

УДК 631.416.8

Т. М. БЕЛЯКОВА

ФТОР В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ В СВЯЗИ С ЭНДЕМИЧЕСКИМ ФЛЮОРОЗОМ

Показано, что фтор как биологически активный элемент накапливается дифференцированно отдельными органами растений. Максимальное его содержание наблюдается в зеленых органах культурных растений (помидоры, огурцы, капуста и др.), в ветвях и коре древесных пород. Содержание фтора в растениях зависит от содержания его в почвах.

Роль фтора в растениях, особенности его накопления и миграция в системе порода — почва — воды — растения до настоящего времени мало изучены.

Впервые нахождение фтора в растениях (качественно) было доказано Мюллером и Блейком [цит. по 1]. Позднее Ост [цит. по 6] определил, что содержание фтора в растениях составляет в среднем около 0,1%.

В начале XX века Гаутер и Клаусман [12] на основании исследования 64 образцов культурных растений установили, что фтор содержится во всех образцах в количестве $n \cdot 10^{-3}\%$. Причем они отметили относительно высокое содержание фтора в листьях деревьев (от $3 \cdot 10^{-3}$ до $14 \cdot 10^{-3}\%$) по сравнению с количеством фтора в древесине (от $0,36 \cdot 10^{-3}$ до $1,7 \cdot 10^{-3}\%$).

Содержание фтора в растениях изучали также Виноградов [3], Данилова [6], Крылова [8], Габович [5], Писарева [11] и другие исследователи. Согласно данным, полученным Даниловой [6], содержание фтора в наземных растениях в среднем составляет $3,38 \cdot 10^{-3}\%$, а в пресноводных — $4,05 \cdot 10^{-3}\%$. Приблизительно такие же данные приводит Крылова [8].

Таким образом, имеющиеся в настоящее время материалы, несомненно, убеждают нас в том, что фтор является истинным биоэлементом. В связи с этим возникает вопрос: обогащаются ли растения фтором из почв, содержащих его в повышенном количестве?

На этот вопрос единого мнения исследователей не существует. Виноградов [3] считает, что если такое обогащение и происходит, то оно незначительно. Не нашли увеличения содержания фтора в растениях Харт, Филлипс, Бостид [цит. по 3], проводившие экспериментальные исследования в штатах Индиана, Огайо, Иллинойс. Эксперименты Габовича [4] показали, что содержание фтора в растениях при внесении в почву обычно применяемого количества удобрений (суперфосфата), т. е. 200 кг/га, повышается незначительно. При внесении же в почву 1000 кг/га суперфосфата содержание фтора в растениях резко возрастает.

Писарева [11] установила, что содержание фтора в поливных водах и почвах не оказывает влияния на содержание фтора в культурных растениях в различных районах Казахстана.

Данные, приведенные Ковалевским [7], который хотя и указывает на довольно интенсивное поглощение фтора растениями, свидетельствуют о том, что при увеличении содержания фтора в почвах он поглощается листьями и хвоей только до некоторого предела, равного 0,1—0,2% в золе (березы, лиственницы).

Таким образом, большинство исследователей приходит к выводу, что содержание фтора в растениях не зависит от его содержания в почвах. По-видимому, этот вывод не является достаточно обоснованным, поскольку указанные авторы пользуются результатами определения в почвах фтора, малодоступного или совсем недоступного растениям. Что же касается определения уровней содержания подвижных форм фтора и, в частности, водно-растворимых, то этот вопрос до настоящего времени остается практически неизученным. Следовательно, зависимость содержания фтора в растениях от содержания его в почвах неясна. Не исключена возможность, что при определенном солевом составе и при достаточно высоком содержании подвижного фтора в почвенных растворах произрастающие на этих почвах растения накапливают фтор. Так, неслучайно Принс [цит. по 1] отмечает, что на содержание фтора в растениях большое влияние оказывают наличие данного элемента в почве, а также кислотность почвы. Полученные им данные подтверждают, что при pH 4,5 содержание фтора в гречихе приблизительно в 25 раз выше, чем при pH 6,5. И это вполне закономерно. Почвы кислого ряда, как правило, содержат значительно меньше кальция, чем почвы щелочного ряда. Поэтому в кислых почвах большая часть фтора находится в химической связи не с кальцием, а с другими элементами, образующими со фтором более подвижные, а следовательно, и более доступные для растений соединения. К культурным растениям, избирательно накапливающим фтор, можно отнести чай. По данным Габовича [4], некоторые сорта грузинского чая содержат от 71 до 132 мг/кг фтора.

Физиологическая роль фтора в процессе жизнедеятельности растений до настоящего времени остается малоизученной. Тем не менее доказано, что фтор прежде всего влияет на ферментативные процессы, происходящие как в растительных, так и в животных организмах.

Относительно низкие уровни содержания фтора в растениях свидетельствуют о том, что для растительных организмов не свойственно накопление фтора на протяжении жизни одного или нескольких поколений. Существование же растений, являющихся явными накопителями этого элемента (некоторые виды водной растительности, некоторые сорта чая, (*Dichpetalum сумосум*), указывает не только на то, что высокие концентрации фтора необходимы для жизнедеятельности этих организмов, но и на то, что иногда при избытке в окружающей среде (и прежде всего в почвах и почвенных растворах) доступных форм тех или иных химических элементов последние поглощаются растениями в большем количестве, чем в обычных условиях.

Изучая особенности распределения фтора в системе почвы — растения, мы не ставили перед собой конкретной задачи установления абсолютного содержания фтора в тех или иных растениях, являющихся продуктами питания местного населения. Перед нами стояла более общая задача — проследить основные закономерности распределения фтора в естественных и культурных растениях в связи с содержанием его в почвах, а также установить возможность избыточной концентрации фтора в растениях в пределах Щучинского очага эндемического флюороза (Кокчетавская обл. Казахской ССР).

С этой целью тщательно отобранные образцы растений были проанализированы методом полуколичественного спектрального анализа. Отбор культурных растений — овощных и зерновых культур — проводили на полях Щучинского и Котыркольского совхозов в основном в пределах геохимических профилей III и IV, а естественных растений — в пределах профилей I и II.

Щучинский и Котыркольский совхозы были выбраны потому, что они являются основными поставщиками овощей (картофеля, капусты, лука, свеклы, помидоров и т. п.) для г. Щучинска, являющегося очагом эндемического флюороза.

Поскольку результаты анализов показали, что содержание фтора в культурных растениях (пшеница — зерно, картофель — плоды и т. д.) в большинстве случаев меньше чувствительности спектрального анализа ($< 0,03\%$), то овощи, которые являются основными продуктами питания местного населения (картофель, капуста), были параллельно проанализированы методом химического анализа.

Результаты определения фтора в растениях показали, что в культурных растениях фтор концентрируется в меньших количествах, чем в некоторых видах естественной растительности, особенно в водных растениях (тростник, водоросли), причем отдельные части растений накапливают фтор неодинаково. В основном фтор накапливается в зеленых частях культурных растений (листьях, стеблях) в среднем в количестве от 30 до 50 мг/100 г золы, реже до 70 мг. Плоды, за исключением редиса, содержат фтора меньше 30 мг/100 г золы. Большее количество фтора по сравнению с другими растениями содержат листья капусты и плоды редиса. Вероятно, это связано с интенсивным поглощением влаги этими растениями и с систематическим поливом последних высокофторированными водами (5—6 мг/л), табл. 1.

Результаты химического анализа также показывают дифференцированное накопление фтора в отдельных органах овощных культур (табл. 2). Кроме того, они подтверждают данные спектрального анализа, свидетельствующего о концентрации фтора главным образом в зеленых органах. Это имеет большое значение с точки зрения поступления фтора в организм человека с растительной пищей. Низкое содержание фтора в плодах говорит о том, что продукты питания растительного происхождения если и являются в какой-то степени источником дополнительного поступления фтора в организм человека, то настолько незначительным, что не могут иметь решающего значения в заболевании людей флюорозом.

При пересчете содержания фтора в растительных продуктах (пшеница, картофель, помидоры, огурцы, свекла, лук и т. п.) в мг на 100 г свежего вещества оказалось, что содержание его в среднем не превышает сотые доли мг.

При таком содержании фтора в продуктах питания в суточном рационе взрослого человека содержится менее 1 мг фтора [4, 10]. Причем соединения фтора из пищевых продуктов, по данным Беренштейна [2], усваиваются организмом на 15—20% меньше, чем из воды.

Таким образом, даже относительно высокое содержание фтора в капусте, обнаруженное в районе Щучинского очага эндемического флюороза (около 0,3 мг/100 г свежего вещества), не может явиться определяющим фактором в процессе избыточного поступления фтора в организм человека, а следовательно, и причиной заболеваний людей эндемическим флюорозом.

Для установления связи между содержанием фтора в растениях и почвах нами были определены коэффициенты биологического поглощения (КБП) фтора, равные отношению его содержания в золе растений к содержанию в корнеобитаемом горизонте почвы, а также проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены на рисунке.

По коэффициентам биологического поглощения видно, что фтор неодинаково поглощается как отдельными культурными растениями, так и отдельными органами этих растений. Наиболее интенсивно фтор поглощается листьями капусты (КБП-0,3), плодами редиса (КБП-0,5), маком (КБП-0,8). В значительно меньшей степени он поглощается плодами картофеля, огурцов, помидоров, а также зерновыми культурами. Среднее значение коэффициента биологического поглощения для культурных растений равно 0,2.

Согласно коэффициентам биологического поглощения, ряды интенсивности биологического поглощения в целом для культурных растений

Содержание фтора в растениях по данным

Профиль	Элементарный ландшафт	Почва	Среднее содержание F в корнеобитаемом слое, мг/100 г	Общий укос
III IV III	Элювиальный Трансэлювиально-аккумулятивный	Горно-степная слабообразованная	33,5	<30,0 30,0—50,0
		Горно-степная слабообразованная	33,3	
		Чернозем обыкновенный сред- немошный	119,4	<30,0
IV III IV	Трансуперакваль- ный	Солонец осолоделый	44,37	<30,0 —
		Черноземно-луговая	87,5	
III IV	Супераквальный	Чернозем обыкновенный сред- немошный	45,4	—
		Луговой солончак	102,4	
III IV	Аквальный	Торфянисто-перегнойно-гле- евая	83,1	30,0—50,0 <30,0
		Донные отложения оз. Акколь	117,5	
IV		Донные отложения оз. Ко- тырколь	136,0	—

Профиль	Элементарный ландшафт	Почва	Среднее содержание F в корнеобитаемом слое, мг/100 г	Общий укос
III IV III	Элювиальный Трансэлювиально-аккумулятивный	Горно-степная слабообразованная	33,5	<30,0 30,0—50,0
		Горно-степная слабообразованная	33,3	
		Чернозем обыкновенный сред- немошный	119,4	<30,0
IV III IV	Трансуперакваль- ный	Солонец осолоделый	44,37	<30,0 —
		Черноземно-луговая	87,5	
III IV	Супераквальный	Чернозем обыкновенный сред- немошный	45,4	—
		Луговой солончак	102,4	
IV III	Аквальный	Торфянисто-перегнойно-гле- евая	83,1	30,0—50,0 <30,0
		Донные отложения оз. Акколь	117,5	
		Донные отложения оз. Ко- тырколь	136,0	—

исследуемого района можно построить следующим образом. Для овощных культур: редис > капуста > картофель > огурцы > свекла > помидоры; для зерновых и технических культур: мак > кукуруза > подсолнечник > овес > пшеница.

Кривые, показывающие зависимость содержания фтора в культурных растениях от содержания его в почве, свидетельствуют о тенденции к корреляции между содержанием фтора в почвах и листьях (в меньшей степени в стеблях) овощных культур (рисунок, 1).

Для определения фтора в естественной растительности исследуемого района были отобраны образцы различных органов (древесина, кора, листья, ветки и т. п.) основных пород деревьев (березы и сосны), а также взяты общие укосы травянистой растительности в различных ландшафтных условиях. Кроме того, содержание фтора было определено в лесном опаде, основных видах лишайников (*Parmelia furfuracea*, *Cladonia fimbriata*, *Cl. alpestris*), мхах (*Pleurozium schreberi*, *Dieranum undulatum*) и в некоторых видах водной растительности (тростник, водяная сосенка, водоросли). Полученные результаты приведены в табл. 1 и 3.

Таблица 1

спектрального анализа, мг/100 г золы

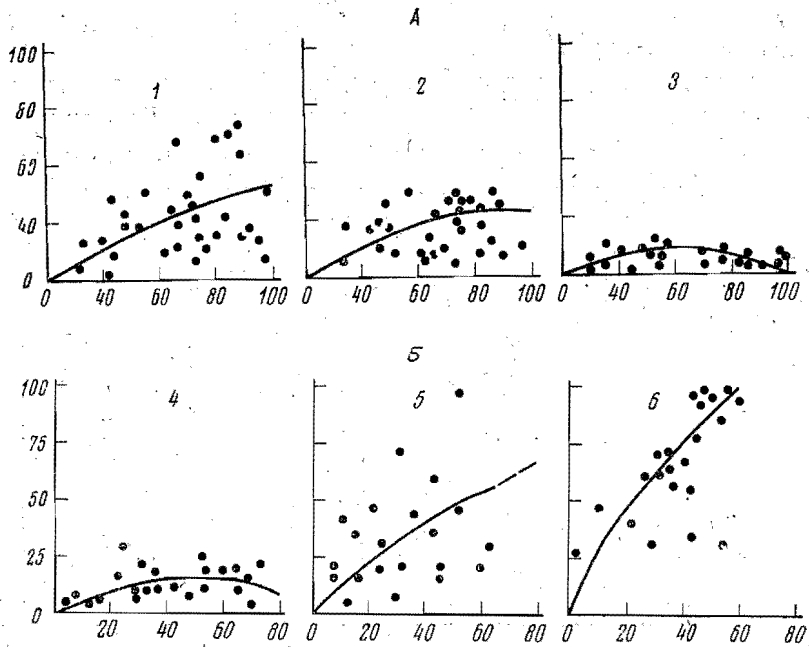
Кукуруза				Картофель			Капуста		Помидоры		
корни	стебли	листья	початки	стебли	листья	клубни	корни	листья	стебли	листья	плоды
30,0— 50,0	30,0— 50,0	<30,0	<30,0								
				<30,0	<30,0	<30,0	<30,0	50,0— 70,0	30,0— 50,0	30,0— 50,0	<30,0
				<30,0	<30,0	<30,0	<30,0	30,0— 50,0	<30,0	<30,0	<30,0

Огурцы		Свекла		Редис		Лук		Тростник	Водяная сосенка	Водоросли
листья, стебли	плоды	листья	плоды	листья	плоды	стебли	луковицы			
30,0— 50,0	<30,0	30,0— 50,0	<30,0	<30,0	50,0— 70,0	<30,0	<30,0			
30,0— 50,0	<30,0	<30,0	<30,0			<30,0	<30,0			
								50,0— 70,0	30,0— 50,0	>100,0
								70,0— 100,0	30,0— 50,0	>100,0

Данные спектрального анализа показывают, что из двух анализируемых пород деревьев (сосна и береза) береза является интенсивным накопителем фтора. Фтор концентрируется в ветвях (взятых вместе с корой) и коре березы. Максимальное его содержание в золе коры старых деревьев в отдельных случаях достигает 2%, в молодых в среднем не превышает 0,07%, т. е. 70 мг. Сосна (в целом) содержит значительно меньшее количество фтора, чем береза, но тем не менее максимум его также наблюдается в коре и старых шишках (без семян), содержащих в среднем от 30 до 50 мг фтора на 100 г золы.

Все это дает возможность предположить, что, по-видимому, избыток фтора является нежелательным для растительного организма. Поэтому фтор естественным путем выводится из него, накапливаясь либо в покровных тканях (коре), либо в органах ежегодно отмирающих (зеленые части культурных растений).

Несмотря на то что в литературе имеются сведения об относительно высоком содержании фтора в листьях различных пород деревьев (Гаутер,



Зависимость содержания фтора в культурных растениях (картофель, капуста, помидоры, свекла) — А и в различных частях березы — Б от содержания его в почве

1 — листья, 2 — стебли, 3 — плоды, 4 — листья, 5 — ветви, 6 — кора. По горизонтальной оси — фтор в почвах, мг/100 г почвы, по вертикальной оси — в растениях, мг/100 г золы

Клаусман, 1919, и др.), наши исследования не подтвердили этого. Однако было установлено, что лесной опад содержит фтора в 2 раза больше, чем свежие листья березы и в 3—4 раза больше, чем хвоя сосны, т. е. от 30 до 50 мг/100 г золы, а в отдельных случаях от 50 до 70 мг. По-видимому, это накопление фтора в лесном опаде определяется главным образом его относительно высоким содержанием во мхах (от 50 до 70 мг) и лишайниках (от 30 до 50 мг), табл. 3.

Определение фтора в общих укусах показало, что для травянистой растительности степных ландшафтов не характерно накопление фтора.

Таблица 2

Содержание фтора в почвах (мг/100 г почвы) и растениях (мг/100 г золы) по данным химического анализа Кокчетавской возвышенности

Элементарный ландшафт	Почва	Образец растений	Валовой фтор в почве	Водно-растворимый фтор в почве	Фтор в растениях
Элювиальный	Горная фрагментарная	Хвоя сосны	40,48	0,23	11,31
		Кора сосны			21,31
		Древесина сосны			7,14
Трансупераквальный	Черноземно-луговая	Картофель (стебли и листья)	89,41	2,13	10,0
		Картофель (клубни)			6,89
		Капуста (листья)			31,11
		Помидоры (стебли и листья)			15,00
Супераквальный	Солончак луговой	Помидоры (плоды)	100,04	5,72	9,10
		Общий укус			31,01
		Тростник			51,07

Таблица 3

Содержание фтора в растениях по данным спектрального анализа, мг/100 г золы

Профиль	Элементарный ландшафт	Почва	Среднее содержание F в корнеобитаемом слое, мг/100 г	Береза				Сосна					Лишайники Parmelia furfuracea, Cladonia fimbriata, Clad. alpestris	Мхи Pleurozium schreberi, Dicranum undulatum	Опад
				древесина	листья	ветки	кора	древесина	хвоя	ветки	кора	плоды (шишки)			
I	Элювиальный	Горная фрагментарная	40,0	<30,0	<30,0	<30,0	50,0—70,0	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	30,0—50,0	30,0—50,0	Нет	30,0—50,0
II		Горная фрагментарная	37,5	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	<30,0	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	Нет	Не опр.	30,0
I	Трансэлювиально аккумулятивный	Горная дерново-лесная	53,3	<30,0	<30,0	70,0—100,0	>100,0	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	30,0—50,0	30,0—50,0	50,0—70,0	30,0
II		Горная дерново-лесная с признаками осолодения	59,2	<30,0	<30,0	<30,0	70,0—100,0	<30,0	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	Нет	Не опр.	30,0
I	Транссуперэквальный	Дерново-лесная с признаками оподзоленности глееватая	65,2	<30,0	<30,0	50,0—70,0	>100,0				Не опр.		»	50,0—70,0	30,0
II		Дерново-лесная осолодевшая	46,3	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	<30,0	<30,0	<30,0	30,0—50,0	30,0—50,0	»	Нет	50,0—70,0

В среднем содержание его в степных укосах не превышает 30 мг/100 г золь. Лишь в тех случаях, когда в растительной ассоциации доминирует типчак (*Festuca sulcata*), содержание фтора повышается от 30 до 50 мг. Это свидетельствует о проявлении избирательной способности определенного растительного организма по отношению к фтору (табл. 1).

Накопительной концентрацией фтора отличаются водные растения (тростник, водяная сосенка, водоросли), само местообитание которых способствует этому. Развиваясь в условиях постоянного избыточного содержания фтора в воде (от 4 до 11 мг/л), из которой растения получают минеральные элементы питания, они невольно поглощают фтор в избыточном количестве (табл. 1).

Таким образом, содержание фтора в естественной растительности исследуемого района характеризуется еще большей дифференциацией, чем в культурной. Кроме того, естественная растительность в большей степени, чем культурная, проявляет избирательную способность по отношению к фтору. Об этом свидетельствует довольно широкий диапазон коэффициентов биологического поглощения естественных сухопутных растений (от 0,1 до 3,4).

Среднее значение КБП естественной растительности равно 0,6, т. е. оно в 3 раза превышает среднее значение КБП культурной растительности. По величине коэффициентов биологического поглощения можно построить ряды интенсивности биологического поглощения для естественных растений исследуемого района.

1. Для древесных пород и кустарников: кора березы > шишки сосны > ветки березы, кора сосны > листья и ветки шиповника > листья березы, ветки сосны и корни шиповника > древесина березы, древесина сосны, хвоя сосны.

2. Для травянистых растений, мхов и лишайников: *Cladonia rangiferina* > *Clematium dendroides* > *Cladonia fimbriata* > *Pleurozium schreberi*, *Cladonia bacilliformis*, таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*), кошачья лапка (*Antennaria dioica*) > *Dicranum undulatum* > общий степной укос > костяника (*Rubus saxatilis*) > папоротник (*Athyrium filix femina*).

Для установления зависимости содержания фтора в естественных растениях от содержания его в почвах нами была взята береза. Это растение было выбрано потому, что дифференциация фтора в отдельных его органах выражена наиболее четко.

Результаты анализа показали наличие тенденции к корреляции между содержанием фтора в почвах и коре, ветвях березы и отсутствие этой тенденции между содержанием фтора в почве и листьях березы. Число определений водно-растворимого фтора, проведенных методом химического анализа, было ограниченным. Однако прямые сопоставления результатов анализов в большинстве случаев показывают, что содержание фтора в растениях в той или иной мере зависит от содержания водно-растворимого фтора в почвах. Это подтверждается и относительно высоким содержанием фтора в водных растениях, развивающихся в условиях высокого содержания фтора в воде (6 мг/л).

Выводы

1. Фтор накапливается дифференцированно отдельными органами растений. Максимальное его содержание наблюдается в зеленых органах культурных растений, в ветвях и коре древесных пород (береза, сосна) естественной растительности. Содержание фтора в коре деревьев увеличивается с увеличением их возраста.

2. Избыток фтора, избирательно поглощаемый растениями из почвы, по-видимому, естественным путем выводится из растительного организ-

ма, накапливаясь в покровных тканях (коре деревьев) или ежегодно отмирающих органах (зеленые органы культурных растений).

3. Содержание фтора в почвах коррелирует с содержанием фтора в тех органах растений, которые накапливают фтор. Таким образом, содержание фтора в растениях зависит от содержания его в почвах:

4. Продукты питания людей растительного происхождения характеризуются низким уровнем содержания фтора (сотые доли мг на 100 г свежего продукта). Поэтому они не могут являться определяющей причиной развития эндемического флюороза.

5. При миграции фтора в системе породы — почва — растения растения служат как бы биологическим экраном, накапливающим фтор, большая часть которого вновь возвращается в почву и участвует в новом цикле его биологического круговорота. И лишь незначительная часть фтора отчуждается с урожаем или укосами и выпасами.

Литература

1. Беренштейн Ф. Я. О биологической роли фтора. Успехи современной биологии, т. XXXV, вып. 1—3. М., 1953.
2. Беренштейн Ф. Я. Микроэлементы, их биологическая роль и значение для животноводства. Минск, 1958.
3. Виноградов А. П. Фтор в природе. Гигиена и санитария, 1937, № 3.
4. Габович Р. Д. Фтор в пищевых продуктах. Гигиена и санитария, 1951, № 6.
5. Габович Р. Д. Фтор и его гигиеническое значение. М., Медгиз, 1957.
6. Данилова В. В. Определение фтора в растениях. Тр. биогеохим. лаборатории АН СССР, 1944.
7. Ковалевский А. Л. Некоторые особенности биогеохимии фтора в почвах и растительности. В сб.: Микроэлементы Сибири, вып. 5. Улан-Удэ, 1967.
8. Крылова М. И. Фтор в пищевых продуктах. Вопросы питания, 1952, № 5.
9. Лукомский И. Г. Фтор в медицине. М., Медгиз, 1940.
10. Минх А. А. Фтор в пищевых продуктах. Стоматология, 1953, № 2.
11. Писарева М. Ф. О содержании фтора в некоторых пищевых продуктах Казахстана. Вестн. АН КазССР, 1955, № 10.
12. Gautier A., Clausmann P. Le fluor dans le rogne. Veget. C. R. Acad. Sci., v. 162, № 105, 1916.
13. Muller G., Blake S. Met. Prac. Chem. Soc. London, v. 2, 1945.

Географический факультет МГУ

Дата поступления
21.X.1976 г.

Т. М. БЕЛЯКОВА

FLUORINE IN SOILS AND PLANTS AS RELATED TO ENDEMIC FLUOROSIS

It has been shown that fluorine, as biologically active element, is accumulated differently by individual plant organs. Its maximum content is found in green organs of cultivated plants (tomatoes, cucumbers, cabbage and so on) and in branches and cork of arboreal species (birch, pine) of natural vegetation.

The content of fluorine in plants depends on its content in soil.