

ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗЛИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В УСЛОВИЯХ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.Ю. Кулакова

ФГБУН Институт лесоведения РАН, 143030 Московская обл.,
с. Успенское, ул. Советская 21, E-mail: nkulakova@mail.ru

Аннотация. Показано, что на концентрацию в органах дуба тяжелых металлов значительное влияние оказывают значения pH почвы, а концентрация тяжелых металлов, кальция и серы в ветвях деревьев связаны тесной отрицательной зависимостью с концентрациями калия, фосфора и магния и с показателями жизненного состояния деревьев.

Ключевые слова: автотранспортные загрязнители, калий, фосфор, городские насаждения.

INTERRELATIONSHIP BETWEEN VARIOUS INDICATORS OF THE STATE OF ENDOCRINOUS OAK UNDER CONDITIONS OF TRANSPORT POLLUTION

N. Yu. Kulakova

Federal State Budgetary Scientific Institution Institute of Forest Science of the Russian
Academy of Sciences, 143030 Moscow Region, Uspenskoe village, Sovetskaya St. 21, E-mail:
nkulakova@mail.ru

Abstract. It is shown that the concentration of heavy metals in oak organs is significantly affected by soil pH values, and the concentration of heavy metals, calcium and sulfur in tree branches are closely negatively related to the concentrations of potassium, phosphorus and magnesium and to indicators of the vital state of trees.

Keywords: transport pollutants, potassium, phosphorus, urban plantings.

Для характеристики насаждений и условий их произрастания на урбанизированных территориях изучают различные показатели. Их исследование призвано оценить степень воздействие антропогенных факторов, выявить границы возможной адаптации растений, прогнозировать развитие насаждений. Очевидно, что при сравнении насаждений, находящихся в разных условиях антропогенного прессинга, выявляются общие закономерности воздействия загрязнителей на растения. В задачи исследования входило изучение более тонких взаимосвязей между такими показателями, как жизненное состояние

деревьев, концентрации Na, Mg, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Pb в почве непосредственно под деревом, концентрация Mg, P, K, Ca, Fe, Zn в листьях, Mg, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Pb – в ветвях, площадь инфицирования листьев деревьев мучнистой росой (*Micro-sphaera alphitoides* Griff. et Maubl.), показатели флуктуирующей асимметрии (ПФА) листьев дуба черешчатого внутри одного насаждения с разновозрастными деревьями, внутри групп деревьев одного насаждения близкого возраста, деревьев одного возраста двух насаждений, находящихся в разных условиях автотранспортного загрязнения.

Определение содержания Na, Mg, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Pb в почвенных образцах и Mg, P, K, Ca, Fe, Zn, S в растительных образцах проводили рентгенфлуоресцентным методом (РФА) на Спектроскане МАКС-GV («НПО «СПЕКТРОН», Россия) в ЦКП ИФХиБПП РАН. Свинец и медь в растительных образцах определяли атомно-абсорбционным спектрометрическим методом на спектрометре МГА-915МД (ООО "Атомприбор", Россия). Подвижные формы Fe, Cu, Zn, Pb в почве определяли в ацетатно-аммонийной вытяжке (соотношение почва:раствор = 1:5) на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивносвязанной плазмой Optima-5300DV (Perkin Elmer, США). Определение pH в почвенных образцах проводили в водной суспензии (соотношение почва:вода = 1:5) потенциометрически с электродами ЭСК-10601/7 (pH-метр-иономер «Эксперт-001», Россия).

Оценка жизненного состояния деревьев основывалась на признаках, включенных в лесохозяйственную шкалу категорий санитарного состояния (наличие усохших побегов, дефолиации листьев), на классификации роста и развития крон дуба черешчатого (Каплина, Селочник, 2015) (кроны узкие, зонтиковидные и раскидистые), на дополнительных признаках состояния: площади некротизированных тканей листьев, образовании ведьминых метел. По жизненному состоянию мы выделили 3 группы деревьев (Таблица 1).

Таблица 1.

парк 15-20 лет	МКАД 15-20 лет	МКАД 100 лет	Вид крон деревьев (по Каплина, Селочник, 2013): У – узкие; З – зонтиковидные; Р – раскидистые. Группы жизненного состояния: I – наихудшее; II – среднее; III – наилучшее
Пу	Iy	Iз	
IIIз	Iy	Iз	
IIIз	Iy	IIз	
IIIз	Пу	IIз	
IIIз	Пу	IIIр	
IIIз	Пу	IIIр	
IIIз	Пу	IIIр	
IIIз	Пу	IIIр	
	IIз	IIIр	

	Шз	Шр	
В группу I попали деревья с узкой или зонтиковидной кроной, наличием «ведьминых метл», сухих ветвей, составляющих от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ части кроны, и с листьями, площадь некротических тканей у которых в августе, до появления осеннего окрашивания, составляла более 30-40%.			
В группе II оказались деревья с небольшим количеством сухих ветвей (менее $\frac{1}{3}$ кроны) и площадью некротических тканей листьев от 10 до 30%.			
Группу III составили деревья с наилучшим состоянием (отсутствие сухих ветвей, площадь некротических тканей листьев до 10%, лучше развитые кроны)			

Площадь листа, занятую мучнистой росой измеряли с применением сканирования (сканер Samsung Xpress M2070) и программы PhotoM1.21 А. Черниговского. Для дерева процент площади листьев, покрытой мучнистой росой (Smp), вычислялся как среднее из измерений 10 листьев.

Для оценки ФА листьев (ненаправленных отклонений от симметричного развития) свежесобранные листья сканировали, линейные измерения проводили с использованием программы Черниговского. Первый способ оценки флуктуирующей асимметрии заключался в вычислении интегрального показателя стабильности (ИПС) развития, предложенного Захаровым (Захаров и др., 2000) и основанным на соотношении разности и суммы промеров с правой и левой сторон листа. Чем более выражена была асимметричность листовых пластин, тем выше значения показателей стабильности. Для второго способа оценки ФА использовали только длины жилок второго порядка: $\frac{|b_l - b_r|}{(b_l + b_r)}$.

Статистическая обработка данных включала вычисление коэффициентов корреляции Пирсона (r_p для) неранжированных рядов и коэффициента корреляции Спирмана (r_s) для ранжированных.

Значимая положительная корреляционная связь между содержанием элементов в различных слоях почвы под деревьями и концентрацией этих элементов в ветвях деревьев наблюдается только для валовых форм Fe в слоях 0–10 см и 20–40 и K на глубинах 20–40 и 20–60 см. В листьях аналогичный тип связи был выявлен только для содержания K на глубине 20–40 см.

Важным параметром, влияющим на подвижность тяжелых металлов (ТМ) в почве, является величина pH почвенного раствора. В исследованных почвах значения pH верхних горизонтов изменялись от 6,3 до 7,4. Известно, что в щелочной среде ТМ менее подвижны. Тем не менее была выявлена положительная корреляция между содержанием ТМ в ветвях и значениями pH в верхних слоях почвы (табл. 2).

Таблица 2

Слой почвы, см	Zn	Fe	Ca	K	S	Mg	P
0–10	0.50*	0.67*	0.47*	-0.67*	0.57*	-0.45*	-0.61*
10–20	0.43*	0.48*	0.42*	-0.60*	0.47*	-0.41*	-0.60*
20–40	0.35	0.35	0.32	-0.48*	0.39	-0.50*	-0.65*

Высокие отрицательные значения коэффициентов корреляции между содержанием К, Р и Mg в ветвях и значениями pH (табл. 2), вероятно связаны с одинаковым распределением значений pH и содержанием водорастворимых и обменных форм Ca и Na в верхних горизонтах почвы из-за применения антигололёдных средств и с конкуренцией ионов K^+ и Mg^{2+} с ионами Na^+ и Ca^{2+} при поглощении их растениями. Выявлена также отрицательная корреляция между значениями pH и концентрацией Р, которая может быть обусловлена его закреплением в верхних горизонтах почвы в виде малорастворимых фосфатов кальция. Коэффициент корреляции между содержанием общего Р и Са в почве был высоким – $r_p=0.77$ ($n=72$).

При загрязнении почв ТМ возникает дисбаланс между поступлением в растение макро- и микроэлементов из почвы. Повышенное содержание в почве комплекса ТМ, имеющее место при автотранспортном загрязнении, приводит к сложной системе взаимодействий при поглощении ТМ, К, Р и Mg растениями.

Таблица 3 Коэффициенты корреляции Пирсона (r_p) между содержанием различных элементов в листьях и в ветвях (выделено курсивом)

Статистически значимые корреляции ($p \leq 0,05$; $n=28$) отмечены *

	Zn	Fe	Cu	Pb	Ca	K	S	Mg	P
Zn	1	<i>0.78*</i>	–	–	<i>0.63*</i>	<i>0.60*</i>	<i>0.45*</i>	<i>0.47*</i>	<i>0.71*</i>
Fe	<i>0.80*</i>	1	–	–	<i>0.62*</i>	<i>0.67*</i>	<i>0.61*</i>	<i>0.53*</i>	<i>0.68*</i>
Cu	<i>0.21</i>	<i>0.20</i>	1	–	–	–	–	–	–
Pb	<i>0.22</i>	<i>-0.05</i>	<i>-0.02</i>	1	–	–	–	–	–
Ca	<i>0.63*</i>	<i>0.79*</i>	<i>0.18</i>	<i>-0.04</i>	1	<i>0.55*</i>	<i>0.40*</i>	<i>0.63*</i>	<i>0.67*</i>
K	<i>-0.65*</i>	<i>-0.79*</i>	<i>0.16</i>	<i>-0.06</i>	<i>-0.69*</i>	1	<i>0.60*</i>	<i>0.39*</i>	<i>0.60*</i>
S	<i>0.86*</i>	<i>0.93*</i>	<i>0.24</i>	<i>0.04</i>	<i>0.76*</i>	<i>-0.75*</i>	1	<i>0.49*</i>	<i>0.65*</i>
Mg	<i>-0.13</i>	<i>-0.41*</i>	<i>0.32</i>	<i>0.28</i>	<i>-0.42*</i>	<i>0.48*</i>	<i>-0.35</i>	1	<i>0.52*</i>
P	<i>-0.55*</i>	<i>-0.68*</i>	<i>0.29</i>	<i>-0.11</i>	<i>-0.64*</i>	<i>0.80*</i>	<i>-0.70*</i>	<i>0.65*</i>	1

Была обнаружена положительная корреляция между содержанием в ветвях таких элементов, как Zn, Fe, S и Ca и отрицательная – между содержанием этих элементов и концентрацией К и Р (табл. 3). В листьях концентрация К и Р наоборот положительно коррелировала с концентрацией Zn, Fe, S и Ca.

Между концентрациями цинка, железа, кальция и серы в ветвях и жизненным состоянием деревьев существовала тесная отрицательная зависимость ($r_p = -0,49, -0,54^* - 0,58^*, -0,58^*$), калием и фосфором – положительная ($r_p = 0,60, 0,58$). Последняя закономерность отсутствует в листьях. Мы полагаем, что в условиях автотранспортного загрязнения есть дефицит К и Р в растениях, который в листьях растений покрывается за счет уменьшения концентрации элементов в ветвях. Это предположение подтверждает статистически значимая положительная корреляция между отношением концентрации К и Р в ветвях и листьях деревьев и номером группы, характеризующим жизненное состояние деревьев ($r_s = 0,63$ и $0,70$ соответственно).

Анализ зависимости величины площади, занятой на листьях мучнистой росой (Smp), от концентрации поллютантов, калия и фосфора в листьях показал значимое влияние высоких концентраций Zn, Fe и Ca ($r_c=0.60, 0,50$ и $0,39$; $n=28$) на инфицирование грибом для всей

совокупности деревьев и низкой концентрации К в группе 15–20-летних деревьев у МКАД ($r_s = -0.71$; $n=10$) (таблица 4). В условиях загрязнения воздуха окислами азота, входящими в состав автотранспортных выбросов, расстояние дерева от магистрали оказывало заметное влияние на степень инфицирования (таблица 4).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между площадью листьев, покрытых мучнистой росой (S_{mp}) и содержанием элементов в листьях и ветвях деревьев, расстоянием от автомагистрали (r_p), жизненным состоянием деревьев (r_s)

Концентрация в листьях				Концентрация в ветвях					баллы жизненности	расстояние от дороги
n=28			n=10 (МКАД, 15-20 лет)	n=28					n=28	n=20 (МКАД 15-20 и 100 лет)
Zn	Fe	Ca	К	Zn	Fe	Ca	К	S		
60	50	39	-0,71	0,58	0,73	0,53	-0,54	0,74	-0,48	0,48

Во всей совокупности деревьев обнаружены положительные корреляции значений ИПС с концентрациями Ca, S, Fe в листьях, с содержанием Na, Mg, Ca, Cu, Fe и Zn в почве, с величиной S_{mp} и отрицательные – с жизненным состоянием деревьев и концентрацией Р в листьях (таблица 5). В небольших выборках деревьев (при $n=8–10$) влияние концентрации поллютантов на ПФА проявлялось только у группы молодых деревьев у МКАД, а влияние S_{mp} – у деревьев, произрастающих в наиболее чистых условиях местообитания. В листьях деревьев среднего и наилучшего состояния не сказывалось влияние железа и кальция.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции (r_p) между значениями ИПС и ДПЖ и содержанием различных элементов в листьях, в ветвях, в почве, S_{mp} и (r_s) группой жизненного состояния

объект	элемент	ИПС	ПДЖ
ветви 15-20 лет, МКАД, n=10	Pb	0,67	
листья n=28	P	-0,85	-0,95
	Mg	-0,7	
	Ca	0,51	
	Fe	0,39	
	S	0,38	
листья группы II и III, n=23	S	0,85	
	Fe	0,46	
баллы жизненности, n=28		-0,33	
баллы жизненности, 15-20 лет, МКАД, n=10		-0,50	
почва n=28	элемент	0-10 см	10-20 см
	Na	0.42	0.04
	Mg	0.47	0.16

	P	0.34	0.49
	K	0.09	-0.16
	Ca	0.61	0.52
	Fe	0.41	0.14
	Cu	0.43	0.08
	Zn	0.53	0.24
	Pb	-0.16	-0.06
Smp, n=28		0,49	
Smp, n=8 15-20 –лет парк		0,78	

Выводы

Поступление ТМ, Ca, S, Na, K, P и Mg в органы дуба черешчатого в большей степени контролируется значениями pH верхних горизонтов почвы (при значениях pH почвы, близких к нейтральным), чем содержанием валовых или подвижных форм этих элементов в почве.

Антагонистическое поступление ТМ, Ca и серы с одной стороны и K, P и Mg с другой, проявляется в отрицательных корреляционных зависимостях между концентрацией этих элементов в органах дуба и, вероятно, приводит к дефициту последних в растениях.

Показатели жизненности связаны более тесной отрицательной зависимостью с концентрацией ТМ, S, Ca и более тесной положительной зависимостью с концентрацией K, P и Mg, в ветвях, чем с в листьях, что на наш взгляд, является проявлением защиты ассимиляционного аппарата в условиях избыточного накопления поллютантов и дефицита K, P и Mg в растениях.

Зависимость ПФА от разных факторов определялась интенсивностью их воздействия – на участке у МКАД ИПС (интегральные показатели стабильности) наиболее тесно были связаны с концентрацией ТМ в органах дуба, на менее подверженном автотранспортному влиянию участке в парке – с площадью покрытия листьев мучнистой росой.

Расчеты ФА на основе одного показателя оказались не эффективными.

Список литературы

1. Каплина Н. Ф., Селочник Н. Н. Текущее и долговременное состояние дуба черешчатого в трех контрастных типах леса южной лесостепи // Лесоведение. – 2015. – №. 3. – С. 191-201.
2. Здоровье среды: методы оценки / Захаров В.М, Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г. Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Б. ООО УМК «Психология». Москва. 2000. 66 с.

References

1. Kaplina N. F., Selochnik N. N. Current and long-term state of common oak in three contrasting forest types of the southern forest-steppe // Forest Science. - 2015. - No. 3. – P. 191-201.
2. Environmental health: assessment methods / Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetsky A.V., Kryazheva N.G., Chistyakova E.K., Chubinishvili A.B. ООО УМК "Psychology". Moscow. 2000. 66 p.