

УДК 581.2+581.132+581.12+581.133.1

Малле МАНДРЕ, Алла КАНГУР

ЦЕМЕНТНАЯ ПЫЛЬ КАК ВЛИЯЮЩИЙ НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ АНТРОПОГЕННЫЙ ФАКТОР

1. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА УСЛОВИЯ ПРОИЗРАСТАНИЯ И МЕТАБОЛИЗМ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ

Промышленность строительных материалов дает большую долю загрязнений. Поэтому естественно, что вопрос о влиянии выбросов цементных заводов на окружающую среду, в том числе на растительность, весьма актуален. В настоящее время еще нет убедительных данных, свидетельствующих о токсичности цементной пыли, как нет и прямых доказательств о ее безвредности.

Пылевые выбросы в большинстве случаев не вызывают у растений симптомов поражения в виде некроза, хлороза и т. п. Этот факт часто приводит к неправильной интерпретации значимости пылевого загрязнения. Во избежание этого необходимы физиолого-биохимические исследования, позволяющие выявить т. н. скрытые повреждения, т. е. изменения в обмене веществ.

Действие цементной пыли на растения зависит от многих факторов, основными же являются ее химический состав, растворимость в воде и устойчивость растений к проникающим токсикантам. Результаты изучения влияния цементной пыли на метаболизм растений во многом зависят от условий проведения экспериментов (моделированные или естественные), от продолжительности воздействия (разовая или непрерывная), от вида и возраста растений и др. Диагностика повреждений затруднительна из-за ее неспецифического воздействия.

Цель данной работы — выяснить физиолого-биохимическое состояние растений в окрестностях цементного завода в сравнении с растениями незагрязненного района. Знание особенностей жизнедеятельности запыленных листьев имеет практический выход — это позволяет подобрать материал для озеленения и правильно понять причины частых неудач выращивания растений в запыленных местностях.

Материал и методика

Опыты, являющиеся основой настоящей работы, проводили в 1983—1984 гг. с некоторыми декоративными растениями (сорта флоксов 'Викинг', 'Тенор', 'Джон Эвелин', календулы 'Болз гоулд', бегонии *Begonia tuberhybridae* cv.), злаковыми (сорта озимой ржи 'Сангасте', 'Вамбо', R 65/76) и кормовой культурой (клевер 'Виола') в естественных условиях в окрестности цементного завода в г. Кунда на расстоянии около 1 км от источника эмиссии пыли и в Палмсе (Ляхемааский национальный парк — контрольный вариант) на расстоянии 25 км от г. Кунда, а

также в моделированных условиях в теплице Таллинского ботанического сада АН ЭССР.

В моделированных опытах растения подвергались воздействию пыли электрофильтров цементного завода с начала вегетации при концентрации 5 и 10 г/м², а с их ростом доза увеличивалась соответственно до 8 и 20 г/м² при 20 растениях на 1 м².

Из биохимических параметров изучали содержание сухого вещества и хлорофиллов *a* и *b*, их суммарное содержание и соотношение, содержание растворимых белков по Плешкову, общий азот по Къельдалю, общее содержание аминокислот, каротиноиды, свободные SH-группы, SO₄²⁻ и общее содержание серы и минеральных элементов (Асатиани, 1965; Плешков, 1968; Трубецкова, Татаренко, 1971; Третьякова, 1982; Vernon, 1960).

В течение года отбирали пробы для химического анализа осадков, определения рН, SO₄²⁻ и электропроводности. На опытных площадках анализировали содержание разных химических элементов, рН, объемную массу и общую концентрацию солей в почве.

Результаты и обсуждение

Для оценки влияния антропогенных факторов на физиолого-биохимическое состояние растений необходимо иметь по возможности более детальные характеристики среды обитания.

1. Цементная пыль электрофильтров завода в данном случае содержала 40—50% CaO, 12—17% SiO₂, 4—9% K₂O, 4—8% SO₃, 3—5% Al₂O₃, 2—4% MgO, 1—3% Fe₂O₃ и др.; выпадение пыли на расстоянии около 1 км от центра эмиссии составляло 460 г/м² в год. Анализ пыли выявил ее относительно высокую щелочность (рН 12,7).

2. Сравнительно большая техногенная нагрузка на окрестности завода и щелочность цементной пыли приводят к существенному подщелачиванию и высокой концентрации растворимых и твердых частиц в осадках.

Атмосферные осадки в местах полевых наблюдений отбирались в течение всего года. Во время положительных температур применялись специальные осадкоприемники, где осадки фильтровались. Значения рН фильтра жидких осадков во время вегетации колебались от 7,6 до 9,1, а рН снеговой воды от 10,4 до 11,4, в то же время в осадках контрольного варианта значения рН во время вегетации были в среднем 6,3—6,9, зимой 5,5—7,4 (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Динамика изменения значений рН осадков в окрестности цементного завода
Seasonal dynamics in рН of outfalls near the cement factory

Место отбора Place of origin of outfalls	Год Year	Месяцы Months									
		I	II	III	V—VI	VI—VII	VII—VIII	VIII—IX	IX—X	X—XI	XI—XII
г. Кунда town of Kunda	1983	—	—	—	—	8,1	8,0	8,0	9,1	—	—
	1984	—	10,6	10,4	8,4	7,6	7,7	8,1	8,0	8,1	8,3
	1985	11,4	11,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Палмсе Palmse	1983	—	—	—	—	6,5	6,7	—	—	—	—
	1984	—	5,5	7,0	6,9	6,9	6,5	6,4	6,8	6,5	—
	1985	7,4	7,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Осадки, загрязненные цементной пылью содержали SO_4^{2-} в среднем 51 мг/л (контроль 13,1 мг/л), имели электропроводность в среднем 468 мкСм·см⁻¹ (контроль 84 мкСм·см⁻¹) (табл. 2). Содержание металлов в отобранных фильтрах анализировались в Институте почвоведения и фотосинтеза АН СССР (Учватов и др., 1985) (табл. 3).

3. Опыты проводились на площадках с дерново-подзолистыми почвами, где длительное выпадение щелочных осадков привело к изменению pH и содержания минеральных элементов почвы (особенно K^+ и Ca^{2+}) по сравнению с контролем (табл. 4).

Причины ухудшения роста и продуктивности запыленных цементной пылью растений следует искать прежде всего в изменениях метаболизма.

Доминирующие в цементной пыли и выбросах цементного завода Са, К, Mg влияют антагонистически на метаболизм растений, обуславливая этим комплицированную, нередко противоречивую ответную реакцию растений на запыление. Макроэлементы Са и К воздействуют в первую очередь на водный обмен — изменяют интенсивность транспирации, вызывают обезвоживание тканей и изменяют коллоидные свойства протоплазмы.

По нашим наблюдениям, содержание сухого вещества под воздействием цементной пыли в полевых условиях обычно снижается (табл. 5). В тепличных условиях подача в малых дозах вызывала у календулы незначительный прирост сухого вещества, удлинение срока или повышение дозы — обезвоживание тканей. У клевера содержание сухого вещества возросло, особенно при малых дозах (табл. 6). Пыль действует на растения и через почву — растения, выращенные в теплице на почве из района постоянных выпадений цементной пыли, выделялись пониженным содержанием сухого вещества (табл. 7).

По степени чувствительности к фитотоксикантам на первом месте из функций растений находится фотосинтез, поэтому уже в течение нескольких десятилетий исследователи обращали повышенное внимание на зеленые пигменты, хлорофиллам *a* и *b*. Установлено, что влияние какого-либо атмосферного загрязнения зависит от его характера и концентрации, деградируя одновременно оба хлорофилла, или более интенсивно хлорофилл *a* (Rabe, Kreeb, 1980). При пылевом загрязнении содержание пигментов может как снижаться, так и повышаться, в зависимости от состава пыли и устойчивости растений (Борозенец, 1983; Ворка, 1984; Ворка, Szinten, 1984). Как правило, в г. Кунда содержание хлорофиллов, рассчитанное на сырую массу ткани (в оба года) было ниже, за исключением хлорофиллов календулы в 1984 г. Концентрация хлорофиллов, выраженная на сухую массу ткани при постоянном или увеличенном количестве сухого вещества снижается, при уменьшении последнего на 20—30% — повышается (табл. 8). При значительных изменениях содержания воды и сухого вещества у календулы и озимой ржи четко выявляется обратно пропорциональная зависимость между содержанием сухого вещества и хлорофиллов. В запыленных листьях отмечалось более интенсивное снижение хлорофилла *a*, что свидетельствует о сильном загрязнении (Rabe, Kreeb, 1980). Снижение соотношения хлорофиллов в данном случае свидетельствует о быстром переходе молекул хлорофилла *a* в молекулы хлорофилла *b* в непрерывно протекающем в зеленом листе процессе биосинтеза хлорофиллов (Шлык, 1970).

При искусственном запылении в теплице изменения в пигментной системе календулы и клевера различались и были иными, чем в природных условиях. У календулы запылению сопутствовало повышение содержания хлорофиллов пропорционально дозе нанесенной пыли. У клевера цементная пыль вызывала понижение содержания хлорофил-

Таблица 2
Table 2

Электропроводность (ЭП) и содержание SO_4^{2-} в осадках в 1984 г.
Electric conductivity and SO_4^{2-} content in outfalls in 1984

Место отбора Place of origin of outfalls	Показатель Indicator	Месяцы Months								
		II	III	VI—VII	VII—VIII	VIII—IX	IX—X	X—XI	XI—XII	I/1985
г. Кунда town of Kunda	SO_4^{2-} , мг/л	37,5	41,5	40,0	40,0	40,0	40,0	39,8	100,0	81,1
	мкСм·см ⁻¹ ЭП,	325,0	221,7	470,0	470,0	650,0	830,0	495,5	—	279
Палмсе Palmse	SO_4^{2-} , мг/л	4,0	6,0	22,5	18,5	24,0	12,0	14,5	—	3,6
	мкСм·см ⁻¹ ЭП,	16,0	17,6	180,0	70,0	150,0	90,0	87,2	—	60

Таблица 3
Table 3

Концентрация металлов в атмосферных осадках на территории г. Кунда и в Палмсе в 1983 г. (мг/л)*

Concentration of metals in outfalls on territory of the town of Kunda and Palmse in 1983 (mg/l)

Место отбора Place of origin of outfalls	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺
Палмсе Palmse	7,6 3,2—12,0	1,1 0,7—1,5	5,4 2,6—8,3	5,2 1,9—8,5	0,057 0,04—0,074	0,025 0,017—0,034	0,021 0,017—0,025
г. Кунда town of Kunda	31,6 18,6—58,0	15,1 2,6—39,4	20,8 3,8—33,5	50,5 17,2—90,0	0,05 0,02—0,1	0,063 0,008—0,15	0,012 0,005—0,025

* (Учватов и др., 1985).

Таблица 4
Table 4

Агрохимические показатели почвы на опытных площадках в 1983/1984
Agrochemical indicators of soil on territory of experiments in 1983/1984

Место отбора Place of origin of outfalls	Объемная масса, кг/л Volume weight, kg/l	pH _{KCl}	Общая концентрация солей, г/кг Total concentration of saltiness, g/kg	мг/кг mg/kg								
				NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Cu	Mn
Палмсе Palmse	1,13	6,9	0,36	18,5	155	148	2 500	108	3475	1,75	6,68	482,5
г. Кунда town of Kunda	0,86	8,1	0,84	14,6	158	925	30 100	1108	5198	3,94	8,19	188,8

Таблица 5
Table 5

Содержание сухого вещества в растениях в естественных условиях (%)
Dry weight of plants in field experiments (%)

Растение Plant	Дата Date	Варианты Variants		% от контроля % of control
		контроль control	цементная пыль cement dust	
Календула Calendula	23/VIII 83	13,7	14,1	102,9
Календула Calendula	03/VII 84	12,7	8,8	69,3
Озимая рожь Rye	03/VII 84	20,3	13,8	68,0
Клевер Clover	08/VIII 84	22,5	18,2	80,9

Таблица 6
Table 6

Влияние цементной пыли на содержание сухого вещества растений
в моделированных условиях (%)
Influence of cement dust on dry matter in modelled experiments (%)

Растение Plant	Дата Date	Длитель- ность влия- ния, сут Durabili- ty of influence in days	Конт- роль, % Control, %	Концентрация цементной пыли Concentration of cement dust			
				5—8 г/м ²		10—20 г/м ²	
				Сухое вещество Dry matter			
				%	% от контроля % of control	%	% от контроля % of control
Календула Calendula	21/VI 84	23	11,6	13,0	112,1	10,6	91,4
Календула Calendula	19/VII 84	51	11,3	10,6	93,8	9,9	87,6
Клевер Clover	26/VI 84	28	16,0	19,2	120,0	16,7	104,3
Клевер Clover	28/VI 84	30	16,1	18,3	113,8	16,6	103,2

Таблица 7
Table 7

Содержание сухого вещества в растениях, выращиваемых в теплице
на разных почвах (%)
Dry matter of plants grown on different soil in hothouse (%)

Растение Plant	Дата Date	Место отбора почв для выращивания Place of origin of soil for growing plants		% от контроля % of control
		из Палмсе from Palmse	из г. Кунда from the town of Kunda	
Календула Calendula	24/VI 84	11,5	11,0	95,9
Календула Calendula	17/VII 84	11,7	10,9	92,7
Клевер Clover	12/VII 84	20,0	17,6	87,8

Таблица 8
Table 8

Влияние цементной пыли на содержание хлорофиллов в тканях растений (мг/г)
Influence of cement dust on the content of chlorophyll of plants (mg/g)

Растение Plant	Дата Date	Вариант Variant	Хлорофилл <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>		Суммарный хлорофилл Total chlorophyll		Хл <i>a</i> /хл <i>b</i> Chl <i>a</i> /Chl <i>b</i>
			на сырую массу ткани on fresh weight	на сухую массу ткани on dry weight	на сырую массу ткани on fresh weight	на сухую массу ткани on dry weight	на сырую массу ткани on fresh weight	на сухую массу ткани on dry weight	
Календула Calendula	6/VII 83	контроль control	0,53	—	0,17	—	0,70	—	3,12
		цементная пыль cement dust	0,35	—	0,13	—	0,49	—	2,66
	23/VIII 83	контроль control	0,79	5,76	0,23	1,66	1,02	7,41	3,49
		цементная пыль cement dust	0,51	3,65	0,17	1,18	0,68	4,83	3,00
	3/VII 84	контроль control	0,56	4,41	0,17	1,37	0,73	5,72	3,34
		цементная пыль cement dust	0,55	6,22	0,19	2,15	0,74	8,34	2,88
Озимая рожь Rye	3/VII 84	контроль control	1,50	7,38	0,54	2,65	2,04	10,03	2,78
		цементная пыль cement dust	1,35	9,72	0,50	3,65	1,85	13,40	2,66
Клевер Clover	8/VIII 84	контроль control	2,16	9,62	0,77	3,43	2,94	13,07	2,80
		цементная пыль cement dust	2,04	11,23	0,75	4,13	2,80	15,38	2,71
Флокс Phlox	20/IX 84	контроль control	1,07	4,62	0,41	1,79	1,48	6,41	2,61
		цементная пыль cement dust	0,77	2,97	0,30	1,14	1,06	4,12	2,57

Влияние цементной пыли на содержание хлорофилла в листьях растений
в моделированных условиях (мг/г на сухую массу)
Influence of cement dust on the chlorophyll content of plants
in modelled conditions (mg/g dry weight)

Показатель Indicator	Дата Date	Длительность влияния, сут Duration of influence in days	Контроль, мг/г на сухую массу Control, mg/g of dry weight	Концентрация цементной пыли Concentration of cement dust			
				5—8 г/м ²		10—20 г/м ²	
				содержание хлорофилла content of chlorophyll			
				мг/г на сухую массу mg/g of dry weight	% от контроля % of control	мг/г на сухую массу mg/g of dry weight	% от контроля % of control
календула calendula							
Хлорофилл а Chlorophyll a	21/VI 84 19/VII 84	23 51	4,21 4,23	4,91 4,44	116,7 105,0	5,23 5,44	124,2 128,7
Хлорофилл b Chlorophyll b	21/VI 84 19/VII 84	23 51	1,58 1,73	1,84 1,84	116,3 106,3	2,04 2,43	129,2 140,6
Суммарный хлорофилл Total chlorophyll	21/VI 84 19/VII 84	23 51	5,88 5,96	6,75 6,67	114,8 112,0	7,30 7,98	124,2 134,0
Хл а/Хл b Chl a/Chl b	21/VI 84 19/VII 84	23 51	2,67 2,44	2,68 2,41	100,3 98,8	2,57 2,28	96,2 93,4
клевер clover							
Хлорофилл а Chlorophyll a	26/28.VI 84	28—30	12,23	10,10	82,5	11,78	96,1
Хлорофилл b Chlorophyll b	„	„	4,30	3,67	85,3	4,30	100,0
Суммарный хлорофилл Total chlorophyll	„	„	16,38	13,76	84,0	16,11	98,4
Хл а/Хл b Chl a/Chl b	„	„	2,80	2,76	98,5	2,75	98,2

лов, при этом изменения были значительнее при малой дозе пыли (табл. 9).

При одинаковых тепличных условиях на различных почвах, привезенных из участков полевых опытов, выяснилось, что самым низким содержанием хлорофиллов и более медленным ростом отличались растения, выращиваемые на почве контрольного варианта. Причиной этого является резко пониженное содержание в этой почве магния.

Наряду с хлорофиллами в фотосинтезе участвуют желтые пигменты — каротиноиды. По нашим данным, в окрестности завода в

листьях клевера при сплошном влиянии цементной пыли уменьшается содержание каротина в среднем на 28%, а в листьях озимой ржи отмечено его увеличение. При скрытых повреждениях листьев происходит повышенное по сравнению с контролем накопление общего азота. Известно, что в нейтральной и щелочной среде растениями усваиваются аммониевые соли (Лебедев, 1982), поэтому предполагается, что указанные изменения происходят преимущественно за счет минеральных соединений азота и проявляются у каждого вида растений в разной степени. Уменьшение содержания легкорастворимых белков и аминокислот (табл. 10) поддерживает вышеуказанную точку зрения. Кроме того, при воздействии экстремальных факторов синтез растворимых белков может ослабевать. Исключением является клевер, в листьях которого усиливается обмен азота (табл. 10) вероятно из-за того, что нейтральная и слабощелочная реакция почвы, а также достаточное содержание кальция в почве, благоприятно влияют на развитие клубеньковых бактерий, способствующих азотному питанию у бобовых (Лебедев, 1982).

— По нашим данным, в отходах цементных заводов серосодержащих веществ 4—8%, по Н. И. Лайранд и др. (1978) даже 5—15%. Увеличенное содержание серы в воздухе и в твердых частицах пыли на листьях вызывают изменения в концентрации S-метаболитов в растениях (табл. 10). В ряде работ приведено много примеров о роли водорастворимых SH-соединений в физиологических процессах, связанных с защитными функциями клеток при воздействии неблагоприятных факторов (Гетко, 1982; Мандре, 1984; Торчинский, 1977). Под влиянием цементной пыли увеличивается содержание SH-соединений (в расчете на сухое вещество). Увеличивается и содержание SO_4^{2-} в ассимиляционных органах. Накопление сульфатов в ассимиляционные органы ведет к нарушению пути восстановления сульфатионов до сульфгидрильных групп. Высокая физиологическая активность сульфорганических соединений требует поддержания баланса $\text{SO}_4^{2-}/\text{SH}$ - на определенном уровне. Растения могут поддерживать уровень $\text{SO}_4^{2-}/\text{SH}$ - постоянным в очень узком диапазоне и изменение этого баланса в любую сторону может вызвать нарушения в путях метаболизма серы и поэтому баланс $\text{SO}_4^{2-}/\text{SH}$ - является главным биохимическим индикатором физиологических отклонений растительного организма при загрязнении среды серосодержащими веществами. Д. Грилл и Х. Эстербауер (Grill, Esterbauer, 1973 а, б) отмечают, что при повышенном загрязнении воздуха неорганическими соединениями серы, восстановление последних до SH-групп зависит от вида растений. По сообщению О. Фаррера (Farrer, 1967) у клевера, томата и капусты накопление в листьях соединений серы происходило преимущественно в неорганической форме и баланс $\text{SO}_4^{2-}/\text{SH}$ - отклонился в положительную сторону. На это указывают и наши данные о клевере и озимой ржи, в то же время в листьях календулы и флоксов указанный баланс отклонился в отрицательную сторону. Это показывает, что поступающая в растения сера быстро включается в сульфгидрильные соединения, в первую очередь в цистеин, содержание которого увеличивается.

Довольно разнообразный элементарный химический состав видов растений отражает геохимические особенности среды. Благодаря плазмалемме (иногда совместно с тонопластом), клетка поддерживает в протоплазме необходимый набор и оптимальную концентрацию тех или иных ионов. В условиях загрязненной атмосферы растения имеют повышенную по сравнению с оптимальными условиями зольность. Анализ данных ассимиляционных органов растений свидетельствует, что листья клевера на расстоянии до 1 км от источника эмиссии содержат в среднем на 10% больше кальция, чем контрольные растения; листья

Таблица 10

Table 10

Влияние цементной пыли на содержание азот- и серосодержащих веществ
в растениях (1983/84 гг.)

Influence of cement dust on nitrogen and sulphur content in plants (in 1983/1984)

Показатель Indicator	Вариант Variant	Озимая рожь Rye	Календула Calendula	Клевер Clover
Общий азот, % сухого в-ва Total N, % of dry weight	контроль control	1,75	—	3,72
	цементная пыль cement dust	2,08	—	3,83
Легкорастворимые белки, % от контроля Soluble protein, % of control	контроль control	100,00	100	100,00
	цементная пыль cement dust	65,00	75	123,00
Аминокислоты, мг/г сухого в-ва Amino acids, mg/g of dry weight	контроль control	309,88	154,80	215,37
	цементная пыль cement dust	242,82	140,51	221,70
Общая сера, мг/г сухого в-ва Total S, mg/g of dry weight	контроль control	—	1,55	—
	цементная пыль cement dust	—	3,00	—
SH-, мг цисте- ина/г сырого в-ва SH-groups, cystein/g of dry weight	контроль control	6,4	2,1	8,6
	цементная пыль cement dust	5,0	2,0	7,5
SH-, мг цисте- ина/г сухого в-ва SH-groups, mg cystein/g of dry weight	контроль control	31,5	16,6	38,3
	цементная пыль cement dust	36,1	22,6	41,2
SO ₄ ²⁻ , мг/г сырого в-ва SO ₄ ²⁻ , mg/g of fresh weight	контроль control	0,049	0,056	0,060
	цементная пыль cement dust	0,056	0,043	0,060
SO ₄ ²⁻ , мг/г сухого в-ва SO ₄ ²⁻ , mg/g of dry weight	контроль control	0,241	0,442	0,267
	цементная пыль cement dust	0,342	0,487	0,330
SO ₄ ²⁻ /SH-, (на г сухого в-ва) SO ₄ ²⁻ /SH-, per 1 g of dry weight	контроль control	0,0076	0,0265	0,070
	цементная пыль cement dust	0,0111	0,0217	0,0080

озимой ржи по содержанию кальция почти не различались. В содержании калия также не найдено различий между контрольными и подопытными однолетними растениями. Цементная пыль создает неблагоприятные условия для усвоения аниона фосфора растениями. Подщелачивание осадков и почвы является причиной уменьшения содержания фосфора в листьях клевера в среднем на 33, у озимой ржи на 7%. Подавление поступления фосфора цементной пылью в травянистых растениях уменьшает и содержание углеводов (Piescu, 1981), биосинтез которых происходит через ряд фосфорных производных продуктов фотосинтеза.

Разница в содержании катионов более наглядно прослеживается в лесных и луговых биогеоценозах, менее — в агроценозе. В хвое сосны обыкновенной под воздействием пыли содержание кальция и калия сильно возрастает, и при этом проявляется четкая зависимость от возраста хвоинок. Увеличение содержания кальция под влиянием цементной пыли ($60 \text{ г/м}^2 \cdot \text{мес}^{-1}$) отмечено также в листьях березы, черники, хвоях ели (Бериня, Берзиня, 1984).

Между содержанием К, Са и Р в окружающей среде и в надземных частях травянистых растений не найдено прямой корреляции. Следовательно, сумма минеральных элементов в надземной части растений не всегда зависит от состава почвы. Главным образом это определяется избирательностью поглощения элементов разных растений. Из данных Н. Э. Нильсена и Ч. Б. Сёренсена (Nielsen, Sørensen, 1984), полученных при изучении 30 сортов ячменя, горчицы, салата, лука и других растений следует, что чистые притоки K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} были независимы от концентрации этих ионов в почвенном растворе. Это подтверждает существование предела катионной поглотительной способности растений.

Заключение

Химическое воздействие пылевидных частиц проявляется при условии содержания в них водорастворимых соединений. Проникновение водорастворимых солей во внутренние ткани листа многократно доказано экспериментами по внекорневой подкормке растений (Новиков, 1961; Miidla, 1984; Сытник и др., 1978). В цементной пыли содержится достаточно растворяющихся в воде химических веществ, влияющих на метаболизм через листья и корни.

Поражающее действие цементной пыли на растения сводится к изменению не только химических, но и физических свойств почвы, а главным образом кислотности — концентрации водородных ионов. Высокие концентрации кальция и калия в выбросах цементного завода являются причиной подщелачивания почвы, осадков, а также коры деревьев (Бериня, Берзиня, 1984; Мандре, 1984; Нильсон, Мартин, 1982; Учватов, Мартин и др., 1984). При очень высокой рН почвенной среды может прекращаться поступление кальция через корни растений (Новиков, 1961), что приводит к изменениям в метаболизме, замедлению роста и снижению биомассы. Следовательно, сумма макроэлементов в надземной части растений не всегда имеет прямую зависимость от состава почвы — в первую очередь это определяется пределом катионной поглотительной способности отдельных видов растений (Nielsen, Hansen, 1984). Таким образом, в клетках и растении в целом существует разветвленный механизм регулирования катионно-анионного баланса и поддержания его на определенном уровне. Это указывает на перспективность выращивания растений с высокой емкостью катионно-анионного обмена в условиях загрязненной цементной пылью атмосферы.

Цементная пыль, оседающая на вегетативные органы растений, создает в тканях иной световой, температурный и водный режимы. Уста-

новлено, что водный обмен растений адекватно меняется под влиянием цементной пыли. При естественном загрязнении, соответственно снижению сухого вещества, может быть значительным повышение воды. Это позволяет рассмотреть градиент содержания воды или сухого вещества как один из критериев поражения растений выбросами. Изменение водного, светового и температурного режимов является причиной подавления фотосинтетической активности и усиления дыхания в запыленных листьях (Auclair, 1977; Steinhübel, 1974; Borka, 1984; Borka, Szinten, 1984).

Ответная реакция пигментной системы однолетних растений на загрязнение цементной пылью является сложной и не всегда направленной. Она зависит от микроклимата (естественные или тепличные условия), почвенных условий и дозы пыли, а также от вида растений. Запыление однолетних растений цементной пылью в течение относительно короткого периода вегетации в общем не воздействует отрицательно на пигментную систему. Повышение содержания хлорофиллов можно рассматривать как компенсационную реакцию растения на ухудшение условий газо- и водообмена. Факторами, способствующими сохранению или повышению содержания хлорофиллов в тканях растений являются возникающий при запылении водный дефицит, сильно повышающий биосинтез хлорофиллов (Сивцев, 1973), благополучный минеральный состав (высокое содержание Mg и K) и щелочная реакция цементной пыли.

В осуществлении процесса фотосинтеза вспомогательную функцию в преобразовании световой энергии в химическую имеют каротиноиды. Содержание каротина, по данным А. А. Игнатенко и В. П. Тарабрина (1971), имеет прямую корреляцию с устойчивостью к загрязнителям. Отмеченное нами снижение содержания каротина в растениях является доказательством повреждающего действия цементной пыли на участках опытов.

При скрытых повреждениях от цементной пыли содержание общего азота в растениях повышается, как это подтверждается и другими исследователями (Баранова, 1971; Козюкина, 1976; Шацько, 1975), но характер изменения отдельных фракций белков при этом неодинаков. Существует мнение, что экстремальные дозы цементной пыли не усиливают распад белков растений (Илькун, 1978), а ингибируют биосинтез их (в данном случае легкорастворимых белков), что подтверждается данными уменьшения общего содержания аминокислот.

Полученные нами данные позволяют предполагать, что изменения в метаболизме могут быть результатом реализации защитно-приспособительных возможностей растений, направленных на повышение их устойчивости и метаболизации от поступающих в цементной пыли веществ.

ЛИТЕРАТУРА

- Асатиани В. С. Новые методы биохимической фотометрии. М., 1965.
Баранова В. А. Влияние загазованности воздуха на некоторые физиологические процессы у древесных растений. — В кн.: Растения и промышленная среда. Киев, 1971.
Бериня Д. Ж., Берзиня А. Я. Воздействие выпадений цементного завода на почву и растения. — В кн.: Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. Пушино, 1984, 31—33.
Борозенец В. А. Влияние промышленного загрязнения на содержание пигментов пластид в листьях древесных растений. — Тез. докл. VII съезда Всесоюз. ботан. о-ва, Донецк, 11—14 мая 1983 г. Л., 1983, 333—334.

- Гетко Н. В. К механизму устойчивости сосны обыкновенной к газообразным соединениям серы в промышленных зонах Белоруссии. — В кн.: Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями. Таллин, 1982, 90—91.
- Игнатенко А. А., Тарабрин В. П. Влияние загрязнения атмосферного воздуха и почвы промышленными отходами на пигменты пластид. — В кн.: Растения и промышленная среда. Киев, 1971, 65—70.
- Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев, 1978.
- Козюкина Ж. Т. О некоторых эколого-физиологических показателях газоустойчивости древесных растений. — Науч. докл. высш. школы. Биол. науки, 1976, 151, № 7, 103—107.
- Лайранд Н. И., Ловелиус Н. В., Яценко-Хмелевский А. А. Влияние пылевых выбросов цементных заводов на прирост дуба. — Ботан. ж., 1978, 63, № 5, 721—729.
- Лебедев С. И. Физиология растений. М., 1982.
- Мандре М. А. Влияние моделированного загрязнения на физиолого-биохимическое состояние системы растение—паразит. — В кн.: Актуальные задачи физиологии и биохимии растений в ботанических садах СССР. Пушино, 1984, 114—115.
- Нильсон Э. М., Мартин Л. Н. Эпифитные лишайники в условиях кислого и щелочного загрязнения. — В кн.: Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. II. Таллин, 1982, 88—100.
- Новиков В. А. Физиология растений. Л.—М., 1961.
- Плашков Б. П. Практикум по биохимии растений. М., 1968.
- Сивцев М. В. Состояние пигментного комплекса растений в связи с их биологическими особенностями и при действии различных факторов. Автореф. докт. дис. Киев, 1973.
- Сытник К. М., Мусатенко Л. И., Богданова Т. Л. Физиология листа. Киев, 1978.
- Торчинский Ю. М. Сера в белках. М., 1977.
- Третьякова Н. Н. Практикум по физиологии растений. М., 1982.
- Трубецкова О. М., Татаренко Н. Ф. Фотоколориметрический метод определения сульфат-иона в присутствии фосфата. — Физиология растений. 1971, 18, № 1, 219—222.
- Учватов В. П., Мартин Ю. Л., Нильсон Э. М., Мартин Л. Н., Гелетюк Н. И. Геохимическое изучение снежного покрова в некоторых ландшафтах Эстонии для целей биоиндикации состояния окружающей среды. — В кн.: Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. Пушино, 1984, 198—201.
- Учватов В. П., Мартин Ю. Л., Гелетюк Н. И., Виролойнен В. Химический состав атмосферных осадков прибрежных районов Эстонии и его трансформация под влиянием древесной растительности. Препринт ТБС АН ЭССР, 1985.
- Шацько Р. И. Азотний обмін деревних рослин, фумігованих сірністим газом. — Укр. бот. журн., 1975, 32, № 5, 663—664.
- Шлык А. А. Метаболические превращения и состояние пигментного аппарата фотосинтеза. — В кн.: Метаболизм и строение фотосинтетического аппарата. Минск, 1970, 3—22.
- Auclair, D. Effects des poussières sur la photosynthèse II. Influence des polluants particuliers sur la photosynthèse du pin sylvestre et du peuplier. — Ann. Sci. Forest., 1977, 34, N 1, 47—57.
- Borka, G. Effect of metalliferous dusts from dressing works on the growth, development, main metabolic processes and yields of winter wheat *in situ* and under controlled conditions. — Environ. Pollut., 1984, A35, N 1, 67—73.
- Borka, G., Szinten, C. Wirkung von Metallstäuben aus einem Eisenerzaufbereitungswerk auf Wachstum, Entwicklung, einige physiologische Vorgänge und den Ertrag von Buschbohnen "in situ" und unter kontrollierten Bedingungen. — Hercynia, 1984, 21, N 1, 67—72.
- Farrer, O. The amount of sulphur dioxide absorbed by plants from the atmosphere. — In: Isotopes in Plant Nutrition and Physiology. Vienna, 1967, 403—407.
- Grill, D., Esterbauer, H. Cystein und Glutation in gesunden und SO₂-geschädigten Fichtennadeln. — Eur. J. Forest Pathol., 1973a, 3, N 2, 65—71.
- Grill, D., Esterbauer, H. Quantitative Bestimmung wasserlöslicher Sulphydrylverbindungen in gesunden und SO₂-geschädigten Nadeln von *Picea abies*. — Phytol., 1973b, 15, N 1—2, 87—101.
- Iliescu, E. Modificari in metabolismul plantelor de begonia sub actiunea pulberilor de la fabricile de ciment. — An. Inst. cerc. prot. plant, 1981, N 16, 437—441.
- Miidla, H. Taimefüsioloogia. Tallinn, 1984.
- Nielsen, N. E., Hansen, E. M. Macro nutrient cation uptake by plants. II. Effects of plant species, nitrogen concentration, activity ratio in soil solution. — Plant and Soil, 1984, 77, N 2—3, 347—365.
- Nielsen, N. E., Sørensen, C. B. Macro-nutrient cation uptake by plants. I. Rate-determining steps in net inflow of cations into intact and decapitated sunflower plants and intensity factors of cations in soil solutions. — Plant and Soil, 1984, 77, N 2—3, 337—346.
- Rabe, R., Kreeb, K. Bioindication of air pollution by chlorophyll destruction in plant leaves. — Oikos, 1980, 34, N 2, 163—167.

Steinhübel, G. Vplyv tuhych imisii na translocaciu organiekych latok do rastuceho vyhonna u konifer. — В кн.: Les a priemyselne imisie. Bratislava, 1974, 87—95.
Vernon, L. P. Spectrophotometric determination of plant extracts. — Anal. Chem., 1960, 32, N 9, 1144—1150.

Таллинский ботанический сад
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
17/IV 1985

Malle MANDRE, Alla KANGUR

TSEMENDITOLM KUI TAIMEDE ARENGUT MÕJUTAV ANTROPOGEEENNE TEGUR

1. Mõju kasvukeskkonnale ja rohttaimede metabolismile

Tsemenditolmuga saastatud piirkondades toimub taimede kasvukeskkonna leelistumine: mulla pH on keskmiselt 8,1; vihmavee pH kõigub 7,6—9,1; lumevee pH 10,4—10,6. Tsemenditolm (pH 12,7; koostis CaO, SiO₂, K₂O, SO₃, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃ jne.) taimelehtede sadenedes muudab taimede valgus-, temperatuuri- ja veerežiimi. Muutunud keskkonnatingimustes väheneb saialillede, flokside, rukki, odra, ristiku jt. kasv, selle põhjuseks on muutused ainevahetuses. Muutused taimelehtede pigmendisüsteemis ja lämmastikainevahetuses on sõltuvuses tehnogeenselt koormusest, taimede liigilistest ja vanuselistest iseärasustest. Tsemenditolmu mõjul suureneb taimedes üldlämmastiku ja klorofüllisisaldus, väheneb aga lahustuvate valkude, aminohapete ja karotiini hulk. Kasvukeskkonnas, kus esineb Ca ja K liig, avaldus ilmekalt üheaastastel taimedel selekteeriv katioonide-anioonide neelamisvõime.

Malle MANDRE, Alla KANGUR

CEMENT DUST AS AN INFLUENTIAL ANTHROPOGENIC FACTOR ON THE DEVELOPMENT OF PLANTS

1. Impact of cement dust on the environment and on the metabolism of herbaceous plants

Experiments were carried out in modelled and in natural conditions under longterm levels of pollutant at a distance less than 1 km from the cement factory. On the territory surrounding the factory, there were changes in pH both in the outfalls and in soil to alkaline: the pH of soil was on the average 8.1; the pH of rain fluctuated between 7.6 and 9.1, and the pH of snow water between 10.4 and 10.6. The pH of the dust from the electrofilters of the cement factory was 12.7, and it contained CaO, SiO₂, K₂O, SO₃, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃.

The field experiments were carried out with phloxes, calendulas, rye and clover. It was stated that in the leaves coated with cement dust, the deviations from the normal metabolism of the plant organism were explained. It is defined as invisible injury. The increase in the level of chlorophyll, nitrogen, sulfur, SH-groups in SO₄²⁻ and the decrease on the level of soluble proteins, aminoacids and carotene were induced by the influence of dust in the leaves of plants.

Under the conditions of environments containing a high concentration of Ca and K in soil and outfalls, the selective ability of cation uptake of plants has been clearly revealed.