

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ г. ВЛАДИВОСТОКА
МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ**

В статье рассматриваются вопросы определения экологического состояния окружающей среды по кривым распределения размеров листьев. Этот метод впервые опробован учеными в г. Владивостоке и уже принес желаемые результаты.

Ключевые слова: окружающая среда, биоиндикация, листья, тяжелые металлы.

A.V. Ermolenko, T.V. Volkova, T.N. Tokarchuk, D.V. Pochekunin

**ENVIRONMENTAL CONDITION DETERMINATION IN VLADIVOSTOK CITY BY MEANS
OF BIOINDICATION METHOD**

The issues of environment ecological condition determination on the curves of leaf size distribution are considered in the article. This method has been used for the first time by the scientists in Vladivostok city and has already given the desirable results.

Key words: environment, bioindication, leaves, heavy metals.

Введение. В последние годы все более широкий размах приобретают исследования, направленные на определение состояния окружающей среды методами биоиндикации по видовому разнообразию различных живых организмов. Связано это с тем, что химический анализ на ряд элементов довольно дорог и трудоемок. Кроме того, этот анализ определяет состояние среды только на момент взятия проб. Между тем биоиндикация позволяет судить о том же самом пролонгировано.

Обычно биоиндикация требует знания систематики и морфологии тех или иных живых организмов (иначе их просто невозможно идентифицировать) и доступна лишь специалистам-биологам [1].

Цель исследований. Апробация более простого метода биоиндикации – анализа состояния окружающей среды на улицах г. Владивостока по размеру листьев ильма японского *Ulmus japonica* (Rehd.). Данные биоиндикации подтверждались химическим анализом. Работа выполнена на базе Биолого-почвенного института ДВО РАН и химического факультета ДВФУ.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований был выбран ильм – наиболее распространенное в г. Владивостоке дерево. Сбор листьев древесной растительности производился в 2008–2009 гг. в начале сентября в течение двух дней с учетом экспозиции преобладающего ветра. Листья отбирали методом случайной выборки с веток одинаковой толщины 12 деревьев примерно одного возраста на высоте 1,5–2 м (не менее 100 листьев). Для построения графиков распределения использовалась условная площадь листьев – произведение длины на ширину. Полученные произведения группировались по размерным группам с интервалом 5 см² и строились кривые распределения величины листьев. Листья после промеров взвешивались, помещались в эксикатор и высушивались при температуре 105° С в сушильном шкафу в течение 2 ч до получения постоянной массы. Материал озоляли в муфельной печи при температуре 650° С. Навески отбирали и взвешивали с точностью до четвертого знака после запятой. Определение элементов в пробах листьев проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) [2]. Для этого по 0,1 г озоленной пробы листьев разлагалось царской водкой (смесь концентрированных азотной и соляной кислот в соотношении 1:3 при нагревании). Полученный раствор выпаривали до сухих солей и растворяли в воде до получения объема 25 мл. Этот раствор анализировался на масс-спектрометре Agilent 7500с. Содержание подвижных форм микроэлементов и тяжелых металлов исследовалось общепринятыми методами в 1н HCl-вытяжке на атомно-адсорбционном спектрофотометре Hitachi-05 M и пламенно-эмиссионном спектрофотометре "Shimadzu" AA-6601F в лаборатории химического факультета ДВФУ. Относительное стандартное отклонение определения – не более 5 %. Всего было установлено содержание в почве и листьях 7 ионов металлов – железа, хрома, никеля, меди, цинка, кадмия, свинца.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве объекта исследований рассмотрены древесные растения селитебной и промышленной зон. В соответствии с инфраструктурными особенностями и

характером озеленения города в селитебной зоне выделены подзоны: рекреационная, пришкольные участки, автодороги второстепенного и главного направления. Рекреационная зона (зона отдыха горожан) охватывает лесопарковую зону г. Владивостока в районе ост. «Варяг». В настоящее время лесопарковая зона находится в запущенном состоянии. Эта территория активно используется жителями близлежащих микрорайонов для неорганизованного отдыха и пикников, а также для выгула собак. Зона пришкольных участков включала территорию лицея ВГМУ, где по расположенной рядом дороге проходило днем 1–2 машины в час, и район центрального корпуса ВГМУ. Зона второстепенных автодорог включала ул. Русскую (в 100 м от перекрестка в сторону моря), проспект 100 лет Владивостоку в 25 м от основной дороги. Зона автодорог главного направления была представлена наиболее насыщенными транспортом магистралями города (пл. Луговая, трамвайное кольцо «Третья Рабочая», Народный проспект (8 м от дороги), кольцо автобусов на остановке «Фабрика «Заря», район автовокзала, остановка «Проспект 100 лет Владивостоку»). Промышленная зона – железнодорожный перегон «Моргородок» – «Третья Рабочая» (10 м от магистрали).

Анализ нагрузок, прямо или косвенно характеризующих интенсивность антропогенно-технического прессы, испытываемого экосистемами, свидетельствует о неоднородности экологической обстановки (табл. 1). При этом можно было предварительно предположить, что наибольшие нагрузки по количеству рекреантов испытывают фитоценозы, расположенные в точках по уровню нарастания загрязненности в очередности 9-3-6-11-1-8-12-7-2-10-5-4.

Таблица 1

Распределение интенсивности транспорта и площади листьев

Объект исследований	Интенсивность движения транспорта, ед/ч (n=4)	Распределение площади листьев, см ²
Ост. «Третья Рабочая»	500	5,12–20,16 (11,32)±3,42
Пл. Луговая	1000	6,19–31,59 (16,35)±4,67
Мединститут	25–30	3,6–25,56 (11,02)±4,18
Ост. «Просп. 100 лет Владивостоку»	1700	4,48–24,82 (11,99)±3,38
Ост. «Ф-ка «Заря»	1500	4,8–26,64 (12,9)±2,99
Ост. «Варяг»	50–70	4,65–31,82 (17,14)±5,94
Автовокзал	820	3,63–21,6 (11,04)±2,33
Ул. Русская	800	5,12–22,68 (13,25)±3,57
Лицей ВГМУ	1–2	11,0–49,5 (21,0)±5,80
Народный проспект	1300	3,42–17,41 (8,69)±2,39
Просп. 100 лет Владивостоку	110	3,42–17,4 (10,87)±2,93
Ж/д перегон «Мор. городок – Третья Рабочая»	800	3,92–17,41 (9,43)±3,1

Следует указать, что, исходя из последующих наблюдений, очередность начала листопада и сроки опадания более половины листвы у этих деревьев наступили почти в зеркальной последовательности, хотя это могло быть связано еще и с особенностями микроклимата. Все же совсем сбрасывать со счетов то, что твердые отходы у деревьев накапливаются именно в листьях, и они от них избавляются, сбрасывая листву, мы бы не стали. Собственно, такие изменения величин листьев становятся понятными, исходя из знания физиологии растений. При накоплении в листьях определенного количества солей тяжелых металлов происходит разрушение хлорофилла. Лист меняет окраску, в районе черешка формируется отделительный слой клеток, и в конечном итоге лист опадает, освобождая растение от ненужных и вредных для него веществ. При сравнительно чистой среде листопад происходит осенью, если же отходы накапливаются раньше, листья могут опсть и в течение вегетационного периода.

Исходя из данных табл. 2 и рис. 1, хорошо прослеживается зависимость между распределением величин условной площади и степенью загрязненности листвы.

Таблица 2

Пошаговое распределение листьев по условной площади, %

Место отбора проб	Условная площадь листа, см ²						
	1–5,0	5,1–10,0	10,1–15,0	15,1–20,0	20,1–25,0	25,1–30,0	30,1 и выше
Ост. «Третья Рабочая»	-	39,58	45,83	10,42	4,17	-	-
Пл. Луговая	-	9,8	41,18	25,49	13,72	9,8	-
Мединститут	14,63	36,58	34,15	4,88	7,32	2,44	-
Ост. «Просп.100 лет Владивостоку»	1,89	32,07	47,17	13,24	5,66	-	-
Ост. «Фабрика «Заря»	1,25	26,25	40	28,75	2,5	1,25	-
Ост. «Варяг»	1,67	16,67	21,67	20	26,67	11,67	3,33
Автовокзал	1,59	36,51	53,97	6,35	1,59	-	-
Ул. Русская	-	27,45	41,18	25,49	5,88	-	-
Лицей ВГМУ	-	-	21,31	19,67	21,31	8,2	9,84
Народный проспект	13,89	55,55	25	5,55	-	-	-
Просп. 100 лет Владивостоку	4,88	39,02	41,46	14,63	-	-	-
Ж/д перегон «Мор. городок» – «Третья Рабочая»	11,63	46,51	25,58	16,28	-	-	-

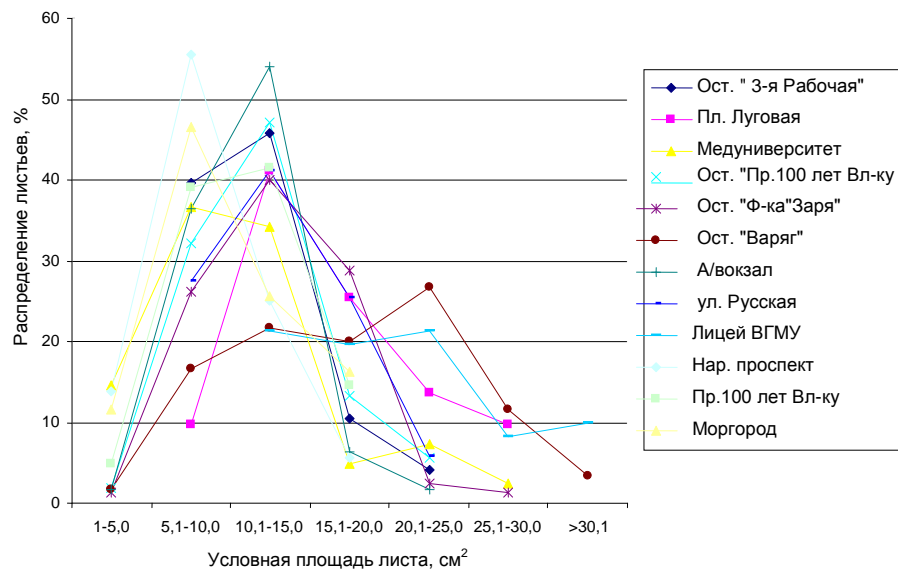


Рис. 1. Кривые распределения условной площади листьев

Там, где окружающая среда сравнительно чистая, получается кривая с большим разбросом крайних точек и со сравнительно небольшими пиками (рис. 2).

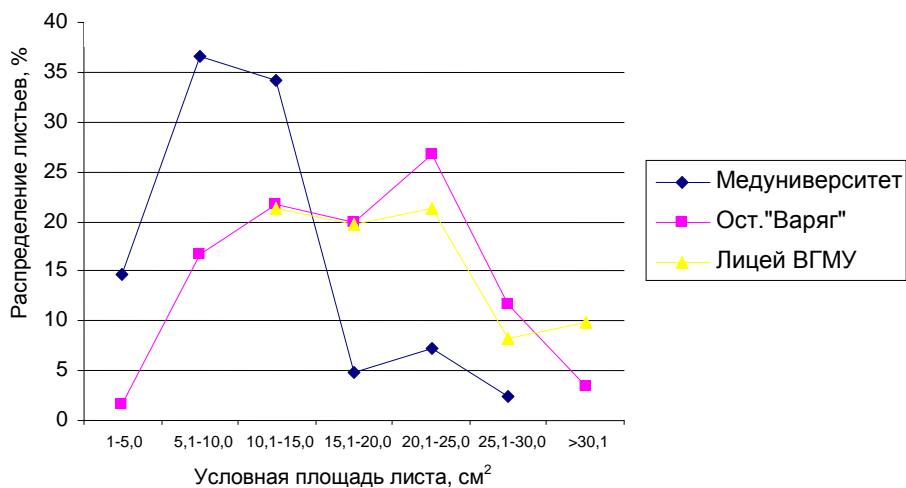


Рис. 2. Кривые распределения условной площади листьев. Чистая среда

Грязная и очень грязная среда (рис. 3–4) приводит к тому, что графики «сужаются», причем, чем выше загрязненность, тем больше листьев укладывается в один интервал (тем выше пик максимальной численности листьев одного размера), и тем меньше будут значения крайних точек этого интервала.

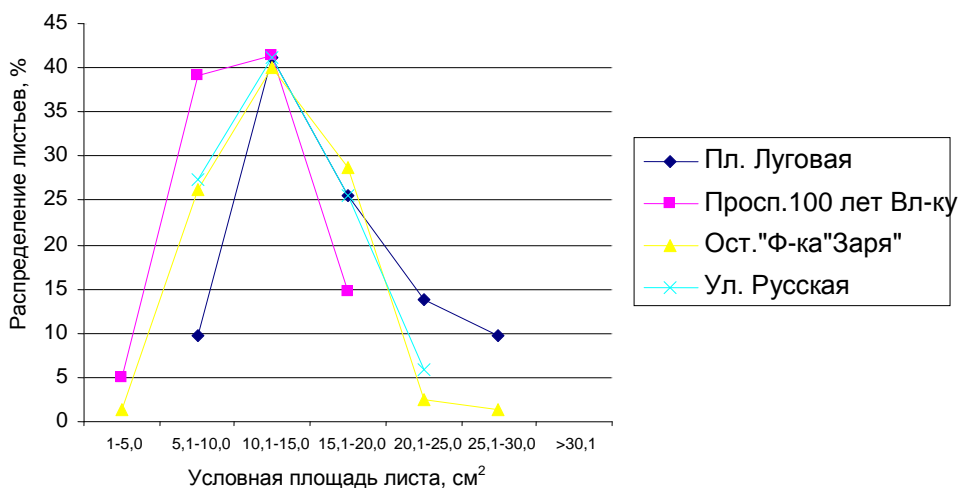


Рис. 3. Кривые распределения условной площади листьев. Среднезагрязненная среда

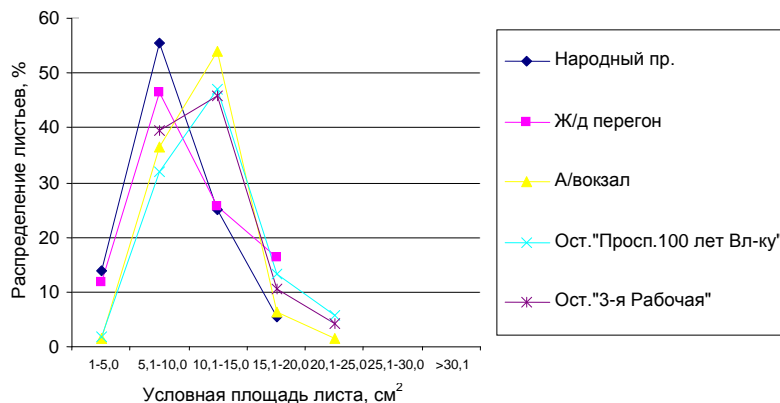


Рис. 4. Кривые распределения условной площади листьев. Грязная среда

Следует указать, что разворачивание листьев, хотя и происходит в массовом порядке весной, но не прекращается полностью и летом. Интенсивность этого процесса летом прямо зависит от количества потерянных листьев. Этим, с одной стороны, можно объяснить большой разброс величин листьев в условиях чистой среды, а с другой – «сужение» графиков и уменьшение площади листьев в условиях загрязнения (в последнем случае постоянно формируются новые листья взамен отпавших, но сильно вырасти они не успевают). Поскольку вещества, поступающие из почвы, распределяются по листьям более или менее равномерно, то чем грязнее среда, тем больше листьев накопит критическое количество отходов одновременно. Соответственно тем больше новых листьев взамен отпавших развернется заново в течение лета. Этим и объясняются пики на графиках распределения величин листьев в условиях с грязной средой.

Исходя из сказанного, анализ распределения величин (условной площади) листьев предполагает, что наиболее чистыми являются пробы, взятые на остановке «Варяг» и возле лицея. По разбросу крайних величин («широте» графиков) и выраженности пиков остальные пробы по нарастанию загрязненности располагаются в порядке 11-8-5-2-1-10-4-7-12. Таким образом, наиболее загрязненной должны считаться пробы № 7 и 12, взятые около автовокзала и недалеко от железной дороги (у железнодорожного перегона «Моргородок» – «Третья Рабочая»), где загрязнение среды «обеспечивается» не только автомобильным, но и железнодорожным транспортом. В то же время разворотное кольцо автобусов на остановке «Варяг», очевидно, самое чистое из-за сравнительно небольшой автотранспортной нагрузки и близости лесопарковой зоны.

Результаты химического анализа содержания тяжелых металлов. Полученные нами и другими коллегами [3] данные указывают на значительный техногенный пресс, испытываемый городскими фитоценозами. Наиболее интенсивная аккумуляция отмечена для меди – в 100 раз выше ориентировочно-допустимой концентрации (ОДК), цинка – в 30, свинца – в 6 раз. Уровень содержания металлов в растениях представлен в табл. 3.

Таблица 3

Результаты химического анализа листьев

Место отбора проб	Содержание металлов в листьях, мг/кг сухого вещества						
	Fe	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
ОДК*	6000	66	46	3	23	1	6
Ост. «3-я Рабочая»	810	6,0	1,4	42	190	1,6	28
Пл. Луговая	940	7,0	3,5	65	230	1,0	25
Мединститут	980	13	1,9	37	170	1,2	25
Ост. «Просп. 100 лет Владивостоку»	50	4,0	2,7	40	150	1,6	4,0
Ост. «Ф-ка «Заря»	1150	7,1	2,1	55	280	1,1	25
Ост. «Варяг»	430	5	2,3	28	110	1,0	9,1
Автовокзал	1230	23	2,2	320	170	1,0	12,7
Ул. Русская	500	3,8	1,7	36	160	1,1	13
Лицей ВГМУ	100	12	0,6	22	44	0,8	2
Народный проспект	540	66	1,0	42	320	1,7	38
Просп. 100 лет Владивостоку	230	0,4	0,9	30	73	1,0	18
Ж/д перегон «Моргородок» – «3-я Рабочая»	280	30	1,2	48	700	1,5	31

* Ориентировочно-допустимая концентрация [1].

Судя по полученным данным, фитоценозы испытывают наиболее высокий уровень техногенного пресса в порядке 7-12-10-4-5. Особенно интенсивное обогащение металлами установлено для фитоценозов автовокзала и в районе Моргородка, признанных максимально загрязненными по результатам анализа кривых распределений величин листьев. Максимальное накопление металлов идет главным образом за счет цинка, меди и свинца, в несколько меньшей степени – кадмия. Как видно из табл. 3, самыми чистыми участками могут считаться район остановки «Варяг» и лицея ВГМУ, где все показатели содержания металлов если не минимальны, то и не являются наивысшими.

Заключение. Зоны, прилегающие к железной дороге, могут считаться наиболее загрязненными в г. Владивостоке. Действительно, пробы, взятые в районе ж/д перегона «Моргородок» – «Третья Рабочая» и автовокзала, были определены как самые грязные практически по результатам всех анализов (химического – содержание тяжелых металлов в листьях, статистического – размеров листьев, визуального – автомобильной нагрузки). Общность двух этих самых загрязненных точек, помимо близости железной дороги, заключается еще и в том, что здесь довольно интенсивно проходит движение транспорта, причем именно дизельного (автобусов или большегрузных автомобилей). По-видимому, именно большегрузный транспорт должен считаться наиболее влияющим на окружающую среду. Близость лесного массива (остановка «Варяг») или наличие сквера (самая чистая проба рядом с лицеем, вдали от автомагистрали) существенно снижают загрязнение.

Так или иначе повышенное содержание металлов в листьях и почве является отражением, прежде всего, интенсивности движения автотранспорта. При этом, если говорить о загрязненности среды металлами вообще, то делать трудоемкий и относительно дорогостоящий химический анализ необязательно. Достаточно построить кривые распределения величин листьев. Там, где окружающая среда сравнительно чистая, получается кривая с большим разбросом крайних точек. Грязная и очень грязная среда приводит к тому, что графики «сужаются», причем, чем выше загрязненность, тем больше листьев укладывается в один интервал (тем выше пик максимальной численности листьев одного размера), и тем меньше будут значения крайних точек этого интервала. Если же интенсивность загрязнения меняется в течение сезона, то на графике будет несколько пиков максимальной численности.

Таким образом, мы можем определить окружающую среду в рекреационной и пришкольной подзоне (пробы № 6 и 9) как чистую, железно- и автодороги главного направления (№ 7, 12 и 10) – как очень грязные, автодороги главного направления (№ 1, 2, 4 и 5) – как загрязненные, пришкольная подзона и автодороги второстепенного назначения (№ 3, 8 и 11) – как загрязняемые периодически. Этому распределению соответствуют не только данные химического анализа, но и графики распределения размеров листьев. Оно прямо отражает интенсивность движения транспорта, являющегося, на наш взгляд, основным источником загрязнения среды в местах отбора проб. Естественно, полученные нами данные являются предварительными. В ходе дальнейших исследований мы планируем увеличить количество отобранных проб и попытаться найти взаимосвязь изменчивости размеров листьев и загрязненности окружающей среды при анализе нескольких видов деревьев.

Исследования показали, что растения можно использовать как тест-объект для мониторинга исследований. Совпадение данных биоиндикации с результатами химического анализа позволяет считать предложенный нами метод вполне достоверным. Выявляя изменения характеристик у растительных объектов, можно говорить о загрязнении среды и прогнозировать степень экологической опасности для человека, а сравнительная простота позволяет рекомендовать его для массового практического использования.

Литература

1. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л., 1987. – 142 с.
2. *Тальрозе В.Л.* Масс-спектрометр // Физическая энциклопедия. – 1992. – Т. 3. – С. 53–57.
3. *Шихова Н.С.* Экологическое состояние парковых фитоценозов г. Владивосток: опыт комплексной оценки // Вестн. ДВО РАН. – 2010. – № 4. – С. 97–106.

