

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

©И.Н.Павлов

УДК 630*907.1

Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, Россия

Устойчивое снижение техногенных выбросов Братского алюминиевого завода с 1993 года стимулировало как увеличение количества подроста хвойных, так и его рост по высоте и по диаметру. Из хвойного подроста на территории доминирует сосна обыкновенная, значительно превышая по количеству и биометрическим показателям более газоустойчивые виды: ель сибирскую и лиственницу сибирскую. В зоне высокого атмосферного загрязнения обнаружены особи сосны с высоким линейным приростом побегов и с небольшим верхушечным некрозом хвои, имеющие преимущественно по три хвоинки в пучке. Полученные результаты могут быть использованы при отборе наиболее адаптированных к промышленному загрязнению форм древесных растений.

Permanent (since 1993) dropping of the technogenic emission has stimulated coniferous undergrowth in terms of its number as well as the yield (both height and width). Among the coniferous undergrowth, *Pinus silvestris* dominates at the territory, sufficiently outmatching more gas-persistent species such as *Siberian Fir* and *Larch* by the number and biometric indices. At the zone of intensive atmospheric emission, some pine individuals with high linear increment of seedlings and minor top needle necrosis (usually three needles in a bundle) have been revealed. The data obtained are usable for the purposes of selecting the most adjusted (to industrial emissions) forms of lignosa.

Техногенное загрязнение является сильнодействующим фактором, во многом определяющим процессы возобновления. При этом если на первом этапе после снижения полноты в результате выпадения наиболее чувствительных видов и особей возможно увеличение количества подроста, то в последующем, по мере снижения буферной ёмкости экосистемы, дальнейшего разрушения эдификаторного яруса, возможно полное уничтожение подроста. В.Г. Антипов (1979) отмечает, что изменение всей экосистемы оказывает несравненно большее воздействие, чем только увеличение концентрации промышленных выбросов.

Деградационным сукцессиям в техногенных зонах уделено достаточно внимание (Илькун, 1978; Груздев, Груздева, 2002; Цветков, 1996 и др.). В то же время вопросы восстановления растительности после снижения уровня загрязнения или прекращения работы предприятия изучены ограниченно. Отмечается значительное запаздывание (5-7 лет) в проявлении ответной положительной реакции лесных экосистем на снижение выбросов Иркутского алюминиевого завода (Михайлова, Бережная, 2002). Авторы отмечают улучшение жизненного состояния древостоев сильного и среднего угнетения (по морфометрическим и физиолого-биохимическим показателям). Не отмечено появления некрозов хвои и суховершинности крон. При этом усиление хронической болезни установлено у древостоев сосны, ранее относящихся к слабой степени угнетения, расположенных

достаточно далеко от промузла (до 20-30 км), но по основным направлениям переноса выбросов. С нашей точки зрения, видимое улучшение жизненного состояния древостоев сильного и среднего угнетения вызвано не только снижением количества выбросов (снижение эмиссии компенсируется высокой кумулятивной способностью фтористых соединений), но и формированием фитоценозов с более устойчивой структурой (элиминация чувствительных видов и особей, в т.ч. перестойных).

В.Т. Ярмишко (1997) отмечает, что многолетнее загрязнение формирует инерционность обратного знака. Даже при полном прекращении техногенных выбросов длительное время токсичность почв будет ограничивать восстановление растительности.

Размещение Братского алюминиевого завода (БрАЗ) среди тайги привело к эффективной демонстрации техногенного воздействия на древесные сообщества. Через два года после пуска первых цехов завода (1968 г.) обнаружены начальные признаки разрушения. В 1980 году в результате аэровизуального обследования установлены видимые процессы деградации хвойных насаждений в радиусе 20-25 км от завода (Голутвин, Кондратов, Поповичев, 1980). В настоящее время в районе Братска повреждено свыше 80 тыс. га (алюминиевый, кремниевый заводы, БЛПК) (Мартынюк, Воронин, Жидков, Костенко, 1998).

К началу 70-х годов на плато к востоку от БрАЗа на расстоянии до 3 км произошло

полное разрушение светлехвойной тайги. В течение длительного времени на территории доминировали (при значительном угнетении, усыхании вершины): ива козья, ива пятитычиночная, кизильник черноплодный, осина, береза повислая. Единичные экземпляры сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, ели сибирской в возобновлении под некоторой защитой

лиственного полога имели высоту не более 0,5-1 м.

Устойчивое снижение выбросов (по HF) с 1993 года (в 2 раза к 2001 году) стимулировало как увеличение количества подроста хвойных, так и его рост в высоту и по диаметру. Общая характеристика возобновления представлена в таблице 1.

Таблице 1. Характеристика возобновления в зоне распространения выбросов БрАЗа (0,5 - 2 км на восток)

Порода	Количество, шт/га			
	мелкий, 0,1-0,5 м	средний, 0,5-1,5 м	крупный, >1,5 м	в пересчете на крупный
Сосна обыкновенная	83	97	21	140
Ель сибирская	29	17	3	31
Лиственница сибирская	7	5	4	12
Береза повислая	230	210	90	373
Осина	64	130	80	216
Ива (пятитычиночная и козья)	80	290	260	532

Из хвойного подроста на территории доминирует сосна обыкновенная, значительно превышая и по количеству, и по биометрическим показателям более газоустойчивые виды - ель сибирскую и лиственницу сибирскую. Сосна доминировала на данной территории до появления завода и, видимо, лучше приспособлена к конкретным лесорастительным условиям. Значительное угнетение ели вызвано ее более высокой чувствительностью к влажности воздуха, избытку солнечной радиации, недостатку влаги, низким температурам. Возобновление ели на открытых площадях затруднено даже при отсутствии загрязнения. Естественно, что большое количество техногенных выбросов только усиливает отрицательное действие климатических факторов. В результате образуется стелющаяся многовершинная форма. Плохое возобновление лиственницы вызвано, прежде всего, отсутствием достаточного количества обсеменителей. Однако, ее равномерное распределение среди возрастных групп, устойчивый линейный прирост, отсутствие многовершинности и значительных некрозов хвои свидетельствует о газоустойчивости данного вида.

Для изучения динамики роста сосны обыкновенной были измерены линейные приросты ствола по мутовкам у 152 особей в

возрасте 15-20 лет. В качестве контроля были взяты 113 экземпляров того же возраста вне прямого действия источников техногенного загрязнения (фоновый уровень). Измерены приросты за последние 10-15 лет. На рисунке 1 представлена динамика прироста сосны обыкновенной. Установлено, что текущий линейный прирост подроста под факелом БрАЗа не подвержен значительной изменчивости по годам. Заложенный потенциал роста позволяет удерживать прирост на минимальном уровне, сохраняя растения жизнеспособными. Однако, неясно, насколько длительным будет использование данного адаптационного механизма.

Подрост под факелом завода по высоте сгруппирован в три кластера. Для всех групп характерна синхронность изменения прироста. В то же время для крупных экземпляров характерна более значимая положительная реакция на улучшение условий произрастания (оптимизация температуры и количества осадков, снижение выбросов) с 1999 г. (рисунок 2). Особи с большим (на 55 %) текущим приростом обладают повышенной газоустойчивостью и перспективны для дальнейшей селекции. Одним из наиболее значимых показателей газоустойчивости является продолжительность жизни хвои.

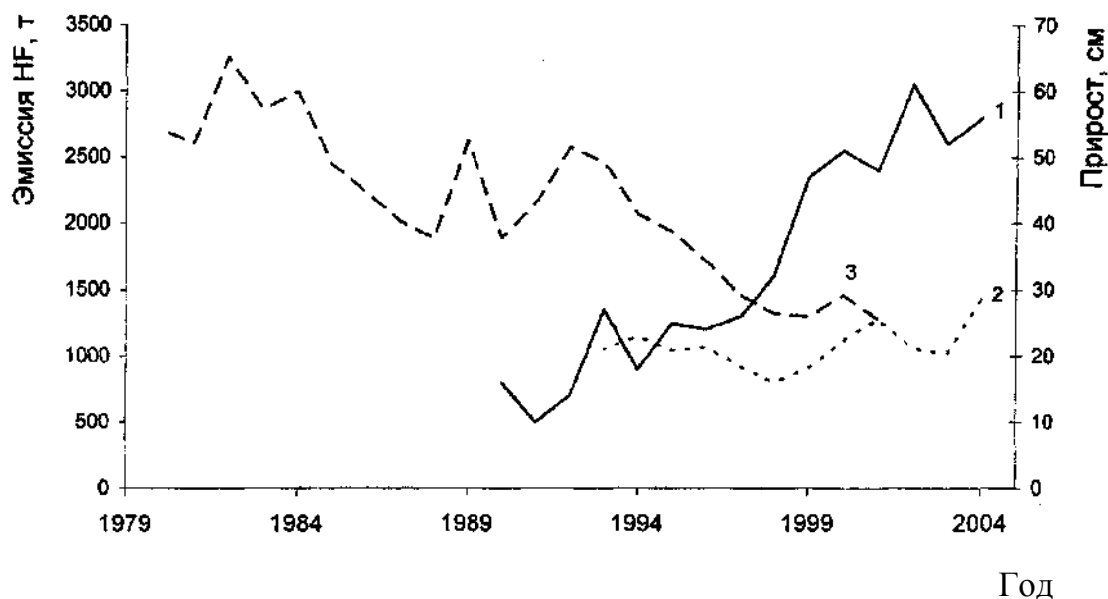


Рисунок 1 - Динамика загрязнения и роста сосны обыкновенной (1- контроль; 2- под факелом БрАЗа; 3- эмиссия HF)

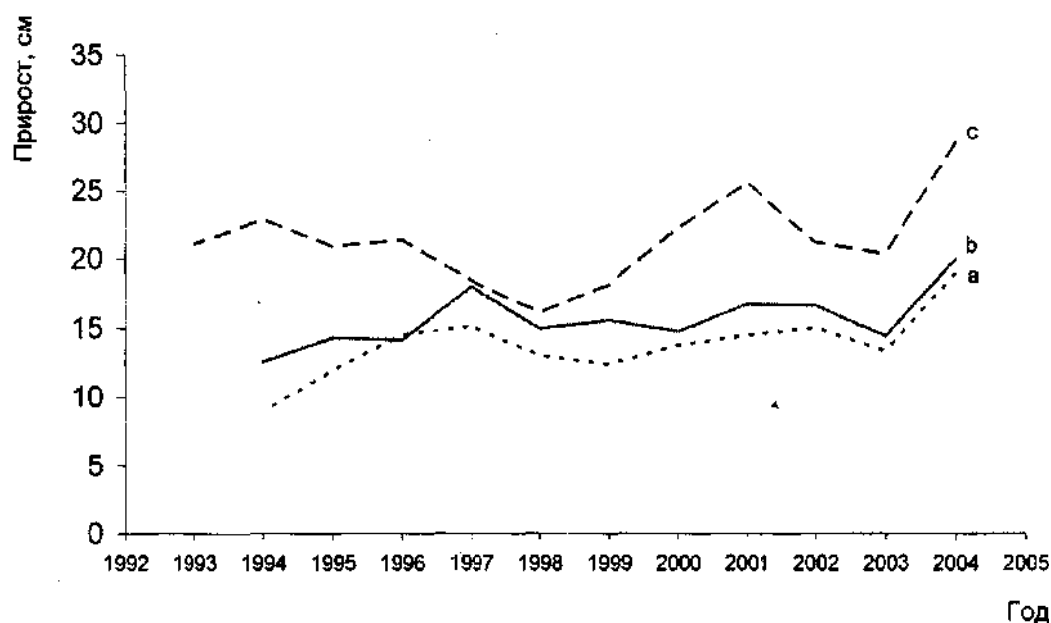


Рисунок 2 - Динамика роста сосны обыкновенной под факелом БрАЗа (при высоте подроста: а- 0,4-1,4 м; б-1,5-1,7 м; с - 1,8-3,5 м)

Установлена корреляция между продолжительностью жизни хвой на центральном стволе и текущим линейным приростом ($r=0,38$) (таблица 2). Несколько более высокие значения коэффициента корреляции обнаружены между продолжительностью жизни хвой на боковых побегах (в 2004 г.) и линейным приростом ствола 2002 г. ($r= 0, 41$) и 2001 г. ($r= 0, 42$). Отсутствие зависимости продолжительности

жизни хвой на стволе от значения прироста более ранних лет (2003 г. и ранее) определяется отсутствием хвой старше 2 лет (ее средний возраст - 1,7 года). Приходилось наблюдать полную дефолиацию хвой исключительно на вершине ствола. Для контроля характерно отсутствие зависимости между продолжительностью жизни хвой на боковых побегах и текущим приростом ствола.

Таблица 2 - Коэффициенты корреляции между продолжительностью жизни хвои и текущими приростами

Показатели		Высота		Продолжительность жизни хвои на				Текущий прирост ствола по высоте							
		К*	А	стволе		боковых побегах		2004		2003		2002		2001	
				К	А	К	А	К	А	К	А	К	А	К	А
Продолжительно	стволе	-0,08	0,18	1,00	1,00										
	боковых побегах	0,19	0,18	0,65	0,35	1,00	1,00								
Текущий	2004	0,77	0,54	-0,35	0,38	-0,06	0,10	1,00	1,00						
	2003	0,74	0,50	-0,33	0,09	-0,12	0,09	0,82	0,49	1,00	1,00				
	2002	0,82	0,49	-0,24	0,17	-0,07	0,41	0,75	0,40	0,76	0,50	1,00	1,00		
	2001	0,83	0,61	-0,12	0,24	0,09	0,42	0,56	0,38	0,61	0,36	0,75	0,44	1,00	1,00
	2000	0,73	0,49	-0,20	-0,05	0,05	0,10	0,44	0,27	0,41	0,40	0,54	0,36	0,64	0,51

*- К- контроль; А - под факелом Братского алюминиевого завода

Таблица 3 - Статистические показатели хвои сосны обыкновенной

Условия произрастания		Дисперсия	Коэффициент	Асимметрия	Эксцесс	Критерии нормальности			
						Колмогоров			Шапиро-Уилка
Характеристика хвои									
Контроль		1,	17,5	0,9	0,	0,11			0
Под факелом		2,	26,7	0,2	0,	0,03			0
Характеристика верхушечного									
Под факелом		1,	107,8	1,7	4,	0,17			0

Таблица 4 - Корреляционная матрица биометрических показателей подроста сосны обыкновенной (БрА3)

Показатели		Высота	Текущий прирост	Продолжительность жизни хвои на		Ожог	Длина
				стволе	боковых побегах		
Текущий прирост ствола		0,68	1,00				
Продолжительность	стволе	0,18	0,22	1,00			
	боковых побегах	0,18	0,23	0,37	1,00		
Ожог хвои		0	0	-0,36	0	1,00	
Длина хвои		0	0	0,16	0,17	-0,42	1,00
Количество хвои в пучке		0	0	0	0	0,10	0,54

В 2004 году, несмотря на увеличение годовичного прироста центрального побега (на 39 %) наблюдалась дефолиация хвои текущего года и ее верхушечный ожог на части деревьев. Хвоя в силу её более высокой чувствительности к залповым выбросам, текущему загрязнению в сочетании с определенными климатическими условиями реагирует в первую очередь. В текущем приросте боковых побегов, ствола деревьев, особенно с продолжительным сроком жизни хвои, проявляется значительное влияние условий произрастания (погода, загрязнение) предыдущего года. Следовательно, после значительных ожогов и дефолиации хвои на следующий год следует ожидать снижение прироста ствола.

Для подростка сосны под факелом алюминиевого завода характерна меньшая зависимость текущего линейного прироста ствола от прироста предыдущего года (алюминиевый: $r=0,27 - 0,51$; контроль: $r=0,41 - 0,82$). Аналогичная закономерность характерна и при оценке корреляции между высотой подростка и приростом предыдущих лет (алюминиевый: $r=0,49 - 0,61$; контроль: $r=0,73 - 0,83$). Причина заключается в преобладании экзогенных факторов (прежде всего техногенное загрязнение) над эндогенными, а также неравноценность техногенной нагрузки по вегетационным периодам (появление значительных ожогов хвои может возникать случайно - при определенном сочетании климатических параметров с залповыми выбросами). Чрезвычайно высокое атмосферное загрязнение, приведшее к разрушению древостоя, вызывает незначительное снижение средней длины хвои (на 14 %, $P<0,001$) при значительном увеличении (на 53 %) коэффициента варьирования (таблица 3). Распределение хвои по длине под факелом завода более равномерное с незначительной положительной асимметрией (0,22) (рисунок 3). Распределение хвои по длине в контроле имеет правостороннюю асимметрию (0,92) и значительную группировку в центральных ступенях (эксцесс - 0,81). Хвоя длиной менее 4 см не встречается. На основании критериев Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка установлено, что распределение хвои не подчиняется закону нормального распределения. С помощью функции Вейбула получено удовлетворительное описание распределения длины хвои в

контроле ($R^2=0,97$; $P=0,18$ по критерию Холлendera-Прошана) и под факелом завода ($R^2=0,99$; $P=0,99$).

В распределении хвои по длине ожога по мере приближения к заводу выявлено снижение количества хвои без повреждения (рисунок 4). Сглаживание проведено экспоненциальной функцией.

Степень индивидуальной устойчивости сосны определяет особенности роста. Среди экземпляров, достигших 10-20-летнего возраста, встречаются как особи со значительными ожогами хвои и угнетенными ростовыми процессами, так и экземпляры, имеющие высокий линейный прирост побегов, длинную хвою с незначительным некрозом на центральном побеге.

Явно выделяются две группы растений по степени газоустойчивости (условно устойчивые - отсутствие ожогов или редко встречающаяся хвоя с небольшим верхушечным некрозом (не более 2 мм), продолжительность жизни на центральном побеге - 2 года, на боковых побегах - 3 года); чувствительные - наличие некроза практически на каждой хвоинке, значительная дефолиация, продолжительность жизни на центральном побеге - 1 год, на боковых побегах - 2 года).

Основой популяционной адаптации растений являются исходная генетическая гетерогенность, морфологическая и физиологическая изменчивость особей в популяции. Под популяционной адаптацией к химическому „загрязнению среды следует понимать способность природных ценопопуляций растений нормально функционировать, поддерживая свое обилие. Механизмы адаптации реализуются путем отбора наиболее резистентных к конкретному токсическому фактору или более плодовитых особей, а также за счет миграционных процессов со смежных территорий. Наличие в популяции особей, в разной степени приспособленных к экстремальным условиям минерального питания, способствует возникновению устойчивых сообществ (Алексеева-Попова и др., 1984; Семериков, Завьялова, 1990, Безель и др., 1994). Высокая индивидуальная изменчивость по газоустойчивости выявлена у сосны обыкновенной (Мамаев, Николаевский, 1968; Макаров, 1980; Новиков, 1990 и др.).

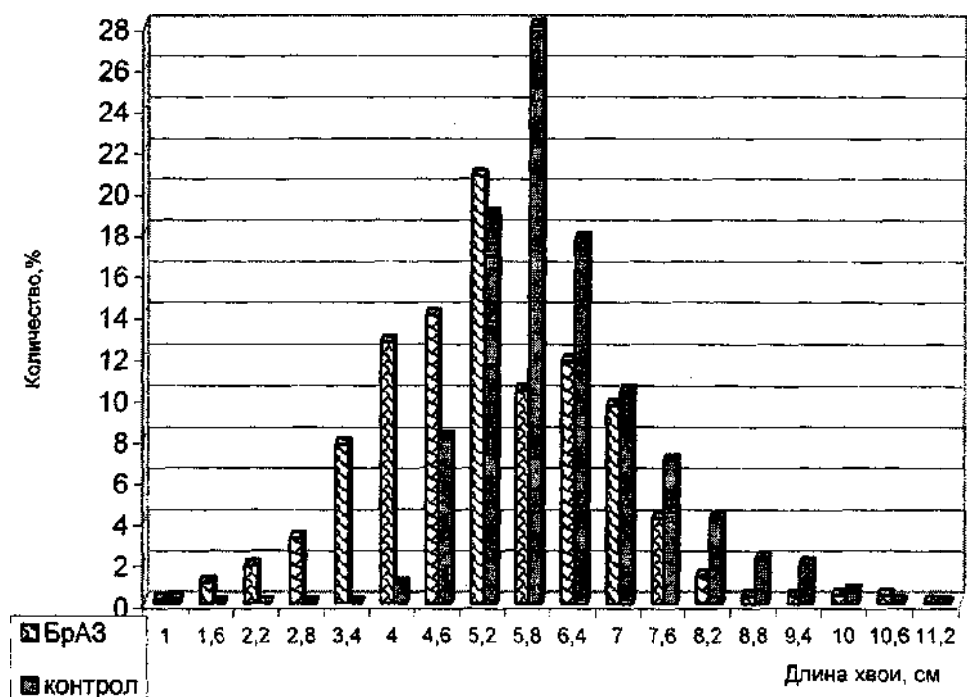


Рисунок 3 – Распределение хвои по длине

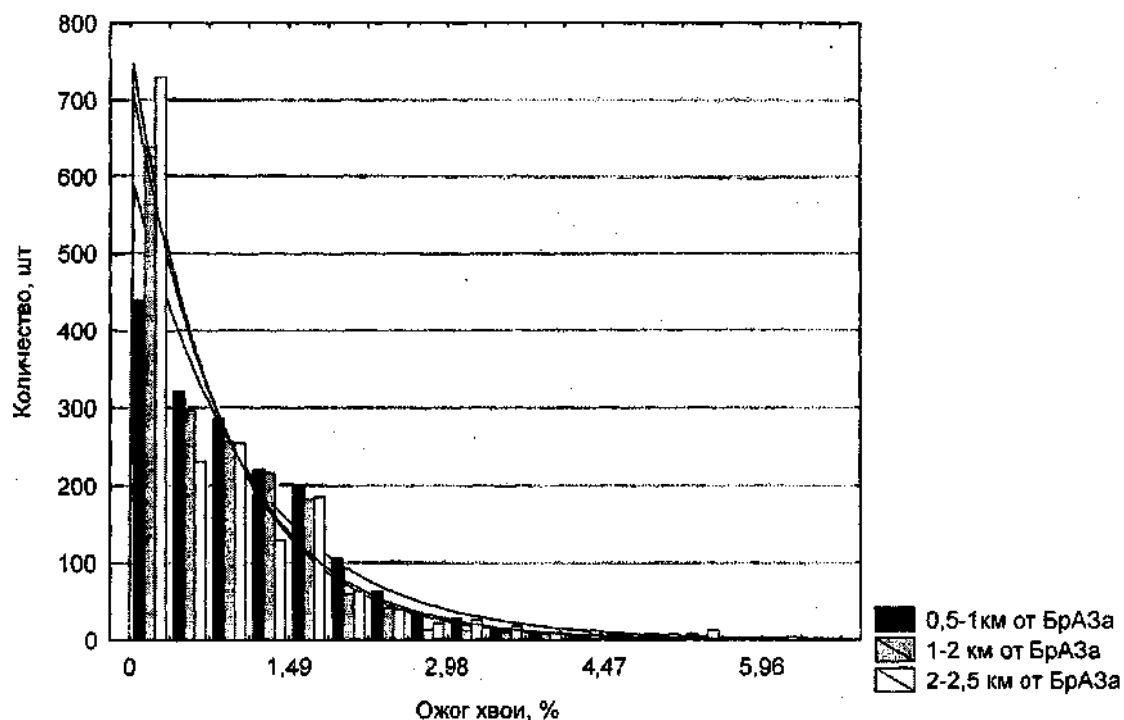


Рисунок 4 - Распределение хвои по длине ожога

Чрезвычайно важным является определение признаков по которым можно вести отбор газустойчивых особей. Под факелом алюминиевого завода в зоне высокого атмосферного загрязнения визуально были обнаружены особи сосны с небольшим верхушечным некрозом, имеющие преимущественно по три хвои в

пучке. Несмотря на то, что корреляционный анализ не выявил зависимости между количеством хвои в пучке и степенью некроза (таблица 4), кластерный анализ позволил выделить эти особи в отдельную группу с ожогом хвои не более 20 % (рисунок 5).

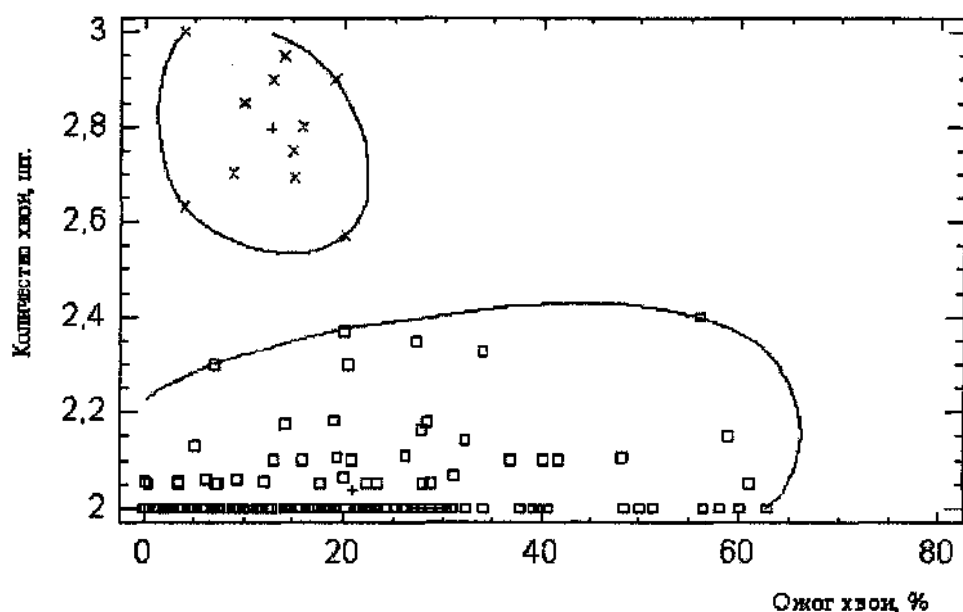


Рисунок 5 - Результат кластерного анализа (Ward's, Squared Euclidean)

Для трехвойных особей сосны, обладающих повышенной газустойчивостью, характерна и более длинная хвоя (рисунок 6).

Полученные результаты могут быть использованы при отборе наиболее

адаптированных форм сосны обыкновенной, произрастающих в условиях промышленного загрязнения фторсодержащими аэрополлютантами.

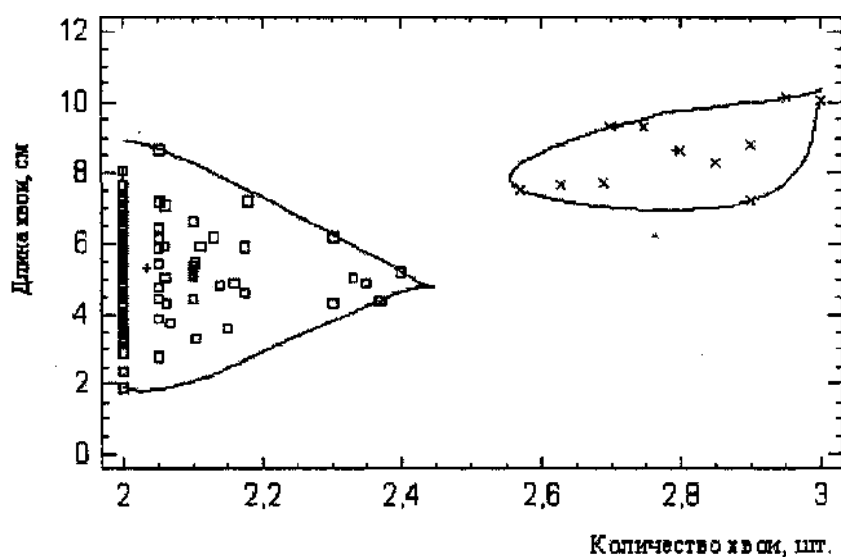


Рисунок 6 - Выделение двух кластеров (по среднему количеству хвои в пучке)

Библиографический список

1. Алексеева - Попова Н.В., Косицин А.В., Игошина Т.И., Ильинская Н.Л. Металлоустойчивые популяции *Aster alpinus* (Asteraceae) на обогащенных свинцом, цинком и медью почвах луговых степей северо-востока Башкирской АССР // Бот. журн. - 1984. - Т. 69. - № 4. - С. 466-473.

2. Антипов В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам. - Минск : Наука и техника, 1979. - 216 с.

3. Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейник Е.Л. Популяционная экотоксикология. - М.: Наука, 1994. - 80 с.

4. Голутвин Г.И., Кондратов В.И., Поповичев Б. Г. Динамика состояния сосняков в зоне интенсивных промышленных выбросов // Экология и защита леса: Межвуз.

сб. научн. тр. - Л.: ЛТА, 1980. - Вып. 5. - С. 104-110.

5. Груздев С. В., Груздева Л. П. Трансформация экосистем лесопарков в зоне влияния металлургических предприятий // Устойчивое развитие административных территорий и лесопарковых хозяйств. Проблемы и пути их решения: Материалы научно - практической конференции. Москва, 30-31 окт., 2002. - М, 2002. - С. 173-175.

6. Илькун Г.М. Загрязненность атмосферы и растения. - Киев: Наукова думка, 1978.-247 с.

7. Макаров Н.М. Внутри-популяционная изменчивость сосны обыкновенной по газоустойчивости: Автореф. дис. канд. биол. наук. Свердловск, 1980.-23 с.

8. Мамаев С.А., Николаевский В.С. Некоторые особенности повреждаемости сернистым газом проростков сосны обыкновенной // Физиология и экология древесных растений.- Свердловск, 1968. - С. 203-207.

9. Мартынюк А.А., Воронин Ю.Б., Костенко А.В., Ромашкевич Б.В. Нормирование техногенного воздействия на

лесные экосистемы // Лес. х-во. - 1998. - № 1. - С. 25-27.

10.Ю.Михайлова Т. А., Бережная Н.С. Динамика состояния сосновых лесов при изменениях эмиссионной нагрузки // Сиб. экол. ж. - 2002. - 9. № 1.-С. 113-120.

11.П.Новиков М.Н. Изменчивость сосны обыкновенной под влиянием промышленных выбросов. Автореф. дис. канд. с.-х. наук.- М., 1990. - 18 с.

12. Семериков Л.Ф., Завьялова Н.С. Влияние нефтяных загрязнений на изменчивость канареечника тростниковидного (*Phalaroides arundinacea*) // Экология. —1990. -№2.-С. 31-33.

13.Цветков В.Ф. К динамике лесных экосистем в зоне аэро-техногенного загрязнения // Междунар. науч. конф. Влияние атмосферного загрязнения и др. антропог. и природ. факторов на дестабилиз. состояния лесов Центр, и Вост. Европы [Москва, 1996]: Тез. докл. Т. 1. - М, 1996. - С. 18-20.

14.Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере.- СПб: Изд - во НИИ химии СПбГУ, 1997.-210 с.

Поступила в редакцию 20 декабря 2004 г.

