

На правах рукописи



**ЕЛЬКИНА** Надежда Александровна

**СОСТАВ И ДИНАМИКА ПЫЛЬЦЕВОГО СПЕКТРА  
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ г. ПЕТРОЗАВОДСКА**

03.00.16 – «Экология»

Автореферат на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург – 2008

Работа выполнена в Петрозаводском государственном университете

Научный руководитель      доктор биологических наук,  
   профессор  
   Марковская Евгения Федоровна

Официальные оппоненты:   доктор биологических наук, профессор  
   Яковлев Геннадий Павлович

   кандидат географических наук  
   Дзюба Ольга Федоровна

Ведущая организация      Институт леса Карельского научного  
   центра Российской академии наук

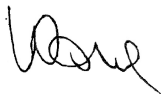
Защита состоится 04 марта 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 002.211.02 при Учреждении Российской академии наук Ботаническом институте им. В. Л. Комарова по адресу: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2.

Тел. (812)346-37-42, факс (812) 346-36-43

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ботанического института им. В. Л. Комарова Российской академии наук

Автореферат разослан «28» января 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



О. С. Юдина

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Аэропалинология – область современной биологии, изучающая состав и закономерности формирования пыльцевого дождя, образованного совокупностью находящихся в воздухе пыльцевых зерен и спор (Северова, 2005; Spieksma, 1992). Особое значение аэропалинологические исследования приобрели в последние годы в связи с повсеместным ростом числа заболеваний, вызванных аэроаллергенами (Emberlin, 2003). Пыльцевые зерна, благодаря наличию в их составе специфических белков – аллергенов, могут служить причиной аллергических заболеваний человека и животных (Адо, 1978; Зиненко и др., 1980; Пыцкий и др., 1999; Grote et al., 2000, 2005; Кнох, Heslop-Harrison, 1970 и др.). Проблема поллинозов имеет ярко выраженный региональный характер (Зиненко и др., 1980; Адо, Астафьева, 1991; Пыцкий и др., 1999; Головкин, 2004 и др.).

В настоящее время особое значение приобретают исследования, связанные с оценкой состояния урбанизированных территорий, насыщенных разнообразными источниками загрязнения, с использованием растений промышленных зон и городской среды (Стрельцов, Логинов, 1999; Николаевский, Якубов, 2001; Кавеленова, 2003; Черненко, 2002). Дополнение объективной информации химического и физико-химического контроля данными биомониторинга способно приблизить нас к адекватной оценке экологической ситуации в современном городе и проведению его экологического зонирования. В роли биоиндикаторов могут быть использованы пыльцевые зерна древесных и травянистых растений (Козаренко, 1987; Дзюба, 1995; Дзюба и др., 1999; Габараева, 2001; Глазунова, 2001; Дзюба, Тарасевич, 2001; Ашихмина и др., 2004).

Флора г. Петрозаводска интенсивно изучается (Антипина 2001, 2002, 2008; Кравченко, 2007), однако исследования пыльцевого спектра воздушной среды на территории Карелии и в частности г. Петрозаводска не проводились. Эти факты позволили подойти к постановке новой для Карелии задачи – аэропалинологического исследования.

**Цель и задачи работы:** Цель работы – изучить состав, динамику аэропалинологического спектра воздушной среды г. Петрозаводска и выявить возможность использования показателей качества пыльцевых зерен березы для биомониторинга урбанизированных территорий таежной зоны.

В задачи исследования входило: 1) установить таксономический состав аэропалинологического спектра г. Петрозаводска; 2) выявить дина-

мику пыльцевого спектра; 3) установить сроки и продолжительность пыления растений, продуцирующих аллергенную пыльцу; 4) рассмотреть зависимость содержания пыльцы в атмосфере города от метеорологических условий; 5) составить календари пыления для г. Петрозаводска; 6) провести сравнительный анализ качества пыльцы березы из различных районов города и зоны условного контроля.

**Научная новизна.** Впервые исследован качественный и количественный состав пыльцевого спектра воздушной среды Петрозаводска – города таежной зоны северо-запада России. Установлены сроки начала и окончания, а так же продолжительность пыления растений различных таксонов, продуцирующих аллергенную пыльцу. Выявлена сезонная динамика пыления растений, изучено влияние метеорологических параметров на содержание пыльцы в воздухе. По результатам исследований составлены календари пыления для г. Петрозаводска и список видов растений, продуцирующих аллергенную пыльцу. Показана возможность использования пыльцы березы для биомониторинга городской среды таежного города. Исследовано качество пыльцы березы и характер аномальности пыльцевых зерен.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации были представлены на Восьмой международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2006» (Москва, 2006), Всероссийской научной школе «Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: научный и образовательный аспекты» (Киров, 2006), Региональной научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 40-летию фармацевтического факультета КГМУ «Достижения, проблемы, перспективы фармацевтической науки и практики» (Курск, 2006), XI Перфильевских чтениях, посвященных 125-летию со дня рождения И. А. Перфильева «Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов севера» (Архангельск, 2007), Пятой научно-практической конференции «Экологическое образование и экологическая наука для устойчивого развития» (Архангельск, 2007), на заседании Карельского отделения РБО (14 ноября 2008 год, Петрозаводск).

**Практическая значимость работы.** Полученные данные по таксономическому составу и динамике пыления аллергенных растений различных таксонов составят основу для организации мониторинговых исследований. Подготовлен усредненный календарь пыления, составленный на основе экспериментальных данных настоящего исследования, для передачи в Карельский аллергологический центр (см. рис. 1). Впервые врачи-аллергологи Карелии могут использовать для практи-

ческой работы региональный календарь пыления, который более адекватно оценивает ситуацию, чем литературные данные по другим регионам страны. Аллергенную активность растений необходимо учитывать при составлении рекомендаций по озеленению городских территорий. Результаты, полученные при обработке данных биомониторинга состояния окружающей среды, важны для экологической службы г. Петрозаводска. Полученные материалы исследования могут быть использованы при разработке учебных курсов для студентов специальности «экология».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 1 в рецензируемом журнале из списка ВАК и 3 работы – в материалах международных конференций.

**Организация, объем исследования и личный вклад автора.** Работа выполнена на кафедре ботаники и физиологии растений Петрозаводского государственного университета в 2004–2008 гг. Исследования проводились в течение трех сезонов наблюдения с марта по октябрь 2005–2007 гг. Собрано и обработано более 90 аэропалинологических проб воздуха. Составлена коллекция аллергенной пыльцы растений, произрастающих на территории г. Петрозаводска. Исследования качества пыльцы березы (*Betula pubescens* Ehrh.) проводились весной 2007 г. Собраны и обработаны пробы пыльцевых зерен из разных районов города и контрольной зоны (всего 13). Все полевые и камеральные исследования выполнены лично автором.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений, изложена на 204 страницах, содержит 26 рисунков и 14 таблиц. Список литературы содержит 432 источника, в том числе 267 зарубежных. В приложении приведены карта-схема взятия проб пыльцы и фото-материалы.

## ГЛАВА 1. Литературный обзор

### 1.1. Характеристики пыльцы, обладающей аллергенными свойствами

Рассмотрены морфологические характеристики пыльцевых зерен (Эрдтман, 1956; Сладков, 1967; Куприянова, Алешина, 1972; Принципы и методы..., 1999; Wodehouse, 1935), их биохимический состав (Козо-Полянский, 1946; Никсо-Никачио, 1962; Адо, 1978; Зиненко и др., 1980; Пыцкий и др., 1999; Wodehouse, 1945; Feinberg, 1946; Freeman, 1950; Knox, Heslop-Harrison, 1970 и др.). В работе приведено описание пыль-

цевых зерен растений основных таксонов, их антигенный состав, дана характеристика пыльцевых аллергенов (Фрадкин, 1990; Гушин, 1998а; Пыцкий и др., 1999; Горвиц, Буш, 2000; Паттерсон и др., 2000; Mandrioli et al., 1983; Nilsen et al., 1991; D'Amato, Spieksma, 1992; Knox, Suphioglu, 1996; Grote et al., 2000, 2005; Пус, 2003 и др.). Анализ литературы показал, что состав пыльцевого спектра воздушной среды большинства регионов Российской Федерации не изучен, в том числе на территории Карелии и г. Петрозаводска аэропалинологические исследования не проводились.

### **1.2. Аэропалинологические исследования в России и за рубежом**

Во втором разделе литературного обзора рассмотрены основные понятия и методы палинологии и аэропалинологии (Hyde, Williams, 1944; Принципы и методы..., 1999; Spieksma, 1992; Нокс, 1985 и др.). Проанализированы работы, посвященные аэропалинологическим исследованиям, проведенным в России и странах ближнего и дальнего зарубежья (Лукманова, 1967; Принципы и методы..., 1999; Северова и др., 2000, 2001; Гандалипова, 2001; Савицкий, Савицкая, 2002; Головкин, 2004; Северова, 2004, 2005; Полевова, 2005; Шалабода, 2005; Williams, Gilbert, 1957; Nilsson, 1981, 1988; Spieksma, 1986; Pehkonen, Pessi, Pulkkinen, 1994; Rantio-Lehtimäki, 1995; Bicakci et al., 1996; Comtois, Mandrioli, 1996; Frankland, 1996; Severova, Polevova, 1996; D'Amato et al., 1998, 2001; Kobzar, 1999; Welch, 2000; May, 2001; Bicakci, Akyalcin, 2003; Пус, 2004; Peternel et al., 2007 и др.).

### **1.3. Экологическая оценка состояния окружающей среды**

Рассмотрена актуальность исследования состояния окружающей среды методами биомониторинга. Описываются свойства организмов-биоиндикаторов и преимущества биоиндикационных методов (Украинцева, 1991; Стрельцов, Логинов, 1999; Николаевский, Якубов, 2001; Черненкова, 2002; Кавеленова, 2003; Ашихмина и др., 2004; Мелехова и др., 2007 и др.).

Известно, что процессы формирования и развития пыльцы чувствительны к воздействию факторов различной этиологии (Дзюба, 2007), и в условиях экологического неблагополучия растения продуцируют большое количество тератоморфных (уродливых) и стерильных пыльцевых зерен. При проведении исследований обычно оценивается доля нормально развитой и дефектной пыльцы, так же могут определяться показатели метаболизма пыльцевых зерен (Бессонова, Лыженко, 1991; Бессонова и др., 1997; Mišić et al., 2007). Исследуя морфологические

особенности пыльцевых зерен, можно не только устанавливать наличие гаметопазогенных соединений в окружающей среде, но и давать сравнительную оценку загрязненности разных регионов и отдельных зон в пределах одного региона (Бессонова, 1992; Мейер-Меликян, Кифишина, 1993; Дзюба, 1999; Глазунова, 1996; Кобзарь, Харитонова, 1996; Мейер-Меликян и др., 2001).

## **ГЛАВА 2. Район, объекты и методы исследования**

### **2.1. Географическая и климатическая характеристика г. Петрозаводска**

В главе приведены сведения о природно-климатических условиях и почвенном покрове г. Петрозаводска. Петрозаводск – столица республики Карелия, основан в 1703 г., расположен на юго-западном берегу Онежского озера (61°50′ сев. ш., 34°20′ вост. д.). Климат переходный от морского к континентальному, характеризуется умеренно-мягкой зимой и умеренно-теплым летом. Среднемесячная температура января -10...-11 °С, июля +16 °С. Вегетационный период составляет в среднем 155–160 дней. Относительная влажность воздуха высокая (85–88%). Территория относится к зоне избыточного увлажнения. Ветровой режим характеризуется преобладанием в течение года западных и юго-западных ветров (Романов, 1961; Атлас Карельской АССР, 1989; Город Петрозаводск, 1993).

### **2.2. Характеристика флоры и растительности г. Петрозаводска**

Бореальный характер флоры и растительности г. Петрозаводска определяется географическим расположением. Территория города принадлежит к средней подзоне таежной зоны, к Кольско-Карельской подпровинции Северо-Европейской провинции Евроазиатской таежной области (Геоботаническое районирование..., 1989). Флора Петрозаводска характеризуется наибольшим видовым богатством среди других городов Карелии (Антипина 2001, 2002, 2008; Кравченко, 2007). По данным Г. С. Антипиной 625 видов растений имеют устойчивое возобновление на территории города, что важно для настоящего исследования. Они относятся к 360 родам, 96 семействам, 7 класса, 5 отделам. Из них 421 вид аборигенные и 204 – адвентивные (Антипина, 2002; Антипина, Максимов, 2008). Уникальной особенностью города является сохранение на его территории мест произрастания многих аборигенных лесных, луговых, болотных, прибрежно-водных, скальных растений

и ряда редких видов карельской флоры. В то же время наличие множества вторичных экотопов дает возможность широкого распространения адвентивных, в том числе новых заносных видов растений (Антипина и др., 2001).

### **2.3. Методы исследования**

Работа выполнена в период с 2004 по 2008 гг.

Сбор материала. Аэропалинологические исследования проводились гравиметрическим методом с помощью пылеуловителя Дюрама (Durham, 1946) (Принципы и методы..., 1999; Северова и др., 2000, 2001; Северова 2004). Смену стекла проводили один раз в десять дней.

Анализ аэропалинологических проб. Каждая проба на предметном стекле была препарирована с применением глицерин–желатина с сафранином и накрыта покровным стеклом (Принципы и методы..., 1999). Каждый препарат просматривался при помощи светового микроскопа при увеличении  $\times 400$ . Пыльцевые зерна близких видов под световым микроскопом очень схожи, детальны видовой, а иногда и родовые определения пыльцы затруднены. Поэтому чаще всего принадлежность пыльцы может быть определена до рода, а в некоторых случаях только до семейства (Принципы и методы..., 1999).

Объем материала. За весь период наблюдения было исследовано более 90 аэропалинологических проб. Собрана и препарирована пыльца растений, представителей всех таксонов, за которыми велось наблюдение.

Методическая литература. Для идентификации пыльцевых зерен были использованы палинологические пособия, атласы и материалы международных палинологических баз данных: Эрдтман, 1956; Сладков, 1967; Куприянова, Алешина, 1972; Куприянова Алешина, 1978; Принципы и методы..., 1999; Glossary of pollen and spore terminology (web – edition); www.PalDat.org и др.

Идентификация пыльцевых зерен в пробах воздуха была проверена палинологом лаборатории болотных экосистем Института биологии КарНЦ РАН, к.б.н. Л. В. Филимоновой.

### **2.4. Объекты исследования**

Список таксонов, за представителями которых осуществлялось наблюдение, составлен исходя из рекомендаций, опубликованных в соответствующей литературе (Принципы и методы, 1999; Allergy service ..., 1994). Он включает 11 древесных и 6 травянистых таксонов.



## 2.5. Исследование пыльцы березы (*Betula pubescens* Ehrh.) как биоиндикатора состояния окружающей среды

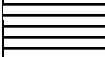



Для определения уровня загрязнения районов города проведено исследование качества пыльцы и видов повреждений пыльцевых зерен. В начале цветения были собраны мужские соцветия березы пушистой в различных районах города и в зоне условного контроля и зафиксированы в 70 % этиловом спирте. Мужские соцветия отбирали на высоте примерно 1,5 м с 3–4 стоящих рядом деревьев для формирования образца пыльцы данного участка. Исследование степени морфологической сформированности (фертильности) пыльцы выполнено ацетокарминовым методом (Паушева, 1980). Было изучено не менее 2500 пыльцевых зерен каждой пробы (Потапов, Султанов, 1973; Зайцев, 1990). По данному блоку работы получены консультации ст. н. с. лаборатории генетики Института биологии КарНЦ РАН к.б.н. Т. С. Николаевской.

## 2.6. Обработка данных





Для статистической обработки данных, корреляционного анализа, построения графиков были использованы пакеты компьютерных программ Windows 2003 (Word, Excel), MapInfo V.7.0 – для построения карты, Photoshop, ACDSee 9 Photo manager – для обработки фотоматериалов.

Календари пыления г. Петрозаводска были построены в виде таблиц, где изменения содержания пыльцы в воздухе показаны цветом. Данные о содержании пыльцы в воздухе представлены за декаду. Выбраны следующие классы концентраций (Принципы и методы..., 1999):

Для древесных растений:

Количество пыльцевых зерен (1 см <sup>2</sup> /декада)							
	1–10		11–100		101–1000		>1000

Для травянистых растений:

Количество пыльцевых зерен (1 см <sup>2</sup> /декада)							
	1–10		11–30		31–100		>100

## ГЛАВА 3. Анализ таксономического состава аэропалинологического спектра г. Петрозаводска

### 3.1. Общая характеристика таксонов спектра и соотношение различных групп пыльцы

За период наблюдения 2005–2007 гг. в составе аэропалинологического спектра была обнаружена пыльца растений 21 таксона (13 древесных и 8 травянистых). На основании собственных исследований и литературных данных установлено, что пыльца растений 11 древесных и 6 травянистых таксонов, произрастающих на территории г. Петрозаводска, обладает выраженными аллергенными свойствами и способна стать причиной поллиноза: *Alnus* Mill., *Betula* L., *Pinus* L., *Populus* L., *Salix* L., *Ulmus* L., *Fraxinus* L., *Juniperus* L., *Acer* L., *Quercus* L., *Tilia* L., *Plantago* L., *Chenopodium* L., *Urtica* L., *Rumex* L., *Artemisia* L., *Poaceae* Barnh. (Лукманова, 1967; Адо, 1978; Гурина, 1994; Принципы и методы..., 1999; Паттерсон и др., 2000; Гандалипова, 2001; D'Amato, Speksma, 1990, 1992; Negrini, 1992; Ong et al., 1995; Пуч, 2003).

Всю пыльцу, присутствующую в спектре можно разделить на следующие группы: аллергенная пыльца древесных растений, аллергенная пыльца травянистых растений, разрушенные пыльцевые зерна, пыльца, не обладающая выраженными аллергенными свойствами, но присутствующая в спектре и неопределенные пыльцевые зерна.

Суммарное количество пыльцы в аэропалинологическом спектре может значительно варьировать – от 6530 до 9889 п.з./см.кв./сезон (табл. 1).

Таблица 1

#### Соотношение основных групп пыльцевых зерен в различные годы наблюдения

Год	Всего пыльцы*	Аллергенная пыльца				Разрушенные п.з.		Неопределенные п.з.		Неаллергенные п.з.	
		Древесных растений		Травянистых растений		Кол-во п.з.	%	Кол-во п.з.	%	Кол-во п.з.	%
		Кол-во п.з.	%	Кол-во п.з.	%						
2005	6530	5673	86,9	407	6,2	224	3,4	68	1,1	158	2,4
2007	9889	8505	86,0	477	4,8	181	1,8	32	0,3	694	7,0
2008	6878	5857	85,2	600	8,7	180	2,6	25	0,4	216	3,1

Примечание: \* – п.з./см.кв./сезон

Несмотря на значительную разницу между общим количеством пыльцевых зерен в разные годы наблюдения, доля пыльцы древесных растений практически одинакова (примерно 86%) и занимает доминирующее положение в спектре. Количество пыльцы травянистых растений в пыльцевом спектре воздушной среды г. Петрозаводска неодинаково в разные годы наблюдения и в среднем составляет 6,6%.

### **3.2. Таксономический состав аэропалинологического спектра в разные годы наблюдений**

Анализ типов пыльцевых зерен позволяет сделать вывод, что аэропалинологический спектр г. Петрозаводска в основном формируется аборигенной фракцией флоры и носит региональный характер. Во все сезоны наблюдения основу спектра воздушной среды г. Петрозаводска составляла пыльца растений семейств: *Betulaceae* (46,9–79,4% от общегодовой суммы), *Pinaceae* (3,3–31,4%), *Salicaceae* (1,9–7,4%), *Poaceae* (2,6–4,9%), *Urticaceae* (0,9–2,2%), *Asteraceae* (0,6–1,5%). Доля пыльцы представителей других семейств составляет в спектре менее 0,5%. В течение периодов наблюдения в атмосфере г. Петрозаводска преобладала пыльца, обладающая аллергенными свойствами и способная вызвать симптомы поллиноза. В среднем содержание аллергенной пыльцы в воздухе за наблюдаемый период составило 92,6%.

### **3.3. Характеристика таксонов–доминантов аэропалинологического спектра**

На основании анализа аэропалинологических спектров за три года наблюдения обнаружено, что доминирующее положение в спектре занимает пыльца *Betula* (в среднем 63,5%) и она регистрируется не только в период цветения видов рода береза, но и на протяжении всего сезона пыления. Пыльца *Pinus* занимает второе место в спектре во все сезоны наблюдения (в среднем 14,2%). Среди трав доминирует пыльца *Poaceae* (в среднем 3,5%). Пыльца *Urtica* и *Artemisia* составляет в среднем 1,5% и 1,1% соответственно. Доля пыльцы растений других таксонов составляет около 13,2% спектра.

## **ГЛАВА 4. Анализ динамики аэропалинологического спектра г. Петрозаводска**

В течение сезонов наблюдения (2005–2007 гг.) нами отмечались сроки начала и окончания сезона пыления на территории города, а так

же велись наблюдения за качественным и количественным составом аэропалинологического спектра, динамикой содержания пыльцы растений различных таксонов в воздухе города. Наблюдения начинались с первых чисел марта и продолжались до конца октября ежегодно. Установлено, что сезон пыления растений на территории г. Петрозаводска начинается с начала-середины апреля, заканчивается в середине-конце сентября, а продолжительность составляет в среднем 16 декад.

В ходе исследований установлено, что сезон пыления в г. Петрозаводске можно разделить на три периода. Первый период – весенний – длится с начала апреля до конца мая. В спектре присутствует пыльца сережкоцветных, доминирует пыльца *Betula*. Во все годы наблюдения в аэропалинологических пробах данного периода фиксируется небольшое количество пыльцы *Pinus*. Содержание пыльцы в воздухе города в этот период максимально (62,7–84,1%). Второй период – летний – длится с июня по вторую половину июля. Спектр представлен пылью *Pinus*, *Poaceae*, *Urtica*. В данное время доминирует в спектре пыльца *Pinus*. В небольшом количестве обнаруживаются пыльцевые зерна *Salix*, *Populus*, *Fraxinus*, *Juniperus*, *Quercus*, *Tilia*, *Poaceae* и сорных трав (*Rumex*, *Plantago* и др.). Количество пыльцы в воздухе ниже, чем в первом периоде (11,9–5,3%). Третий период – летне-осенний – длится с конца июля до середины-конца сентября, характеризуется самым низким содержанием пыльцевых зерен в воздухе (1,8–3,9%). Пыльца всех трав, обладающих аллергенными свойствами, фиксируется в составе спектра и в небольшом количестве присутствует пыльца *Betula* и *Pinus*. В первый и второй периоды сезона пыления в аэропалинологическом спектре г. Петрозаводска преобладает аллергенная пыльца древесных растений, а в третий период – травянистых.

Исследование аэропалинологического спектра г. Петрозаводска в течение трех сезонов наблюдения показало, что основной состав пыльцевого спектра меняется в различные годы незначительно, однако сроки, интенсивность и характер пыления значительно варьируют и могут отличаться на 1–6 декад.

Пыльца растений некоторых таксонов ежегодно фиксировалась в спектре гораздо раньше начала цветения (пыления) данных растений на территории города (*Betula*, *Alnus*, *Pinus*). Очевидно, это связано со временем наступления цветения и пыления растений в более южных районах и дальним транспортом пыльцы (Hjelmroos, 1991; Hjelmroos, 1992; Полева, 2005; Rantio-Lehtimäki, 1994; Hicks et al., 1994; Rousseau et al., 2006; Rogers, Levetin, 1998; Linskens et al., 1993; Makra, Pálfi, 2007).

При изучении динамики содержания пыльцевых зерен растений различных таксонов в воздухе Петрозаводска установлены некоторые закономерности. В течение сезона пыления наблюдается два выраженных пика концентрации пыльцы в воздухе. Первый пик связан с цветением *Betula* в 1–2 декаду мая и соответствует максимальной концентрации пыльцы в воздухе. Второй – с пылением *Pinus* во 2–3 декаду июня. Далее количество пыльцы в атмосфере города постепенно уменьшается, несмотря на активное пыление трав.

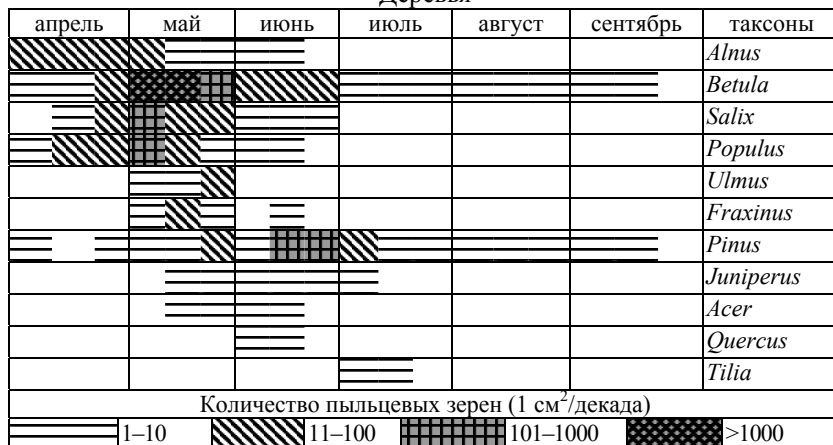
Самым таксономически разнообразным является второй период пыления. В спектре можно обнаружить аллергенную пыльцу растений 10 древесных и 6 травянистых таксонов. Вторым по разнообразию является третий период пыления, в спектре фиксируется пыльца растений 2 древесных и до 6 травянистых таксонов. Первый период характеризуется наличием пыльцы только древесных растений.

Время нахождения пыльцы в воздухе (период пыления) растений различных таксонов составляет от 1 до 16 декад, что включает собственный период пыления, вторично поднятую в воздух пыльцу и ее дальний транспорт. Пыльца *Quercus*, *Tilia*, *Acer* и *Ulmus* может присутствовать в атмосфере Петрозаводска до 2-х декад. Пыльца *Fraxinus*, *Juniperus* и *Rumex* обнаруживается в составе аэропалинологического спектра в течение 1–5 декад, а пыльцевые зерна *Populus*, *Alnus*, *Salix*, *Plantago*, *Chenopodium*, *Artemisia* – от 3 до 8 декад. Пыльца *Urtica* и *Poaceae* остается в составе спектра в течение 7–12 декад. Самое продолжи-

тельное время нахождения пыльцевых зерен в воздухе г. Петрозаводска зафиксировано для *Betula* (14–16 декад) и *Pinus* (11–14 декад).

Анализ содержания аллергенной пыльцы в пробах воздуха разных месяцев сезона пыления выявил, что максимальная концентрации пыльцы наблюдается в мае (в среднем 71,5% от общего количества пыльцы) во все сезоны наблюдения. Второй по насыщенности атмосферы аллергенной пылью месяц – июнь (в среднем 17,2%). Самое низкое содержание пыльцы в атмосфере наблюдается в сентябре (в среднем 0,5%). По результатам трехлетних аэропалинологических наблюдений были составлены календари пыления для г. Петрозаводска. На рисунке 1 представлен усредненный календарь пыления.

### Деревья



### Травы

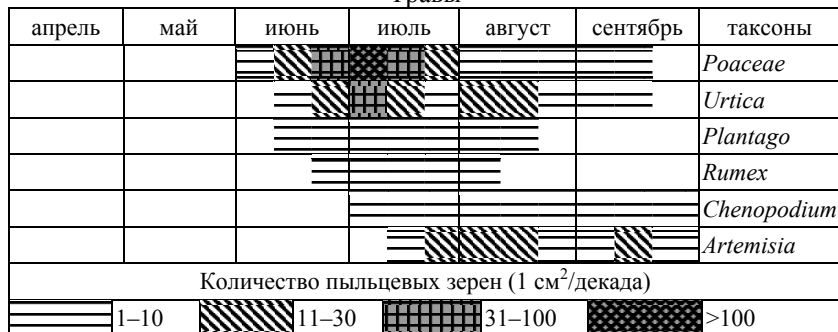


Рис. 1. Усредненный календарь пыления для г. Петрозаводска (2005–2007 гг.).

## ГЛАВА 5. Особенности пыления растений различных таксонов и влияние метеорологических факторов на содержание пылицы в атмосфере г. Петрозаводска

Исследование закономерностей содержания и распространения пылицы в воздухе – сложная многомерная задача. Аэриологи разных стран пытаются создать различные модели, позволяющие предсказать появление и поведение пылицы, в том числе и аллергенной, в атмосфере

(Angosto et al., 2006; Rodriguez-Rajo et al., 2006). Для проведения работ используются фенологические и аэриобиологические методы исследований. Известно, что метеорологические факторы, максимально влияющие на концентрацию пыльцы в атмосфере – это температура воздуха, относительная влажность, количество осадков и скорость ветра (Agashe, Alfadil, 1989; Andersen, 1991; Emberlin et al., 1993; Puc, Puc, 2004; Levizzani et al., 1998; Vega–Maray et al., 2003). Показано, что наибольшая корреляционная связь прослеживается между концентрацией пыльцы

в воздухе и максимальными значениями метеофакторов. В работе рассмотрено влияние максимальных значений основных метеопараметров (температуры воздуха ( $C^0$ ), относительной влажности воздуха (%), скорости ветра (м/с), а так же количества осадков за декаду (мм)) на содержание пыльцы растений каждого таксона в атмосфере.

### **5.1. Влияние основных метеорологических факторов на динамику пыления растений, продуцирующих аллергенную пыльцу**

В ходе наших исследований установлено, что метеорологические условия сезона пыления влияют на количество пыльцы растений большинства таксонов аэропалеонтологического спектра г. Петрозаводска. Для некоторых растений не удалось установить влияние погодных условий на динамику пыления (*Quercus*, *Acer*, *Tilia*, *Juniperus*, *Rumex* – в 2005 г.; *Ulmus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Tilia* и *Acer* – в 2006 г.; *Ulmus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Tilia* и *Acer* – в 2007 г.). Период их пыления продолжал-

ся менее трех деkad, что ограничило возможность корректного использования математической обработки. В разные сезоны наблюдения выявлены положительные и отрицательные корреляционные связи между содержанием в воздухе пыльцы растений различных таксонов и максимальными значениями основных метеопараметров. Так, в 2005 году наибольшее влияние на пыление растений изучаемых таксонов оказали скорость ветра и количество осадков, в 2006 году – температура воздуха и скорость ветра, а в 2007 году воздействие температуры воздуха, скорости ветра и количества осадков оказалось равнозначным. Влажность воздуха во все годы наблюдения оказывала наименьшее влияние на содержание пыльцы в атмосфере.

Выделено три группы таксонов по зависимости от влияния метеофакторов на динамику пыления. Для ранжирования таксонов по группам была использована следующая оценка – количество влияний, которая отражает уровень достоверной связи между количеством пыльцы

растений различных таксонов в воздухе и метеопараметрами. Вторая характеристика – количество зависимостей, которая отражает степень влияния метеофактора на динамику пыления растений изучаемых таксонов в разные сезоны наблюдения. Данная характеристика позволила так же установить метеофакторы, оказывающие наибольшее влияние на пыление растений. Ведущими факторами, влияющими на динамику пыления и содержание пыльцы в атмосфере г. Петрозаводска, по данным нашего исследования, являются скорость ветра (11 случаев зависимости) и температура воздуха (10 случаев зависимости).

Для растений первой (I) группы (*Pinus, Juniperus, Fraxinus, Poaceae*) установлено, что влияние различных метеорологических факторов на динамику пыления отсутствует или минимально (0–1 случай влияния). Для растений таксонов второй (II) группы (*Betula, Ulmus, Populus, Urtica, Plantago, Artemisia, Rumex, Chenopodium*) отмечено среднее влияние метеофакторов в течение периода палинации (2–3 случаев влияния). В третью (III) группу входят таксоны наиболее зависимые от погодных условий (4–5 случаев влияния) – *Salix, Alnus*.

Установлено, что на количество в воздухе пыльцы растений, цветущих в ранневесенний период (*Alnus, Salix*) влияют все основные метеорологические факторы (10 случаев влияния), а в большей степени – количество осадков. Для растений цветущих в конце весны – начале лета (*Betula, Fraxinus, Populus*) основными влияющими погодными факторами являются скорость ветра и температура воздуха (6 случаев влияния). Погодные условия незначительно влияют на растения цветущие и пылящие в летний период (4 случая влияния) – *Poaceae, Rumex, Pinus, Juniperus*. А растения, пылящие в летне-осенний период (*Artemisia, Plantago, Urtica*), почти так же зависимы от погоды, как и растения, пылящие в весенний период (9 случаев влияния).

## **5.2. Особенности динамики пыления растений различных таксонов в разные сезоны наблюдения**

В главе подробно описаны и графически отражены особенности пыления растений каждого таксона во все сезоны наблюдения и их взаимосвязь с метеорологическими факторами. Исследование показало, что содержание пыльцы в атмосфере в первую очередь зависит от видовых фенологических и биологических особенностей растений, их пыльцевой продуктивности, которые в свою очередь зависят от многих факторов.



## **ГЛАВА 6. Мониторинг загрязнения урбанизированных территорий (на примере г. Петрозаводска)**

### **6.1. Пыльца березы как биоиндикатор загрязнения территории города**

В качестве вида-индикатора для оценки уровня загрязнения различных районов города Петрозаводска была предложена береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.). Вид широко представлен на территории города, является аборигенным, его биология (Ветчинникова, 2004; Ветчинникова, 2005; Лищинская, 2003; Лантратова, 1991; Попов, 2003) и аллергенные свойства пыльцы (Адо, 1984; Польшнер, 2006; Knox, Suphioglu, 1996; Ong et al., 1995) хорошо изучены.

Петрозаводск – крупный промышленный центр северо-запада России. Промышленность представлена машиностроением и металлообработкой, лесной и деревообрабатывающей, строительной, пищевой, легкой и полиграфической отраслями. Атмосферный воздух загрязнен пылью, двуокисью серы, оксидами азота, окисью углерода, фенолом, формальдегидом, углеводородами, кроме того специфическими веществами – свинцом и его органическими соединениями, хромом шестивалентным (О загрязнении..., 2006). Источниками загрязнения являются автомобильный транспорт и промышленные предприятия (Государственный доклад..., 2001, 2002, 2006). Для проведения сравнительного анализа было взято 11 проб пыльцы в различных районах города, одна проба в пригородном районе (пос. Виданы) и еще одна – в экологически чистом районе (район оз. Сямозеро, условный контроль). Все пробы пыльцы были взяты с территорий, находящихся в непосредственной близости от автомобильных дорог.

### **6.2. Соотношение фертильных и разных видов аномальных пыльцевых зерен березы в пробах различных районов г. Петрозаводска**

Зрелое фертильное, способное к оплодотворению пыльцевое зерно березы, окрашенное ацетокармином, имеет округло-угольную или эллиптическую форму, хорошо видны три поры с утолщенным ободком и обе оболочки – интина и экзина. Экзина скульптурирована. Цитоплазма мелкозернистая, окрашена в темно-розовый цвет, что является признаком морфологической зрелости мужского гаметофита (Николаевская, 1997). Четко выделяется округлое, более темное ядро вегетативной

клетки. Стерильные или аномально развитые пыльцевые зерна имеют различную структуру. Они могут быть представлены смятыми, неправильной формы клетками со сгустками разрушенной цитоплазмы, клетками без содержимого с различным количеством спор. Встречаются пыльцевые зерна вполне сформированные, но ядро или цитоплазма отсутствуют.

Соотношение аномальной и нормально развитой (фертильной) пыльцы в различных образцах в большинстве случаев достоверно отличается от контрольного образца. Количество фертильной пыльцы в контрольной пробе – 94,9%, а в образцах различных районов города от 50,5% до 95,8%, что позволяет сделать вывод о зависимости качества пыльцы вида-индикатора от экологических условий (в большей степени от уровня загрязнения) его места обитания (табл. 2). Наиболее часто встречающиеся аномалии развития – смятые и пустые пыльцевые зерна, а так же пыльца с агрегированной цитоплазмой.

Встречается пыльца с различным количеством пор, очень мелкая и, наоборот, гипертрофированная. Не обнаружено статистически значимой взаимосвязи между качеством пыльцы в различных образцах и количеством аномалий развития ( $r=0,28$ ). Наименьшее количество фертильной пыльцы наблюдается в образцах из районов, в которых расположены самые крупные действующие промышленные предприятия города или проходят оживленные автомобильные трассы и железная дорога. Они находятся в разных частях города: район пр. Октябрьский (проба 8), верхняя часть пр. Чапаева (проба 10), Ключевское шоссе (проба 4), ул. Судостроительная (проба 2), район ТЭЦ (проба 9), Комсомольский проспект (проба 1).

Самое низкое качество пыльцы в Петрозаводске обнаружено в Пробе 8, взятой недалеко от ЗАО «Петрозаводскмаш» и ООО «Севербуммаш», самых крупных из действующих на территории города предприятий. Кроме того, в данном районе отмечается высокая интенсивность автомобильного движения. В пробе пыльцы обнаружено максимальное количество аномалий развития пыльцы – 7, в том числе гипертрофированные пыльцевые зерна с 5 и более порами, а так же самое большое количество пыльцевых зерен без содержимого.

Меньшая интенсивность движения автотранспорта отмечена в районе пр. Ленина, ул. Гоголя, Лососинского шоссе, пр. К. Маркса (от 1500 до 3500 ед. транспорта в час). В пробах пыльцы из районов, расположенных вблизи данных улиц (пробы 5, 6, 11) количество фертильных пыльцевых зерен было выше (91–95%). В остальных районах города (пробы 3, 7) количество фертильной пыльцы превышает 90% и близко к

контрольному образцу, однако количество аномалий развития пыльцевых зерен гораздо выше (6).

Пыльца самого низкого качества обнаружена в пробе 12, взятой в пригороде, где находятся интенсивно используемые сельскохозяйственные угодья, оживленная автотрасса, а почва загрязнена удобрениями и гербицидами.

Проведенный нами анализ показал, что метод оценки уровня фертильности пыльцы березы достаточно чувствителен и может быть рекомендован к применению для мониторинга экологического состояния урбанизированных территорий таежной зоны.

Таблица 2

**Качество пыльцевых зерен березы в различных пробах**

Номер пробы	Фертильные п.з. (%) <sup>1</sup> M±m	σ	<sup>2</sup> D	V	P	Количество аномалий развития
1. Микрорайон Кукковка	86,50±1,50***	3,67	13,50*	4,24	1,73	7
2. Микрорайон Ключевая	78,51±2,04***	5,00	25,01*	6,37	2,60	7
3. Микрорайон Зарека	95,79±0,21*	0,52	0,27*	0,54	0,22	6
4. Микрорайон Голиковка	78,89±1,84***	4,50	20,25*	5,70	2,33	4
5. Центр города (1)	91,89±0,47***	1,14	1,31*	1,25	0,59	5
6. Центр города (2)	95,38±0,35	0,87	0,75	0,91	0,37	6
7. Микрорайон Соломенное	94,82±0,46	1,12	1,25	1,18	0,49	6
8. Район пр. Октябрьский	50,46±2,03***	4,98	24,79*	9,87	4,03	7
9. Микрорайон Сулажгора	82,14±1,65***	4,05	16,40*	4,93	2,01	4
10. Микрорайона Перевалка	66,23±2,49***	6,11	37,34*	9,23	3,77	5
11. Микрорайон Дрвлянка	92,74±0,56**	1,36	1,86*	1,47	0,60	6
12. п. Виданы (20 км от города)	46,23±2,42***	5,93	35,11*	12,82	5,23	6
13. Контроль оз. Сямозеро (80 км от города)	94,87±0,39	0,95	0,91*	1,01	0,41	2

*Примечание:* M±m (%) – среднее значение и ошибка средней арифметической; σ – среднеквадратичное отклонение; D – дисперсия; V – коэффициент вариации (%), P – точность опыта (%); <sup>1</sup> различия между контролем и остальными пробами

достоверны при \* $p > 0.05$ ; \*\* $p > 0.01$ ; \*\*\* $p > 0.001$ ; <sup>2</sup> различия между контролем и остальными пробами достоверны при \* $p > 0.05$

### **ГЛАВА 7. Список видов растений, продуцирующих пыльцу, обладающую аллергенными свойствами**

Список видов растений, продуцирующих пыльцу, обладающую аллергенными свойствами содержит 90 видов, относящихся к 42 родам и 15 семействам, что составляет 14,4% от общего количества видов, произрастающих на территории города. Таксоны списка расположены по системе А. Л. Тахтаджяна (1987), роды и виды внутри семейств – в алфавитном порядке. В список внесены виды растений, частота встречаемости которых на территории г. Петрозаводска – «обычно», «часто», «очень часто», «спорадически» и «редко». В списке отмечены аборигенные и адвентивные виды растений и места их произрастания на территории города. Указана информация о степени аллергенности пыльцы (Smith, 1990; Guvensen, Ozturk, 2003; Diethart et al., 2007). Подчеркиванием выделены виды, обладающие, по литературным данным, наиболее аллергенной пыльцой и с частотой встречаемости на территории города «обычно», «часто» и «очень часто» (41 вид). Для составления списка видов использованы личные наблюдения автора и данные литературы (Антипина, 2002; Антипина, Венжик, Тойвонен, 2001; Егличева, 2007). Симптомы поллиноза на территории г. Петрозаводска чаще всего могут вызывать пыльцевые зерна растений *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench, *Alopecurus pratensis* L., *Artemisia vulgaris* L., *Avenella flexuosa* (L.) Drej., *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Chenopodium album* L., *Fraxinus excelsior* L., *Festuca ovina* L., *Festuca pratensis* Huds., *Festuca rubra* L., *Rumex acetosa* L., *Plantago major* L., *Phleum pratense* L., *Poa annua* L., *Poa pratensis* L., *Poa trivialis* L.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе впервые установлены качественные и количественные характеристики пыльцевого спектра воздушной среды города таежной зоны северо-запада России – Петрозаводска и динамика количественного содержания аллергенной пыльцы растений таксонов различного ранга в воздухе. Однако остается ряд вопросов, требующих дальнейших исследований в области изучения динамики пыления растений, ее межсезонной периодичности и роли метеорологических факторов в различные фазы вегетации. Это позволит подойти к моделированию палинологической составляющей воздушной среды в течение вегетационного периода. Метод мониторинга состояния окружающей среды на основании оценки уровня фертильности пыльцы березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) может быть рекомендован к применению. В дальнейшем необходимо провести дополнительные исследования для установления связи между количеством и типом нарушений структуры пыльцевого зерна и видами загрязнителей.

## ВЫВОДЫ

1. В составе аэропалинологического спектра г. Петрозаводска зарегистрирована пыльца растений 17 таксонов, обладающая аллергенными свойствами. Составлен список видов с указанием степени аллергенности пыльцы, который включает представителей 15 семейств, 42 родов и 90 видов – 14,4 % от общего количества видов, произрастающих на территории города. Аборигенными являются 68 видов растений, адвентивными – 22.
2. Пыльца растений пяти семейств занимает доминирующее положение в аэропалинологическом спектре: *Betulaceae* (в среднем 66,5%), *Pinaceae* (в среднем 14,2%), *Poaceae* (в среднем 3,5%), *Urticaceae* (в среднем 1,5%) и *Asteraceae* (в среднем 1,1%). Их суммарный вклад составляет в среднем 86,8% от общего количества аллергенной пыльцы. Содержание пыльцевых зерен, обладающих аллергенными свойствами, в воздухе составляет в среднем 92,6% от общего количества пыльцы, в том числе 75,5% – пыльца аборигенных видов.
3. Исследование аэропалинологического спектра в течение трех сезонов наблюдения показало, что основной состав пыльцевого спектра

почти одинаков в различные годы, а сроки, интенсивность и характер пыления значительно варьируют. Пыльца растений некоторых таксонов (*Tilia*, *Quercus*, *Fraxinus*) регистрируется в составе спектра не каждый год.

4. В течение вегетации растений установлено три периода пыления. В первый (апрель–май) и второй (июнь–середина июля) периоды пыления в спектре преобладает аллергенная пыльца древесных растений, а в третий (конец июля – сентябрь) период – травянистых. Наибольшее содержание пыльцы в воздухе зафиксировано в мае (71,5%), значительно меньше в июне (17,2%) и самое низкое количество – в сентябре (0,5%). По результатам трехлетних аэропалинологических наблюдений составлены календари пыления для г. Петрозаводска.
5. Установлено, что на территории г. Петрозаводска наиболее значимыми метеорологическими факторами, влияющими на динамику пыления большинства растений, которые продуцируют пыльцу с аллергенными свойствами, являются скорость ветра и температура воздуха.
6. Показано, что пыльца березы может рассматриваться как тест-объект для мониторинга экологического состояния урбанизированных территорий таежной зоны.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Сроки пыления некоторых древесных видов в условиях Карелии // Палинология: теория и практика: материалы XI всероссийской палинологической конференции (27 сентября – 1 октября 2005 года, Москва). – Москва, 2005. – С. 80–81.
2. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Методические аспекты организации фенологических наблюдений на территории г. Петрозаводска // Ломоносов 2006: тезисы докладов 8 международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (12–15 апреля 2006 года, Москва). – Москва, 2006. – С. 88–89.
3. Елькина Н. А. Аэропалинологический мониторинг на территории г. Петрозаводска // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: научный и образовательный аспекты: материалы всероссийской научной школы (28–30 ноября 2006 года, Киров). – Киров, 2006. – Вып. 4. – С. 104–105.

4. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Лекарственные растения г. Петрозаводска, вызывающие поллиноз // Достижения, проблемы, перспективы фармацевтической науки и практики: материалы региональной научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 40-летию фармацевтического факультета КГМУ (15 декабря 2006 года, Курск).– Курск, 2006.– С. 283–285.
5. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Представленность на территории г. Петрозаводска таксонов-доминантов лекарственных растений, обладающих поллинозной активностью // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов севера: материалы XI Перфильевских чтений, посвященных 125-летию со дня рождения И. А. Перфильева (23–25 мая 2007 года).– Архангельск, 2007.– С. 52–55.
6. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Результаты аэропалинологического мониторинга для г. Петрозаводска (2005–2006 гг.) // Экологическое образование и экологическая наука для устойчивого развития: Материалы 5 международной научно-практической конференции (19–21 ноября 2007 года, Архангельск).– Архангельск, 2007.– С. 98–102.
7. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Опыт палинологических исследований воздушной среды городов таежной зоны // Труды Карельского научного центра Российской академии наук.– Петрозаводск, 2007.– Вып. 11: Экология. Экспериментальная генетика и физиология.– С. 20–27.
8. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Динамика состава пыльцевого спектра воздушной среды в период вегетации растений // Бюл. Моск. О-ва Испытателей Природы. Отд. Биол.– 2008.– Т. 113.– Вып. 2.– С. 71–75.
9. Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Результаты аэропалинологического мониторинга в г. Петрозаводске 2005–2007 гг. // Палинология: стратиграфия и геоэкология: сборник научных трудов XII всероссийской палинологической конференции (29 сентября – 4 октября, 2008 года, Санкт-Петербург): в 3 т.– СПб.: ВНИГРИ, 2008.– Т. 1.– С 156–160.

Подписано в печать 22.12.08.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Изд. № 282.

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Отпечатано в Издательстве ПетрГУ  
185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33