и промышленном районе. Результаты показали, что в промышленном районе осажденных частиц было в 2,5 раза больше, чем в жилом районе. Уровни хлорофилла, каротиноидов и растворенного сахара уменьшены, в то время как уровни аскорбиновой кислоты и аминокислоты пролина увеличены с увеличением количества осажденных частиц.

Таким образом, листья городских насаждений дают качественную и количественную оценку загрязнения окружающей среды. Их исследование под микроскопом с приставкой для микроанализа позволяет установить содержание химических элементов в листьях и охарактеризовать осажденные на них частицы. Следующим этапом данной работы станет изучение листьев древесных насаждений, отобранных в центре города Томска, на Новособорной площади, на разном удалении от проезжей части, а также в с. Киреевск, на условно фоновой территории.

#### Литература

1. Anagnostatou V.A. Assessment of Heavy Metals in Central Athens and Suburbs Using Plant Material. Dissertation. – Surrey, 2008. – 45 p.
2. Castanheiro A., DeWael K., Samson R. Urban green as indicator of metal pollution // 15th Castle Meeting New trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism. – Dinant, 2016. – P. 15 – 17.
3. Castanheiro A., Samson R., DeWael K. Magnetic- and particle-based techniques to investigate metal deposition on urban green // Science of the Total Environment. – 2016. – № 571. – P. 594 – 602.
4. Dadea C., Bacchiocchi SC., Rocca N., Mimmo T., Russo A., Zerbe S. Heavy metal accumulation in urban soils and deciduous trees in the City of Bolzano, N Italy // Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz (Forest Ecology, Landscape Research and Nature Protection). – 2016. – № 15. – P. 35 – 42.
5. Gupta G.P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U.C. Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi // Aerosol and Air Quality Research. – 2016. – № 16. – P. 2920 – 2932.
6. Křibek B., Majer V., Knésl I., Nyambe I., Mihaljevič M., Ettl V. Metals and arsenic in cassava: Indicators of contamination in the Zambian Copperbelt mining district // Environmental and health impacts of mining in Africa. – 2012. – P. 29 – 34.
7. Mansour R.S. The pollution of tree leaves with heavy metal in Syria // International Journal of ChemTech Research. – 2014. – Vol. 6(4). – P. 2283 – 2290.
8. Rai A., Kulshrestha K.. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants //

- Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2006. – Vol. 4(1). – P. 253 – 259.
9. Sawidis T., Breuste J., Mitrovic M., Pavlovic P., Tsigaridas K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities // Environmental Pollution. – 2011. – Vol. 159(12). – P. 3560 – 70.
10. Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // Atmospheric Environment. – 2012. – Vol. 61. – P. 283 – 293.
11. Tasić M., Rajšić S., Tomašević M., Mijić Z., Ančić M., Novaković V., Marković D.M., Markovč D.A., Lazić L., Radenković M., Joksić J. Assessment of Air Quality in an Urban Area of Belgrade, Serbia // Environmental Technologies, New Developments. – 2008. – P. 209 – 244.
12. Tomašević M., Rajšić S., Đorđević D., Tasić M., Krstić J., Novaković V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // Environmental Chemistry Letters. – 2004. – Vol. 2(3). – P.151 – 154.
13. Tomašević M., Aničić M. Trace element content in urban tree leaves and sem-edax characterization of deposited particles // Facta universitatis - series Physics Chemistry and Technology. – 2010. – Vol. 8(1). – P. 1 – 13.
14. Wang H., Shi H., Li Y. Leaf Dust Capturing Capacity of Urban Greening Plant Species in Relation to Leaf Micromorphology // Water Resource and Environmental Protection. – 2011. – P. 2198 – 2201.
15. Wang L., Gong H., Liao W., Wang Z. Accumulation of particles on the surface of leaves during leaf expansion // Science of the Total Environment. – 2015. – P. 420 – 434.
16. Youssef N. A., Gurbanov E. M., Hacıyeva S. R., Mammedova A., Khalilov R. I. Antioxidant enzymes, fluctuating asymmetry and morphological changes of urban trees as an ecological indicators of heavy metal stress // International Journal of Pharmaceutical Science and Health Care. – 2013. – Vol. 3(1). – P.1 – 18.

### СПЕЦИФИКА КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ РЯСКОЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Ю. Максимова

*Научный руководитель профессор, Н.В. Барановская*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

На сегодняшний день биогеохимические исследования являются наиболее оптимальным и объективным способом оценки эколого-геохимического состояния территории и степени ее трансформации в результате техногенеза. Большая проблема заключается в правильном выборе индикаторного объекта, который должен отвечать определенному спектру требований (широкий ареал распространения, способность реагировать изменением элементного состава на изменение условий среды обитания в широком интервале значений и т.д.).

Многие ученые уже не раз обращали внимание на водные растения семейства рясковые (Lemnaceae). В настоящее время существуют различные методики и ГОСТы по использованию данного растения в качестве объекта для биотестирования, объекта для фиторемедиации почвы и отчистки сточных вод [1]. В.И. Вернадский и А.П. Виноградов первыми заметили, что ряска чутко реагирует на изменения элементного состава окружающей среды и проецирует это в своем химическом составе. Начало исследования ряски как биогеохимического индикатора водной экосистемы положено сотрудниками лаборатории БИОГЕЛ (нынешний ГЕОХИ) и отражено в таких работах, как «О химическом элементарном составе рясок Lemna, как видовом признаке» и «О концентрации радия растительными организмами» [2-4].

Пробы ряски отбирали на территории 3х регионов Томской области: Кожевниковский, Томский и Александровский. Исследуемые районы отличаются по степени антропогенной нагрузки и геохимической обстановки. Томский район характеризуется крайне неравномерным распределением промышленных предприятий, что создает неодинаковую экологическую нагрузку на территорию [5]. Наибольшее количество проб отобрано в тридцати километровой зоне воздействия предприятий Северного промышленного узла (СПУ).

Отбор проб проводился во время вегетационного периода (июнь-август 2015г). В каждой точке отбора проб проведено краткое описание водоема и прилегающих к нему территорий, зафиксированы координаты места пробообора, дата и время. Характеристика водного объекта сопровождалась фотографированием его общего вида и отдельных участков. Пробы представителей семейства рясковых отбирали с водопокрытого грунта, который представляет бессточные водоемы с площадями от 500-1000м<sup>2</sup>. Отобранные пробы растений высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Аналитическая предпробподготовка заключалась в проведении видовой идентификации растений в отобранных пробах, удалении минеральных включений, а также иных видимых невооруженным глазом организмов, как растительных, так и животных. Далее пробы гомогенизировались (истирались в агатовой ступке). Содержание химических элементов в ряске исследовано при помощи следующих аналитических методов: атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС) с индуктивно-связанной плазмой (Научно-аналитический центр ТПУ), инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИННА) (аналитик – с.н.с. А.Ф. Судыко), атомно-абсорбционная спектрометрия (АСС) с использованием метода «холодного пара» (точность метода ААС подтверждалась использованием государственного стандартного образца ГСО 8923-2007 состава листа березы (СОКОМЕТ 007-7-2008-RU, Hg (0,037±0,006) · 10<sup>-6</sup> мг/г)) на базе научно-образовательного центра «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета.

Идентификация растительных проб показала, что основная масса отобранных растений семейства Lemnaceae принадлежит ряске турионообразующей (Lemna turionifera Landolt) – широко распространенному в водоемах