

**АКАДЕМИЯ НАУК СССР**

**УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР**

---

**ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ**

**БИОХИМИЧЕСКАЯ  
ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА**

**(информационные материалы, вып. 2)**

**СВЕРДЛОВСК, 1985**

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

---

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

БИОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА  
(информационные материалы, вып. 2)

Свердловск, 1985

(Информационные материалы, вып.2). Свердловск, УНЦ АН СССР, 1985

Статьи данного выпуска (первый опубликован в 1978 г.) являются итогом второго очередного этапа комплексных работ биохимиков Института экологии УНЦ АН СССР и ряда медицинских, научных и практических учреждений Уральского региона.

Представленные результаты получены впервые и связаны с изучением биохимических (и физиологических) механизмов адаптации на уровне отдельного организма и популяции. Одна из статей (посвященная теме охраны окружающей среды) имеет отношение к лесным экосистемам. Конечная цель данных работ – координация усилий по проблемам, представляющим интерес для современной экологии и практической медицины, внедрение методов и теоретических представлений, возникающих в ходе коллективных комплексных эколого-биохимических и медико-биологических фундаментальных исследований, в медицинскую практику.

Редакционная коллегия:

Член-корресп. АН СССР, профессор В.Н.Большаков, кандидат биологических наук Г.Г.Рункова (отв.редактор), кандидат медицинских наук Г.В.Кондицкий (зам.отв.редактора)

рецензент: доктор медицинских наук, профессор

**М.С. Волков**

Н.М.Любашевский, О.Ф.Садыков, Попов Б.В., Безель В.С., Плотко Э.Г., Богачева И.А., Троценко Г.В., Щербаков С.В., Баженов А.В., Беляев В.И., Вершинин В.Л. Гатиатуллина Э.З., Куликов В.П., Радовская Т.Л., Раменский В.А., Мокроносков А.А., Мижирицкая Р.Г., Розенберг Е.Е., Садыков Б.Ф., Стариченко В.И., Хаземова Л.А., Хохуткин И.М., Щупак Е.Л.

Соединения фтора играют все более существенную роль в ряду приоритетных техногенных поллютантов в связи с дальнейшим развитием цветной и черной металлургии, ростом производства минеральных удобрений, стройматериалов, керамики, пластмасс, увеличением числа работающих на угле тепловых электростанций. Экологический риск продолжающихся фтористых эмиссий возрастает из-за свойственной фтору способности к аккумуляции в биологических и биосферных компонентах подвергаемых загрязнению экосистем, а также в силу дальнейшего атмосферного переноса техногенного фтора, что может вызвать нежелательные последствия не только на локальном, но и на региональном и глобальном уровне.

Фтор — один из опаснейших токсических техногенных поллютантов. Выявлены и описаны основные технологические процессы, являющиеся источниками фторсодержащих выбросов, показаны пути распространения фтора, установлены гигиенические ПДК, выработаны меры профилактики поражения людей фтором на производстве.

Однако, загрязнение втором вышло за пределы предприятий и современных санитарно-защитных зон и охватило значительные территории вокруг них (порядка I тыс. км<sup>2</sup> вокруг одного современного предприятия цветной металлургии). Таким образом, проблема нормирования фторсодержащих выбросов не может быть полностью разрешена в рамках только гигиенического подхода, основанного на оценках прямого действия фтора на организм человека, занятого на ответственном производстве, либо проживающего вблизи заводов, выбрасывающих фтор. Имеет место и продолжает возрастать опосредованное действие фтора на человека через неблагоприятные изменения экологических условий его существования. Проблема техногенного фтора становится экологической. Экологический подход призван решить не только эколого-гигиенические проблемы загрязнения окружающей среды фтором, но и определить эколого-экономические и юридические последствия выбросов фтора существующими, строящимися и проектируемыми предприятиями. Этого требует и современное законодательство Союза ССР по охране атмосферного воздуха и животного мира. Объективная оценка неизбежно экологического ущерба для человека, сельского и лесного хозяйства на подверженных действию организованных и планомерных выбросов фтора территориях позволит с одной стороны оптимизировать хозяйственную и рекреационную деятельность на таких территориях, а с другой - точнее определить действительную меру ответственности руководства предприятий, выбрасывающих фтор в случаях, когда наблюдаются отдельные поражающие эффекты фтористых эмиссий. В практической деятельности в каждом конкретном случае бывает сложно отделить ущерб, нанесенный в результате халатности от

неизбежного при принятой технологии ущерба, величина которого возрастает со сроком эксплуатации того или иного предприятия. Учитывая рост мощности выбрасывающих фтор производств, прогнозирование неизбежного экологического ущерба от реализации того или иного конкретного проекта должно предшествовать его окончательному утверждению и органически включаться в процесс разработки проектов и территориальных комплексных схем развития районов расположения выбрасывающих фтор заводов. Задача экологов на данном этапе - обеспечить разработку теоретических и методических основ экологизации выбрасывающих фтор производств.

Фтор - элемент, обладающий в силу своих химических свойств чрезвычайной биологической активностью, - способен оказывать дестабилизирующее влияние на биосистемы всех уровней организации даже при незначительном превышении значений его фоновое содержания в воздухе, воде и почве. Из-за высокой реагентоспособности фтор не встречается в свободном состоянии. По этой причине, говоря далее о поступлении и перераспределении фтора, мы при этом имеем в виду фтор-дон и фториды. Уровень естественного фоновое содержания фтора в биосфере определяется вулканической деятельностью (HF составляет около 2,5% в вулканических газах) и его вымыванием из изверженных пород (фторapatита, флюорита, криолита, коренных фосфоритов), а также частичным поступлением на поверхность глубинных термальных вод (Габович, Минх, 1979; Авцын, Жаворонков, 1981). В ходе извержений вулканов в атмосферу выбрасываются различные неорганические и органические соединения фтора, при этом значительная часть в выбросах приходится на HF. В техногенных выбросах фтора присутствуют практически те же самые соединения, но при

производстве алюминия значительная часть выбросов приходится на  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$ , при производстве стекла - на  $\text{BF}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{PbF}_2$ . Специфические соединения фтора выбрасываются при производстве фосфорных удобрений и при сжигании каменного угля. По приблизительным оценкам в атмосферу Земли поступает 7-10 млн т фтора за счет вулканической деятельности (Smith, Hodge 1978) и до одного миллиона тонн техногенного фтора ежегодно.

Обычно фтористые эмиссии связывают с производством алюминия и фосфатов, однако в США на долю алюминиевого производства приходится только 9,8% суммарного выброса техногенного фтора, на обработку фосфатов - 12,9%, а большую часть фтора выбрасывают сталеплавильная промышленность - 39% и работающие на угле ТЭЦ - 16,1% (Rose, Mariet, 1977). Суммарный выброс техногенного фтора за год в США превышает 150 тыс. тонн, что в 15 раз больше, чем выбрасывает за год вулкан Этна и в 1,5 раза больше, чем поступило в атмосферу фтора при катастрофическом извержении вулкана Толбачик в пятидесятых годах. Рассмотрение фтористых эмиссий от алюминиевых заводов с точки зрения их экологических последствий в настоящее время тем не менее вполне оправдано, поскольку планируется увеличение выпуска алюминия при сравнительно медленном росте выпуска стали. Так, в США к концу века выброс фтора от алюминиевых заводов может увеличиться в несколько раз и в три раза превзойдет суммарный выброс фтора предприятиями по выпуску стали, достигнув 30% от его естественного поступления в биосферу. При этом большая его часть будет выбрасываться в средних широтах Северного полушария, где возможно появление наиболее острых экологических проблем, связанных с фтористой интоксикацией экосистем.

Большое значение имеет изучение эффектов избыточного количества техногенного фтора на отдельные компоненты и на экосистемы в целом. Знать их необходимо для прогноза возможных долгосрочных экологических последствий эксплуатации действующих, строящихся и проектируемых предприятий, использующих технологии, которые предусматривают выброс фтора в атмосферу или сброс в воду. Это позволит определить безопасные для экосистем уровни выбросов и наладить систему экологического мониторинга фтористых загрязнений с использованием специальных методов селективной биоиндикации, а также разработать систему мероприятий по противодействию экологическим эффектам фтористых эмиссий.

Настоящей  
Целью работы остояла в том, чтобы оценить содержание техногенного фтора в главных компонентах экосистем, установить пути его биогенной трансформации в основных трофодинамических цепях биогеоценозов, выявить слабые, аккумулятивные и биоиндикационные элементы естественных сообществ. Во-вторых, предполагалось комплексно, с экологических, гигиенических и экономических позиций, проанализировать совокупность основных последствий выбросов фтора и на этой основе разработать систему мер нормирования, прогнозирования и оперативного контроля фтористых эмиссий, выработать рекомендации по оптимизации хозяйственного использования территорий и акваторий в зонах действия техногенного фтора.

#### Материалы и методы исследования

Объекты исследования – наземные и водные экосистемы вокруг криолитовых и алюминиевых заводов на Урале и в Сибири, подвергаемые в течение 20–50 лет влиянию фтористых эмиссий.

Сбор образцов воды, почвы, растительности, позвоночных и беспозвоночных животных проводили вдоль трансект протяженностью 25-30 км вдоль и против господствующих ветров, в отдельных точках на Урале - 70-80 км от источника эмиссии. В одном случае территорию вокруг предприятия обследовали более подробно: по 8-ми румбам.

На основании картографического изучения, рекогносцировочных, стационарных и маршрутных работ на местности, проведено физико-географическое, лесотаксационное, ботаническое и зоологическое описание территорий и акваторий вокруг трех предприятий цветной металлургии (на Южном, Среднем и Северном Урале). Кроме того, аналогичным образом были обследованы окрестности двух алюминиевых заводов в Восточной Сибири.

При сборе образцов косных, биокосных и биологических объектов для химического анализа использовали стандартные методы. Для определения содержания фтора все образцы высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре, растирали их до пудрообразного состояния в железных ступках или электрических лабораторных мельницах ЭМ-3А и просеивали на ситах с диаметром отверстий 0,05 мм. Сборы растительности, насекомых, рыб и помёта позвоночных анализировали методом микродиффузионного выделения и фотометрического определения фтора. (Радовская и др., 1980) с точностью 15%. Фтор в почве и моллюсках был определен методом пирогидролизного выделения с фотометрической индикацией (Хаземова и др., 1979) с точностью 12%.

Потенциальную биологическую активность почвенных микроорганизмов определяли по показателям азотфиксации (Умаров и др., 1984)

и дыхания. Смешанный образец почвы для анализа готовили один для каждого удаления от источников эмиссии, объединяя образцы, отобранные почвенным буром на глубину до 10 см по схеме "конверт". Почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали через сито 1 мм и 5 г образца помещали в пенициллиновые флаконы ёмкостью 15 мл, увлажняли 2% раствором сахарозы до 100 ПВ, закрывали ватными пробками и инкубировали при температуре 28°C в течение суток. Затем закрывали флаконы резиновыми пробками, вводили 0,5 мл ацетилена и определяли скорость его восстановления в этилен на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектированием. Углекислый газ определяли в тех же пробах на газовом хроматографе, снабженном катарометром. Повторность всех опытов - 4-5-кратная.

Пробы воды отбирали в чистую полиэтиленовую посуду без консервирования в количестве 0,5 л. Для количественного определения фтора использовали иономер ЭВ-74 с фторидным ионселективным электродом ЭГ-VI с отчетом данных на цифровом вольтметре Ш И513. Была использована методика, разработанная Черкасским гидрохимическим институтом для анализа поверхностных вод суши и ГОСТ 4386-81 "Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фтора". Перед определением пробы фильтровали через фильтр "ошная лента". Содержание фтора определяли по калибровочной кривой. Калибровочный график строили по контрольным растворам фтористого натрия с известными значениями рF.

### Результаты и их обсуждение

Анализ результатов картографического изучения выбранных территорий, рекогносцировочных, стационарных и маршрутных работ по-

казал, что рельеф всех изученных территорий холмистый, переходящий в низкогорный, хорошо выражены долины рек. Лесные массивы разрываются лугами или полями по днищам долин, где нередко захламленные поймы ручьев и рек, болота, деградирующие озера и пруды. Из растительных ассоциаций доминируют смешанные елово-березовые и сосновые леса с примесью других пород.

Климат континентальный. Продолжительность вегетационного периода колеблется по годам от 110 до 170 суток. Почвенный покров разнообразен, во многих местах проявляется водная и ветровая эрозия. Широко представлены оглеенные и заболоченные органогенные (торфяные) почвы. На юге на равнинных участках почвы задернены, на севере – заболочены и заторфованы.

Данные, полученные при изучении концентрации фтора в отдельных компонентах наземных и водных экосистем Урала и Восточной Сибири, представлены в табл. 1 и 2.

Анализ различных образцов растений позволяет обнаружить убывание содержания фтора в воздушно-сухом растительном материале травосмеси от 10–28-кратного превышения контроля на удалениях 1–2 км, до 5–6 / на удалениях в 3–5 км, и 2,5–3 – на удалениях в 6–30 км. Содержание фтора в помёте зеленоядных животных в 7–10 километрах от источников выбросов фтора составляет 70–100 мкг/г. В почвах концентрация его убывает от величин, превышающих контроль в 5–10 раз вблизи заводов, в 2–5 раз на удалении 5–6 км и до 1,7–3,4 кратного превышения на расстоянии 24–26 км.

Следует отметить, что установленная кратность превышения содержания фтора в почвах зон разной степени загрязненности не в полной мере отражает фактическое превышение содержания биологич-

Таблица I

Содержание фтора в различных компонентах экосистем в местах расположения криолитовых и алюминиевых заводов на Урале

Концентрация в пробе, мкг/г	Расстояние, км					Конт-роль
	I	I-3	3-6	6-12	12-30	
Почва	(56000) 1930 460	(6000) 1520 510	(1060) 700 200	320		
Травосмесь	850 60	460 162	880 110	375 56	122 52	20
Клевер	887			31		
Хвоя сосны			428 59	182 90	180 54	12 2,1
Листья березы	840	403	79	121 65	184 55	0
Беспозвоночные (валовое энтомо- логическое коше- ние)	45	74,5			25,8	1
Муравьи	130	52 39		83,0	337	0
Дождевые черви	37,5				76,7	
Гидробионты		57 52	45	34	24	0,4 0,1
Амфибии	580 480	270			30	
Полевки					60 30	60 30
Бурозубки	550	180 110	260 170	260 80	60 30	20 10
Моллюски	500	130 110			14 12	

Таблица 2

Содержание фтора в различных компонентах экосистем в местах расположения алюминиевых заводов в Восточной Сибири

Концентрация в пробе, мкг/г	Расстояние, км						
	I	I-3	3-6	6-12	12-30	75	конт- роль
Почва	1080 560	740	580	1680 300	390 380	320	270 200
Травосмесь	490 118	905 70	112 72	59	61	5,0	3,7
Клевер	607 70	98 74	126 60	72 31	46	37	0
Хвоя осины	787	133 72	59 26	90 63	54	44	2,84 0
Листья березы	928 591	403 67	79 58	122 65	55 47	51	0
Беспозвоночные (валовое энтомологическое кошение)	290	48,3	74,0	59,0	48,5	43,5	1,0
Муравьи	-	59,8	31,7	78,0	67,0 39,5	10,0	7,15 1,45
Дождевые черви	-	-	60,1	110	-	5,11	9,0 4,6
Поверхностные воды, мг/л	31,5	31,5	13,0	4,73	1,90	0,27	0,22

чески подвижного фтора в почвах на разном удалении от источников эмиссии по сравнению с уровнем естественного фона. Это связано с тем, что при определении валового содержания фтора в почвенных образцах учитывается и биологически инертный фтор, содержащийся в частицах почвообразующих минералов. Поскольку уровень фтора в почвах в результате оказывается значительным даже в "фоновых" районах (порядка 200-280 мкг/г), то поступление биологически более подвижного техногенного фтора в загрязненных зонах маскируется общим высоким содержанием биологически инертного фтора. Возникает пока нерешенная проблема измерения во всех почвенных образцах именно биологически активного техногенного фтора, а не его валового содержания.

При анализе тканей беспозвоночных животных установлено, что в значительных количествах фтор может накапливаться в моллюсках: на расстоянии 1-3 км фтора в 5,5-50 раз больше, чем в контрольных образцах. При этом в теле накапливается больше, чем в раковине. В муравьях фтора накапливается от 39 до 130 мкг/г и при этом максимальное содержание фтора отмечается в пробах с удаления 6-12 км. При анализе оборотов валового энтомологического кошения отмечено, что содержание фтора в образцах на удалениях до 30 км вдвое превышает уровень в контрольных образцах.

В тканях рыб содержится от 21 до 62 мкг/г фтора. В землеройках-бурозубках рода *Sorex*, отловленных вблизи завода, отмечено содержание фтора в 3-55 раз выше, чем в контроле, на удалениях до 10 км - в 4-13 раз.

В головастиках на удалении 2 км от источника фтора содержится 270 мкг/г, на удалении 15 - всего 30 мкг/г. В тканях молодых

неполовозрелых лягушек в радиусе 5 км от завода содержится от 37,8 до 85,3 мкг/г. В телах взрослых амфибий под стенами завода накапливается до 680 мкг/г фтора, в контроле - 35 мкг/г.

Исследования эффектов техногенного загрязнения показали, что визуально регистрируемые повреждения растительности вокруг источников выбросов фтора отмечаются в радиусе 20-30 км в зависимости от продолжительности действия предприятия и высоты его труб. Прилегающие к таким источникам леса чаще всего низкопродуктивны (IУ-У бонитет), до расстояния 5-7 км велика доля погибших деревьев, распространена сухостершина, высокая разреженность крон, велика площадь мертвопокровных лесов. У сосен и елей идет постоянное осыпание хвои, кончики игл некротизированы, на верхушках и на обращенных к заводам сторонах крон некротизированные участки хвои достигают 1/3 их длины. Разрежение крон связано с преждевременным опадением хвои 3-го и 4-го года и утончением части ветвей. Сохраняющиеся местами ягодные кустарнички (черника, брусника) почти не плодоносят и встречаются лишь отдельные ягоды. В таких местах поражены деревья основных ярусов, подрост, подлесок, травянистая растительность. Признаками поражения орудят хлороз и некроз листьев. Особенно четко хлороз проявляется на удалениях до 2 км от источника выбросов фтора. На всех листьях здесь четко выделяются желтые полосы по краям.

Исследование биологической активности почвенных микроорганизмов позволило установить, что в зонах радиусом до 30 км на участках с повышенным содержанием техногенного фтора вокруг длительно работающих предприятий (50 лет) и в радиусе до 20 г вокруг предприятий, проработавших 20 лет, отмечается существенное,

на порядок и более, снижение показателей азотфиксации и дыхания почвенных микроорганизмов. На значительных по площади территориях биологическая активность почвенных микроорганизмов близка к нулю. Радиус зон двукратного снижения биологической активности почв составляет 15-20 км.

Фаунистические исследования показали резкое снижение разнообразия и численности позвоночных и беспозвоночных животных в загрязненных фтором районах. Прежде всего это касается фауны водных беспозвоночных, хищных наземных членистоногих и растительноядных беспозвоночных. Относительно богатая фауна беспозвоночных сохранилась в составе березовых лесов, что связано, по всей вероятности, с высокой устойчивостью березы к загрязнению. Основу фауны беспозвоночных березовых лесов в зонах влияния техногенных загрязнений составляют питающиеся березой насекомые. Это грызущие филофаги - чешуекрылые, пилильщики, жесткокрылые, это сосущие филофаги - тли, пяденицы, клопы, сеееды-долгоносики, минеры-чешуекрылые. ими питаются облигатные хищники: коровки, мягкотелки, сетчатокрылы, сирфиды, а также паразиты (наездники). Многочисленны муравьи, встречаются пауки, оенокосцы и хищные клопы. Численность большинства видов невысокая. Особенно мало листогрызущих фитофагов, которые представлены в основном двумя видами пядениц и слоником *Polydorus* sp. Более обильны сосущие насекомые, особенно тли и цикадки, но и они не отмечены в массовых количествах. Хищники и паразиты встречаются единично. В подверженных выбросам фтора липняках наблюдается сплошная пораженность тлей.

В луговых ассоциациях в непосредственной близости от заводов

(1-3 км) обитают муравьи *Lasius fuliginosus*, устраивающие овои гнезда в почве и не образующие муравейников на поверхности. Спорадически встречаются муравьи другого вида *Lasius* sp., гнезда которых с небольшим наземным куполом расположены среди камней. Обращает на себя внимание большое число необитаемых муравьиных куч. Из прямокрылых обычны болотные кобылки, а также жуки родов *Trichius* *Ragium*. Отмечено до 7 видов стрекоз. На удалениях 3-6 км начинают встречаться насекомые цветов - восковки, бронзовки, странгалии и становятся многочисленными различные коилофаги. На удалениях свыше 6 км фауна беспозвоночных близка по составу и численности к контролю.

В случаях продолжительного безветрия концентрация фтора в воздухе вокруг функционирующих в обычном режиме заводов может за несколько суток достигнуть инсектицидного уровня. Так, известны случаи массовой гибели пчел в радиусе 12 км от криолитового завода.

Изучены изменения фауны позвоночных (мелкие млекопитающие и амфибии) на загрязняемых фтором территориях. Амфибии в радиусе до 7 км от источника выбросов представлены двумя видами л гущек - обыкновенной и травяной, в контроле разнообразие амфибий - 6 видов. На удалении 7 км от завода в проточных водоёмах встречается обыкновенный тритон. В малопроточных поверхностных водоёмах в окрестностях криолитовых и алюминиевых заводов наблюдается заметное торможение личиночного развития бесхвостых амфибий. В мелководных стоячих водоёмах с атмосферным питанием в радиусе 3 км от заводов многоклеточные гидробионты практически отсутствуют.

Из представленных на контрольных территориях 16 видов гри-

винов и 6 видов насекомоядных мелких млекопитающих вблизи источников фтористых эмиссий обитают обыкновенные и средние буроzubки, а также водяные полевки, но постоянные поселения образуют только буроzubки. На удалении 3-7 км от источников видовое разнообразие в летнее время возрастает за счет появления расселяющегося молодняка полевок обыкновенной и рыжей, на удалениях 7-15 км сохраняются и постоянные поселения этих видов, а также обыкновенного крота и куторы. В целом, близкая к контролю фауна мелких млекопитающих сохраняется на удалении 20-30 км от источников загрязнения. Важно подчеркнуть, что общая численность мелких млекопитающих в радиусе до 15 км от предприятий постоянно на порядок ниже, чем в контроле. Важно отметить, что в пределах указанного удаления практически не заселены даже самые благоприятные для мелких млекопитающих участки - каменистые россыпи, обычно олужащие им в качестве постоянных резервуаров.

Проведенное обследование немногочисленных добытых в зонах загрязнения мелких млекопитающих - в основном молодняка из позднелетних генераций - тем не менее не позволило нам выявить явных признаков поражения скелета и флюороза зубов.

Таким образом, анализ содержания фтора в воде и почве территорий вокруг выбрасывающих фтор предприятий на Урале и в Сибири показывает, что 20-50-летний срок работы таких предприятий достаточен для формирования вокруг них обширных зон площадью 1000 км<sup>2</sup> и более с повышенным содержанием фтора в различных объектах окружающей среды. В этих зонах отмечается хроническое избыточное поступление фтора в организмы растений и животных, что вызывает цепь последствий в фито- и зооценозах. Экологическое действие фтора

проявляется и в отношении микробиоценоза, что находит свое отражение в резком снижении ведущих показателей биологической активности почвенной микрофлоры на загрязненных фтором территориях.

На характер распределения техногенного фтора во внешней среде влияет группа разнородных экологических факторов: направление господствующих ветров, рельеф и лесистость местности, среднегодовое количество осадков и промывной режим почв. Одновременно влияют и факторы технологического характера: технологическая схема, срок действия предприятия, частота аварийных и неорганизованных выбросов, высота труб, мощность предприятий. При прочих равных условиях больше всего техногенного фтора накапливается в биологических, биокосных и косных объектах аккумулятивных элементов геохимических ландшафтов и в наиболее увлажненных местах. Дополнительные трудности в изучении вопроса о влиянии выбросов фтора на экосистемы связаны с тем, что однократный нерегулируемый или аварийный выброс может стать основной причиной регистрируемых в дальнейшем поражений биоценозов в данном году. Поскольку такие выбросы за долгое время работы обследованных предприятий случались неоднократно, то особенно трудно вычленить эффекты, вызванные менее интенсивными постоянными выбросами. Однако, тот факт, что нерегулируемые выбросы совершаются довольно регулярно (если рассматривать длительные периоды - порядка года), и сам характер постепенного снижения концентрации фтора в среде с удалением от завода (несмотря на то, что организованные выбросы через трубы должны были бы образовать циркулярную зону повышенного содержания фтора в результате прижима дымо-газового шлейфа) говорит о том, что вклад в загрязнение вносят оба типа выбросов. Именно такой взгляд

позволяет понять, почему, несмотря на более низкую, чем у стен завода, концентрацию фтора, в зоне прижима шлейфа наблюдается значительно более выраженное подавление микробиологической активности почвы. Действительно, непрерывное воздействие токсиканта на быстро размножающиеся и регенерирующие при благоприятных условиях микроорганизмы должно быть эффективнее, чем разовое, хотя бы и более интенсивное.

Именно на почвенные и водные микроорганизмы ложится основная нагрузка, связанная с биологическим разложением, детоксикацией и концентрированием техногенных поллютантов (Умаров и др., 1984). Активность микроорганизмов в значительной мере предопределяет степень устойчивости биоценозов к действию поллютантов. Фиксируемое падение биологической активности почвенной микрофлоры в районах длительного поступления техногенного фтора можно расценить как свидетельство долгосрочного экологического риска фтористых эмиссий.

Дальнейшие исследования пределов устойчивости микробценозов должны быть направлены на определение соответствующих экологических нормативов допустимой нагрузки на естественные микробценозы и на создание полусинтетических и искусственных микробценозов из устойчивых к газовым эмиссиям микроорганизмов.

Показатели биологической активности почв непосредственно связаны с уровнем естественного почвенного плодородия, от которого в свою очередь зависит степень газоустойчивости растений. Вызванное техногенными эмиссиями падение почвенного плодородия может ускорить распад растительных сообществ и экосистем в целом. Таким образом, решить проблему стабилизации уровня почвенного плодородия

подвергаемых загрязнению экосистем — значит уменьшить риск их недопустимой деградации. Снижение биологической активности почвенной микрофлоры можно рассматривать как ковенное свидетельство возрастающей со временем угрозы утраты естественного почвенного плодородия на значительных территориях, подвергаемых фтористым эмиссиям, что проявляется в частности в деградации гумусового горизонта почв вокруг источников техногенного фтора.

Вероятный срок, в течение которого происходит опасное для почвенной микрофлоры насыщение среды фтором, колеблется от 30 до 50 лет, а для зон прижимов дымо-газовых шлейфов он вдвое меньше. Теоретически возможно какое-то время компенсировать неизбежное падение почвенного плодородия внесением удобрений (Гудерман, 1979), но этот путь бесперспективен из-за огромных энергетических затрат на производство и внесение удобрений. Полученные нами данные по неблагоприятному влиянию фтора на мощный естественный механизм азотофиксации, в котором участвует до 40 родов бактерий, переводящих атмосферный азот в усваиваемые растениями формы, могут означать необратимое нарушение баланса азота в загрязняемых фтором экосистемах, что стимулирует неуклонное падение первичной продуктивности и постепенную деградацию экосистем на десятках и сотнях квадратных километров вокруг каждого крупного источника техногенного фтора.

Достигнутые к настоящему времени уровни поступления и общего содержания фтора в естественные экосистемы в радиусе до 30 километров от действующих заводов являются экотоксичными, что проявляется прежде всего в поражениях зеленых растений.

Наиболее устойчива по отношению к влиянию фтора береза. Вероятно, в значительной мере вследствие меньшей его кумуляции (в ли-

отях оодержится от 78,5 мкг/г фтора на удалениях 3-6 км до 20 мкг/г на 15 км, тогда как у сосны на удалении 15 км в хвое содержится 180 мкг/г). В плодах и семенах травянистых растений фтора накапливается больше, чем в стеблях и листьях в 1,5-6 раз и это может вести к снижению их продукции. Сравнительное исследование действия фтористых и сернистых выбросов в районах их совместного поступления в атмосферу показало, что при многократно более высоких концентрациях выбросов сернистых соединений по сравнению с фтористыми, накопление серы в тканях растений сверх уровней в контроле (у хвойных 140 мкг/г) невелико. Одновременно количество фтора оказывается выше, чем в контроле, во много раз, что вызывает среднее и сильное поражение хвои, судя по некритическим пятнам и общему побурению.

Избыточное накопление фтора в растениях при одновременном обеднении растительности ведет к неблагоприятным изменениям на всех последующих трофических уровнях. Можно констатировать, что коноументы реагируют не только и не столько на прямое действие фтора, поступающего к ним с вдыхаемым воздухом и пищей, сколько на фитоценоотические изменения, вызванные фтористыми эмиссиями.

Прямое влияние фтора на древесную растительность в качестве одного из следствий вызывает падение интенсивности омолодыделения, что уменьшает сопротивляемость пораженных деревьев вредителям из числа косилофагов. Фитотоксичные концентрации фтора при этом не оказывают прямого влияния на косилофагов, у которых не наблюдается отклонений в развитии (Анисимова, 1978). Поупрчине <sup>этой</sup> формируются очаги стволовых вредителей. Одновременно происходит уменьшение численности хищных насекомых, более чувствительных к

загрязнению среды в силу своих трофических связей ( Murray , 1981). Индикаторное значение коилофагов и растительноядных насекомых, накапливающих в своих тканях сравнительно небольшое количество фтора, определяется возможностью оценки изменений их качественного и количественного разнообразия. Хищные членистоногие, в большей степени накапливающие фтор (например, пауки), непригодны для массовых сборов. По этим причинам наиболее перспективная группа для экологического мониторинга по влиянию фтора — муравьи.

Попадая в растения, фтор концентрируется в листьях и от его избытка среди фитофагов начинают страдать прежде всего филлофаги, накапливающие в 5-9 раз больше фтора, чем в контроле, тогда как содержание фтора в тканях ризофагов ( Murray , 1981) при тех же удалениях не меняется. С этим связано уменьшение видового разнообразия прежде всего филлофагов по мере приближения к источнику выбросов фтора. Но одновременно существует и другая закономерность, обусловленная благоприятным влиянием ослабления деревьев на коилофагов (Васечко. 1982). Массовое размножение последних наблюдается при таком ослаблении деревьев, когда отмирают отдельные ветки (Анисимова, Соков, 1975; Анисимова, 1980). Благоприятные для коилофагов условия складываются лишь на определенном расстоянии от заводов. В местах с большей загрязненностью вблизи них, где степень ослабления и отмирания деревьев еще выше, начинает преобладать токсический эффект фтористых выбросов и массового размножения коилофагов не происходит (Катаев и др., 1980). Определенная степень ослабления кормовых растений благоприятна и для филлофагов.

Таким образом, нами установлено, что численность зеленоядных насекомых определяется взаимодействием на конкретном участке двух противоположных факторов: благоприятного — ослабление кормового растения и неблагоприятного — токсическое действие фтора. Поэтому с ростом концентрации фтора численность насекомых вначале увеличивается, а потом снижается, максимум их вредоносной деятельности приходится на зоны со средним содержанием фтора в растениях.

В работах других исследователей оказывается прослеженной только часть кривой изменения численности насекомых и фиксируется либо рост, либо падение их численности с ростом загазованности (Волкова, Васильев, 1980; Катаев и др., 1980; Анисимова, 1980), при сравнении получаемых данных с контролем.

Трудность таких исследований состоит и в том, что на различия, связанные с действием фтора, часто может накладываться локальная естественная изменчивость в распределении и численности насекомых, которая бывает очень высокой. Так, в одном из наших экспериментов, структуру сообщества насекомых на опытной площадке "преобразовали" муравьи, которых оказалось очень много и они изъели из сообщества практически всех грызущих фитофагов на стадии личинки, не тронули тлей, изгнав или уничтожив их хищников. Не пострадали от них только очень подвижные цикадки и наездники. К сожалению, часто причины локальных преобразований в сообществах беспозвоночных не столь очевидны. Это требует закладки большого числа опытных площадок.

В устойчивых к действию фтора березовых лесах, даже <sup>на</sup> очень близких к заводу площадках (3 км), число видов и численность беспозвоночных в кронах берез не отличается сколько-нибудь достовер-

но от контроля. На удалении 3 км листогрызущие насекомые изъяли за лето 15,5% общей площади листьев, на 5 км - 7,9%, на 14 км - 6,4%, на контроле было изъято 9,6%. Это можно объяснить рядом причин: фтор в основном накапливается в растениях верхнего яруса (Рамад, 1981; Pandey, 1980), а наши пробы взяты с растений второго яруса; меньше фтора в растениях на возвышенностях (Миттау, 1981), а площадка удаления 3 км располагалась именно на возвышенности, поступление фтора в растения при высокой температуре снижается (Гудерман, 1979), а лето 1982 года было очень жарким.

Общая численность членистоногих в травостое и подстилке в зонах загрязнения достоверно ниже, чем в контроле, но в основном за счет хищников (пауков). Пауки - единственная группа, которая может служить биоиндикатором по эффекту фтористых выбросов, тогда как другие группы проявляют высокую изменчивость, не связанную с действием загрязнений. Снижение разнообразия и численности пауков в местах выбросов фтора - первый сигнал о неблагоприятном лесном биогеоценозе. Об избытке фтора в тканях беспозвоночных легче всего судить по муравьям, поскольку их сбор для анализа не представляет труда.

Аккумуляция фтора в растительности на загрязняемых территориях оказывает пагубное влияние на позвоночных животных, прежде всего травоядных и семеноядных. Насекомоядные позвоночные страдают в меньшей степени. В кормах травоядных животных содержание фтора, равное 35 мкг/г сухого веса, в настоящее время превышено в радиусе 30 и более километров от длительно работающих источников фтористых эмиссий. В радиусе 10 км. этот уровень содержания фтора

превышается в 2-5 раз, в радиусе 4 км - в 5-10 раз ( , 1978). При этом в первую очередь должны страдать дикие животные, употребляющие воду из загрязненных <sup>водоёмов</sup> фтором и лишенные доступа к привозному корму, что мы, однако, на мелких млекопитающих подтвердит не смогли. Содержание фтора в кормах, равное 35 мкг/г сухого веса, является в полном смысле слова предельным, т.к. такой уровень фтора в корме может вызвать гибель эмбрионов у теплокровных, а 25 мкг/г фтора уже достаточно для появления хромоты и других поражений костной ткани у крупного рогатого скота; менее чувствителен к фтору мелкий рогатый скот, свиньи, кролики и куры ( , , 1978). Поскольку зоны, где содержание фтора в кормах составляет 37-47 мкг/г по данным тех же авторов расположены на удалении до 75 км от источников фтористых эмиссий по направлению господствующих ветров и 56-61 мкг/г - на удалении 30 км против господствующих ветров, то возникает проблема оценки экономического ущерба для животноводства и охотничьего хозяйства на обширных пространствах вокруг выбрасывающих фтор предприятий.

Из диких позвоночных, которые неизбежно пострадают от дальнейшего повышения содержания фтора в растительности следует назвать лосей, косуль, зайцев, из промысловых птиц - глухаря, тетерева и рябчика. Эти животные пьют воду из временных водоёмов в атмосферном питании и оказываются в условиях повышенного риска фтористых интоксикаций.

При исследовании экологической обстановки в районах техногенного загрязнения фтором мы ставили своей задачей не только анализ накапливаемых уровней загрязнителя в объектах внешней среды и связанной с этим оценки состояния последних, но считали необходимым установление определенных количественных соотношений, ос-

нованных на формальных статистических или на более строгих функциональных связях.

Естественно, что разнообразие эколого-географических особенностей местности, мощность, продолжительность и характер техногенного воздействия, а также другие трудноучитываемые факторы - все это сложнейшим образом может модифицировать взаимодействие отдельных элементов исследуемых экосистем, затрудняя адекватную оценку их состояния. Мы сочли необходимым поэтому провести более широкий анализ исследуемых закономерностей, основываясь не только на данных собственных анализов содержания фтора в биологических и биокосных компонентах, но и широко используя опубликованные данные по загрязнению природной среды промышленными предприятиями аналогичного профиля. Это потребовало определенной стандартизации опубликованных данных, приведения их к единой размерности изучаемых величин и т.д.

Уровень атмосферных выпадений. Показателем уровня атмосферного выпадения соединений фтора может служить количество фторо-держающей пыли, оседающей на листовой поверхности растений, произрастающих на различных расстояниях от источников выбросов.

Пандей (1981) анализировал эти показатели для растений двух типов ( ), произрастающих на расстояниях от 0.5 до 12.0 км от действующего алюминиевого завода. Количество выпадающей пыли нелинейно изменялось по мере удаления от источника выбросов. Наша обработка этих данных позволила представить зависимость в двойных логарифмических координатах в виде

$$\lg P = -(0,658 \pm 0,078) \lg R + (1,287 \pm 0,037) \quad (T. tomentos)$$

$$\lg P = -(0,723 \pm 0,122) \lg R + (1,209 \pm 0,058) \quad (B. lanzen)$$

где  $P$  - соответствует количеству фторосодержащей пыли, осевшей на поверхность листьев,  $г/м^2$ ;  $R$  - расстояние от источника, км.

Высокие коэффициенты корреляции ( $r_1 = -0.98$  и  $r_2 = 0.96$ ), полученные для растений обоих видов, позволяют говорить о функциональной связи между количеством выпадающей фторосодержащей пыли и расстоянием от источника выбросов.

Содержание фтора в почве. Был проведен отбор почвенных образцов в АВ горизонтах в юго-западном направлении от криолитового завода. Точки отбора находились на расстоянии 1 км (10 проб), 2.5 км (30), 5 км (30), и 30 км (30). Такие выборки на различных расстояниях позволили провести полный корреляционный анализ. Показано, что зависимость содержания фтора в почвах  $C_{II}$  (мг/г) от расстояния  $R$  (км) может быть описана уравнением:

$$\lg C_{II} = - (0.274 \pm 0.018) \lg R - (0.399 \pm 0.009)$$

Полученная зависимость хорошо согласуется с данными Северсона и Гука (1979) по содержанию фтора в почвах на различных расстояниях от завода по производству фосфоритных удобрений.

Содержание фтора в растительности. Накопление фтора растительными объектами определяется двумя возможными путями поступления элемента к растению: через воздух с выпадающей на листовую поверхность фторосодержащей пылью и через корневую систему растений. Мы отмечаем, что в обоих случаях (атмосферные выпадения и содержание фтора в почвах) имеет место достаточно строгая корреляционная зависимость от расстояния, которая может быть выражена линейной зависимостью в двойных логарифмических координатах:

$$\lg C_p = A \lg R + B.$$

Наши данные по содержанию фтора в различных растительных объектах, так же как известные нам литературные данные, были приведены к единым единицам и представлены в подобном линейном виде. Результаты подобной обработки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры зависимости содержания фтора в растительных объектах (мкг/г) от расстояния  $R$  (км) и от источника техногенных выбросов

Параметры уравнения		Вид растения	Автор
A	B		
Травянистая растительность			
-0.562	-5.89	Трава (по ветру)	Северсен, Гук
-0.43I	-6.14	Трава (против ветра)	"-
-0.119	-6.59	Трава (против ветра)	"-
-0.35I	-6.37	Трава (против ветра)	"-
$-(0.40 \pm 0.12)$	$(2.23 \pm 0.61)$	Смесь трав	Собственные данные
$-(0.37 \pm 0.156)$	$(2.16 \pm 0.095)$	"-	"-
$-(0.24 \pm 0.06)$	$(1.97 \pm 0.037)$	Клевер	"-
$-(0.25 \pm 0.02)$	$(2.02 \pm 0.09)$	Смесь трав	"-
Древесные растения			
$-(0.12 \pm 0.05)$	$(1.91 \pm 0.026)$	Листья березы	"-
$-(0.15 \pm 0.042)$	$(1.90 \pm 0.02)$	Хвоя	"-

Несмотря на то, что приводимые в таблице данные относятся к различным географическим районам и выполнены различными авторами,

можно говорить о совпадении полученных зависимостей содержания фтора в растительности от расстояния. Это касается прежде всего коэффициентов  $A$ , которые отражают интенсивность снижения концентрации элемента с расстоянием. По различным данным этот параметр изменяется от  $-0.562$  до  $0.12$ .

Результаты, полученные нами в районе обгоревших заводов, определяются некоторыми промежуточными значениями. Параметр  $B$ , отражающий, вероятно, общий исходный уровень фтора и обусловленный интенсивностью производства и длительностью техногенного загрязнения, естественно, изменяется в более широких пределах от  $-0.69$  до  $-1.97$ .

Отметим также меньшее значение параметра  $A$  для всех исследованных древесных растений.

Обсуждаемые зависимости уровней фтора в растительности и почвах от расстояния до источника техногенных выбросов отражают конкретные взаимоотношения измеренных параметров, учитывающих мощность выбросов, длительность функционирования источников, конкретные эколого-географические особенности местности и ряд других факторов, влияющих на накопление фтора растениями.

С точки зрения возможности использования приведенных соотношений для прогноза целесообразно установить прямую корреляционную связь между уровнем фтора в растительности и его содержанием в почвах. Результаты такого анализа приведены в табл. 4. В общем виде в двойных логарифмических координатах линейная зависимость имеет вид

$$\lg C_p = A \lg C_n + B$$

Таблица 4

Соотношения между уровнями фтора в почве  $C_{II}$  (мкг/г)  
и растительности (мкг/г)

Параметры уравнения		Авторы	Примечание
A	B		
4.6	17.8	Северсен, Гук, 1979	Для кустарника
5.14	20.2	—"	—"
2.26	5.29	—"	Для травы
1.77	2.67	—"	Для травы
0.566	-2.99	Собственные данные, алюминиевый завод	(трава)
0.364	-4.27	Собственные данные, криолитовый завод	(трава)

Из таблицы следует, что данные Северсена и Гука существенно отличаются от наших результатов, полученных для алюминиевого и криолитового заводов. Причины подобного несоответствия пока непонятны.

Таким образом, результаты промежуточного этапа изучения экологических последствий выбросов техногенного фтора, анализ поступления и метаболических путей переноса фтора в экосистемах Урала и Сибири, дают основания для ряда твердо установленных заключений и для некоторых предположений, дающих необходимую конкретизацию для дальнейших комплексных исследований по данной проблеме.

Действующие в течение длительного времени предприятия цветной металлургии являются удобными модельными объектами для рез-

работки целого комплекса теоретических проблем, связанных с организацией экологического мониторинга на локальном, региональном и глобальном уровне, экологическим прогнозированием последствий фтористых эмиссий для выработки специфических для современной цветной металлургии процедур экологической экспертизы и для разработки мероприятий по оптимизации хозяйственной деятельности на подверженных промышленным выбросам территории при существующей технологии.

Информационные основы этой деятельности включают:

1. Данные по количеству выбрасываемого фтора и по динамике выбросов в пространстве и времени.
2. Сведения о формах поступления фтора в окружающую среду с возможно более точным определением доли экологически активного фтора ( $F_1$ , HF, растворимые соли плавиковой кислоты).
3. Физико-географическую и ландшафтную характеристику территорий в радиусе до 50 км вокруг предприятий.
4. Общие флористические и фаунистические описания с указанием видов, занесенных в Красную Книгу, промысловых и других имеющих хозяйственное значение видов.
5. Краткую хозяйственно-экономическую характеристику подвергаемых выбросам территорий (наличие и специфика сельскохозяйственного производства, рыбоводства, лесного хозяйства, зон массового отдыха), целесообразно представление комплексных территориальных схем.
6. Сведения по встречаемости наиболее уязвимых к фтористым эмиссиям видов растений и животных (кустистые и листоватые лишайники, мхи, паукообразные, крупные копытные).

7. Перечень ситуаций и объектов, представляющих потенциальный риск острых фтористых интоксикаций и перечень мер по предотвращению и профилактике хронической интоксикации.

Данные настоящей работы позволяют поддержать ту точку зрения, согласно которой в ряду важнейших следует поставить задачу экологического нормирования. В радиусе 5 км выпадает менее 10% выбрасываемого отдельным предприятием фтора (Kaupanen, 1978) и большая часть переносится на большие расстояния. Важно отметить, что значительная часть выбросов приходится на HF — едва ли не самый легкий поллютант, переносимый на значительные расстояния от источников. В результате в радиусе 20 км от заводов постоянно в несколько раз превышена предельная концентрация фтора для чувствительных к фтору растений и почвенных микроорганизмов. В США в качестве стандарта HF в воздухе для растений принят уровень 0,002 мг/м<sup>3</sup> (Sidhu, 1979), при этом уже не обеспечивается сохранение наиболее чувствительных к фтору групп растений (эпифитных кустистых лишайников, некоторых мхов). Таким образом, выполнение гигиенических нормативов по фтору фактически означает более чем двадцатипятикратное превышение допустимой экологической нагрузки и это в настоящее время наблюдается в радиусе 20 и более километров вокруг действующих предприятий.

Судя по влиянию фтора на организм человека его важнейшая биологически и экологически значимая особенность состоит в том, что его оптимальный и предельно допустимый уровни оказываются очень близкими (в питьевой воде — 0,7 и 1,5), что накладывает ограничения на оценки экологического риска, связанного с фтористыми эмиссиями. Устанавливаемые уровни предельно допустимой

экологической нагрузки по фтору должны учитывать эту специфику фтора и иметь достаточный запас прочности, а не балансировать на опасной грани его экотоксичности.

В ходе наших работ были сформулированы представления о специфике селективной биоиндикации экотоксического воздействия фтора. Интегральными показателями фтористых эмиссий, на наш взгляд, являются основные лесоводственные и дендрохронологические показатели, отражающие изменения состояния древесных видов-эдификаторов. Первые признаки поражения сосняков и ельников фтором, по нашим и литературным данным, проявляются на удалении порядка 30 км от заводов и эти признаки становятся очевидными на удалениях 15-20 км. Дендрохронологические методы позволяют оценивать последствия фтористых эмиссий на больших отрезках времени и проводить эколого-экономические экспертизы, связанные с определением общего ущерба для лесного хозяйства, связанного с выбросами фтора. Прямые потери лесного хозяйства от снижения ежегодного прироста, гибели части деревьев, их ослабления и стимулированных этим вспышек вредителей-ксилофагов, по литературным данным, могут достигать несколько тысяч кубометров деловой древесины на каждом загрязненном гектаре за период 10 лет (Carlson, 1978), а экономический ущерб может составлять 3,8 млрд долларов для территорий, находящихся под влиянием крупных алюминиевых заводов за период 22 года (Vunse, 1979). Важное достоинство дендроиндикационного подхода - возможность оценивать действие фтора в динамике как в пространстве, так и во времени. Оперативная биоиндикация фтористого поражения возможна по внешним признакам поражения хвои и листьев.

Комплексным методом биоиндикаций может стать микробиологическое определение биологической активности почвы. Гигиенический риск, связанный с длительным поступлением фтора в окружающую среду в перспективе можно будет оценивать по состоянию позвоночных животных: можно анализировать накопление фтора в тканях, динамику репродуктивных процессов и скорость ежегодного прироста численности.

Особая проблема — биоиндикация единичных сверхнормативных выбросов. Судя по всему, эта проблема может быть решена с помощью постоянного культивирования особо уязвимых растений, по признакам поражения которых можно оперативно судить о возникновении дополнительного экологического риска. Не совсем ясны экологические последствия краткосрочного воздействия фтора, поступающего в экосистемы при таянии снега, накопившего фтор в течение зимы.

В круг перспективных для исследования проблем входит функциональное зонирование подвергаемых фтористым эмиссиям территорий. Его решение требует разработки экологических критериев выделения санитарно-защитных зон в дополнение к существующим санитарно-гигиеническим критериям. Кроме того, необходимо установить ограничения на те или иные формы хозяйственного и рекреационного использования территорий за пределами экологически обоснованных санитарно-защитных зон. С учетом местных условий разрабатываются карты-схемы с указанием зон разной степени экологического риска; таких зон выделяется 4-5, в том числе зона максимального риска (в зависимости от мощности завода 1-3 км), зона высокого экологического риска (2-6 км), зона среднего риска (4-10 км), зона малого экологического риска (8-20 км), буферная зона (15-30 км).

Для каждой из выделяемых зон необходимо предусмотреть особый режим их хозяйственного и рекреационного использования. Например, окрестности алюминиевых и криолитовых заводов в радиусе как минимум 12 км являются "зоной рискованного пчеловодства".

Уже достаточно давно был сделан полностью обоснованный вывод о том, что из всех техногенных поллютантов, поражающих домашний скот, фтор наносит наиболее тяжелый и массовый ущерб (Aschbaker, 1963). До 96% поступающего с воздухом, водой и пищей фтора может депонироваться в скелете позвоночных.

Возможна гибель животных под влиянием фтористой интоксикации. Гибели предшествует ряд патологических нарушений: пятнистость эмали, флюороз, нерезко выраженные изменения внутренних органов, центральной нервной системы, эндокринной системы, системы кроветворения, нарушения энергетического обмена в тканях, обострение интеркуррентных заболеваний. Длительная интоксикация ведет к снижению веса тела животных, их продуктивности, при падеже обнаруживаются некрозы почек, надпочечников, патологические изменения кишечника. Снижаются репродуктивные возможности травоядных в зонах фтористых эмиссий, в частности, в силу того, что самки теряют способность приносить потомство уже после третьей беременности. Хронический фторный токсикоз крупного рогатого скота проявляется при содержании фтора в кормах на уровне 30-40 мг/г, тяжелый токсикоз проявляется при питании кормами, содержащими 60-109 мг/г фтора (Crook, Maullin, 1969). Отсюда - оценка кормовых культур как источника поступления фтора в организм сельскохозяйственных животных. В аналогичных условиях оказываются дикие травоядные животные. Однако, судя по нашим наблюдениям, у них

Можно предполагать включение каких-то популяционных механизмов, в результате действия которых грызуны не живут постоянно на высокозагрязненной территории и среди мелких млекопитающих нам не удалось найти не только пораженных флуорозом, но даже накопивших близкие к токсичным количества фтора.

Самостоятельная проблема - разработка теоретических основ и практических рекомендаций по рекультивации, мелиорации и интродукции в зонах неприемлемого нарушения экосистем вокруг заводов (зоны так называемых "бедлендов" и зоны сильного загрязнения). Перспективна интродукция устойчивых к фтору микроорганизмов и сосудистых растений из эпидемичных по фтору районов. Так, из литературных данных (Cooke, Johnson, 1978) известно, что аборигенные растения видов *Festuca rubra*, *Deschampsia cespitosa*, *Agrostis tennis* на старых отвалах шахт, где добывали плавиковый шпат, более устойчивы в экспериментальном орошении раствором фтористого натрия по сравнению с растениями тех же видов из "чистых" по фтору районов. В ситуациях, имитирующих эмиссии техногенного фтора, у таких адаптированных к фтору растений отмечается высокая всхожесть семян, нормальный рост корней и достаточный уровень накопления биомассы в течение вегетационного периода.

Основной научной проблемой комплексного изучения влияния выбросов фтора на различные биосистемы является, на наш взгляд, разработка серии прогностических математических моделей, в которых должны быть формализованы современные представления о метаболизме и воздействии фтора. Необходимая для научно обоснованного нормирования выбросов фтора система моделей должна быть сквозной,

т.е. должна охватывать в единое целое разрозненные данные по дрейфу, аккумуляции и эффекту техногенного фтора в окружающей среде на организменном, популяционном и биогеоценотическом уровнях организации биосистем.

Наконец, для решения ряда вопросов не исчерпаны теоретические и прикладные следствия сопоставления современного алюминиевого завода с таким вулканом как Этна, а 20-25-летней его деятельности с извержением Толбачека. Если в 30-е, 40-ые и 50-ые годы XX века встречались лишь отдельные упоминания о различных экотоксических проявлениях техногенного фтора (Newman, 1979), то в шестидесятые годы, и особенно в последнее десятилетие, такого рода научные свидетельства возрастающего экологического риска от фтористых эмиссий стали появляться в массовом числе (см. например, Соков, Рожков, 1975; Гудерман, 1979; Голутвин и др., 1980; Гапонюк, 1983; Григорьева, Клепельман, 1982; Маховская и др., 1984).

На всех изученных нами территориях содержание фтора на опытных и контрольных участках превышает уровни 30-х и 40-х годов XX века, что отражает глобальный характер загрязнения биосферы фтором. И хотя ясна тенденция к глобализации фторного загрязнения, конкретный прогноз его динамики остается делом будущего. Трудно также оценить в настоящий момент отдаленные экологические последствия техногенных выбросов фтора, поскольку недостаточно ещё экологическая информация о состоянии биосистем в местах с естественным высоким содержанием фтора.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- Авцын А.Н., Жаворонков А.А. Патология флюороза. - Новосибирск: Наука, 1981, 335 с.
- Анисимова О.А. Особенности экологии основных лубоедов и долгоносиков в лесах, ослабленных фтористыми выбросами алюминиевых заводов. - В кн.: Хвойные деревья и насекомые дендрофаги. Иркутск: СО АН СССР, 1978, с. 62-67.
- Анисимова О.А. Особенности формирования экологических комплексов ксилофагов в лесах, ослабленных фтористыми выбросами алюминиевых заводов. - В кн.: Роль дендрофильных насекомых в таежных экосистемах. Дивногорск, 1980, с. 5-6.
- Анисимова О.А., Соков М.К. Роль насекомых в древостоях, ослабленных токсичными выбросами алюминиевых заводов. - В кн.: Влияние антропогенных и природных факторов на хвойные леса. - Иркутск, 1975, с. 61-84.
- Васечко Г.И. Оценка роли факторов смертности в динамике численности короедов. - В кн.: Чтения памяти А.А.Холодковского. Л.: Наука, 1981, с.54-91.
- Волкова Л.М., Васильева Т.Г. Особенности биохимического состава листьев березы и её энтомофауны в насаждениях, загрязненных выбросами алюминиевых заводов. - В кн.: Роль дендрофильных насекомых в таежных экосистемах. - Дивногорск, 1980, с.22-24.
- Габович Р.Д., Минх А.А. Гигиенические проблемы фторирования питьевой воды. - М.: Медицина, 1979. - 196 с.
- Гапонжк Э.И. Степень и экологические последствия фторидного загрязнения. Обнинск: ВНИИ Гидрометинформации, 1983, 55 с.
- Голутвин Г.И., Кондратов В.И., Поповичев Б.Г. Динамика сосняков в зоне интенсивных промышленных выбросов. - В кн.: Экология и защита леса. - Л., 1980, с.104-110.
- Григорьева В.М., Клецильман У.Х. Проблемы организации энергоёмких производств в агропромышленных районах / экономика-производство-экология Южно-Таджикского ТПК/. - В кн.: Природная среда и территориальная организация хозяйства в районах

- агропромышленного производства. Кишнев, "Штилица", 1982, с. 123-124.
- Гударян Р. Загрязнение воздушной среды. - М.: 1979. - 200 с.
- Израэль Ю.А. Экология и контроль окружающей среды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 376 с.
- Катаев О.А., Голутвин Г.И., Кондратьев В.И. Развитие столовых насекомых в загазованных сосняках. - В кн.: Роль дендрофильных насекомых в таежных экосистемах. - Дивногорск, 1980, с. 60-62.
- Книжников В.А., Кальций и фтор. Радиационно-гигиенические аспекты. М.: Атомиздат, 1975, 199 с.
- Маховская М.А., Земкова Р.И., Кругликов С.А. Влияние промышленных загрязнителей на зольный остаток листьев древесных растений и заселенность их членистоногими. - Экология. № 3, 1984, с.17-22.
- Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растения.- Новосибирск: Наука (Сиб.отделение), 1979. - 275 с.
- Радовская Т.Л., Круглова А.Г., Казюнь Т.К. Усовершенствование диффузионного выделения и фотометрического определения фтора. - Гигиена и санитария, 1980.
- Рамад Ф. Основы прикладной экологии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 543 с.
- Соков М.К., Рожков А.С. Динамика окрашения прироста у хвойных деревьев под влиянием промышленных выбросов алюминиевых заводов. - В кн.: Влияние антропогенных и погодных факторов на хвойные деревья. - Иркутск, 1975, с.9-60.
- Умаров М.М., Кононков Ф.П., Куракова Н.Г., Зуева Л.А. Методы изучения азотфиксации и динитрофикации в почве. - В кн.: Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. М., Наука, 1984, с.107-119.
- Хазамова Л.А., Радовская Т.Л., Селезнёва Л.П., Калинина Н.Н. Определение фтор-иона в почвах. - Почвоведение, 1979, № II, с.143-151.

Aschbaker P.W. Air pollution needs: livestock production systems.-

J. air pollution Assoc., 1963, N23, p.267-272.

Bunce H.W.F. Fluoride Emissions and Forest Growth.- J. of the  
Air Pollution Control Association., vol.29, N6, 1979, p.642-  
643.

Carlson C.E. Fluoride induced Impact in a Coniferous Forest near  
the Anaconda Aluminium Plant in Northwestern Montana.-  
FFluoride, vol.11, N4, 1978, p.211-213.

Cooke J.A., Johnson M.S. Fluoride tolerance in grasses with parti-  
cular reference to fluorspar mine waste.- Fluoride, vol.11,  
N4, 1978, p.179-186.

Editorial review environmental fluoride A.W.B.- Fluoride, 1979,  
vol.12, N1, p.1-3.

Murray F. Effects of fluorides on plant communities around an  
aluminium smelter.- Environ. Pollut., 1981, A24, N1, p.45-56.

Kauranen P. Fluorid deposition in snow in the surroundings of  
a mixed fertilizer factory.- Chemosphere, vol.7, N6, 1978, p.  
537-547.

Krook L., Maylin G.A. Industrial fluoride pollution. Chronic  
Fluoride Poisoning In Cornwall Island Cattle.- The Cornell  
Veterinarian, vol.69, N8, 1969, p.7-70.

Newman J.R. Effects of industrial air pollution on wildlife.-  
Biol. Conserv., vol.15, N3, 1979, p.181-190.

Pondey G.P. A survey of fluoride pollution effects on the forest  
ecosystem around an aluminium factory in Mirsapur, U.P.,  
India.- Environmental Conservation, 1981, v.8, N2, p.131-137.

Rose D., Marier J.K. Environmental Fluoride. Natl. Res. Council,  
Canada, Publ. N 16081, Ottawa, 1977, p.1-151.

Seversen R.C., Gould L.P. Environmental implications of elements  
from phosphate-processing operations in Southeastern Idaho.-

Geological survey professional paper 1083. United States government printing office, Washington, 1979, p. 1-20.

Sidhu S.S. Fluoride Levels in Air, Vegetation and Soil in the Vicinity of a Phosphorus Plant.- J. of the Air Pollution Control Association. vol. 29, N10, 1979, p. 1069-1072.

Smith F.A., Hodge H.C. Airborne Fluorides and Man: Part I.- Critical reviews in environmental control. vol. 8, N4, 1978, p. 293-371.

Standards for fluoride tolerance.- Fluoride, 1980, vol. 13, N4, p. 145-146.