

ТРУБИНА Марина Рудольфовна

На правах рукописи

УДК 574.4:581.526+630.425

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ  
ХРОНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КИСЛЫМИ ГАЗАМИ

03.00.16 - экология



А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Екатеринбург

1996

Работа выполнена в лаборатории экологии техногенных лесных сообществ Института леса Уральского отделения Российской Академии Наук.

Научный руководитель: доктор биологических наук  
Махнев Африкан Кузьмич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
Шиятов Степан Григорьевич  
кандидат биологических наук  
Чибрик Тамара Семеновна

Ведущая организация: Институт биологии Академии  
наук Республики Башкортостан

Защита состоится "28" 04 1997 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 002.05.01 в Институте экологии растений и животных УрО РАН по адресу: 620144г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан "28" 12 1996 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Нифонтова М.Г.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Растения, обладающие практически уникальной способностью синтезировать макроэргические соединения из простых веществ в процессе фотосинтеза, составляют основную биомассу в сообществах. Снижение продуктивности и разнообразия растительных сообществ в результате техногенного воздействия будет оказывать значительное влияние на протекание всех процессов в экосистемах. Учитывая важность сохранения не только показателей продуктивности, но и параметров видового разнообразия для функционирования природных экосистем, очевидна необходимость выявления наиболее чувствительных компонентов сообществ и определение характера последствий различных доз нагрузок для растительных организмов на всех уровнях организации. К настоящему времени накоплено огромное количество данных по влиянию различных токсикантов на растения. Общие тенденции в трансформации фитоценозов под действием эмиссий промышленных предприятий известны, но отсутствуют данные при каких уровнях загрязнения окружающей среды соединениями фтора наблюдаются те или иные преобразования в фитоценозах. Исследования реакции травянистых растений на хроническое загрязнение фтором на популяционном уровне практически отсутствуют.

Цель и задачи работы. Целью исследования было изучение реакции травянистых растений на организменном, популяционном и ценоотическом уровне на различные дозы нагрузки в условиях хронического аэротехногенного загрязнения соединениями фтора.

#### Основные задачи исследования:

1. Выявить закономерности изменения параметров травяно-кустарничкового яруса лесных фитоценозов на определенные дозы нагрузки и определить уровни нагрузки при которых происходят коренные преоб-

разования в сообществах.

2. Определить характерные реакции ценопопуляций травянистых растений на хроническое загрязнение.

3. Выявить отклонения на организменном уровне у травянистых растений, произрастающих в условиях хронического загрязнения.

Научная новизна работы. На основании многолетних данных были установлены уровни загрязнения окружающей среды соединениями фтора, при которых наблюдаются коренные преобразования в травяно-кустарничковом ярусе лесных фитоценозов, показан нелинейный характер реакции ряда параметров почвенного покрова, а также зависимость аккумуляционной способности и толерантности к действию поллютантов от принадлежности вида к определенной трофоморфе. Впервые на примере монокарпичного одно-, двулетнего вида *Crepis tectorum* L. показано, что одним из механизмов ответа популяций растений на хроническое загрязнение кислыми газами является увеличение частоты двулетних форм. На примере многолетнего поликарпичного вида *Vicia cracca* L. показано преобладание в условиях загрязнения ценобионтов с низкой скоростью роста.

Практическая значимость работы. Разработаны рекомендации по использованию изученных параметров для индикации загрязнения кислыми газами и для прогноза изменений травянистой растительности под действием различных доз нагрузки. Приведенные данные об уровнях содержания токсичных веществ на разном удалении и в различных видах растений, в том числе лекарственных и кормовых, могут использоваться при разработке мер охраны здоровья населения, проживающего в окрестностях предприятий и допустимых уровней нагрузок на природные экосистемы. Материалы по выявленным специфическим свойствам толерантных к данному типу загрязнения видов и индивидуумов

могут быть использованы при рекультивации фитотоксичных нарушенных земель вблизи предприятий, эммитирующих кислые газы.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на: Всесоюзной конференции "Проблемы лесоведения и лесной экологии" (Москва, 1990), Республиканской конференции "Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития" (Донецк, 1990), Международной конференции "Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность" (Днепропетровск, 1995).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 11 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов и приложений. Изложена на 141 страницах машинописного текста, включает 42 таблицы (из них 8 в приложении), 42 рисунка. Список литературы содержит 155 источников, в том числе 60 иностранных.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Воздействие азротехногенного загрязнения на растительные организмы, популяции и сообщества.

Дана краткая характеристика и особенности воздействия кислых газов. Рассмотрены вопросы поступления и аккумуляции токсикантов в растениях. Представлен обзор литературы по действию химического загрязнения на организмы, популяции и сообщества травянистых растений.

ГЛАВА 2. Характеристика районов исследования.

На основе литературных данных приведена характеристика климата, почвы и лесорастительных условий районов исследований.

ГЛАВА 3. Объект и методы исследований.

Приведены объем и структура выбросов Полевского криолитового завода (ПКЗ, Средний Урал) и Братского алюминиевого завода (БРАЗ,

Сибирь). В районе БРАЗа (действует с 1962г) работы проведены в июне-июле 1988г., в районе ПКЗ - в июне-июле 1986, 1987 и 1988гг., в мае, июне, июле 1990, 1995 и 1996 гг.

В районе ПКЗ (действует с 1907г.) было заложено 40 временных и 9 постоянных пробных площадей (ППП). Геоботаническое описание сообществ проводилось по общепринятой методике. Определение содержания фтора в растительных и почвенных образцах проводилось потенциометрическим методом (Хаземова, Радовская, 1983). Содержание общей серы определялось по методике Ю.И. Маслова (1978) на фотоэлектрокалориметре с предварительным озолением растительного материала в смеси азотной и хлорной кислот. Всего на содержание токсикантов исследовано 15 видов деревьев и кустарников, 85 видов травяно-кустарничкового яруса. Для травянистых растений был рассчитан коэффициент накопления (Q) по формуле  $Q = X_i / X_{cp.}$ , где  $X_i$  - содержание фтора в надземной части отдельного вида,  $X_{cp.}$  - среднее содержание для всех видов данной пробной площади. Всего проведено 1998 элемент-анализов серы и 4270 - фтора.

В качестве объектов исследования для изучения хронического воздействия загрязнения фтористыми соединениями на организмы и популяции травянистых растений были взяты следующие дикорастущие виды: *Crepis tectorum* L., *Bromopsis inermis* (Lyess.) Holub, *Vicia cracca* L., *Plantago media* L., *Fragaria vesca* L., *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Leucanthemum vulgare* Lam. Выборки из популяций использовались для морфометрического анализа и для выявления тератогенного эффекта загрязнения. Основным объектом исследования была выбрана скерда кровельная (*Crepis tectorum* L.) из сем. Asteraceae, одно-, двулетний монокарпичный вид, имеющий широкое распространение. Общая фенотипическая изменчивость количественных признаков

вида в исследуемых популяциях изучалась по гербарным образцам. Объем выборки - не менее 100 особей. Учитывалось 19 признаков и 10 соотношений. Морфометрические параметры анализировались с учетом и без учета возраста особей. Степень дивергенции признаков популяций (КД) оценивалась по формуле  $KD = \sum b / (n-1)$ , где  $b$  - нормированное отклонение каждого признака от выбранного стандарта, вычисляемое по формуле:  $b = (M_i - M_{st}) / \sigma_{st}$ , где  $M_i$  - среднее арифметическое признака (Шмидт, 1984). Для характеристики изменений корреляционных отношений признаков рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона. Степень интегрированности объекта оценивалась с помощью коэффициента гомогенности  $E$  (отношение числа связей, выявляемых на определенном уровне корреляции к общему числу связей между признаками) (Шмидт, 1985).

Для всех остальных, перечисленных выше, видов объем выборки составлял не менее 30 ценобионтов. У *B. inermis* учитывались признаки только генеративного побега (16 признаков и 10 соотношений). При характеристике других видов учитывались наиболее значимые параметры морфоструктуры генеративной и вегетативной сферы. Для изучения скорости роста и уровня смертности в популяциях были организованы наблюдения за маркированными особями. В процессе исследований была проанализирована 31 выборка из популяций травянистых растений. На выборках от 120 до 1000 растений ряда видов, произрастающих в импактной и фоновых зонах, фиксировались аномалии.

При обработке данных использовались стандартные статистические процедуры, факторный и кластерный анализ.

ГЛАВА 4. Аккумуляция фтора и серы различными видами растительных сообществ в окрестностях ПКЗ

Сравнение содержания серы и фтора в травостое в окрестностях ПКЗ

показало, что фоновый уровень по содержанию серы в импактной зоне превышен всего в 2 раза, по содержанию фтора - более чем в 1000 раз. Уже на расстоянии 2 км содержание серы в травянокустарничковом ярусе близко к фоновым значениям. Наибольшее количество фтора аккумулируется в моховом покрове и подстилке (в 3 - 5 раз выше, чем в других ярусах). Отмечается общее повышение фонового уровня загрязнения почвы фтором - даже на расстоянии 20 км с наветренной стороны уровень содержания фтора в 2 раза выше в сравнении с чистыми районами. В радиусе от 3 до 5 км содержание фтора выше в несколько десятков раз, в радиусе до 2 км - в сотни раз.

По данным некоторых авторов (Krook, Maylin, 1969) хронический токсикоз животных, сопровождающийся флуорозом зубов и костной ткани, вызывает содержание в кормах фтора 30-40 мкг/г сухого веса. По данным наших наблюдений допустимые уровни по содержанию токсиканта в травостое превышены в радиусе 2-5, в восточном направлении - 15 км

На основании положения, высказанного Г.М. Илькуном (1978) о большей газостойкости растений, приспособившихся в процессе эволюции произрастать на плодородных, засоленных, известковых почвах, нами было сделано предположение, что такие виды могут быть не только толерантны, но и иметь более высокую аккумулирующую способность. Результаты исследования подтвердили высказанное предположение: в ряду "семиолиготрофные гликофиты - субгликофиты" доля устойчивых видов и видов с высокой аккумулирующей способностью ( $Q > 1$ ) возрастает от 20 до 100 % и от 27 до 100 % соответственно.

ГЛАВА 5. Влияние хронического загрязнения на травяно-кустарничковый ярус лесных фитоценозов

Основное направление трансформации травяно-кустарничкового яруса лесных фитоценозов в окрестностях ПКЗ - снижение видового разнообра-

зия, продуктивности, нарушение пространственной структуры. Значения таких интегральных показателей ценозов, как видовая насыщенность, индекс разнообразия, плотность произрастания ценобионтов, суммарная встречаемость, биомасса, в импактной зоне снижаются в 2-3 раза.

Бета-разнообразие или степень дифференцированности распределения видов по градиенту местообитаний, напротив, увеличивается по мере приближения к источнику эмиссий - сообщества импактной зоны имеют наименьшие коэффициенты сходства и более высокие коэффициенты вариации данного показателя ( $P < 0.001$ ). Увеличение бета-разнообразия в условиях хронического загрязнения может быть вызвано исходной гетерогенностью сообществ и местообитаний, обуславливающих различную устойчивость фитоценозов к нарушающим воздействиям одинаковой степени и, следовательно, хронологическую дифференциацию ценозов по степени нарушенности.

Наибольшей горизонтальной гетерогенностью и большей контактированностью в распределении особей обладают ценозы импактной зоны - средний КС площадок внутри ценоза составляет 8.49, наименьшей - ценозы буферной зоны (КС-19.5). Сообщества фоновой зоны имеют КС равный 16.8.

Видовой состав ценозов в условиях фтористого загрязнения существенно трансформируется - КС состава ценозов импактной и фоновой территории составляют 8-26%. Четко прослеживается смена доминирующих в ненарушенных ценозах *Calamagrostis arundinaceae* и *Vaccinium myrtillus* на доминанта луговых ценозов - *Deschampsia caespitosa*.

Существенным преобразованием подвергается типологическая структура сообществ (табл.1). Общая тенденция в характере трансформации - увеличение доли эвритопных видов. Обращает на себя внимание не-

Таблица 1

Типологическая структура сообществ, подвергающихся фтористому загрязнению, в окрестностях ПКЗ ( % от суммы видов)

Типологическая группа		Зоны загрязнения		
		Импактная	Буферная	Фоновая
Географическая структура а) по долготному распространению	Голарктическая	30.4	21.1	18.3
	Евразийская	25.0	25.0	19.7
	Евросибирская	21.0	27.6	35.2
	Европейская	7.1	6.5	7.0
	Евразийско-сибирская	8.9	9.2	7.0
	Восточносибирская	3.6	3.9	8.5
	Азиатская	1.8	1.3	2.8
б) по широтному распространению	Плоризональная	15.1	4.7	3.5
	Арктобореальная	-	1.6	0.9
	Бореальная	70.7	69.3	72.6
	Неморальная	2.0	12.6	15.1
	Лесостепная	12.2	9.4	7.0
Экологическая структура а) по освещенности	Гелиофиты	30.3	11.0	5.3
	Гипогелиофиты	59.4	50.4	54.0
	Гемисильванты	3.0	19.7	19.5
	Сильванты	4.1	14.2	16.8
б) по солевому режиму почв	Мезоолиготрофы	12.2	24.4	26.6
	Мезотрофы	38.3	43.3	46.8
	Эвтрофы	17.2	15.0	12.4
	Гликофиты	21.2	13.4	11.5
	Галофиты	3.0	-	-
	Эвритрофы	8.1	2.4	2.6
в) по увлажнению	Ксеромезофиты	39.3	22.8	20.4
	Мезофиты	18.2	39.4	39.8
	Гигромезофиты	14.2	20.5	21.2
	Мезогигрофиты	3.0	2.4	3.5
	Эврифиты	23.3	13.4	13.2
г) по кислотности	Перацидофилы	12.2	14.2	15.9
	Ацидофилы	17.2	22.0	22.1
	Нейтрофилы	3.0	1.6	1.8
	Алкалифилы	8.1	13.4	13.2
	Эврибионты	54.4	37.0	35.4

устойчивость в составе термоморф неморального компонента ценозов, связанная, на наш взгляд, с тем, что резкая граница массового распространения неморальных видов, являющихся остатками флоры широколиственных лесов фазы термического максимума голоцена ( Игошина, 1964; Горчаковский, 1969), проходит по восточному краю Уральского хребта. Низкая толерантность данных видов в районе ПКЗ может быть обусловлена меньшей устойчивостью к любым неблагоприятным воздействиям из-за исторически сложившихся биологических особенностей и нахождения видов на границе ареала.

Загрязнение вызывает существенные изменения таксономической структуры - происходит двукратное уменьшение числа семейств в импактной зоне, при незначительном снижении (превышении) данного показателя в буферной и отражается в смене порядка доминирования и частичной замене состава ведущих семейств. Количественные изменения в составе феноритмологических групп также, как и в соотношении жизненных форм, нивелируются качественными перестройками, тем не менее по градиенту загрязнения наблюдается элиминация таких жизненных форм, как лианы, вечнозеленые кустарнички, полупаразитные терофиты. Происходит уменьшение доли летне- и вечнозеленых видов, на фоне увеличения участия в ценозах зимнезеленых видов (рис. 1;  $r=0.35$ ,  $P<0.05$ ). Большая толерантность зимнезеленых видов вероятно связана с их устойчивостью к значительным перепадам температур. Устойчивость к низким температурам зимующих частей растений связана с их переходом в состояние анабиоза, означающее понижение интенсивности обмена и блокирование путей взаимодействия с окружающей средой. Все это во многом обеспечивает и жаростойкость видов (Горышина, 1978). Повышенная газоустойчивость к двуокиси серы зимостойких видов и видов с невысокой скоростью роста была экспери-

ментально показана на древесных и некоторых травяных растениях ( Николаевский, 1978).

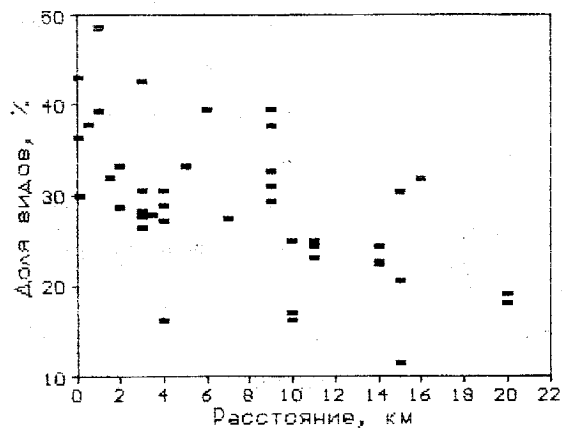


Рис.1. Изменение доли зимнезеленых видов в зависимости от расстояния до источника эмиссий ( ПКЗ).

Дозо-ответные реакции параметров почвенного покрова. Зависимость изменений значений большей части изученных параметров от уровня загрязнения достоверна. Наиболее высокие коэффициенты линейной корреляции имеют показатели доли сорных ( $r = 0.86$ ;  $P < 0.001$ ) и лесных видов ( $r = 0.80$ ;  $P < 0.001$ ), а среди частных экоморф - доля эврибионтов ( $r = 0.72$ ;  $P < 0.01$ ). Отсутствует или слабо выражена корреляция между уровнем загрязнения и показателем выравнивания видов ( $r = 0.02$ ), долей мезоолиготрофов ( $r = 0.36$ ) и биомассой травостоя ( $r = -0.37$ ). Для остальных параметров коэффициенты корреляции колеблются в пределах 0.53-0.66 ( $P < 0.05$ ; 0.01).

Характер изменения интегральных параметров ценозов в зависимости от уровня нагрузки существенно нелинейный. Все представленные параметры мало меняются до уровня нагрузки в 20 - 30 отн. ед. При превышении этого уровня происходит резкое уменьшение всех

показателей. Довольно часто значения параметров в этом промежутке выше, чем в ценозах фоновой территории ( рис. 2).

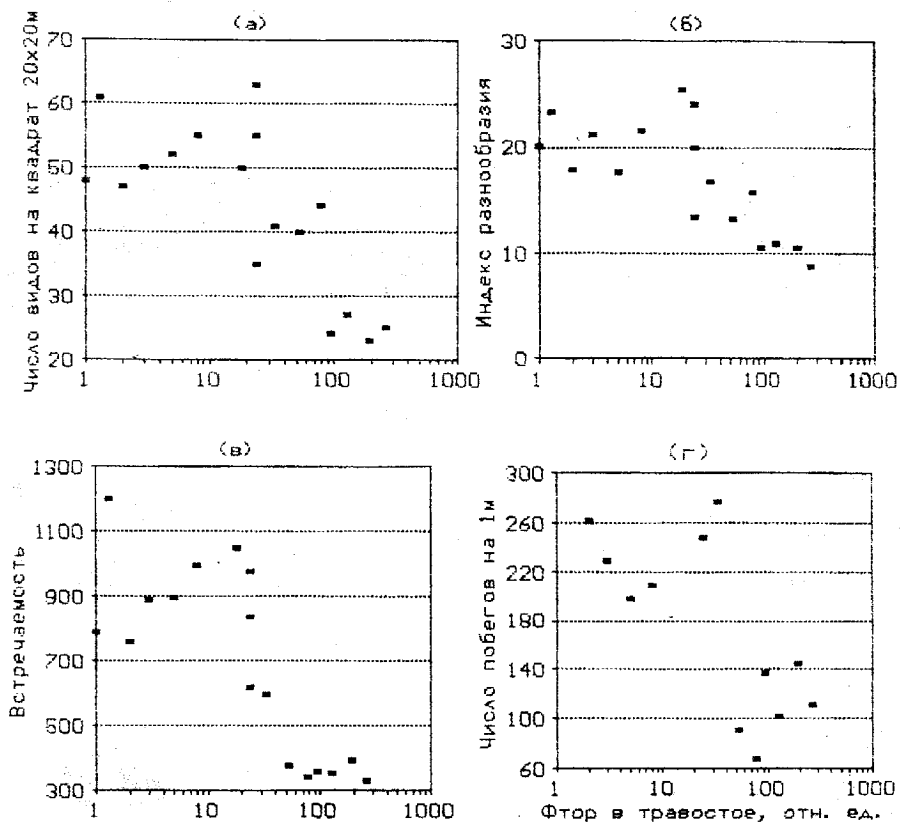


Рис.2. Изменение видового богатства (а), индекса разнообразия (б), суммарной встречаемости (в) и плотности (г) сообществ в зависимости от уровня загрязнения в зоне действия ПКЗ.

Изменения доли участия в сообществах ксеромезофитов, эврибионтов и гемисильвантов фиксируются уже при уровнях нагрузки в 2-3 отн.ед.. Значения доли неморальных видов и ценотических компонен-

тов сообществ ( доли сорных и лесных ) выходят на фоновый уровень при 20-30-кратной дозе нагрузки и зависимость изменения данных показателей в большей степени соответствует S-образной кривой. Наибольший разброс значений параметров наблюдается при 20-30 отн.ед. фтора по содержанию в травостое, что соответствует 10-15 отн.ед. по содержанию фтора в почве ( рис. 3).

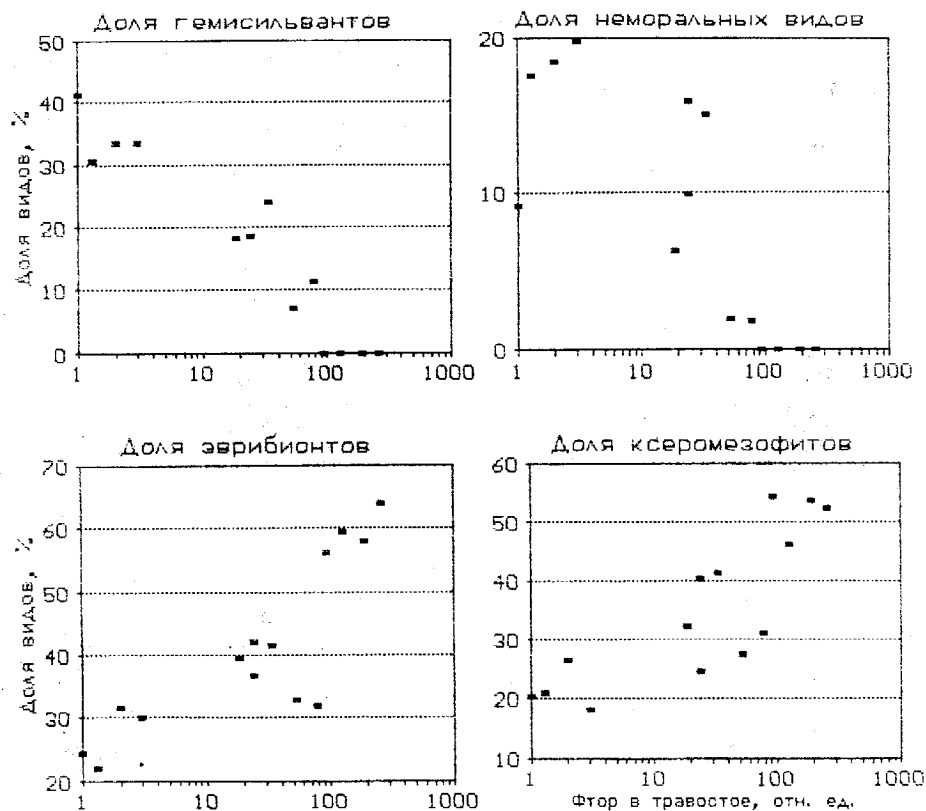


Рис.3. Изменение доли частных экоморф в зависимости от уровня загрязнения в окрестностях ПКЗ.

Все изученные интегральные параметры подвержены значительным флуктуациям. Самые высокие разногодичные флуктуации отмечены для

биомассы травостоя ( размах значений в сообществах меняется от 2 до 139.7 %). Относительный размах по годам показателей видового богатства, суммарной встречаемости меньше и меняется от 6 до 47.8 и от 2 до 44% соответственно. Размах значений плотности произрастания ценобионтов в сообществах меняется от 10 до 30.2%.

Оценка разногодичных флуктуаций видового состава, структуры и параметров ценозов показала различия в выраженности флуктуаций в зависимости от уровня загрязнения. Меньше всего видовой состав меняется в сообществах фоновой зоны - средний КС по годам 80.1%, несколько в большей степени - импактной ( 60-69%) и наименее сходен видовой состав по годам в буферной зоне ( 59.5%). Увеличение относительного размаха по годам ( нестабильность) для значений большинства параметров происходит в интервале нагрузок от 10 до 15 отн. ед. по содержанию фтора в почве и от 28.5 до 65 отн. ед. в травостое. Если учесть, что наибольший перепад значений всех изученных параметров ценозов происходит в этом же интервале, именно эти значения определяют критическую нагрузку для травяно-кустарничкового яруса лесных ценозов, при превышении которой наблюдаются наиболее резкие негативные преобразования.

#### ГЛАВА 6. Влияние фтористого загрязнения на популяции травянистых растений.

По данным морфометрического анализа в популяциях *S. tectorum* достоверные отличия по ряду признаков ( высота особей и некоторые другие) фиксируются только при значительных уровнях нагрузки. Ряд признаков проявляет клинальную зависимость - по градиенту загрязнения происходит достоверное уменьшение числа соцветий, боковых побегов, угла отклонения верхней боковой веточки от главной оси, относительной длины верхней боковой веточки и некоторых других. В



наибольшей степени дивергировала популяция импактной зоны ( фоновый уровень фтора по содержанию в травостое превышен более чем в 1000 раз), КД - 0.44. Для популяции буферной зоны ( превышение содержания фтора выше в 90 раз) КД равен 0.29.

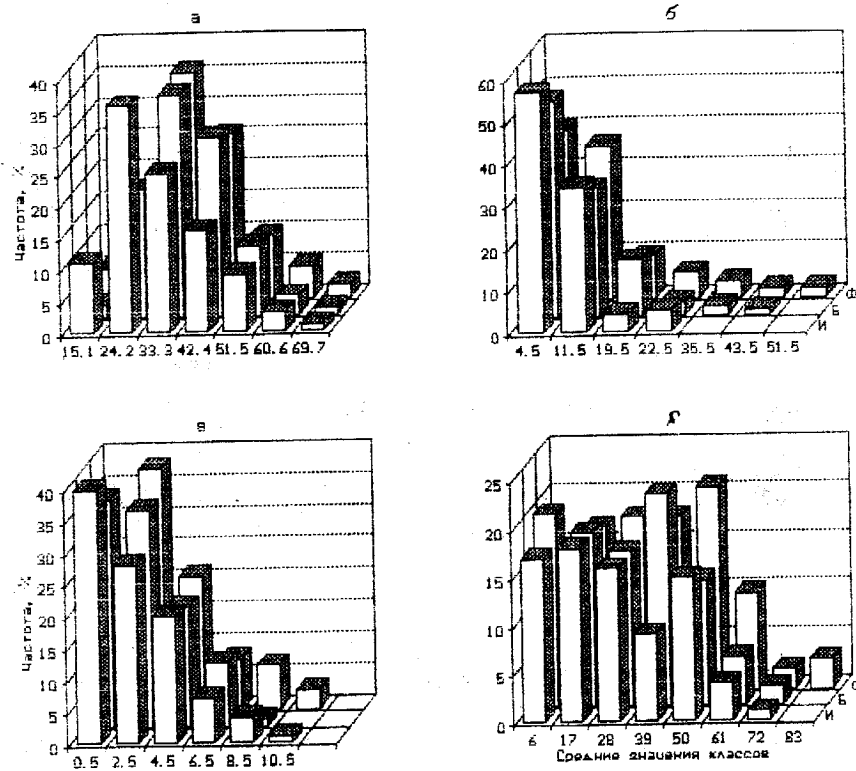


Рис. 4. Полигоны распределения частот признаков *C. tectorum*. а - высота растений, см; б - число соцветий; в - число боковых побегов; г - угол отклонения побега от главной оси.

Исследования европейских популяций данного вида ( Andersson, 1989) показали, что отбор в сорных и альварных популяциях благоприятствует особям с сильно ветвистым стеблем. Частотные полигоны

распределения особей по ряду признаков ( рис. 4) свидетельствуют о том, что при хроническом загрязнении в популяциях данного вида преобладают особи с небольшим числом соцветий, невысокой степенью ветвления и компактной формой. В популяции импактной зоны доля особей с одиночной корзинкой составляет 20% и доля особей с одной боковой веточкой - 20%. В популяции буферной зоны - без боковых веточек - 4% и с одной - 32%. В контрольной популяции - 9 и 13% соответственно.

Популяции *Crepis tectorum* состоят из одно- двулетних форм. Хроническое загрязнение вызывает изменения возрастной структуры популяций данного вида. В контрольных популяциях доля однолетних форм составляет в разные годы 80-90%, тогда как в популяциях загрязненных местообитаний - 10-40%. Морфометрические параметры, характеризующие виталитет особей и их вклад в генеративную сферу, выше у двулетних особей. Преобладание в контрольных популяциях однолетних форм может означать, что в обычных условиях самоподдержание популяции осуществляется, в основном, за счет высокой скорости обновления. Двулетние особи, обладающие пагивными свойствами ( низкие темпы развития), представляют резерв популяции при неблагоприятных условиях. Самоподдержание в популяциях загрязненных местообитаний осуществляется за счет увеличения продолжительности жизни особей.

Фертильность особей с увеличением загрязнения снижается: процент незавязавшихся семян на соцветие<sup>в</sup> контрольных популяций составляет 6.54-9.5, в промежуточной - 19.1, в 1 - 38.2%. Учитывая данные о снижении у особей в популяциях загрязненных местообитаний числа соцветий и числа образуемых семян на одно соцветие, можно сделать вывод о значительном снижении семенной продуктивности, что приводит, как известно, к нарушениям генетической структуры попу-

ляций (Sholz, Geburek, 1983).

У большинства изученных многолетних видов отсутствуют четко выраженные отличия по абсолютным значениям морфологических признаков. Напротив, линейные размеры, значения количественных признаков в популяциях импактных зон предприятий могут иметь более высокие значения. Уменьшение вклада в репродуктивную сферу наблюдается только у *V. inermis*. Свидетельством негативного воздействия на ценобионты многолетних видов может служить полимеризация гомологичных структур (числа модулей, колосков в соцветии и т.д.), что по мнению Ф.М. Куперман (1978) происходит при задержке развития особи на тех или иных этапах онтогенеза. Изменения под воздействием загрязнения достаточно четко отражаются в изменении внутривидовой корреляционной структуры (рассмотрено на примере *C. tectorum* и *V. inermis*) - происходит нарушение сложившихся корреляций между признаками и усиление корреляционных связей.

Популяции *V. cracca* загрязненных и чистых местообитаний различаются по темпам прироста и интенсивности отрастания. Более низкими темпами прироста и большей поливариантностью по интенсивности отрастания отличается популяция импактной зоны. Самыми низкими темпами прироста в ней обладают ценобионты отрастающие в первую неделю - среднесуточный прирост за весь период роста составляет  $0.91 + 0.03$  см. Ценобионты, отрастающие в последующие две недели имели средний прирост  $1.27 + 0.08$  и  $1.46 + 0.09$  см соответственно. Большая часть ценобионтов популяции (65,3%) прорастает в первую неделю и характеризуется низкой скоростью роста. В контрольной популяции наоборот - среднесуточный прирост большей части (84%) ценобионтов отрастающих в первую неделю, более высокий ( $1.79 + 0.05$  см), в сравнении с приростом более поздно появляющихся ценобионтов

( $1.36 + 0.1$ ). Промежуточная популяция (уровень содержания фтора превышен в 100 раз) имеет самый высокий среднесуточный прирост. Популяции загрязненных местообитаний обладают повышенной смертностью ценобионтов: за период наблюдений доля погибших ценобионтов в популяции импактной зоны в разные годы составляет 1.75-11.5, в промежуточной - 0-1.5, в контрольной - 0%.

ГЛАВА 7. Аномалии в развитии органов растений, произрастающих в условиях хронического загрязнения фтором.

В окрестностях предприятий эммитирующих соединения фтора происходит повышение частоты появления аномалий в развитии органов и их частей (табл.2,3). Наиболее характерной реакцией на загрязнение окружающей среды соединениями фтора можно назвать амплификацию гомологичных структур - частей цветка, листа, количества листьев, побегов и т.д. Ошибки в развитии проявляются в трансформации или редукции органов и их частей, нарушениях в месте закладки органа.

Таблица 2.  
Частота отклонений в развитии сложного листа *Vicia cracca* L.

Название аномалии	Ценопопуляции			
	П-0	П-1	П-2	П-3
1 Непарные листочки	46.6	46.6	33.3	18.1
2 Дефасциация простого листочка	3.3	0	0	0
3 Трансформация листа в усик	0	0	6.6	0
4 Трансформация усика в лист	3.3	0	0	0
5 Редукция усиков	9.9	0	6.6	0
6 Нарушение в закладке органа	0	3.3	6.6	0

Примечание: П-0,1 - популяции импактной зоны; П-2 - буферной; П-3 - контроль.

Таблица 3.

Некоторые типы аномалий и их частота (%) у растений, произрастающих в условиях хронического загрязнения фтором

Тип аномалии	ПКЗ	Контроль	БРАЗ	Контроль	Виды растений
Махровость	40	7.5	-	-	Ranunculus repens (300)
	-	-	33	13	R. borealis (150)
	0.1	0	-	-	Chamerion angustifolium (800)
Фасциация цветков	-	-	2	0	R. borealis (150)
Дефасциация лепестков	-	-	30	8	---
Дефасциация листа	2	0	-	-	Crepis tectorum (200)
	3.3	0	-	-	Vicia cracca (120)
Дефасциация соцветия	4	0	-	-	Chamerion angustifolium (1040)
Фасциация соцветий	-	-	6	0	Taraxacum officinale (180)
Фасциация стебля и листа	1	0	-	-	Crepis tectorum --- (200)
Химеры	3	0	-	-	---

Примечание: в скобках - объем выборки.

Известно, что в зависимости от условий произрастания один и тот же вид может развиваться и как монокарпик, и как поликарпик. Для ряда монокарпичных видов отмечено усиление поликарпичности по мере продвижения на север (Серебряков, 1952). Описанные случаи перехода типичного монокарпика *Crepis tectorum* к олигокарпии в условиях хронического техногенного воздействия свидетельствуют о том, что загрязнение - один из мощных экологических факторов окружающей среды.

ВЫВОДЫ.

1. Аэротехногенное загрязнение окружающей среды фтором вызывает повышение неспецифичного элемента во всех компонентах лесных фитоценозов. Происходит общее повышение уровня содержания фтора на значительных расстояниях от источника загрязнения. Наибольшее количество токсиканта аккумулируется в моховом покрове и подстилке. Виды травянистых растений, сформировавшиеся на богатых и засоленных почвах обладают повышенной поглотительной способностью по отношению к токсиканту и часто более устойчивы к загрязнению.

2. В исследованной геохимической провинции наблюдается значительная трансформация травяно-кустарничкового яруса лесных ценозов, выражающаяся в снижении видового разнообразия и продуктивности, изменении флористического состава и структуры сообществ. Зависимость изменений интегральных параметров ценозов, как правило, носит нелинейный характер. Значения параметров при средних нагрузках часто превышают фоновые. По градиенту загрязнения происходит увеличение бета-разнообразия сообществ. Горизонтальная гетерогенность внутри ценоза также выше в импактной зоне, но наименьшая в буферной.

3. Наиболее сильным преобразованиям подвергается типологическая структура ценозов. Отмечается высокая чувствительность неморального компонента ценозов, видов олиготрофных и тенистых местообитаний. Повышенную толерантность проявляют виды открытых, эвтрофных местообитаний, ксерофитного облика и с высокой экологической пластичностью. При высоких нагрузках происходит уменьшение разнообразия жизненных форм. Вольшую устойчивость среди феноритмологических групп имеют зимнезеленые виды.

4. Все изученные интегральные параметры хорошо индицируют силь-

ное загрязнение. Значительные разногодичные флуктуации значений затрудняют индикацию средних уровней загрязнения. Состав таксонов на уровне семейств и родов, состав биоморф, достаточно четко индицируют только высокие уровни нагрузки. Изменения в типологической структуре сообществ фиксируются уже при нагрузке в 2-3 отн. ед.

5. Меньшая стабильность всех изученных параметров характерна для сообществ при нагрузке от 20 до 65 отн. ед. по содержанию в травостое и 10-15 отн. ед. - по содержанию в почве. В этом же диапазоне происходят значительные преобразования всех параметров ценозов, ведущие к возникновению качественно иных сообществ. Демутационные процессы происходят крайне низкими темпами и прослеживаются только по изменению типологической структуры.

6. Ответная реакция одно-, двулетнего вида на хроническое загрязнение проявляется в уменьшении площади контакта с токсичными веществами, снижении фертильности и общего числа образуемых семян, в изменении возрастной структуры в сторону увеличения числа двулетних особей.

7. Реакция на хроническое загрязнение многолетних видов неоднозначна. Отрицательная реакция может не фиксироваться или проявляться лишь в изменении относительных показателей. Абсолютные значения мерных признаков в популяциях импактной зоны могут быть выше фоновых значений. Также как и в популяциях малолетних видов, изменения под действием загрязнения у многолетних видов достаточно четко отражаются в изменении внутривидовой корреляционной структуры: загрязнение вызывает нарушение сложившихся корреляций между признаками и усиление корреляционных связей. В условиях хронического загрязнения в популяциях преобладают ценобионты с низкой скоростью роста, в популяциях фоновых территорий - с высокой. Популяции заг-

рязненных местообитаний характеризуются более высокой смертностью ценобионтов и большей поливариантностью по скорости отрастания.

8. У растительных организмов, подвергающихся хроническому загрязнению фтористыми соединениями, происходит увеличение частоты появления аномалий в развитии особей, органов и их частей. Наиболее характерным проявлением реакции на фтористое загрязнение является амплификация гомологичных структур. Нарушения в онтогенетическом развитии могут проявляться в изменении жизненной формы особи, перерождении органов, изменения их местоположения.

#### СПИСОК РАБОТ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Трубина М.Р., Прямоносова С.А. Лесные фитоценозы в условиях фтористого загрязнения // Экологические системы Урала: изучение, охрана, эксплуатация. Тез. докл. Свердловск, 1987. С. 53.
2. Трубина М.Р. Серуакумулялирующие способности растений // Изучение, охрана и рациональное использование природных ресурсов. Тез. докл. Уфа, 1987. С. 32.
3. Трубина М.Р. Влияние промышленных выбросов на морфоструктуру растений // Изучение, охрана и рациональное использование природных ресурсов. Тез. докл. Уфа; 1989. С. 119.
4. Трубина М.Р. Устойчивость растений к техногенному загрязнению // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития. Тез. докл. Киев, 1990. С. 151.
5. Трубина М.Р. Направленность динамики лесных фитоценозов в районах действия предприятий цветной металлургии // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тез. докл. Москва, 1990. С. 612-614.
6. Махнев А.К., Трубина М.Р., Прямоносова С.А. Лесная растительность в окрестностях предприятий цветной металлургии // Естествен-

ная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала. Свердловск, 1990. С. 3-40.

7. Трубина М.Р. Аккумуляция фтора в лесных фитоценозах в районе криолитового завода // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала. Свердловск, 1990. С.129-142.

8. Трубина М.Р. Аномалии у некоторых видов травянистых растений в импактных зонах промышленных предприятий // Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. Свердловск, 1991. С.96-99.

9. Трубина М.Р. Тенденции в динамике состава экоморф при аэротехногенном загрязнении // Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. Екатеринбург, 1992, С.93-107.

10. Трубина М.Р. Аэротехногенное загрязнение и особенности травянистых растений на различных уровнях организации // Устойчивое развитие : загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность. Тез. докл. Днепропетровск, 1995, С.25.

11. Трубина М.Р. Пространственная структура сообществ в условиях фтористого загрязнения // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Тез. докл. Екатеринбург, 1996. С. 154-156.

---

Подписано к печати 14.11.96 г. Формат 60x84 1/16  
Объем: 1.0 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ 174.

---

Издательский дом Уральской государственной сельскохозяйственной академии.  
620219, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта дом 42.