

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

=====

Биологический факультет

На правах рукописи

875 04

5 июл 2000

ОЦХЕЛИ Ольга Валерьевна

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ  
КОМПЛЕКСА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ФАКТОРОВ НА  
ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ *P. abies* (L.) и *P. pungens* (L.) *Glauca*

03.00.29 – охрана живой природы

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Москва 2000

Работа выполнена в лаборатории экологии и охраны природы  
кафедры высших растений Московского Государственного  
Университета им. М. В. Ломоносова

Научные руководители:

Доктор биологических наук  
Д. Н. Кавтарадзе

Кандидат биологических наук  
ст. науч. сотр. Л. Ф. Николаева

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук  
профессор В. А. Абакумов

Доктор биологических наук  
Д. Н. Маторин

Ведущая организация: Институт физиологии растений

Защита диссертации состоится 8 июня 2000 г. в 15<sup>30</sup> на заседании  
диссертационного совета Д 053.05.91 МГУ по адресу: 119899, Москва,  
Воробьевы Горы, биологический факультет, аудитория 389.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке биологического  
факультета МГУ.

Автореферат разослан 6 мая 2000 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Н. В. Карташева

E 581.4, 0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Экологическая безопасность автодорожной сети городов, занимающих все большее жизненное пространство ландшафта, стала сегодня мировой проблемой. Факторы воздействия автотранспортных сетей и самого автотранспорта на природные комплексы более многообразны и многочисленны, чем это было принято считать. К таким факторам относится фрагментация наземных экосистем, приводящая к уменьшению численности видов растений и животных, изменению видового состава придорожных экосистем, что при общей протяженности российских автомобильных дорог с твердым покрытием более 750 000 км представляет собой серьезный антропогенный фактор. Помимо фрагментации ландшафта, имеет место прямое и опосредованное воздействие автотранспорта, вызывающее аэральное, почвенное, водное и биотическое загрязнение.

Так, один легковой автомобиль проходя в год в среднем 15 тыс. км потребляет приблизительно 4 т кислорода, сжигает около 2-3 т топлива и выбрасывает 3250 кг углекислого газа, 530 кг CO, 27 кг оксидов азота и 10 кг резиновой пыли [Бутовский, 1987; Тетиор, 1999; Гос. доклад, 1999].

Кроме того, технологические требования к поддержанию автодорог в должном состоянии приводят к дополнительному воздействию различных дорожных механизмов и химических веществ на придорожные экосистемы.

По ориентировочным оценкам лаборатории экологии и охраны природы кафедры высших растений МГУ, суммарная площадь придорожных экосистем, испытывающих влияние противогололедных реагентов (ПГР) в России достигает порядка 30 тыс. км, что составляет территорию средней европейской страны. Эти данные косвенно подтверждаются количеством используемых ежегодно ПГР только по одной Москве - 330 тыс. тонн хлоридов натрия и кальция, что при полном их расходе дает среднюю удельную нагрузку - 5 кг/кв.м. [Степанов, 1997].

Если в настоящее время в большинстве стран существует статистика по техногенному риску (известно, что применение ПГР снижает риск аварийности в 12 раз), то статистический учет риска биоте и экосистемам находится в стадии становления. А без его доказательного выявления трудно привлечь внимание практиков к проблеме сохранения экосистем.

Известно, что автотранспортная нагрузка в совокупности с применяемыми ПГР оказывает губительное воздействие на деревья и кустарники 14-18 % из которых составляют хвойные, из-за чего ежегодно в городах гибнет около 50% древесных зеленых насаждений, [Состояние зеленых насаждений.., 1996].

Учитывая, что древесные породы в современных городах занимают значительное место в озеленении, эколого-физиологические исследования таких пород в рамках воздействия на них

автотранспортного комплекса актуальны и являются необходимым этапом разработки принципов экологического нормирования.

**Цель и задачи исследования.** Целью настоящей работы была оценка сопряженного воздействия комплекса факторов "автотранспорт+автодорога" на придорожную растительность (на примере ели обыкновенной и колючей).

В связи с этим перед нами стояли следующие задачи:

1. Выявить нарушения на ранних стадиях биоповреждений взрослых особей ели обыкновенной и колючей, как возможный прогноз устойчивого развития придорожной растительности.

2. Изучить степень воздействия исследуемых автотранспортных факторов на репродукционный потенциал и морфометрические показатели семенной генерации исследуемых видов растений.

3. Исследовать сформированность пигментного аппарата и скорость обмена кислорода у проростков из семенного материала елей, подвергшихся воздействию комплекса автотранспортных факторов.

4. Изучить влияние комплекса автотранспортных факторов на генетический аппарат проростков исследуемых видов ели.

Самостоятельной задачей, поставленной в исследовании, было объединение отдельных методик и показателей в биологически и экологически значимый ансамбль, позволяющий доказательно характеризовать совокупную реакцию растений придорожных экосистем на универсальный комплекс факторов современной цивилизации – автотранспортную сеть.

**Научная новизна и практическая значимость работы.** Впервые исследовался "краевой эффект" суммарного воздействия автотранспортной нагрузки и фрагментации ландшафта на древесные породы на разных стадиях их онтогенеза и на разных уровнях системной организации объекта – морфологическом, клеточном, генетическом, тканевом.

Показана адекватность и перспективность эколого-физиологического подхода в оценке риска для придорожных фитоценозов.

Установлена функциональная взаимосвязь между техногенными факторами среды и жизненным состоянием ели обыкновенной и колючей форма "голубая" в "краевых" местообитаниях на всех исследованных уровнях организации растений.

Доказано, что системное исследование биоты фрагментированных местообитаний позволяет определить устойчивость растений, необходимую для решения проблемы устойчивого развития экосистем.

Использованный в работе комплекс методов может быть применен для ранней диагностики генетических изменений у потомства ели колючей и обыкновенной и прогноза риска биоразнообразию придорожных экосистем.

Предлагается использовать метод определения экзоосмоса внутриклеточных электролитов как экспресс метод для оценки риска

популяции ели и прогноза устойчивого развития экосистем фрагментированных местообитаний.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены и обсуждены на:

- заседаниях лаборатории экологии и охраны природы каф. высших растений биологического факультета МГУ;
- научно-методической и научно-исследовательской конференции в МАДИ(ТУ) (Москва, 1997);
- научно-практической конференции "Проблемы мегаполисов" (Москва, 1997);
- IV съезде экспертов IENE (ИнфраЭкоСетьЕвропы) (Владимир, 1997);
- научно-практической конференции "Автотранспортный комплекс и экологическая безопасность" Юго-Восточный округ (Москва, 1997-1999);
- международном научно-практическом симпозиуме "Дорожная экология XXI века" (Воронеж, 1999);
- конференция молодых ученых (Пушино, 2000);
- конференция студентов и аспирантов МГУ "Ломоносов" (Москва, 2000).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, общего заключения, выводов и списка литературы. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, включая 5 таблиц и 15 рисунков. Список литературы из 220 наименований, в том числе 80 работ зарубежных авторов.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор литературы (глава 1). В обзоре рассмотрена фрагментация ландшафта как следствие антропогенной нагрузки и дорожная сеть как один из факторов фрагментации. Дается определение фрагментации, описываются ее последствия и приводятся действующие группы факторов, проявляющие себя в "краевых зонах" и имеющие различную экологическую значимость.

Приводятся работы отечественных и зарубежных исследователей по оценке растительности нарушенных местообитаний на различных уровнях (состояние популяций; видовой состав; показатели жизнеспособности отдельных особей; особенности онтогенеза) [Folkson, 1994; Angold, 1997; Nature across motorways, 1995; Кавтарадзе, 1993].

Рассмотрено, как отдельное воздействие факторов автотранспортного комплекса на придорожную флору (газообразные вещества; тяжелые металлы автотранспортного происхождения; противогололедные реагенты) [Артамонов, 1986; Негруцкая, 1990; Гетко, 1990; Allen, 1990; Sading et al., 1989; Highway pollution, 1990; Николаева и др., 1998], так и их суммарный эффект на метаболизм растений придорожной зоны [Загрязнение воздуха..., 1986; Негруцкая и др., 1991; Savonen, 1990].

Сложность и характер описанных процессов в придорожных экосистемах приводят к необходимости разработки системного подхода к проблеме их сохранения и последующей реставрации [Тишков, 1996; Кавтарадзе и др., 1999]. Исследования придорожных фитоценозов позволяют выявить степень экологической и организменной пластичности природных объектов, а, значит, в перспективе дадут возможность выявить механизмы и пределы разрушений природных экосистем при строительстве и функционировании автодорог.

Каждая последующая глава содержит обзор литературы по конкретной тематике работы, что вызвано значительным разнообразием примененных нами методик.

## Глава 2. Объекты и методы

Объектом исследования послужили как взрослые особи, так и семенная гегнерация ели двух видов – обыкновенной *Picea abies* (L.) Karst и ели колючей форма "голубая" *Picea pungens* (L.) Glauca.

Было проведено эколого-физиологическое исследование на 27 опытных участках Москвы и ближнего Подмосковья. Участки находились в пригородных, парковых, охраняемых зонах и городских придорожных посадках обоих видов, вдоль автомагистралей с различной автотранспортной нагрузкой (от 5 до 2000 а/тр. ед./час) в отсутствии и при применении ПГР.

Возраст исследуемых деревьев определялся дендрохронологическим методом при помощи шведского бура [Sweingluber, 1996].

Для выявления возможных нарушений метаболизма у растений на ранних стадиях биоповреждений использовался метод проницаемости клеточных мембран однолетней хвои, оцененный по скорости вымывания внутриклеточных электролитов. Скорость вымывания внутриклеточных электролитов определялась на кондуктометре N-571 по оригинальной методике, разработанной на кафедре физиологии растений биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова.

Определение массы 1000 семян и исследование семенного материала на лабораторную всхожесть проводилось по ГОСТу 13056.4-67. Условия проращивания стандартные ( $t=25^{\circ}\text{C}$ ,  $w=97\%$ ). Прорастание оценивалось в процентах, за 100% принимали количество проращиваемых семян.

Морфометрические показатели проростков оценивали по изменению длины мутовки, гипокотыля, корешка и общей длины проростка у 10 проростков с каждого опытного участка.

Сформированность пигментного аппарата у проростков ели двух видов, выращенных в отсутствие света, определяли методом прижизненной низкотемпературной ( $77,2^{\circ}\text{K}$ ) флуоресценции. Спектры регистрировали в автоматическом режиме.

Световые кривые фотосинтеза изучали при освещении семядольных листьев проростков интегральным светом в полярографической ячейке, амперометрическим методом [Гавриленко и др., 1975].

Для выявления специфики генетического аппарата проростков ели обыкновенной и колючей форма "голубая" с нарушением биосинтеза

хлорофилла в отсутствие света использовали метод электрофореза изоферментов [Conkle et al., 1982; Cheliak, Pitel, 1984].

В таблицах и графиках приведены результаты экспериментов, полученных в двух - трех повторностях. Статистическая обработка результатов проводилась по стандартной методике обработки биологических проб [Плохинский, 1980], а также при помощи пакета программ "Statistics for Windows; 5.0" ("Тест Краскела Уоллиса", "Тест Манна Уитни", "Тест Шеффи" и 3-х факторный параметрический анализ MANOVA) и BIOSYS -1 [Swofford et al., 1981].

### Глава 3.1. Проницаемость клеточных мембран хвои как экологический показатель

Результаты исследования проницаемости клеточных мембран, оцененной по скорости вымывания внутриклеточных электролитов (в дальнейшем будем использовать сокращение МП) однолетней хвои с расположенных на территории Битцевского парка (ель обыкновенная) опытных (3-4 м от кромки автодорожного полотна) и принятых за контроль деревьев (100 м от автодороги) показали, что вблизи автодороги МП выше в 5,7 раза по сравнению с более отдаленным участком (рис. 1).

Аналогичная картина наблюдается и у ели колючей форма "голубая", произрастающих на территории МГУ, где МП клеточных стенок однолетней хвои принятого за контроль образца (60-80 м от проезжей части) была ниже по сравнению с опытным вариантом (3-4 м от автомобильной дороги у автотранспортной остановки) в 11 раз (рис. 1).

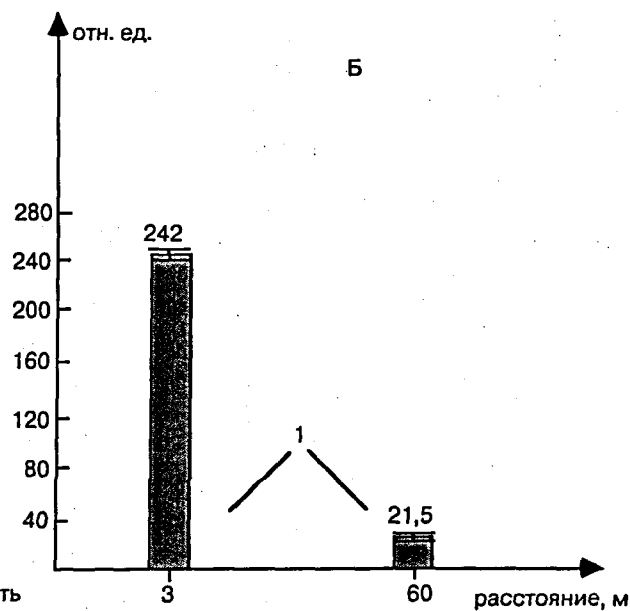
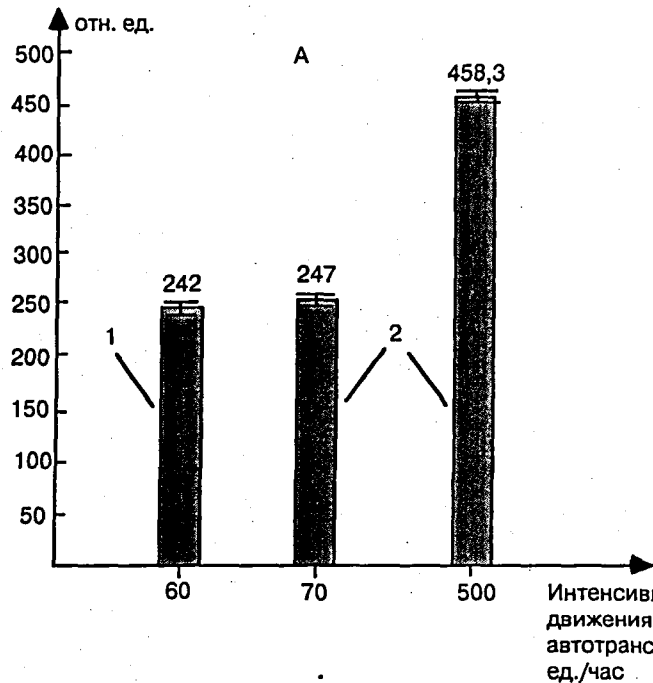
Данные по МП, полученные с одного дерева, произрастающего у автотранспортной остановки и вблизи стоянки автомашин, но с разных их сторон (обращенных к автодороге и с противоположной стороны) представлены на рис. 2.

У образцов хвои, взятой с ели обыкновенной, произрастающей на разделительной полосе (шириной 8 м) параметры МП со всех сторон дерева были одинаковыми (рис. 2).

Установлено, что: величина показателя МП увеличивается с уменьшением расстояния от автомобильной дороги и уменьшается при низкой интенсивности движения автотранспорта (рис. 1).

При определении проницаемости клеточных мембран возрастные различия не сыграли существенной роли.

На основании полученных нами результатов можно предположить, что на проницаемость протоплазмы клеток хвои оказывают влияние как ПГР так и аэральные поллютанты. Сложное воздействие комплекса автотранспортных факторов многообразно влияет на метаболические реакции растений [Кавтарадзе и др., 1999].



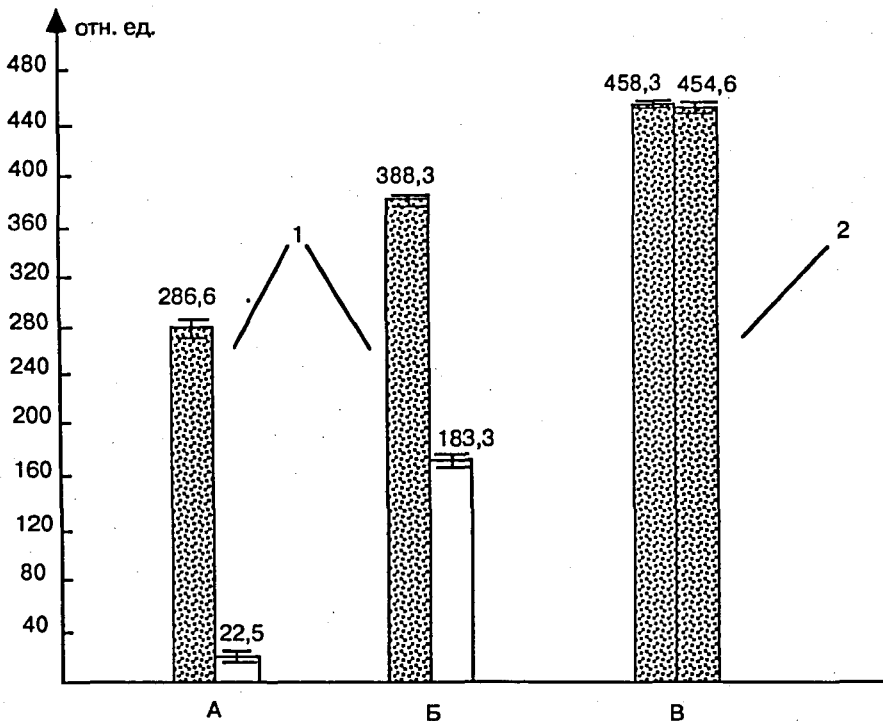
Б.

- 1 ель колючая
- 2 ель обыкновенная

Рис. 1

Скорость вымывания внутриклеточных электролитов однолетней хвои ели обыкновенной (*P. abies* L.) и колючей (*P. pungens* L.), взятых при различной интенсивности транспортного потока (А) и на различном расстоянии от автомобильной дороги (Б)





хвоя со стороны дерева, обращенной к автомобильной дороге



хвоя со стороны дерева, противоположной от автомобильной дороги

1 ель колючая

2 ель обыкновенная

А - остановка автотранспорта (интенсивность движения 60 ав. тр. ед/час)  
 Б - парковка автомашин (интенсивность движения 70 ав.тр. ед/час)  
 В - разделительная полоса (интенсивность движения 2000 ав. тр. ед/час)

Рис. 2

Скорость вымывания внутриклеточных электролитов однолетней хвои ели обыкновенной и колючей из различных опытных участков

## Глава 3.2. Показатели качества семян и семенной генерации

### 3.2.1. Особенности прорастания семян *Picea abies* и *P. pungens* Glauca

Масса 1000 семян, собранных со всех полигонов, варьировала для *P. abies* в пределах от 2,5 г до 7,5 г и от 2,0 г до 3,9 г для *P. pungens*.

Минимальная масса семян у обоих видов ели была отмечена в местах с максимальной техногенной нагрузкой, включая применение противогололедных реагентов (2,5 г и 2,8 г для ели обыкновенной и 2,0 и 2,1 г для ели колючей). В относительно благоприятных местах произрастания (низкая интенсивность движения, без применения противогололедных реагентов) ели обыкновенной масса 1000 семян приближалась к норме 5 – 8 г. [Щербакова, 1973; Давлетилина, 1990].

Показатель веса семян не позволяет доказательно судить о жизнеспособности семенной генерации, поэтому нами исследовалось прорастание семян и морфометрические показатели проростков.

Возраст деревьев не оказывал существенного влияния на лабораторную всхожесть семян. Однако нами была прослежена тенденция уменьшения годичного прироста древесины, уменьшения диаметра ствола деревьев в местах произрастания вблизи дорог с высокой интенсивностью движения и применением ПГР. Так, у ели колючей из "краевой зоны" в возрасте  $41 \pm 2$  год диаметр ствола достигал 12 сантиметров, в то время как у  $40 \pm 2$  летней ели колючей из лесопарковой зоны диаметр ствола достигал 32 см. Аналогичное уменьшение диаметра ствола наблюдалось и у ели обыкновенной, произрастающей на раздельительной полосе в возрасте  $43 \pm 2$  лет диаметр ствола достигал всего лишь 20 см.

Из полученных нами данных следует, что в местах с активным применением ПГР наблюдается пониженный процент прорастания семян до 22,4% для *P. abies* и 11,2% для *P. pungens*.

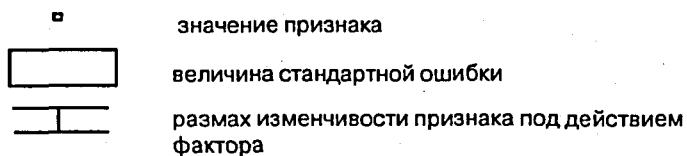
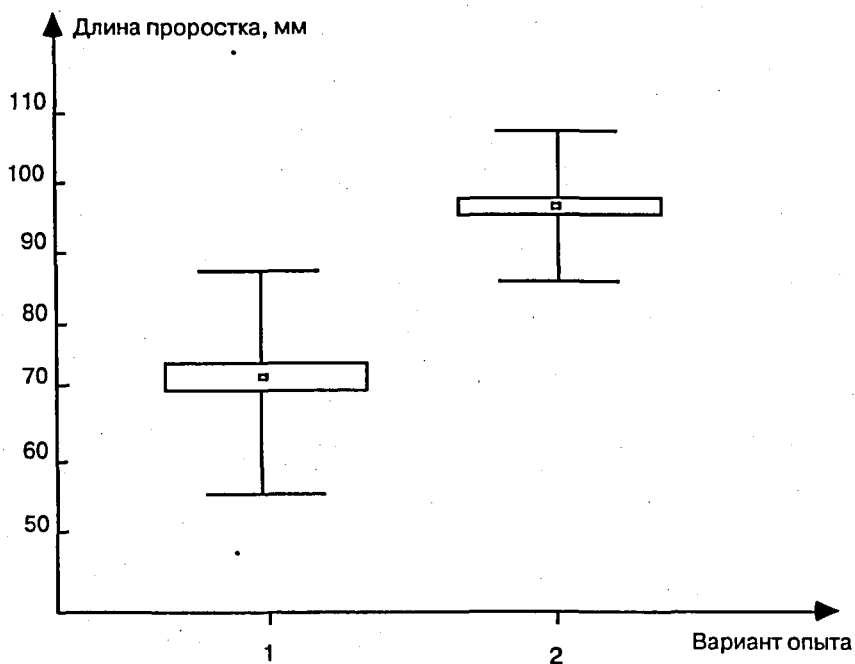
### 3.2.2. Морфометрические показатели проростков двух видов ели

Измеряли длину мутовки, гипокотыля, корешка и общую длину проростка (мм).

У проростков ели колючей обнаружено значимое уменьшение морфометрических показателей, как отдельных морфологических частей:

- мутовка  $8,92 \pm 0,25$  ( $N=34,17$ ,  $p=0$ ,  $df=1$ ,  $n=40$ );
- гипокотиль  $32,12 \pm 1,36$  ( $N=37,45$ ,  $p=0$ ,  $df=1$ ,  $n=40$ );
- корешок  $24,37 \pm 1,50$  ( $N=16,24$ ,  $p=0,0001$ ,  $df=1$ ,  $n=40$ ), так и общей длины  $71,67 \pm 2,61$  ( $N=44,47$ ,  $p=0$ ,  $df=1$ ,  $n=40$ ) группы проростков под воздействием ПГР (рис. 3). У проростков ели обыкновенной оказалось, что нет значимых различий между группой проростков при использовании ПГР и группой в его отсутствие.

Воздействие расстояния от автомобильной дороги оказалось значимым для обоих видов. Однако характер влияния этого фактора на оба вида был различен. Наибольшая длина проростков ели колючей

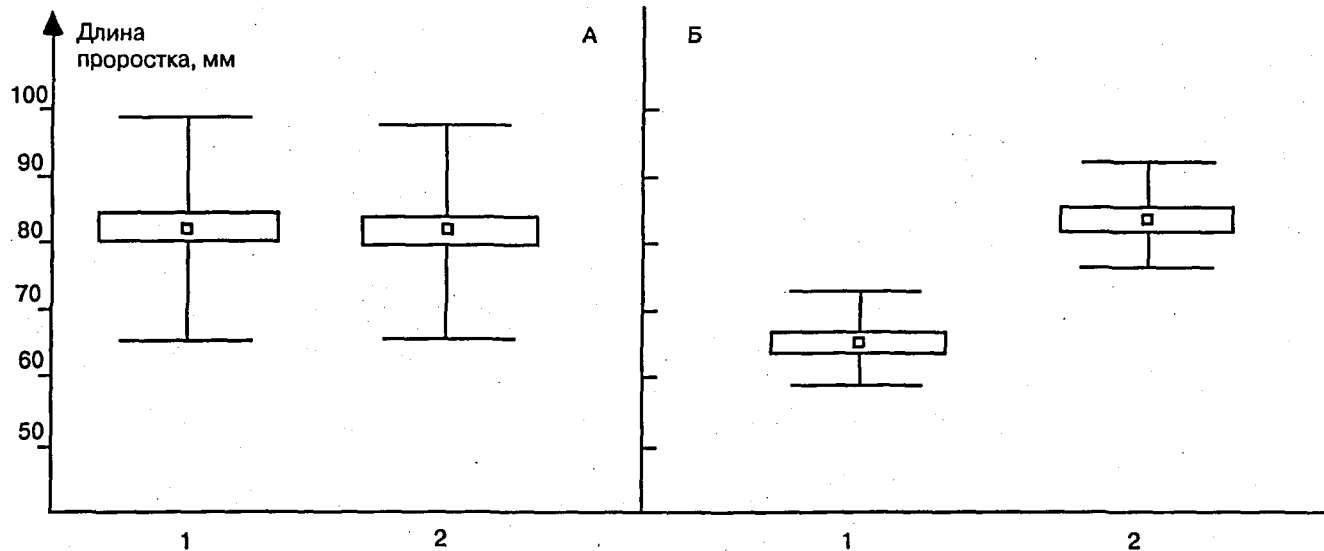





1 - противогололедные реагенты действуют

2 - отсутствие действия противогололедных реагентов

Рис. 3

Влияние противогололедных реагентов на длину проростков ели колючей (не параметрический дисперсионный анализ  $H = 44,47$   $p = 0$   $df = 1$   $n = 90$ ).



 размах изменчивости признака  
 стандартная ошибка.  
 значение признака

1 - воздействие противогололедных реагентов  
 2 - отсутствие воз действия противогололедных реагентов  
 А - интенсивность движений автотранспорта 70 ед/час  
 Б - интенсивность движения автотранспорта 2000 ед/час

Рис. 4

Совместное влияние противогололедных реагентов и интенсивности движения автотранспорта на длину проростков ели обыкновенной (2-х факторный параметрический анализ "Тест Шеффи"  
 $F = 7,62$   $df=2,16$   $p = 0,00069$ )

отмечена при произрастании на расстоянии 60 м –  $99,80 \pm 2,16$  и 500–1500 м –  $92,7 \pm 3,19$  от автомобильной дороги, тогда как у ели обыкновенной – на расстоянии 1–9 м –  $88,60 \pm 2,15$ .

Фактор интенсивности движения, как показал анализ, не оказывает значимого воздействия на морфометрические показатели проростков, исследуемых видов ели. Однако у проростков ели колючей наблюдаются некоторые различия показателей групповых средних величин.

Проведенный параметрический анализ показал, что влияние фактора ПГР на морфометрические показатели проростков ели обыкновенной резко усиливается при возрастании интенсивности движения автотранспорта (рис. 4). Сопряженное воздействие ПГР и интенсивности движения отрицательно сказывалось и на морфометрические показатели проростков ели колючей, которые уменьшались при возрастании интенсивности автотранспортного потока.

Таким образом, влияние комплекса факторов "автотранспорт+автодорога" на придорожные места произрастания исследованных видов ели усиливается при сопряженном воздействии.

### Глава 3.3. Влияние факторов автотранспортного комплекса на формирование фотосинтетического аппарата проростков ели

#### 3.3.1. Спектры низкотемпературной ( $77,2^{\circ}\text{K}$ ) флуоресценции проростков ели обыкновенной и колючей форма "голубая", выращенных в отсутствие света

В ходе исследования семенной генерации обоих видов ели нами были отмечены формы проростков с нарушением биосинтеза хлорофилла. Известно, что для хвойных как и для некоторых других эволюционно древних растений (мхов, лишайников, папоротников, водорослей) характерна способность синтезировать хлорофилл в темноте [Sachs, 1865; Николаева и др., 1963; Годнев и др., 1968; Рубин и др., 1974]. Так, 14- ти дневные проростки ели способны образовывать в темноте хлорофилл в количествах достаточно близких к световым [Николаева и др., 1979].

Мы обратили внимание на зависимость увеличения количества проростков с нарушенным биосинтезом хлорофилла от расстояния до автомобильной дороги и от применения ПГР. Причем фактор применения ПГР был основным действующим фактором на процесс формирования пигментного аппарата (рис. 5). Чем ближе находился опытный участок от полотна автомобильной дороги, тем большее количество проростков с несформированным пигментным аппаратом отмечалось в его семенной генерации – до 2,1% у ели обыкновенной и до 14,2% у ели колючей (процент рассчитывался от количества проросших семян).

По сформированности пигментного аппарата мы условно разделили проростки на три группы:

- с полностью сформированными I и II фотосистемой;
- с частичным нарушением сформированности фотосистем;

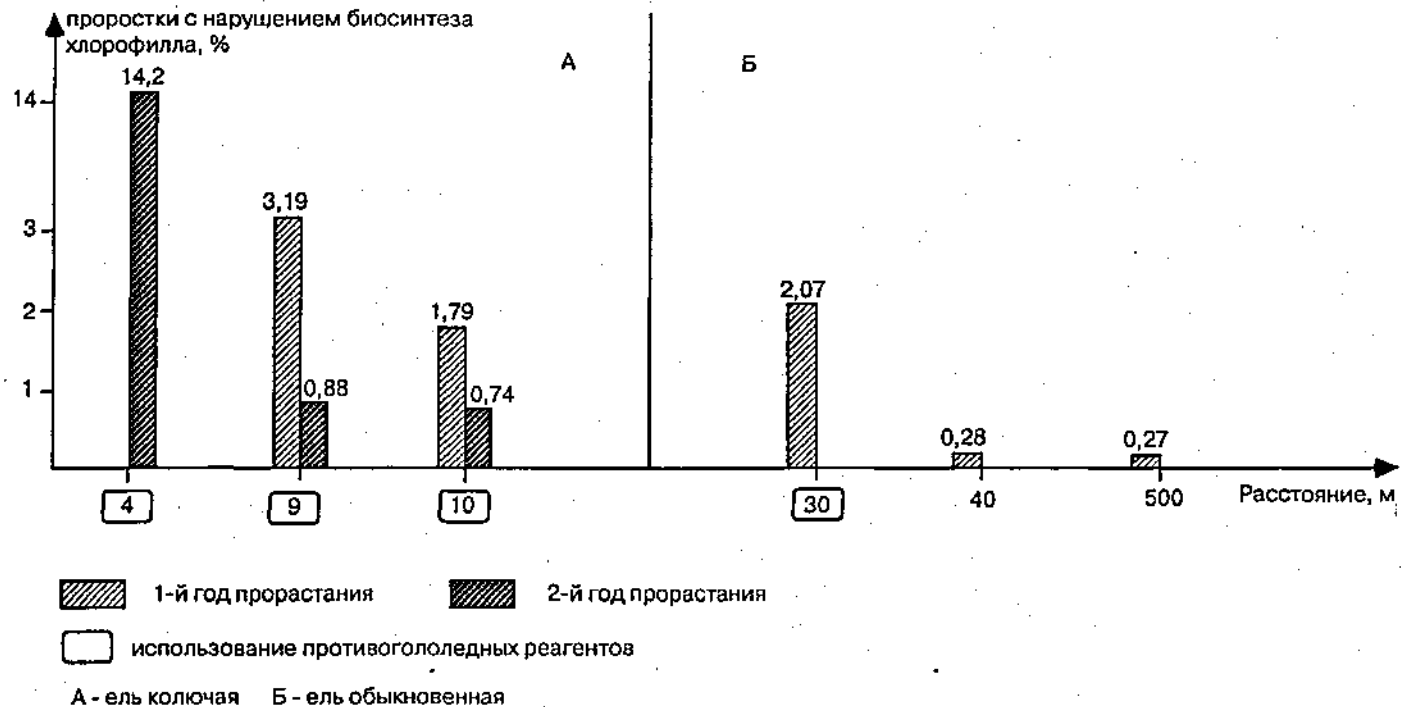


Рис. 5  
Проростки с нарушением биосинтеза хлорофилла из местообитаний с различной автотранспортной нагрузкой (% от общего количества проросших семян)

- с выраженными нарушениями биосинтеза хлорофилла.

Такое разделение подтверждается спектрами низкотемпературной флуоресценции нативных семядольных листьев (рис. 6-8).

Спектры низкотемпературной флуоресценции свидетельствуют о разнообразии спектральных форм в особенности в группе проростков с частичным нарушением сформированности фотосистем. Группа проростков с полностью сформированными I и II фотосистемой имеет максимум в области 730-737 нм и в области 686-697 нм (рис. 6).

Проростки с частичным нарушением сформированности фотосистем (рис. 7) отличаются большим разнообразием спектральных форм, что связано с разной степенью его агрегации. Так, максимум флуоресценции в области спектра 720 нм, соответствует хлорофилла "а" белковому комплексу реакционных центров ФС - I; плечо в области 696 нм - реакционному центру ФС - II; а плечо в области 688 нм - хлорофилла "а" белковому комплексу реакционных центров ФС - II.

У проростков с выраженными нарушениями биосинтеза хлорофилла полностью отсутствует флуоресценция в области 730-737 нм (рис. 8). Наличие плеча в области 655 нм, свидетельствует о наличии предшественника хлорофилла.

Максимумы флуоресценции 14-ти дневных проростков ели обыкновенной и колючей с полностью сформированными I и II фотосистемой соответствуют положению максимумов в спектрах сформированных на свету растений [Николаева, 1975], а спектры проростков с нарушением биосинтеза хлорофилла - начальным стадиям зеленения этиолированного листа (пшеницы, фасоли и др. растений не синтезирующих и не накапливающих хлорофилл в темноте).

Таким образом спектры низкотемпературной флуоресценции пигментов в нативных растениях дают основание предполагать, что в условиях солевого стресса и высокой автотранспортной нагрузки происходит накопление форм проростков с нарушением сформированности фотосинтетического аппарата в отсутствие света. Важно было установить, насколько глубоко это воздействие повлияло на основную функцию-пигментного аппарата - выделение кислорода.

### 3.3.2. Изучение световых кривых фотосинтеза 14-ти дневных проростков елей

Образование одного из продуктов фотосинтеза - кислорода является итогом многочисленных реакций индуцированных светом. Их нарушение отражается на фотосинтезе [Bjorkman, 1966; Mathieu, 1969; Назаров, 1970], который является одним из наиболее достоверных показателей жизнедеятельности растения.

Световые кривые фотосинтеза проростков с нарушенным биосинтезом хлорофилла как ели обыкновенной (рис. 9), так и колючей (рис. 10), расположены ниже, по сравнению, с контрольными вариантами.

Световые кривые скорости обмена кислорода проростков с полностью сформированными фотосистемой I и II, как ели обыкновенной так и колючей имеют "S" - образную форму, включающую

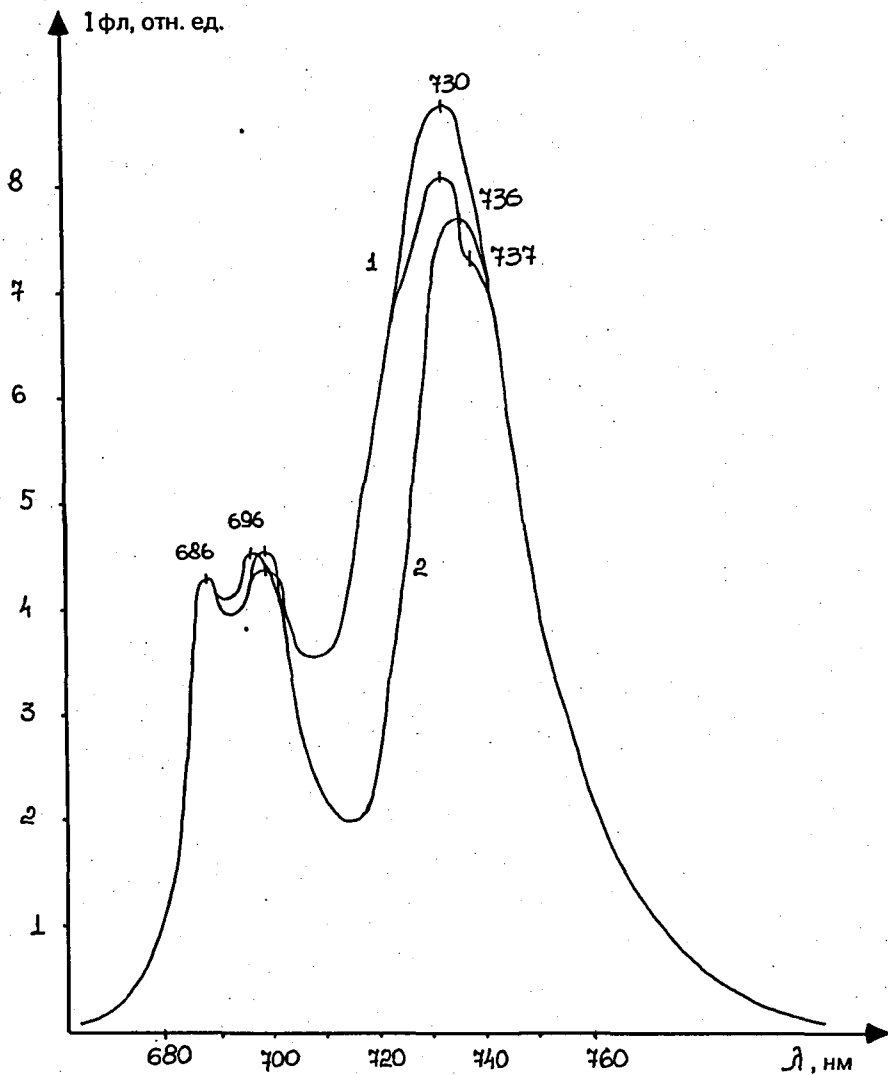


Рис. 6

Спектры низкотемпературной (77,2 К) флуоресценции 14-ти дневных проростков ели обыкновенной (1) и колючей (2), выращенных в отсутствие света.



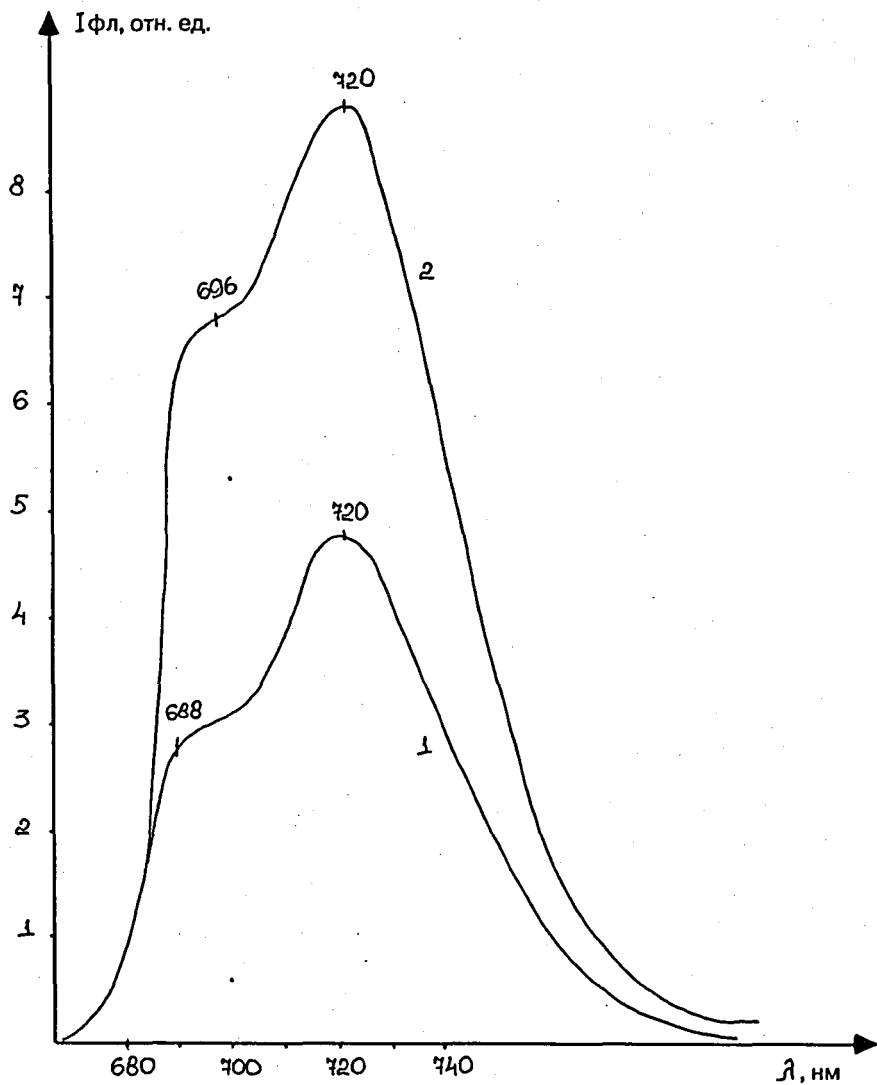


Рис. 7

Спектры низкотемпературной (77,2 К) флуоресценции 14-ти дневных проростков ели обыкновенной (1) и колючей (2), выращенных в отсутствие света.

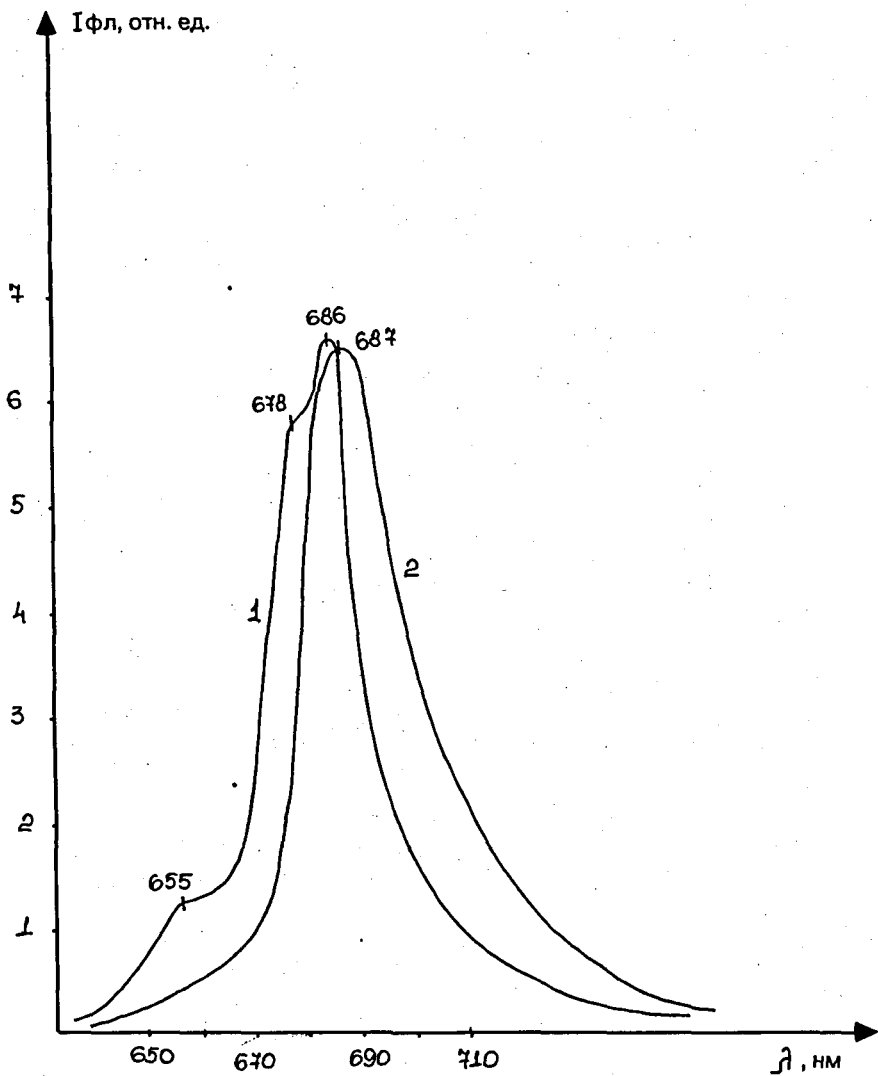


Рис. 8

Спектры низкотемпературной (77,2 К) флуоресценции 14-ти дневных проростков ели обыкновенной (1) и колючей (2), выращенных в отсутствие света.

латентный период, участок нарастания скорости фотосинтеза и его стабилизации. У проростков с несформированным пигментным аппаратом происходит значительное изменение параметров световых кривых фотосинтеза. Это проявляется в увеличении латентного периода и уменьшении амплитуды световых кривых фотосинтеза у проростков двух видов ели (рис. 9-10).

Очевидно, суммарная автотранспортная нагрузка, включая применение ПГР, вызывает у придорожных растений повреждения пигментного аппарата, что приводит к нарушению основной, генетически детерминированной, функции растений - выделения кислорода. В свою очередь это отражается на репродукционной ценности семенного материала, а следовательно на продуктивности экосистемы в целом.

### 3.4. Исследование генетических различий в изучаемых группах проростков

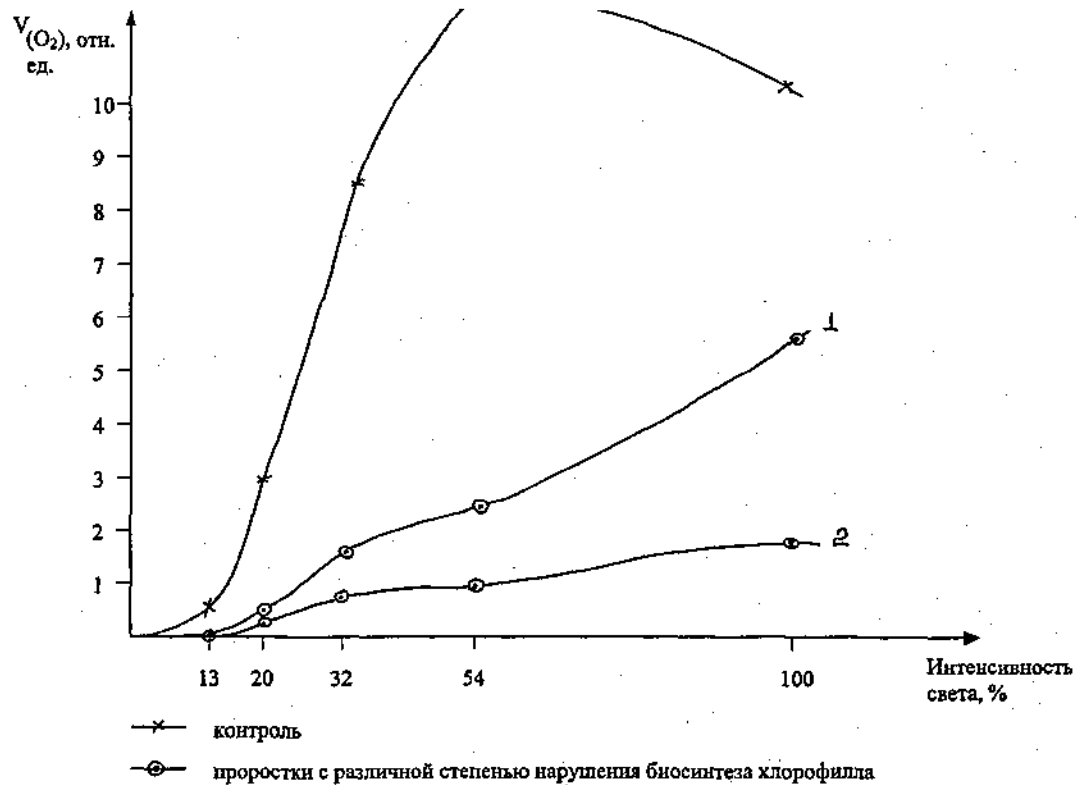
Для выявления особенностей генетического аппарата у семенной генерации елей, с частичным и выраженным нарушением сформированности пигментного аппарата в отсутствие света был применен метод электрофореза изоферментов.

В данном эксперименте использовались выращенные в отсутствие света 14-ти дневные проростки ели обыкновенной и колючей. Методом электрофореза в крахмальном геле установлены индивидуальные генотипы по 10 изоферментным локусам (*Gdh*, *Idh*, *Lap-1*, *Lap-2*, *Mdh-1*, *Mdh-2*, *Pgm-1*, *Pgm-2*, *Sod-1*, *Sod-2*) в трех группах проростков: с полностью сформированными фотосистемой I и II (зеленые проростки, n = 7), с частичным нарушением сформированности фотосистем (желто-зеленые проростки, n = 4) и с выраженным нарушением биосинтеза хлорофилла (желтые проростки, n = 7).

Следует отметить, что желтые проростки отличались пониженной активностью изоферментов. У проростка ели колючей, из местообитания, подверженного воздействию ПГР, из 10 локусов активность наблюдалась только для локуса *Mdh-1*. По большинству локусов существенных различий в частотах аллелей между тремя представленными группами нами не было обнаружено. Исключением является локус *Pgm-1* (фосфоглюкомутаза - мономер, катализирует взаимные превращения глюкозо-1-фосфата и глюкозо-6-фосфата, пентозофосфатный цикл и гидрирование предшественника хлорофилла) для которого отмечено преобладание более быстрого по подвижности аллеля в группе проростков с полностью сформированными фотосистемами I и II, а в других группах - преобладание второго аллеля.

Для локусов *Mdh-2* (малатдегидрогеназа - димер, у елей, как правило, идентифицируется три или четыре локуса, специфичен по отношению к НАД, окисляет также ряд других альфа-оксидикарбоновых кислот) и *Sod-1* в группе проростков с частичным нарушением сформированности фотосистем выявлены аллельные варианты *Mdh-2/4*, *Sod-1/1*, которые не встречались среди представителей других групп.

На основании полученных результатов можно судить о существовании генетических различий между изученными группами



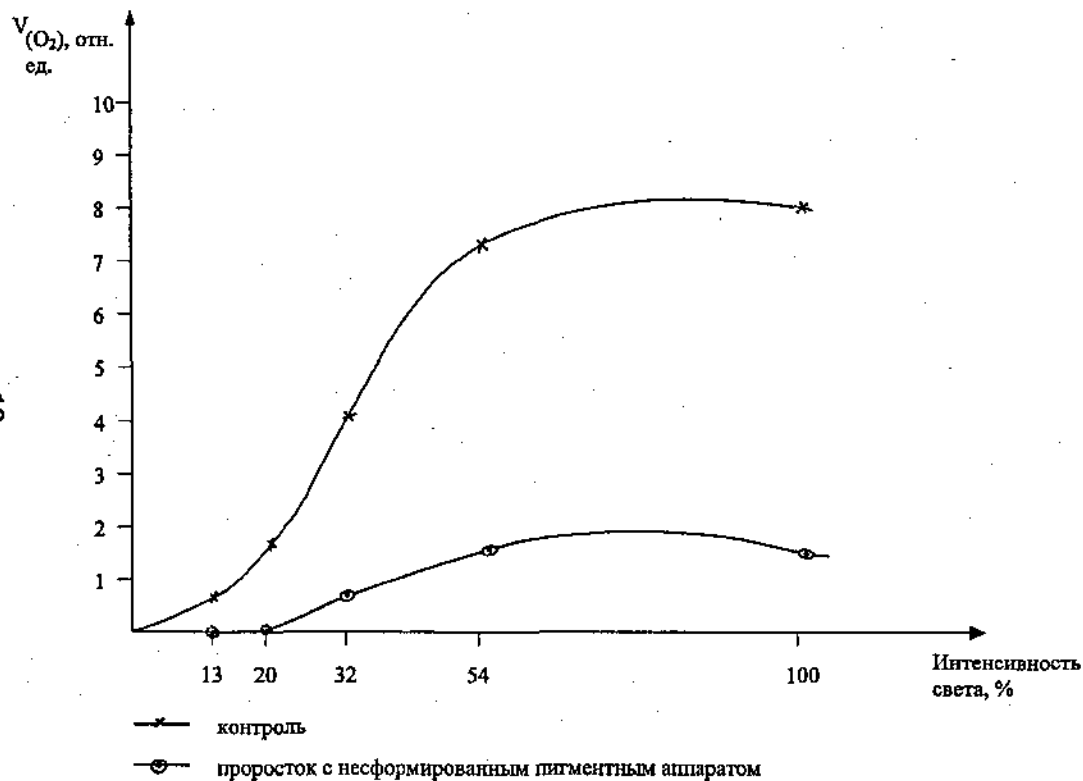
1-без воздействия противогололедных реагентов

2- с воздействием противогололедных реагентов

Освещение интегральным светом лампы накаливания. Интенсивность света  $14 \times 10^3$  люкс.

Рис. 9

Световые кривые скорости обмена кислорода 14-ти дневных проростков ели обыкновенной



Освещение интегральным светом лампы накаливания. Интенсивность света  $14 \times 10^3$  люкс.

Рис. 10

Световые кривые скорости обмена кислорода 14-ти дневных проростков одной генерации ели колочей, с различной степенью сформированности пигментного аппарата

проростков. Отсутствие некоторых аллельных вариантов у групп проростков с частичным и выраженным нарушением биосинтеза хлорофилла, возможно, связано с их неспособностью к формированию реакционных центров фотосистем, о чем говорилось в предыдущих главах. Полученные результаты свидетельствуют о том, что нарушение биосинтеза хлорофилла и процесса выделения кислорода, является следствием генетических изменений у проростков.

### **Заключение**

На высокоурбанизированных территориях все более обостряются проблемы охраны окружающей среды, связанные с нарастающим ухудшением условий жизнедеятельности людей, городской растительности, животных, с трансформацией городских почв.

Автотранспортное загрязнение несет в себе категории биологического, механического, химического, физического и визуального (эстетического) загрязнения.

Искусственное привнесение хлоридов натрия и кальция и других минеральных солей с талыми и сточными водами в почвенно-гидрологические системы краевых придорожных зон влечет за собой стойкое химическое загрязнение придорожных биоценозов. Как результат постоянного сезонного воздействия, в этих биоценозах возникают сначала скрытые, а затем явные изменения [Backman, 1980].

Наши исследования на хвое и семенном материале ели обыкновенной и колючей форма "голубая", собранных в условиях Московского региона, показали, что автотранспортная нагрузка в совокупности с глубокими деструктивными процессами в городских почвах, вызывает аномалии развития кроны и роста, деструкцию клеточных мембран и пигментного аппарата, нарушения газообмена, другие эффекты, вплоть до генетических изменений.

Необходимость сохранения биоразнообразия на урбанизированных территориях, подверженных экологическому риску, подтверждает значимость проблемы зимнего содержания автомобильных дорог. Для решения этой проблемы необходимо экологическое обоснование ограничений на применение используемых ПГР и материалов. Эти соединения проходят технические испытания и гигиеническую экспертизу, однако сегодня необходима и экспертиза экологическая.

### **ВЫВОДЫ:**

1. Доказано, что во фрагментированных автодорогами местообитаниях воздействие каждого из изученных факторов автотранспортного комплекса приводит к нарушению важнейших метаболических процессов и морфологических показателей у ели обыкновенной и колючей. Однако при сопряженном влиянии наблюдаемые нарушения усиливаются (по данным 3-х факторного параметрического анализа MANOVA), что приводит к необратимости этих процессов для фитоценозов.

2. Выявлена видоспецифичность ответных реакций двух видов ели на воздействие комплекса факторов "автотранспорт+автодорога". Показано, что ель колючая более чувствительна к изучаемым факторам воздействия.

3. Установлено, что в краевых зонах (до 10 м от полотна автодороги) уменьшается годичный прирост древесины и соответственно диаметр стволов деревьев обоих видов.

4. Показано, что экзоосмос внутриклеточных электролитов однолетней хвои увеличивается с возрастом техногенной нагрузки и применением противогололедных реагентов у ели обыкновенной в 6 раз, у ели колючей в 11 раз.

5. В зоне влияния комплекса автотранспортных факторов и противогололедных реагентов выявлено:

а) уменьшение массы и доли прорастающих семян, свидетельствующее о снижении репродукционного потенциала у исследованных видов ели,

б) увеличение доли проростков с нарушением сформированности фотосинтетического аппарата при прорастании в отсутствие света до 2,1% у ели обыкновенной и до 14,2% у ели колючей,

в) уменьшение скорости выделения кислорода у проростков с нарушением сформированности фотосинтетического аппарата обоих видов ели в 7 раз,

г) различие активности изоферментов у проростков с нарушенным и сформированным фотосинтетическим аппаратом, что свидетельствует о наличии генетических различий между изученными группами.

6. Рекомендуется:

а) использовать метод определения экзоосмоса внутриклеточных электролитов в целях своевременной реабилитации урбанофитоценозов и осуществления оперативного мониторинга придорожных экосистем,

б) использовать метод низкотемпературной флуоресценции 14-ти дневных проростков, для оценки репродуктивной ценности семенного материала.

#### Публикации по теме диссертации:

1. Флорова Н.Б., Николаева Л.Ф., Оцхели О.В., Кавтарадзе Д.Н. Влияние фактора зимнего содержания автодорог на состояние экосистем придорожной зоны. Сб. Тез. докладов научно-практической конференции в МАДИ. Москва. Прима Пресс. 1997. с. 214-216.

2. Nicolaeva L., Porshneva E., Florova N., Otskheli O.//Ecological aspects of the problem of winter slipperiness monitoring. 3<sup>rd</sup> ITNT meeting. Vladimir, Russia 28 September - 2 October 1997. - p. IXVII.

3. Николаева Л. Ф., Оцхели О. В., Поршнева Е. Б., Флорова Н. Б. / Противогололедные реагенты и их влияние на природную среду//Обзор литературы. Москва. Диалог МГУ. 1998. 59 с.

4. Кавтарадзе Д. Н., Оцхели О.В. Экологическая безопасность автомобильных дорог//Наука и техника в дорожной отрасли. № 3. - 1998. - с. 31-32.

5. Оцхели О.В., Николаева Л.Ф., Кавтарадзе Д.Н. Проницаемость клеточных мембран однолетней хвои ели обыкновенной и колючей из придорожных местообитаний. Сб. Тез. 1-ой Междунар. межвузовской школы-семинара "Экология 2000: эстафета поколений". Из-во МГУЛ, Москва, 2000, с. 27.

6. Оцхели О. В., Воронина О. Е. Дорожная экология XXI века// Наука и техника в дорожной отрасли. № 1. - 2000. - с. 29.

7. Оцхели О. В. Воздействие комплекса автотранспортных факторов на хвою и семенное потомство *Picea abies* & *P. pungens*. VII Международная конференция студентов и аспирантов "Ломоносов". Москва, Из-во МГУ. 2000. с. 35.

8. Воронина О. Е., Оцхели О. В., Кармызова А. Н. Эколого-физиологические критерии оценки и нормирования расхода противогололедных реагентов. Сб. статей, Воронеж, 2000 (в печати)

9. Николаева Л. Ф., Оцхели О. В., Кавтарадзе Д. Н. Нарушения формирования фотосинтетического аппарата у проростков хвойных под воздействием автотранспортных факторов// Вестник Московского Университета (в печати).

*m. m. m.*