

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИССИЙ ФТОРИДОВ КРИОЛИТОВОГО ЗАВОДА И АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Байкин. Ю.Л., Каренгина Л.Б, Беличев А.А., Федоров А.Н.

Аннотация. По данным полевых обследований пахотных почв, находящихся в зоне техногенных выбросов криолитового завода, установлены уровни загрязнения почв фтором в зависимости от расстояния до источника, выявлены корреляционные связи агрохимических показателей почв с содержанием в них фтора. В микрополевых и мелкоделяночных опытах изучено влияние загрязнения фтором на урожайность растений, испытаны защитные фоны от фторидного загрязнения. Выявлены нарушения в анатомическом строении и образовании генеративных клеток под влиянием токсического воздействия фтора.

Ключевые слова: фторидное загрязнение, почвы, продуктивность растений, анатомическое строение, цитоморфологический анализ, мейоз, хромосомные перестройки.

ENVIRONMENTAL STATE OF SOILS AND PLANTS IN THE AREA OF EXPOSURE TO EMISSIONS OF FLUORIDES OF THE CRYOLITE PLANT AND AGROCHEMICAL METHODS OF PROTECTION FROM EFFECTS OF POLLUTION

Summary Field surveys of arable soils located in the waste zone of the Cryolite Factory, established levels of soil pollution by fluoride and identified correlations between soil agrochemical parameters and the content of fluoride. The influence of fluoride pollution on plant yield was studied in micro field and micro plot experiments and protective shields against fluoride pollution were tested. It has been discovered that the fluoride toxic effect impacts anatomical structure and formation of generative cells.

Key words: fluoride pollution, soils, plant productivity, anatomical structure, cytomorphological analysis

Фторидное загрязнение, причины и размеры

Среди элементов, входящих в состав земной коры по массе фтор занимает тринадцатое место, среди элементов, составляющих почву - девятнадцатое. Присутствие фтора в растениях было установлено Мюллером еще в 1845г, но лишь в 1913г. Готье и Клаусман обнаружили его во всех 64 изучаемых ими видах растений (цит. по Власюку, 1969) [1].

Однако, физиологическая необходимость его в метаболизме растений пока не доказана. Однако, отмечено участие фтора в синтезе гумуса в почве, т.е. необходимость в нем для жизнедеятельности специфических почвенных микроорганизмов [2].

Наибольшую опасность для человека, животных и растений представляет аккумуляция фтора в окружающей среде техногенного характера [3,4,5]. Среди существующих загрязнителей природы фтор по размеру и опасности занимает третье место после сернистых газов и азота.

Наиболее интенсивное загрязнение фтором происходит за счет техногенной эмиссии при производстве алюминия, фосфорных удобрений, стекла, керамики, а также применение удобрений, содержащих в своем составе остаточный фтор. Степень загрязнения фтором и отрицательные последствия на природу вокруг алюминиевых заводов обратно пропорционально расстоянию от источника загрязнения. Наиболее сильный ущерб отмечен в радиусе до 2 км от источника эмиссии [6,7,8,9,10]. Также систематическое многолетнее внесение суперфосфата, аммофоса или одновременное внесение удобрений, содержащих 500кг и более P₂O на гектар, снижает урожай и приводит к накоплению фтора в биомассе [11].

Фтор в почве

Основная масса фторидов, попадая в почву, переходит в нерастворимое или трудно растворимое состояние и только небольшое количество остается в подвижном состоянии. Размер и интенсивность этой трансформации зависит от многих факторов, но, прежде всего, от химического состава почвы.

Накопление фтора в почве приводит к снижению окислительно-восстановительного потенциала, уменьшению суммы обменных оснований, к увеличению сухого остатка водной вытяжки. Увеличивается подвижность железа, алюминия, марганца, повышается дисперсность почв, снижается доступность питательных веществ растениям, снижается общая численность микроорганизмов, ферментативная активность [12].

Фтор в растениях

В нормальных условиях содержание фтора в различных органах растений не превышает 5 мг/кг: у культурных растений больше всего в зеленой массе, у древесных - ветвях и коре [14,15]. К резистентным к фтору растениям относятся гречиха, картофель, просо, сахарная свекла, рапс, розы, астры, вишня. Резко отрицательно реагирует на повышение содержания фтора в почве кукуруза, ячмень, пшеница, горох, клевер, шпинат [16].

Загрязнение атмосферного воздуха фтором приводит к нарушению ассимиляционного аппарата у всех растений, снижается устойчивость растений к неблагоприятным условиям [17]. Фтор является ингибитором образования молочной кислоты, увеличивается содержание лимонной, янтарной, fumarовой, яблочной, щавелевой кислот, снижается РНК, замедляется деление и растяжение клеток, уменьшается распад фитина [18]. При отравлении растений фтором отмечается некроз листьев, они становятся плотными, покрываются беловато-серым налетом, плоды деформируются, преждевременно опадают, существенно снижается урожай. Снижение урожая может быть вызвано и нарушением корневого питания.

Фторидное загрязнение в зоне воздействия криолитового завода

Характер изменения содержания фтора в почве изучали в пахотных почвах расположенных в окрестности Полевского криолитового завода.

Почвенные образцы для агрохимического анализа почвы отобраны с глубины пахотного слоя. Почти во всех образцах (табл. 1) содержание водорастворимого фтора превышает ПДК [13], что свидетельствует о значительном загрязнении пахотных земель фтором.

В нашем исследовании максимальные содержания водорастворимого фтора в пахотном слое почвы отмечено в северо-восточном направлении на расстоянии 5км и в восточном направлении (преобладающем по розе ветров) на расстоянии 7км. В южном направлении почвы менее загрязнены, содержание фтора на расстоянии до 10км составляет 4,0 - 4,5 мг/кг.

Таблица 1

Содержание водорастворимого фтора в пахотном слое почвы в зависимости от удаленности от источника загрязнения (среднее за 2 года, мг/кг)

№ пункта наблюдения	Направление от источника эмиссии	Расстояние от источника эмиссии	Содержание фтора
1	Северо-восточное	3	4,1
2	Северо-восточное	5	10,0
3	Северо-восточное	10	5,7
4	Восточное	7	7,0
5	Восточное	9	4,1
6	Южное	5	4,3
7	Южное	7	4,5

8	Южное	10	4,0
9	Южное	10	2,6
ПДК			3,0

Почвы, удаленные от криолитового завода на 20км, можно считать чистыми (содержание фтора 2,6мг/кг).

Учет продуктивности растений в точках отбора образцов показал, что содержание водорастворимого фтора в почве выше ПДК приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Потеря урожая, выраженная в кормопротеиновых единицах (Y), в зависимости от содержания водорастворимого фтора (x) в почве описывается функцией: $Y = 1,9 - 0,34x + 0,22x^2$

Зависимость содержания водорастворимого фтора от агрохимических показателей почвы

Агрохимический анализ почвенных образцов, отобранных в зоне фторидного загрязнения, показал, что существует корреляционная зависимость между содержанием водорастворимого фтора и химическими показателями почвы (табл.2).

Прямая корреляция наблюдается между содержанием водорастворимого фтора, рНсол., суммой обменных оснований, а также гумусом ($r = 0,33-0,39$).

Не найдено тесной связи содержания фтора с гидролитической кислотностью (обратная зависимость), а также содержанием элементов питания (азота, фосфора, калия).

Таблица 2

Агрохимические показатели почвы и активный фтор

Фтор, мг/кг	Гумус, %	рНсол.	ммоль/100г почвы		мг/кг почвы		
			Нг	S	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2,0	4,8	4,9	9,0	23,1	200	67	195
2,5	3,4	4,6	7,0	17,7	150	94	178
4,5	3,4	5,1	9,2	12,2	180	59	87
5,0	5,1	4,8	8,9	26,0	210	67	178
5,0	3,4	5,3	4,6	34,1	205	54	160
5,5	2,7	6,0	1,8	29,9	124	98	224
6,0	4,7	5,3	6,3	24,4	184	45	178
8,0	6,4	6,4	2,0	41,7	210	170	249
8,5	4,3	4,7	9,1	17,2	180	37	128
(Коэффициент корреляции, r)	0,33	0,39	-0,39	0,37	0,16	0,09	-0,08

Прим. Нг – гидролитическая кислотность; S – сумма обменных оснований

Таким образом, наши данные подтверждают выводы о положительной корреляции между содержанием фтора и органического вещества, содержанием фтора и кислотностью, высказанные рядом авторов [12,15].

Содержание фтора в биомассе растений в зоне загрязнения

Анализ растений на содержание фтора в зоне техногенного загрязнения (криолитовый завод) показал, что даже в радиусе до 20км от источника загрязнений накопление фтора может быть выше 5мг/кг сухого вещества (табл.6).

Таблица 6

Содержание фтора в биомассе растений в зоне техногенного загрязнения

Удаленность от источника загрязнения, км (по розе ветров)	Культура	Содержание фтора, мг/кг сухого вещества
3	<i>Однолетние травы</i>	17
5	Капуста	5
5	Картофель	6
7	Морковь	8
7	Подсолнечник	11
9	Турнепс	6
10	Подсолнечник	14
20	Озимая рожь	5
25	Ячмень	4

Как видно из данных, приведенных в таблице, содержание водорастворимого фтора в растениях зависит не только от расстояния до очага загрязнения, но и культуры.

Более всего обнаружено фтора в листьях подсолнечника, на котором визуальнo были видны некротические повреждения [19].

Нейтрализация вредного воздействия фторидного загрязнения на урожай

В Уральском государственном аграрном университете была проведена серия опытов с ячменем, который подвергали аэрозольному загрязнению фтористым водородом. Исследования показали, что минеральные удобрения существенно повышают урожай независимо от степени загрязнения фторидами (табл.3).

Таблица 3

Влияние удобрений на урожайность ячменя при обработке растений фтористым водородом в фазу кущения (г/сосуд сухого вещества) среднее за 2 года

Фон питания	Концентрация HF, %	Общая биомасса	<i>Зерно</i>	Отношение зерно: солома
Без удобрений	0	3,5	1,8	1:0,96
	0,05	2,8	1,4	1:0,98
	0,1	2,3	1,0	1:1,26

	0,5	2,2	0,8	1:1,28
NPK	0	6,3	3,4	1:0,85
	0,05	6,2	3,4	1:0,79
	0,1	6,3	3,2	1:0,95
	0,5	4,1	2,9	1:0,92

В опыте вносили аммиачную селитру, двойной суперфосфат, хлористый калий из расчета по 100 мг действующего вещества азота, фосфора и калия на 1 кг почвы.

Усиленное минеральное питание способствует активному сопротивлению растений угнетению, вызванному фторидным загрязнением.

В варианте без удобрений, урожай снижался тем интенсивнее, чем выше была концентрация фтора в аэрозоле. При этом увеличивается доля соломы в общей биомассе.

Влияние защитного фона на урожай ячменя

Выбор защитного фона, наносимого на растения в виде суспензии опрыскиванием перед началом наиболее ответственных фаз развития, был основан на предположении, что химически активные формы фтористых соединений, попадая на растения, будут полностью или частично переведены в труднорастворимые соединения при взаимодействии с веществом защитного фона. Для этого использовали известковое молоко $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кремнегель ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 4% концентрации с добавлением хозяйственного мыла (40г на 10л) для обеспечения адгезии. Защитный фон был нанесен на растения в начале фазы кущения.

Результаты микрополевого опыта с ячменем свидетельствует, что наносимый на растения защитный фон не снижает урожая ячменя при опрыскивании суспензией кремнегеля. Опрыскивание известковым молоком понижает выход зерна (табл. 5).

Таблица 5

Влияние защитного фона от фторидного загрязнения на урожайность ячменя (г/сосуд сухого вещества)

Защитный фон	Концентрация HF, %	Общая биомасса	Зерно	Отношение зерно: солома
0	0	5,9	3,19	1:0,85
	0,05	5,9	3,24	1:0,79
	0,1	5,8	3,31	1:0,75
	0,5	4,1	2,37	1:0,73
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0	5,3	2,70	1:0,96
	0,05	4,1	2,16	1:0,90
	0,1	4,4	2,38	1:0,85
	0,5	5,0	2,76	1:0,81
SiO_2	0	6,3	3,15	1:1,00
	0,05	5,5	2,52	1:0,95
	0,1	4,0	2,59	1:0,89
	0,5	5,0	2,75	1:0,82

При воздействии на растения аэрозолями фторидов низкой концентрации (0,05-0,1% HF), как кальциевый, так и кремниевый фоны не оказывали защитного действия, напротив, понизили накопление общей биомассы и выход зерна с вегетационного сосуда. Защитные свойства суспензий проявились только при воздействии на растения аэрозолями с высокой концентрацией фтора (0,5% HF).

Влияние фторидного загрязнения на морфологическое строение листа

Изучение анатомического строения листа под микроскопом (увеличение 120 и 600 рисовальным аппаратом Аббе) показало, что в первую очередь некрозу подвергаются клетки рыхлой паренхимы, клетки палисадной паренхимы разрушены, они теряют свое вертикальное положение и в столбчатой ткани появляются межклеточники (рис.1). Хлоропласты теряют хлорофилл, становятся рыже-желтыми. Среди волосков на эпидерме встречаются правильные ряды мелких клеток типа «ассимилянтов».

В центральной жилке вместо одного коллатерального пучка формируется 3-5 (у нижних листьев 2-3) и до 10-15 у верхних.

В клетках эпидермиса цитоплазма окрашивается в темные тона. Возможно, фтор улавливается цитоплазмой эпидермы, но диффундирования в другие (расположенные ниже) клетки не происходит

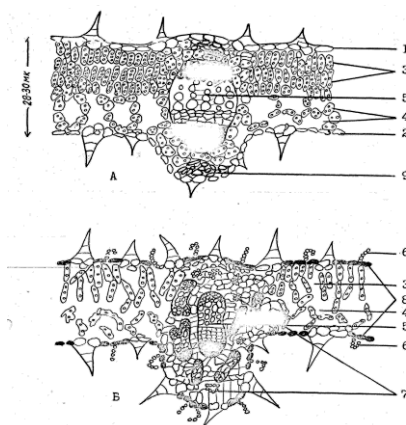


Рис.1 Анатомическое строение листа подсолнечника без поражения фтором (А) и из зоны фторидного загрязнения (Б)

1 – эпидерма верхняя с волосками; 2 – эпидерма нижняя; 3 – столбчатая ткань; 4 – губчатая ткань; 5 – проводящий пучок; 6 – «ассимиляторы»; 7 – участки делящихся клеток; 8 – окрашенные клетки эпидермы; 9 – колленхима

Цитоморфологический анализ препаратов ячменя с модельных опытов

Цитоморфологический анализ препаратов ячменя показал, что внесение удобрений, при фторидном загрязнении, стимулирует развитие колосковых бугорков: рост их у растений без удобрений достигает 0,8-1,0см (археспоральные клетки к делению не приступили), тогда как растения на фоне NPK находятся на четвертом этапе органогенеза: величина конуса 1,2-1,5см, закончилась закладка цветков в тычинках, клетках археспория начинается мейоз.

Мейоз у ячменя состоит из редукционного и эквационного этапов, каждый из которых включает ряд фаз, изменяющихся при нарушениях, вызванных фторидным загрязнением.

Анализируемые растения находились в метафазе 1 и анафазе 1 редукционного этапа и метафазе 2 и анафазе 2 эквационного.

На всех фазах деления отмечены различного рода аномалии (рис.2): видны картины цитомиксиса (А); в метафазе 1 и 2 выброс хромосом и их фрагментов за пределы веретена в цитоплазму (В); преждевременное расхождение бивалентов и хромосом к полюсам (С). В анафазе 1 и 2 отдельные хромосомы задерживаются

на экваторе клетки, отстают в расхождении к полюсам, между дочерними клетками образуются хроматиновые мосты. Хромосомы могут быть обнаружены за пределами веретена, образуя микроядра (Д).

Все эти серьезные отклонения приводят к появлению нарушенных тетрад, возникновению спор с отклонениями в числе хромосом (анеуплоидии).

Иногда в конце мейоза вместо тетрад образуются пентады, гексады. Подобное возникает, когда обособившаяся вокруг микронуклеуса цитоплазма образует дополнительные клетки (Е).

Характер хромосомных перестроек при фторидном загрязнении напоминает таковой при действии на растения физических химических мутагенов, например, фторсодержащие производные этиленамина, обладающих большой генетической активностью.

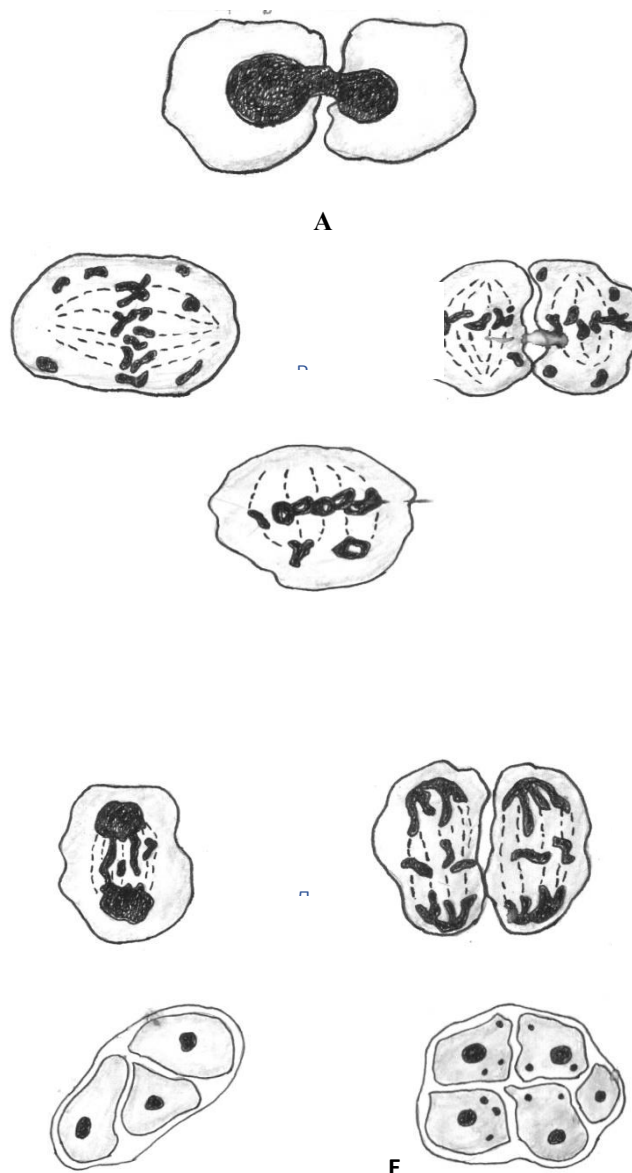


Рис.2 Хромосомные нарушения в фазах мейоза при формировании пыльцы у ячменя (пояснения в тексте)

Разная концентрация фтора и защитные фоны влияют на тип и количество aberrаций (табл.7 и 8).

Следует заметить, что чем ниже концентрация фтористого водорода, тем выше процент клеток с нарушениями в поведении хромосом. Защитные фоны Ca(OH)_2 и SiO_2 несколько снижают aberrации, но в

конце анафазы 2 резко возрастает процент нарушений в тетрадах: монады, триады, аномальные тетраэдры, пентады, гексады, полиады.

Таблица 7 Состояние делящихся клеток ячменя в стадии анафазы 1

Удобрение	Защитный фон	Концентрация НФ, %	Клетки без нарушений, %	Клетки с хромосомными аномалиями					
				Мосты	Фрагменты	Отставания	Забегаания	Многополюсность	Всего
Без удобрений	0	0	98,9	0,1	0,3	0,6	-	0,1	1,1
		0,05	81,8	2,1	4,3	5,4	4,8	1,6	18,2
		0,1	84,5	1,8	3,2	4,9	5,1	0,5	15,5
		0,5	92,5	0,9	1,1	2,8	2,6	0,1	7,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0	0	98,9	0,2	0,2	0,6	-	0,1	1,1
		0,05	81,9	2,8	4,2	4,6	3,9	2,6	18,1
		0,1	83,2	3,1	3,8	3,2	4,9	1,8	16,8
		0,5	94,8	1,4	0,6	1,8	1,4	-	5,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	Ca(OH) ₂	0	99,0	0,1	0,3	0,5	-	0,1	1,0
		0,05	85,9	2,4	3,4	3,6	2,9	1,8	14,1
		0,1	86,2	2,8	2,9	2,8	3,1	2,2	13,8
		0,5	95,9	0,6	1,1	0,5	0,8	1,1	4,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	SiO ₂	0	98,9	0,1	0,2	0,5	-	0,1	1,1
		0,05	89,2	1,8	2,2	3,4	1,8	1,6	10,8
		0,1	87,6	1,4	2,8	3,2	3,2	1,9	12,4
		0,5	95,0	0,9	1,6	2,7	-	0,8	5,0

Таблица 8 Состояние делящихся клеток ячменя в стадии анафазы 2

Удобрение	Защитный фон	Концентрация НФ, %	Клетки без нарушений, %	Клетки с хромосомными аномалиями				
				Мосты	Фрагменты	Асинхронность в расхождении	Нарушения в тетрадах	Всего
0	0	0	91,4	1,1	0,2	1,1	6,2	8,6
		0,05	66,3	12,4	4,1	8,9	8,3	33,7
		0,1	67,8	12,1	4,9	7,6	7,6	32,2
		0,5	77,0	9,4	2,3	6,2	5,1	23,0

NPK ₍₆₀₎	0	0	91,4	1,1	0,2	1,1	6,2	8,6
		0,05	61,0	10,6	4,9	14,1	9,4	39,0
		0,1	59,6	11,2	4,4	13,4	11,4	40,4
		0,5	68,5	9,6	2,2	12,8	6,9	31,5
NPK ₍₆₀₎	Ca(OH) ₂	0	91,4	1,1	0,2	1,1	6,2	8,6
		0,05	61,0	10,1	5,7	12,8	10,4	39,0
		0,1	62,4	11,2	4,9	11,4	10,1	33,6
		0,5	70,9	8,4	4,1	10,8	5,8	29,1
NPK ₍₆₀₎	SiO ₂	0	91,4	1,1	0,2	1,1	6,2	8,6
		0,05	65,8	11,3	3,2	10,6	9,1	34,2
		0,1	67,2	10,8	2,8	11,1	8,0	32,7
		0,5	74,2	9,6	2,0	9,9	4,2	25,7

При загрязнении HF в концентрации 0,5% отмечено нарушение цитотомии, тетрады микроспор образуются по симультанному типу (нормасукцессивный тип).

Качество пыльцы при фторидном загрязнении

Размеры пыльцы и её фертильность могут служить критерием адаптивности растений к окружающим условиям и могут изменяться под влиянием экстремальных факторов.

При определении степени фертильности пыльцы, т.е. способности спермиев производить оплодотворение, важно определить размеры пыльцевых зерен (крупные, нормальные мелкие), так как жизнеспособность их неодинакова.

За стерильные пыльцевые зерна принимают пустые или с небольшими остатками протопласта, клетки с плазмолизированным содержимым, без крахмала, клетки с пикнотическими ядрами и бесструктурной цитоплазмой. Действие фторидного загрязнения на качество пыльцы ячменя демонстрируют данные таблицы 9.

По мере возрастания степени загрязнения фторидами прогрессивно падают размеры пыльцы, угнетаются ростовые процессы, задерживается дифференциация конуса нарастания, уменьшается процент фертильной пыльцы и, соответственно, увеличивается ее стерильность.

Таблица 9

Влияние фторидного загрязнения на качество пыльцы

Удобрение	Защитный фон	Концентрация HF, %	Размер пыльцы, ммк	Фертильность, %
Без удобрений	0	0	2,20	95
		0,05	1,80	35
		0,1	1,60	30
		0,5	1,15	21
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0	0	2,50	95

		0,05	1,66	45
		0,1	1,65	40
		0,5	1,20	25
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	Ca(OH) ₂	0	2,29	92
		0,05	1,87	87
		0,1	1,89	78
		0,5	1,69	56
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	SiO ₂	0	2,10	90
		0,05	1,76	51
		0,1	1,65	60
		0,5	1,58	40

Самые минимальные размеры пыльцы наблюдались у растений подвергнутых обработке аэрозолем с концентрацией фтора 0,5%. При этой же концентрации отмечается наименьшая фертильность пыльцы.

Заключение

1. На расстоянии до 10 км по розе ветров от криолитового завода загрязнение почв фторидами превышает предельно допустимые концентрации в 1,5-2 раза.

2. Содержание фтора в растениях в 20-километровой зоне фторидного загрязнения превышает 5мг/кг.

Отмечена положительная корреляция между содержанием водорастворимого фтора, рНсол., суммой обменных оснований и гумусом.

3. Минеральные удобрения существенно повышают урожай независимо от степени загрязнения фторидами.

4. Защитные свойства кальциевых и кремниевых суспензий проявились только при воздействии на растения аэрозолями с высокой концентрацией фтора (0,5% HF).

5. Фторидное загрязнение приводит к серьезным нарушениям в морфологическом строении листа

Литература

1. Власюк В.А. Биохимические элементы в жизнедеятельности растений.- Киев, 1969.-516с.
2. Ковда В.А. Основы учения о почвах.- М.:Наука.-кн.2, 1973.-468с.
3. Минеев В.Г.Агрохимия.- Изд.МГУ, 2004.- 720с.
4. Polonski Anita Fluorbeclingte Verrangen von chemischen und biologischen leichgewichten in Boden//Landwirt. Forsch. 1985. 38. №.1-2. P.139-146.
5. Гапонюк Э.И. Контроль загрязнений природной среды// Гидрометеорология.- ВНИНГМИ.- вып.1.- 1983.- С.1-56.
6. Kessabi N., Assibi B. The effect of fluoride on animals and plants in the south Safizone//Sc. total environ. 1984. 38. P.63-68.
7. Franzaring J, Klumpp A, Fangmeier A (2007) Active Biomonitoring of Airborne Fluoride near an HF Producing Factory Using Standardized Grass Cultures. Atmospheric Environ 41: 4828- 4840.
8. Егунова Н.А. Мониторинг экологического состояния почв в зоне техногенного воздействия Саяногорского алюминиевого завода/Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук Красноярск – 2007. 20с.

9. Н.И. Янченко, А.Н. Баранов, О.Л. Яскина, Т.И. Дроздова, Е.М. Комова Распределение фторсодержащих выбросов в осадках дождя и снега ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ 2012 № 4 (16) с. 163-166
10. Козлова А.А., Лопатовская О.Г., Гранина Н.И., Чипанина Е.В., Кучменко Е.В., Бобров А.Н. Фторидное загрязнение серых лесных почв, находящихся в зоне влияния Иркутского алюминиевого завода/ ИЗВЕСТИЯ Иркутского государственного университета Серия «Биология. Экология» 2011. Т. 4, № 1. С. 87–94
11. Кудзин Н.К., Пашова В.Г. Фтор в почвах и растениях при систематическом применении суперфосфата//Агрохимия.- 1978.- №2.- С.92-97.
12. Моршина Т.Н., Фанаскава Т.П. Изменение свойств почв под влиянием фтора//Почвоведение.- 1985.- №2.- С.21-26.
13. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы.-М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.-16с.
14. Белякова Т.М. Фтор в почвах и растениях в связи с эндемичным флюорозом / Почвоведение.- №8.- 1977.- С.55-63.
15. Полонский В.И., Полонская Д.Е. Фторидное загрязнение почвы и фиторемедитация/ Сельскохозяйственная биология, 2013, №1, С.3-14
16. Singh Mahendra. Other trase elements//Rev. Soil. Res. India, 12 Int. Congr. Soil Sc. new Dehli. 8-16 febr. 1982. P.412-425.
17. Kumar K, Giri A, Vivek P, Kalaiyarasan T, Kumar B (2017) Effects of Fluoride on Respiration and Photosynthesis in Plants: An Overview. Ann Environ Sci Toxicol 2(1): 043-047. DOI: 10.17352/pjest.000011
Воздействие фторидов на дыхание и фотосинтез растений: обзор
18. Vaunthiyal M, Ranghar S (2014) Physiological and biochemical responses of plants under fluoride stress: an overview. Fluoride 47: 287–293
Физиологические и биохимические реакции растений на фторидный стресс: обзор
19. Селевцев В.Ф., Каренгина Л.Б. Влияние фтора на плодородие почвы и продуктивность растений// тезисы докл. 12-й конф. Почвоведов, агрохимиков, земледелов Ср. Поволжья и Урала.- ч.2.- Казань, 1991.- С.170-173.