



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУРГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ И МОГ

БИОИНДИКАЦИЯ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕСНЫХ
ЭКОСИСТЕМ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА

Выпускная квалификационная работа
по направлению 05.03.06. – Экология и природопользование
Направленность программы бакалавриата
«Природопользование»

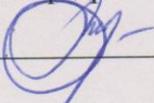
Проверка на объём заимствований:

50,29% авторского текста

Работа РЕКОМЕНДОВАНА к защите
рекомендована/не рекомендована

«04» 06 2019 г.

зав. кафедрой географии и МОГ

 Малаев А.В.

Выполнил:

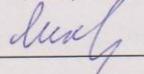
Студент группы ОФ-401/058-4-1

Пушкарев Никита Викторович



Научный руководитель:

доцент, кандидат биологических наук

 Лиходумова Ирина
Николаевна

Челябинск,

2019

№ 16, 2019г

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ «БИОИНДИКАЦИЯ»	5
1.1 Биоиндикация: понятие, виды, методики.....	5
1.2 Экологические основы биоиндикации.....	12
1.3 Биоиндикаторы, их чувствительность. Объекты биоиндикации	15
Выводы по первой главе.....	19
ГЛАВА 2. БИОИНДИКАЦИЯ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА	20
2.1 Аэротехногенное загрязнение.....	20
2.2 Аэротехногенное загрязнение г. Челябинска.....	24
2.3 Основные лесные экосистемы г. Челябинска и их характеристика	35
2.4 Оценка аэротехногенного загрязнения г. Челябинска методом биоиндикации	41
Выводы по второй главе.....	49
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ.....	50
Выводы по третьей главе.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
Список использованных источников	58

ВВЕДЕНИЕ

Качество среды обитания, является важным индикатором устойчивого развития общества. На данный момент, множество различных прогрессивных технологий нацелены на то, чтобы более эффективно использовать природные ресурсы, в результате чего происходят качественные изменения окружающей среды.

Чаще всего эти изменения приводят к локальным, региональным и глобальным нарушениям среды обитания человека. Действия человека, с одной стороны, формируют новые параметры среды, а с другой создают антропогенную модификацию уже имеющихся природных компонентов и, в последствии, изменение свойств биологических систем.

Актуальность проведенных исследований объясняется тем, что Челябинск входит в топ-10 самых загрязненных городов России, поэтому изучение методов оценки загрязнения атмосферного воздуха являются актуальными и в качестве одного из методов оценки в работе используется биоиндикационный метод определения состояния атмосферного воздуха.

Биологические методы контроля в ряде ситуаций, позволяют оперативнее оценивать качество окружающей среды и определять некоторые загрязнения, которые не выявляются химическими методами. К биологическим методам контроля относятся биоиндикацию и биотестирование.

Объектом исследования является атмосферный воздух г. Челябинска.

Предметом исследования - биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска.

Целью исследования является оценка аэротехногенного загрязнения г. Челябинска методами биоиндикации.

Для достижения поставленной цели нами были сформулированы следующие задачи:

- 1) Изучить особенности метода биоиндикации для исследований аэротехногенного загрязнения;
- 2) Изучить особенности аэротехногенного загрязнения г. Челябинска;
- 3) Дать характеристику основных лесных массивов г. Челябинска как объектов биоиндикации;
- 4) С помощью метода биоиндикации выделить районы города Челябинска с различным уровнем загрязнения воздушного бассейна.
- 5) Изучить воздействие отдельных поллютантов на растительный организм.

Практическая значимость. Оценка весьма актуальна, данные методы исследования могут использоваться природоохранными, образовательными, муниципальными учреждениями.

Новизна работы заключается в том, что дана оценка состояния атмосферного воздуха методом биоиндикации вблизи источников воздействия и на удалении, т.е. сравнили степень загрязнения воздуха в зависимости от удаления основных источников загрязнения.

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ «БИОИНДИКАЦИЯ»

1.1 Биоиндикация: понятие, виды, методики.

Физико-химические методы являются ведущими методами оценивания состояния окружающей среды для экологического контроля. Данные методы опираются на сравнение загрязнения определенных компонентов природы с нормами ПДУ (предельно-допустимые уровни) или ПДК (предельно-допустимые концентрации). Но для достаточной экологической безопасности недостаточно только установленных нормативов. Функционирующие в системе природопользования нормативы, регламентирующие антропогенное воздействие на природу, ведет к тому, что даже в идеальных условиях контролирования, экосистема подвергается излишней нагрузке [15].

Чтобы рационально вести природопользование и снизить нагрузку более полезным будет использование аналитического подхода, при выявлении загрязненных зон. Но на практике и этот подход имеет ряд минусов, особенно при оценке экологического состояния более крупных исследованиях. Без учёта вышеизложенного и высокой стоимости репрезентативных данных, недостатками данного подхода являются:

- невозможность разрешить проблему оценивания влияния на токсичность или другие лимитирующие свойства загрязняющего вещества разнообразных природных факторов;
- исключение учета антагонического и синергического эффектов загрязняющих веществ в практической деятельности;
- отсутствие данных о вторичных эффектах воздействия загрязняющего вещества, вызванного его трансформацией и накоплением в различных частях экосистем.

Кроме приведённых выше методов и подходов изучения влияния антропогенного воздействия на окружающую среду используют способ биологической индикации, который показывает прямую информацию о влиянии различных неблагоприятных воздействий на организмы, с помощью их реакции на стрессовые.

Биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. В полной мере это относится ко всем видам антропогенных загрязнений [15].

Разработка методов и критериев, отображающих уровень антропогенного воздействия, является главной задачей биоиндикации. При этом биоиндикация обязана учитывать комплексный характер загрязнения и выявлять ранние нарушения в компонентах биотических систем наиболее чувствительных к антропогенному воздействию. Сообщества, а также отдельные организмы, жизненно важные функции, которых тесно связаны с определенными факторами среды и которые могут использоваться для их оценивания среды, называются биоиндикаторами. Используются два основных вида биоиндикации: активный и пассивный.

Биотестирование (активная индикация) - изучение тех же воздействий в нормальных обстоятельствах на наиболее чувствительные к данному условию тест-организмы. Процедура определения уровня токсичности среды через тест-объект, которые были намеренно отобраны или выращены и способны информировать об угрозе вне зависимости воздействующего вещества и в какой совокупности пробуждают изменения их жизненно значительных функций, называется биотестирование [15].

Изучение видимых или малозаметных повреждений у свободноживущих организмов или их отклонений от нормы, являющихся признаками негативного влияния, называется пассивная биоиндикация.

Методами биоиндикации и биотестирования обуславливается выявление присутствия в окружающей среде загрязнителя по наличию или

состоянию организмов, особо чувствительных к изменению экологической ситуации, т.е. выявление и установление биологически важных антропогенных нагрузок на основе реакции сообществ и отдельных живых организмов на них. Как вывод, под биоиндикацией понимают, использование биологических методов для оценивания среды. Оно предполагает выделение видов животных или растений, которые реагируют на тот или иной тип воздействия [15].

Количественная и качественная оценка (без определения степени загрязнения) антропогенного и естественного воздействия в определённых условиях может методами биоиндикации. Интегральный характер ответных реакций организмов является главным преимуществом методов биоиндикации и биотестирования:

- суммирование всех биологически значимых данных об состоянии окружающей среды;
- определение присутствия в окружающей природной среде комплекса загрязнителей;
- позволяют судить о степени вредности загрязняющих веществ для живой природы и человека по отдельности;
- контролируют действие множества различных синтезируемых человеком соединений;
- в условиях постоянной антропогенной нагрузки реагируют на очень слабые воздействия, благодаря аккумуляции дозы;
- фиксируют скорость изменений, происходящих в окружающей среде;
- указывают на источники поступлений загрязнений и места их скопления в экосистемах и всевозможные пути попадания этих веществ в организм человека;
- позволяют проводить нормирование допустимой нагрузки на экосистемы, различные по своей устойчивости к антропогенному воздействию, так как одинаковый объем и состав загрязнений может

привести к разным реакциям природных систем в различных географических зонах;

- необязательное использование дорогостоящих, физико-химических и трудоемких методов для выявления биологических параметров.

Организмы постоянно подвержены прямому и косвенному влиянию окружающей среде человека и реагируют на залповые и кратковременные выбросы токсикантов.

Наиболее часто используемыми методами биоиндикации загрязнения воздушного бассейна являются лишеноиндикационные и методы определения чистоты воздуха по состоянию хвои сосны обыкновенной.

Метод определения уровня загрязнения атмосферного воздуха по лишайникам.

В лишеноиндикационных исследовательских работах различные деревья используются в качестве субстрата. Для того чтобы определить оценку загрязнения атмосферного воздуха или какого – либо участка используется вид дерева, который наиболее распространён на данной территории. Для примера может быть использована береза или липа мелколистная. Город обычно делят на квадраты, в каждом квадрате подсчитывается общее число деревьев, которые исследуют и число деревьев, покрытых лишайниками. Чтобы дать оценку загрязнения атмосферы выбранной магистрали, парка или улицы как правило описывают лишайники, которые могут расти на деревьях по двум сторонам улицы или аллеи парка на каждом третьем пятом или десятом дереве.

Существует пробная площадка, она ограничивается деревянной рамкой на стволе, размер может составлять, например, 10 x 10 см, это рамка разделяется изнутри тонкими проволоками на квадраты по 1 см².

Таким образом, можно отметить, какие виды лишайников встретились на площадке, и какой процент общей площади рамки занимает каждый вид.

Так же можно указать жизнеспособность каждого образца, имеются ли у него плодовые тела, чахлое или здоровое слоевище. Каждое из деревьев можно как минимум описать четыре пробные площадки: две у основания ствола (с разных сторон) и две на высоте 1,4 – 1,6 м. Обследование проводится благодаря тому, что можно произвести подсчет количества всех видов лишайников, произрастающих в районе изучения или по наличию какого-то одного вида лишайников на данной территории, или собрать информацию о его обилии в разных точках. Кроме определения видового состава, выявляют масштабы розеток лишайников и уровень покрытия в процентах. Оценка встречаемости обычно дается по 5-балльной шкале (таблица 1) [16].

Таблица 1

Таблица оценки частоты встречаемости и степени покрытия [16]

Частота встречаемости (в %)		Степень покрытия (в %)		Балл оценки
Очень редко	менее 5%	Очень низкая	менее 5%	1
Редко	5-20%	Низкая	5-20%	2
Редко	20-40%	Средняя	20-40%	3
Часто	40-60%	Высокая	40-60%	4
Очень часто	60-100%	Очень высокая	60-100%	5

Значит, для каждого места описания и для каждого типа лишайников — накипных, кустистых и листоватых — выставляются баллы встречаемости и покрытия.

После проведения исследований на нескольких десятках деревьев делается расчет средних баллов встречаемости и покрытия для каждого типа роста лишайников — накипных (Н), кустистых (К) и листоватых (Л). Зная баллы средней встречаемости и покрытия Н, Л, К, легко рассчитать показатель относительной чистоты атмосферы (ОЧА) по формуле [16]:

$$\text{ОЧА} = (\text{Н} + 2 \times \text{Л} + 3 \times \text{К}) / 30$$

Чем чище воздух местообитания, тем больше будет показатель ОЧА (ближе к единице). Наблюдается прямая связь между показателем ОЧА и средней концентрацией диоксида серы в атмосфере.

Метод определения уровня загрязнения атмосферного воздуха по хвое сосны обыкновенной (Pinus sylvestris).

Данная методика основана на обнаруженной зависимости степени усыхания и повреждения хвои (хлорозы и некрозы) от загрязнения воздуха в районе произрастания сосны обыкновенной. Для того, чтобы отобрать хвою, нужно выбрать сосны высотой не менее 1-1,5 м на открытом участке местности с 8-15 боковыми побегами. На площади 10х10м² с близко произрастающих сосен, необходимо сделать выборку хвои. Так же немало важно, в тетрадь записать сведения о месте сбора и наличии вблизи возможных источников загрязнения; указывается дата и время осмотра хвои. Весьма важно при выборе деревьев показатель вытоптанности участка где произрастают сосны. Уровень вытоптанности территории оценивается по шкале от 1-4 баллов:

- 1 – вытаптывания нет;
- 2 – вытоптаны тропы;
- 3 – сильное вытаптывание (отсутствие травы и кустарников);
- 4 – травяной покров остался только вокруг деревьев.

При вытоптанности участка, равной 3 и 4 баллов, оценка загрязнения атмосферного воздуха невозможна. У каждого дерева осмотреть хвоинки предыдущего года (вторые сверху мутовки). В случае если деревья слишком большие, то обследование проводить на боковом побеге в четвертой сверху мутовке (рис.1) [17].

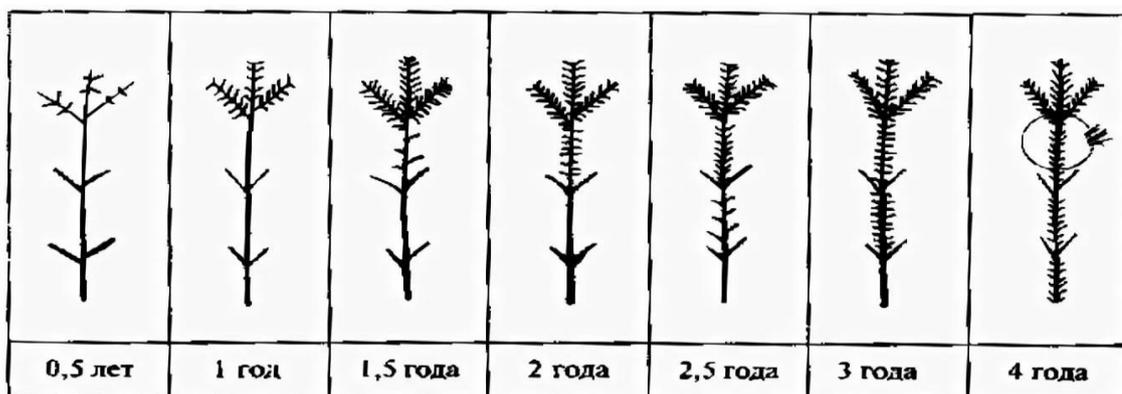


Рис. 1. Участок побега, на котором проводят обследование хвои для анализа качества воздуха [17]

Всего достаточно собрать или осмотреть не менее 30 хвоинок. Важно учитывать, что шипик хвои не оценивается т.к. всегда светлее. Выделяются несколько классов по уровню повреждения и усыхания хвои (рис.2).

Классы повреждения (некрозы)	1	2	3			
Классы усыхания	1	1	1	2	3	4

Рис. 2. Классы повреждения и высыхания хвои [17]

Классы повреждения:

- 1 – хвоя без повреждений;
- 2 – хвоя с малым числом мелких пятен;
- 3 – хвоя с большим числом черных и желтых пятен.

Классы усыхания:

- 1 – хвоя не имеет сухих участков;
- 2 – хвоя с участками усыхания на кончике (2-5 мм);
- 3 – хвоя усохла на 1/3;

4 – полностью сухая хвоя.

Затем нужно диагностировать продолжительность жизни хвои. Осмотреть верхнюю часть ствола за последние годы жизни: каждая мутовка, считая сверху, - это год жизни (см. рис. 1). По оценочной шкале выполнить оценку уровня загрязнения атмосферного воздуха которая, включает возрастные характеристики хвои и классы повреждения хвои на побегах предыдущего года жизни с помощью таблицы 2. Затем формулируются выводы по полученным результатам [17].

Таблица 2

Оценка загрязнения воздуха (I-VI) с использованием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) [17]

Максимальный возраст хвои (год)	Класс повреждения хвои на побегах второго года жизни		
	1	2	3
4	I	I-II	III
3	I	II	III-IV
2	II	III	IV
2	-	IV	IV-V
1	-	IV	V-VI
1	-	-	VI

I-воздух идеально чистый; II-чистый; III-относительно чистый; IV-загрязненный; V-грязный; VI-очень грязный; - - невозможные сочетания.

1.2 Экологические основы биоиндикации.

Абсолютно у всех видов живых организмов имеются определённые требования к условиям местообитания. Эти требования выработались в процессе развития вида, которые определяют его существования в

обстоятельствах, подходящей экологической ниши. На живой организм всегда идет воздействие совокупности экологических факторов. Широко распространена классификация факторов на абиотические (физико-географические: факторы экотопа - химические, климатические, орографические, эдафические и т. д.) и биотические (антропогенные, зоогенные, фитогенные и т.д.). Все биологические системы – будь это популяции, организмы или биоценозы – научились приспосабливаться к определённым условиям местообитания. Любой из организмов имеет закрепленный на генетическом уровне физиологический порог выносливости к конкретному фактору, в рамках которого этот фактор считается для него переносимым. Степень воздействия фактора зависит от реакции организма, его угнетение или процветание, т.е любой вид приспособлен к определенной интенсивности каждого экологического фактора и к определенному диапазону его изменчивости.

В соответствии с «законом минимума» Ю.Либиха и с «законом толерантности» Шелфорда, существование вида может определяться лимитирующими факторами, которые относятся к области пессимума в максимальных и минимальных значениях. Около точек максимума и минимума находятся сублетальные значения экологического фактора, а за пределами зоны толерантности - летальные. С трудом можно определить оптимальное значение фактора, как полагается, принято говорить о зоне оптимума, при котором можно заметить наивысшую продуктивность вида. Экстремальными условиями среды называются те условия, которые выходят за пределы оптимальной зоны и составляют зону угнетения. Гибель организма вызывают летальные значения, которые лежат за пределами зоны толерантности (рис.3) [23].

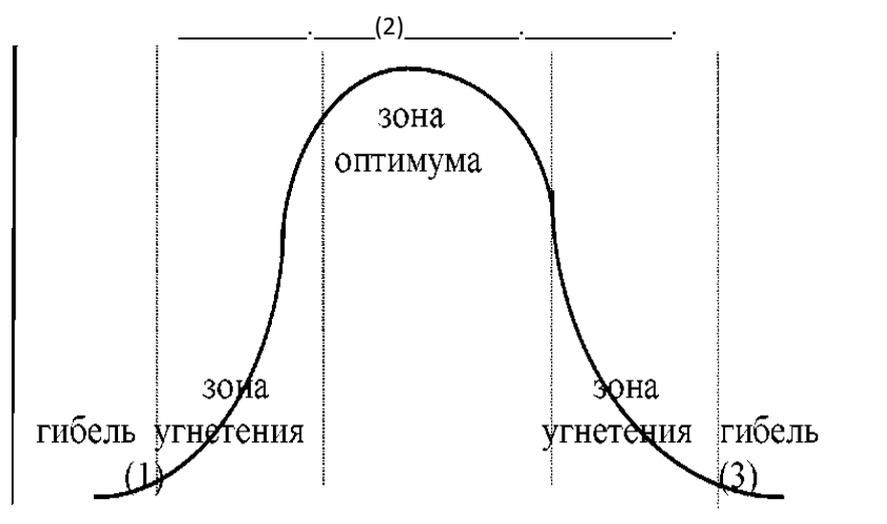


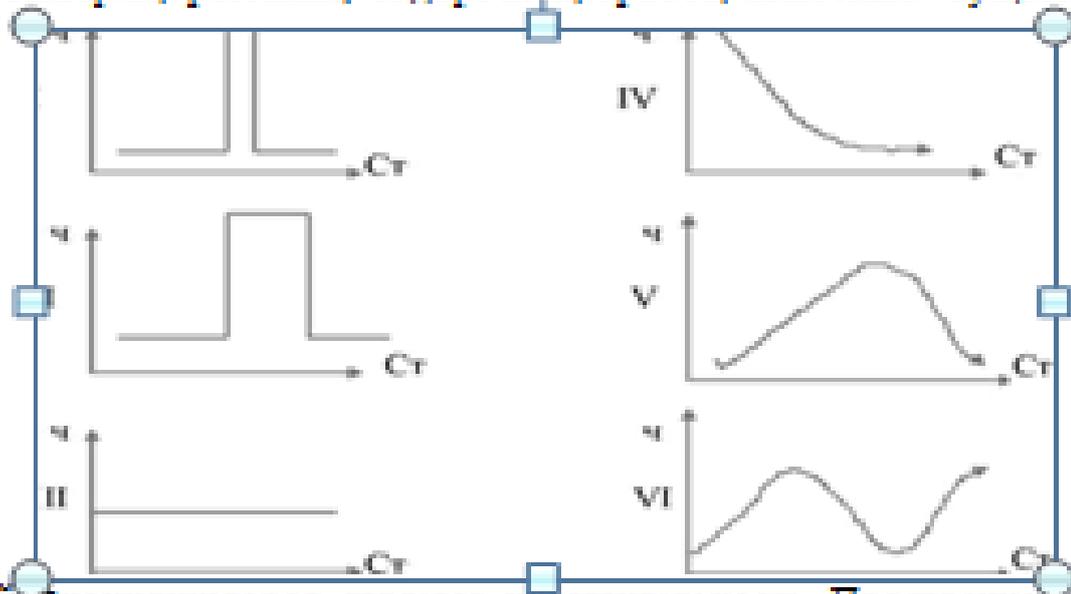
Рис. 3. Схема воздействия экологического фактора. 1-точка минимума; 2 - диапазон оптимума; 3-точка максимума [23]

Физиологический диапазон толерантности как правило разный для определенных ступеней развития организма и для абсолютно всех особей данной популяции. В природе имеются экологические диапазоны, которые отличаются по присутствию и масштабам от физиологических (потенциальных) диапазонов толерантности, они отражают фактическую реакцию организма на влияние всех условий среды. Индикаторную ценность определяет физиологическая толерантность и экологическая потенция организма. По итогам любая биологическая организация (организм, популяция, биоценоз) определяет воздействие на нее факторов среды, которые зависят от времени - как природных, так и антропогенных. Выживание вида определяется реакциями организма на неблагоприятные условия среды определенными действиями или изменением состояния. Избегание и приобретение выносливости - это два главных вида преодоления негативных влияний. Первый чаще всего используется животными, которые обладают подвижностью. Этот способ представляет собой различные перемещения из неблагоприятных условий в благоприятные и содержит разные миграции, таксисы и т. д. Большая часть растений лишена подобной способности. Своего рода «пассивное» их перемещение сопряжено с

распространением семян и заселением местообитаний, которые пригодны для произрастания. Поэтому главная стратегия для существования растений считается адаптация к неблагоприятным условиям за счет того, что происходит выработка всевозможных приспособлений (за счет перемены строения, процессов жизнедеятельности и т.д.), которые снабжают стандартное функционирование организмов. Потребности организмов, которые развиваются в составе сообществ, отличаются от потенциальных условий, предъявляемых к факторам внешней среды вне биоценоза. В экологии есть концепция о фактическом (синэкологическом) и потенциальном (аутэкологическом) оптимумах. От конкурентоспособности и возможности (или невозможности) реализовать свои потребности в предпочтении условий местообитания, зависит от условия конкурентной борьбы в составе сообщества распространения вида [13].

1.3 Биоиндикаторы, их чувствительность. Объекты биоиндикации.

Биоиндикаторами являются живые организмы, которые имеют выраженную реакцию на внешнее воздействие, это могут быть различные виды бактерий, растений, водорослей, грибов, животных. Существенной



чертой биоиндикаторов является чувствительность. Проявление реакции организма при небольших отклонениях характеризуется как ранняя индикация. Какая — то часть видов, напротив, накапливает воздействия без быстрого проявления. Эти биоиндикаторы называются аккумулятивными. Если биоиндикатор реагирует преимущественным отклонением жизненных проявлений от нормы, то он представляет собой чувствительный биоиндикатор. Можно выделить 6 типов чувствительности развития индикационных реакций, в зависимости от времени (рис. 4) [15]. ¶

¶

Рис. 4. Типы чувствительности биоиндикатора: St — интенсивность воздействия стрессора; $Ч$ — величина показателя чувствительности. [15] ¶

I → тип: через промежуток времени дает однократную реакцию и сразу теряет чувствительность; ¶

- I. тип: внезапная и сильная реакция, длится некоторое время, и резко исчезает;
- II. тип: в течение долгого времени сохраняет постоянную чувствительность;
- III. тип: после мощной реакции наблюдается, вначале быстрое, а затем медленное затухание;
- IV. тип: при появлении нарушающего воздействия реакция возрастает до максимума, а затем плавно затухает;
- V. тип: реакция предыдущего типа многократно повторяется.

Чувствительными биоиндикаторами являются, почвенные и водные микроорганизмы (водоросли, бактерии, микроскопические грибы), мхи, лишайники. Такими биоиндикаторами могут быть как хвоя сосны обыкновенной, так и пыльца растений и др. Среди животных выделяются группы организмов, которые реагируют положительно или отрицательно на разные формы антропогенной трансформации среды (моллюски, личинки ручейников, веснянок, ракообразные, поденок, хирономиды). Основными изменениями, которые происходят в объекте биоиндикации в результате воздействия воздушных загрязнителей, являются морфологические изменения (изменения формы и размера листовой пластинки, уменьшение продолжительности жизни хвои), а также физиологические процессы (изменение ферментативной активности, изменение в пигментном комплексе). Особой характеристикой любого индикатора является достоверность данных. Согласованных общепринятых методов оценки достоверности не разработано. В ботанических и геоботанических разработках с этой целью применяются различные шкалы, которые оценивают степень сопряженности (т.е. совместной встречаемости) объекта индикации и индикатора. Самым распространённым методом биоиндикации является метод эталонов. Суть этого метода заключается в сопоставлении изучаемых экосистем с определенной фоновой, принятой за особый образец,

по интересующим параметрам. Метод является важным при индикации загрязнений, когда сравнение идет с природными характеристиками и показателями, которые были не затронуты антропогенным воздействием [21].

В биоиндикации крайне важен точный выбор биоиндикатора. Когда происходит биоиндикация загрязнений, самым лучшим индикатором является организм, который показывает линейную корреляцию между степенью загрязнения окружающей среды и содержанием (аккумуляцией) загрязнителя и/или реакцией организма. Главными требованиями, которые предъявляются к организмам, используемых для биоиндикации, являются: объект биоиндикации должен находиться в исследуемой экосистеме в приоритете в крупном количестве; обширное представительство организма - биоиндикатора в разнообразных точках обитания и обширное географическое распределение; несложность и доступность идентификации и получения материала; отсутствие сезонных различий в доступности и применении биоиндикатора; условная выносливость к воздействию и накоплению стрессора; присутствие корреляции между реакцией организма и уровнем воздействия стрессора на экосистему [15].

В качестве объектов биоиндикации выступают различные живых организмы, т.е. микроорганизмы, растения и животные.

Микроорганизмы – самые быстро реагирующие биоиндикаторы, они предпочтительно подходят для экотоксикологических экспериментов и расшифровки биохимических механизмов действия различных загрязнителей на живой организм.

Растениям уделяется отдельное место при биоиндикаторной оценке состояния окружающей среды, которая проявляет высокую чувствительность, особенно к действию газообразных токсикантов и к тяжелым металлам. Растения свободно используются с целью фитоиндикации и контроля воздушной среды, почвы и гидросферы. Они в отличие от

животных, как наземные, так и пресноводные, крепко объединены со своим местообитанием, это облегчает задачу, когда учитывают факторы, которые действуют на растительный организм со стороны корневой системы. Одновременно, вследствие автотрофности и прикрепленности многих растений к субстрату, они являются важной составляющей любого биогеоценоза, которая подвергается воздействию локальных и глобальных загрязнений, что также важно для их успешного применения в целях биоиндикации.

Животные являются интересным объектом, который физиологически близок к человеку. По реакции животных можно предугадать санитарные последствия загрязнения как для природы, так и для людей.

Выводы по первой главе

Таким образом, биоиндикация в настоящее время является одним из широко используемых методов оценки качества окружающей среды. Приоритетными для исследований загрязнения воздушного бассейна, на наш взгляд, можно считать методы фитоиндикации, что связано с их доступностью и простотой.

ГЛАВА 2. БИОИНДИКАЦИЯ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА

2.1 Аэротехногенное загрязнение

Аэротехногенное загрязнение – это загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных объектов и автотранспорта. Источники поступления загрязняющих атмосферу веществ представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Источники поступления загрязняющих атмосферу веществ

Из-за существенного роста количества и концентрации промышленных и жилых объектов, а также увеличения плотности городского транспортного потока непрерывно возрастает уровень газо- и пылеобразных загрязнений

атмосферного воздуха, что влияет в целом на качество среды обитания, а, следовательно, на условия местообитания живых организмов.

Концентрация и длительность воздействия загрязняющих веществ на растения постоянно изменяются и находятся в зависимости от сложившегося рельефа, розы ветров и месторасположения источников выбросов. Рядом с одиночными источниками, особенно велики колебания концентрации загрязняющих веществ. Стоит учитывать, что неблагоприятному влиянию подвергаются растения не только в непосредственной близости к промышленным объектам, но и за их границами, так как вредные газовые интоксиканты разносятся на значительные расстояния от источника загрязнения. По мере отдаления от источника уменьшается концентрация поллютантов и продолжительность воздействия на экосистемы [11].

В настоящее время насчитывается свыше 150 веществ, которые выбрасываются в атмосферу в колоссальных количествах и расцениваются как вещества, загрязняющие воздух. Лесные массивы в наибольшей степени ощущают на себе воздействие двуокиси серы (SO_2). Концентрация SO_2 свыше $0,4 \text{ мг/м}^3$ даже при кратковременном воздействии может вызвать серьезные нарушения в органах ассимиляции древесных пород. Попадая в атмосферу, загрязняющие вещества, подвергаются воздействию внешней среды. Эти вещества, в процессе трансмиссии, ведут взаимодействие с метеорологическими и другими факторами, которые определяют уровень концентрации и область их воздействия и распространения [11].

В атмосфере крупных промышленно развитых городов содержится большое количество твердых частиц (пыли), которые постоянно осаждающихся на поверхность растений и почв. Часть их смывается или сдувается с поверхности листьев (хвои), а часть проникает в цитоплазму листьев, через устьица или поврежденные клетки эпидермиса, разрушает хлорофилл и забивает устьица растений. По этой причине в прилегающих к пыльным дорогам лесах снижается его продуктивность (замедляется рост кустарников и деревьев). Аккумуляция такой пыли в верхних горизонтах

почвы зачастую приводит к нарушению деятельности корневых систем растений, снижению роста и продуктивности их, а в отдельных случаях даже к гибели растений [11].

Говоря о фитотоксическом воздействии загрязняющих веществ необходимо сказать о том, что:

1) наиболее значительным является влияние газообразных веществ на органы ассимиляции (снижение ассимиляции, поглощение токсичных веществ);

2) скопление пыли на поверхности листьев и хвои снижает эффективность солнечного излучения, способствует повышению температуры, в результате чего токсичные вещества проникают в лист и вызывают закупорку устьиц;

3) пыль влияет на растение через почву (изменяется водородный показатель почвы и содержания микроэлементов, нарушение роста корневой системы).

Предполагалось, что предельно допустимые концентрации (ПДК) для древесной растительности почти не различались от принятых для человека, поэтому не были введены. Однако, большую чувствительность растений к воздействию множества фитотоксикантов определяет фотосинтетическая деятельность. Выделяют несколько видов ПДК, в зависимости от длительности воздействия поллютантов: максимальное, среднее годовое и среднесуточное.

Часто данные о ПДК различны, это объясняется разными методами и критериями оценки, а также исследованиями в разнообразных природно-климатических условиях, существенными отличиями в возрасте изучаемых растений, действием сложных соединений токсикантов. Изучив множество литературы, можно сказать, что максимально безвредной концентрацией сернистого ангидрида в атмосферном воздухе может считаться 0,007-0,020 мг/м³, что существенно ниже, чем санитарно-гигиеническая норма, установленная для городов и населенных пунктов. Поскольку

физиологические и экологические нормативы допустимого для растительности загрязнения воздуха более жесткие, чем гигиенические ПДК, а уровни современного загрязнения воздуха в промышленных районах и странах превышают последние, то, очевидно, основной причиной ослабления и усыхания хвойных лесов является длительное действие промышленных поллютантов.

Признаки ослабления и усыхания хвои в Восточной и Европе полностью схожи с повреждениями и дигрессией растений вблизи крупных источников промышленного развития (Братск, Мончегорск, Норильск, Магнитогорск и т.д.) и с данными, которые были получены в лабораторных экспериментах с воздействием на растения чистых газов. В Подмосковье сложилась схожая ситуация и выводы были получены при проведении ОВОС и исследовании состояния хвойных лесонасаждений методами фитоиндикации загрязнения атмосферного воздуха и состояния лесной растительности. Эти методы (физиолого-биохимический, фенолого-анатомический, биофизический, морфо-биометрический, лишенометрический и т.д.) дали возможность выявить экологическую оценку загрязнения среды и состояния растительности на больших территориях, выполнить экологическое зонирование территории трех районов и г. Калининграда Московской области, а так же установить допустимые критические уровни загрязнения атмосферного воздуха для лесных экосистем (по диоксиду серы - 5-6 мкг/м³ в год, а нагрузка серы - 10-12 кг/га в год) [11].

Вредные техногенные аномалии (с повышенной концентрацией токсических веществ) ухудшают условия существования растений, животных и человека. Если имеются стационарные источники загрязнения, то присутствие техногенных аномалий не только поддерживается, но и постоянно усиливается. Даже при низком уровне загрязнения, стационарные аномалии, воздействуют плавно и не оказывают заметного влияния на состоянии живых организмов, в этом и заключается их опасность. Действие

на организмы в течение долгого времени повышенных концентраций загрязняющих веществ может иметь кумулятивный характер, который проявляется не только в нарушении жизненных функций настоящего поколения, но и изменяющий генетически последующие.

Признаки повреждения листьев атмосферными загрязнителями очень схожи с признаками, которые вызывает много других биотических (повреждение хвои вредителем *Acantholida posticalis*) и абиотических факторов (засухи, повреждение озоном). Таким образом при исследовании повреждений листьев (хвои) необходимо учитывать все группы факторов: абиотических, биотических и техногенных.

2.2 Аэротехногенное загрязнение г. Челябинска.

Анализ Государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске», показывает, что в период с 2000 по 2017 года в атмосферный воздух города Челябинска ежегодно выбрасывается от 120 до 144,2 тысяч тонн загрязняющих веществ (рис. 6).



Рис. 6. Объемы выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников г. Челябинска, тысяч тонн

Основными предприятиями, загрязняющими атмосферный воздух, являются: ПАО «ЧМК», ООО «Мечел-Кокс», Фортум, АО «ЧЭМК», городские ТЭЦ 1, ТЭЦ 2, ТЭЦ 3 и ГРЭС, ПАО «ЧЦЗ», ПАО «ЧТПЗ». Объемы и состав выбросов представлены в таблице 3 и на рисунках 7-12.

Таблица 3.

Основные стационарные источники загрязнения и загрязняющие вещества атмосферного воздуха города Челябинска (за 2012-2014 гг.)

[7], [8], [9]

№ п/п	Предприятие	Выбрасываемые загрязняющие вещества
1	Предприятия группы «Мечел»	Взвешенные вещества, азота диоксид, бенз(а)пирен, фенол, нафталин, сероводород, азота диоксид
2	ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат»	Азота диоксид, взвешенные вещества, бенз(а)пирен, свинец, хром 6+, марганец, мышьяк
3	ОАО «Челябинский трубопрокатный завод»	Марганец, азота диоксид, свинец, оксид углерода, взвешенные вещества, фенол
4	ОАО «Челябинский цинковый завод»	Азота диоксид, аммиак, взвешенные вещества, оксид кадмия, марганец, мышьяк, ртуть, свинец, серы диоксид, фтористые газообразные соединения, цинка сульфат, цинка оксид, углерода оксид, метилбензол
5	Предприятия производства и	Азота диоксид, азота оксид, пыль неорганическая, содержащая

	<p>распределения электроэнергии, газа и воды (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ЧГРЭС)</p>	<p>диоксид кремния 70-20% (шамот, цемент, пыль цементного производства – глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола, кремнезем и др.), углерода оксид, серы диоксид</p>
--	---	---

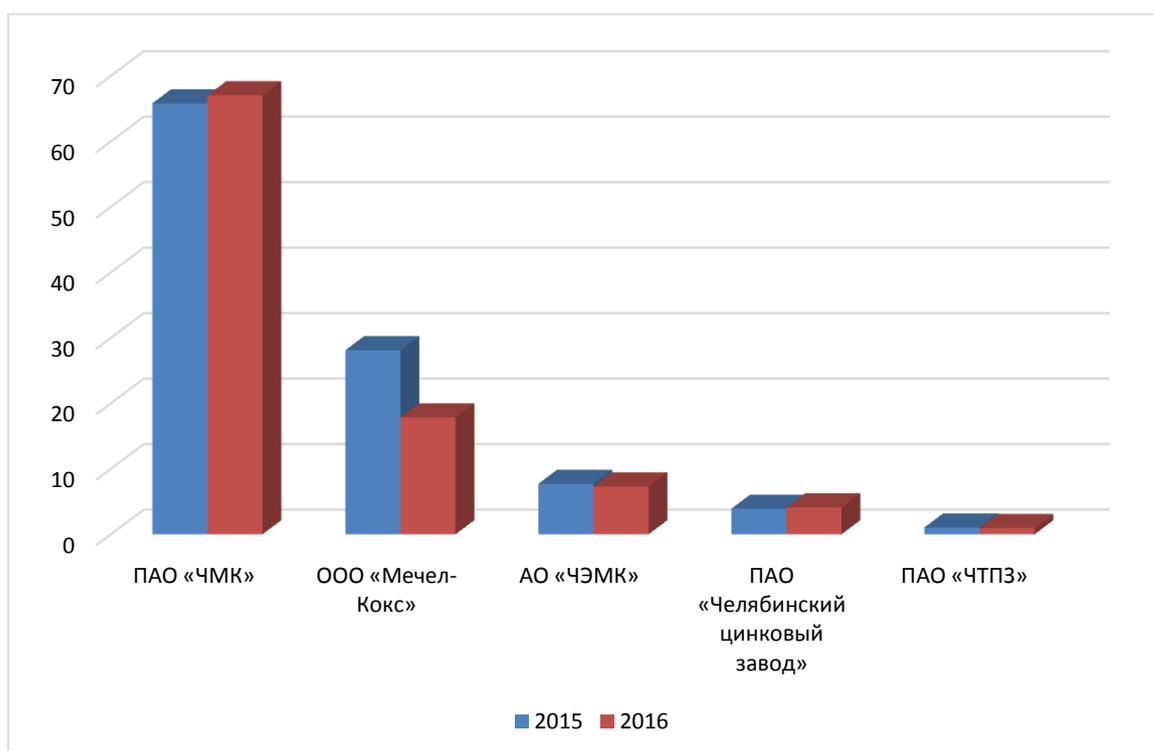


Рис. 7. Объемы валовых выбросов от основных источников загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска, тысяч тонн



Рис. 8. Структура выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска за 2013 г.

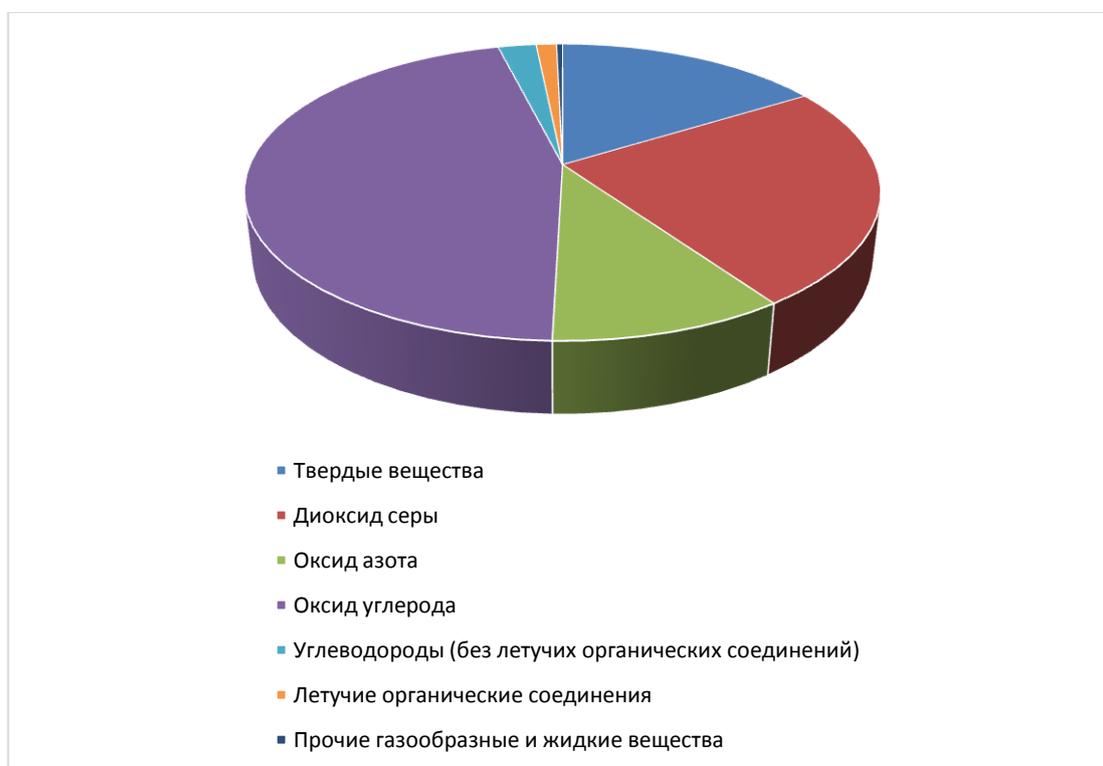


Рис. 9. Структура выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска за 2014 г.

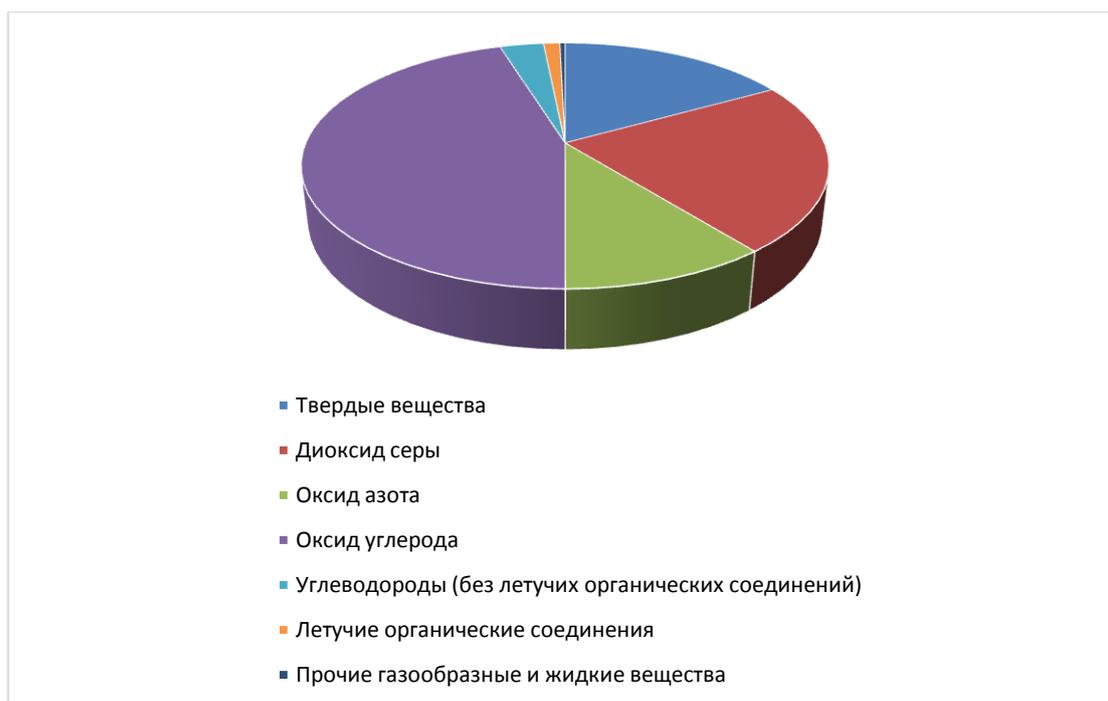


Рис. 10. Структура выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска за 2015 г.

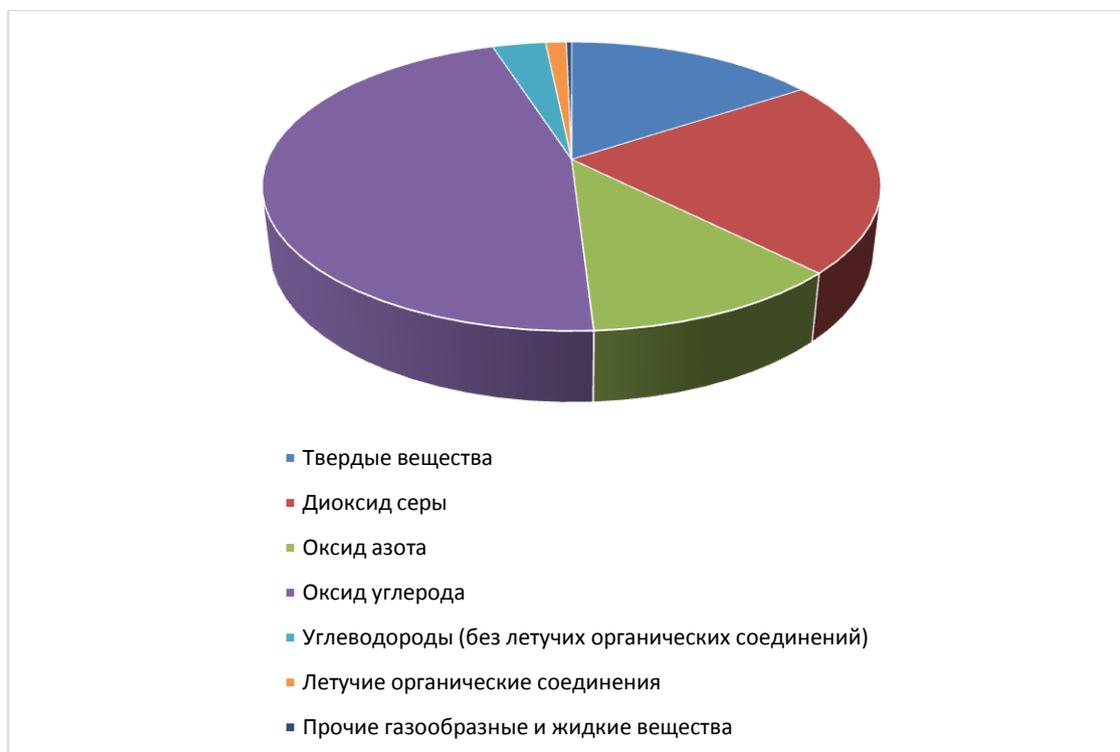


Рис. 11. Структура выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска за 2016 г.

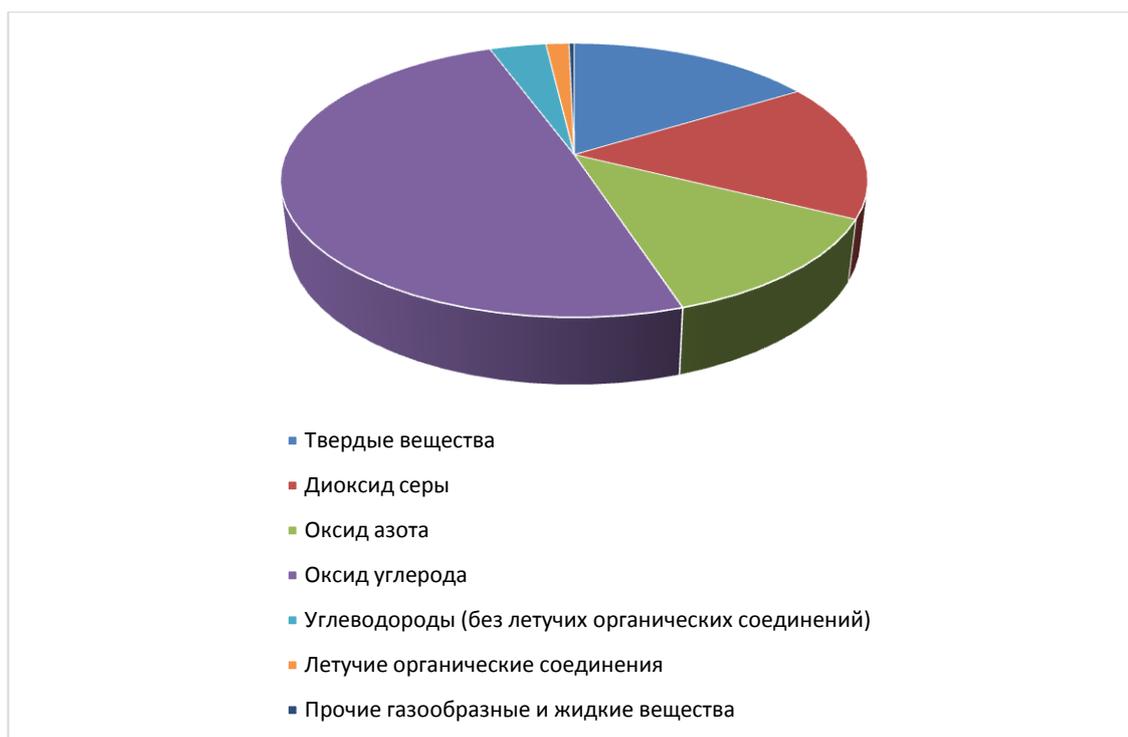


Рис. 12. Структура выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха г. Челябинска за 2017 г.

Челябинск является крупным мегаполисом с развитой структурой автомобильных дорог. Поэтому значительная доля в объемах выбросов загрязняющих веществ приходится на автотранспорт. Каждый год выбросы от передвижных источников загрязнения составляют от 90 до 110 тысяч тонн (рис. 13).

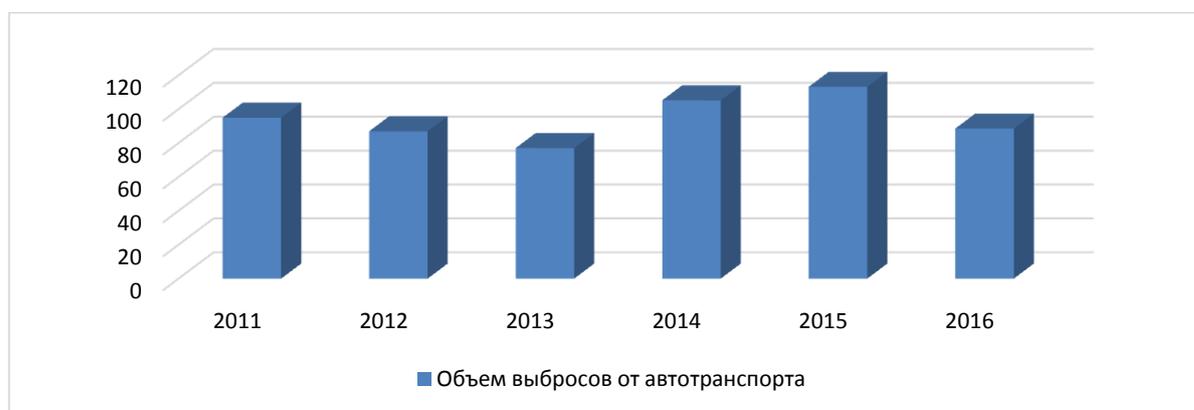


Рис. 13. Общий объем выбросов от автотранспорта в г. Челябинск, тысяч ТОНН

К главным токсичным выбросам от автотранспорта можно отнести: диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO), неметановые летучие органические соединения (ЛОСНМ), углеводороды (C_xH_y), оксид азота (NO_x), аммиак (NH_3), метан (CH_4) бенз(а)пирен, альдегиды, твердые частицы. Объемы основных загрязняющих веществ от автотранспорта представлены в рисунках 14-20.

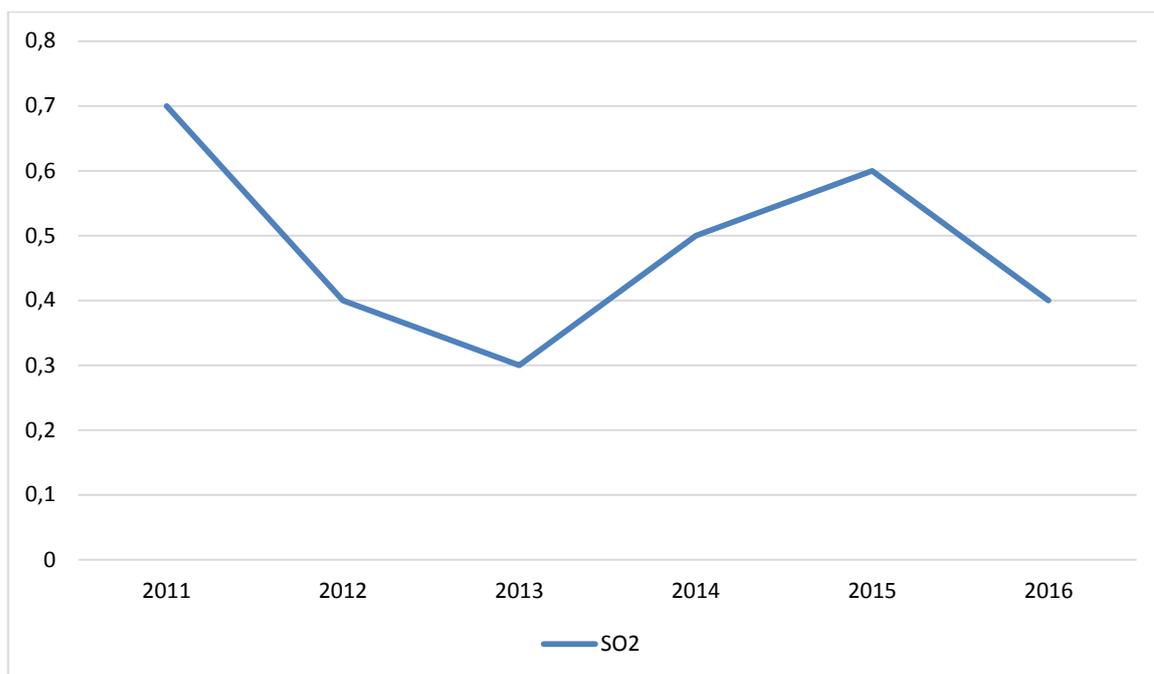


Рис. 14. Динамика объема выбросов диоксида серы в г. Челябинск, тысяч ТОНН

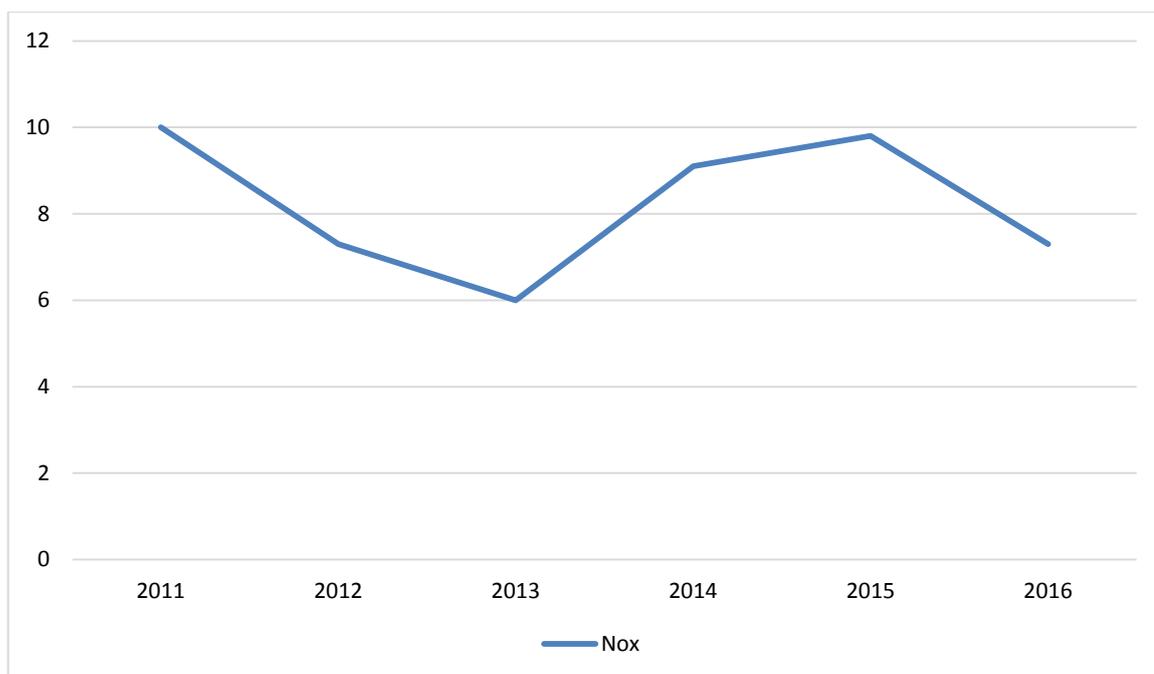


Рис. 15. Динамика объема выбросов оксида азота в г. Челябинск, тысяч ТОНН

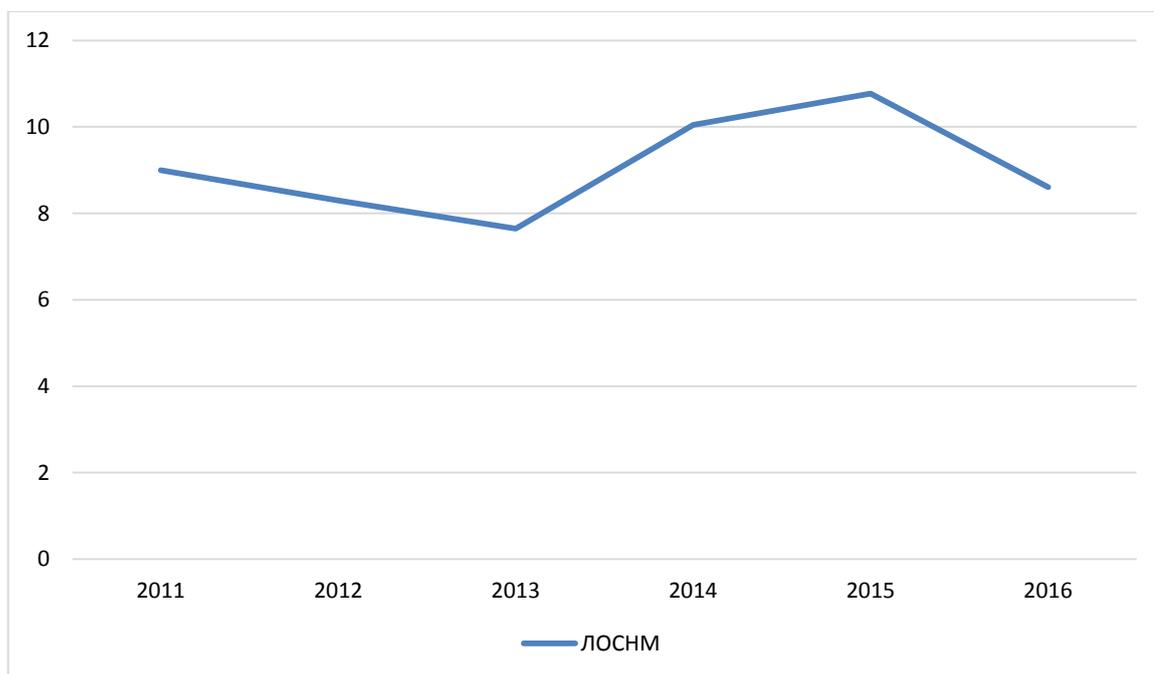


Рис. 16. Динамика объема выбросов неметановых летучих органических соединений в г. Челябинск, тысяч тонн

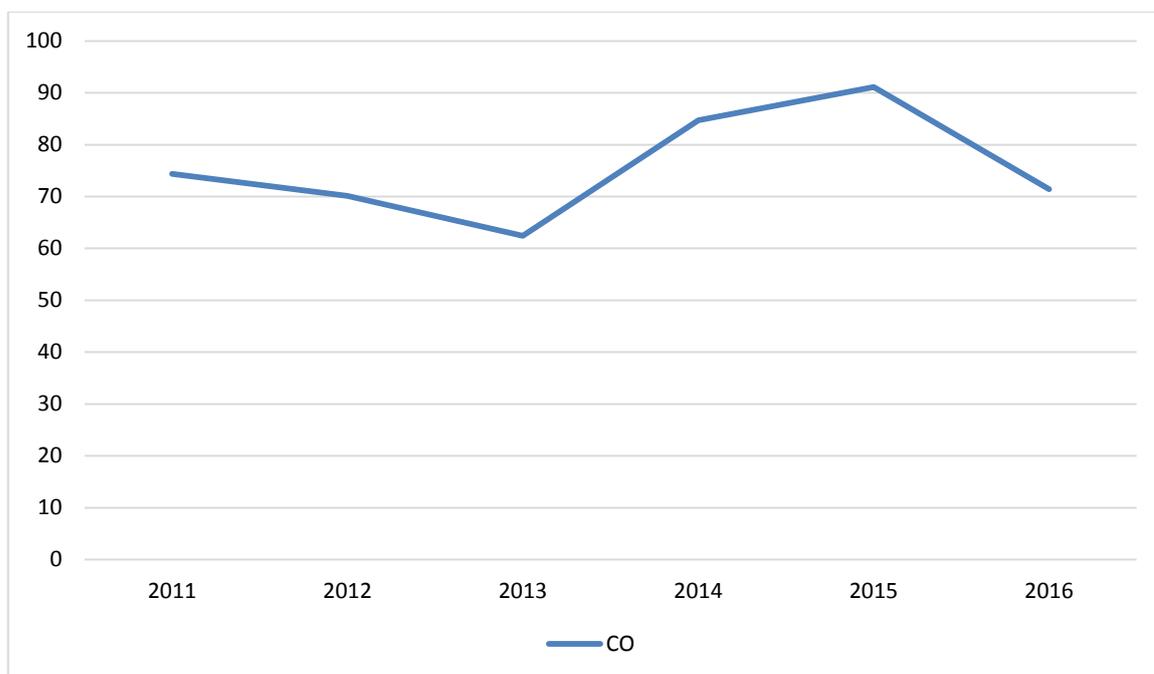


Рис. 17. Динамика объема выбросов оксида углерода в г. Челябинск, тысяч ТОНН

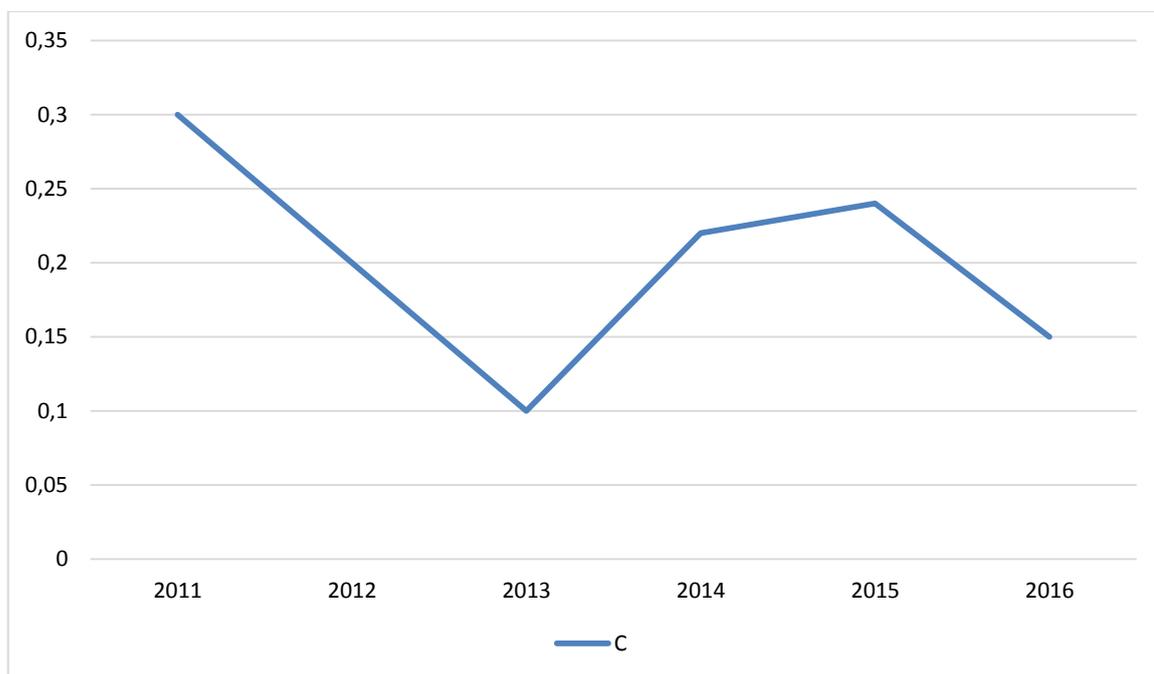


Рис. 18. Динамика объема выбросов твердых частиц в г. Челябинск, тысяч ТОНН

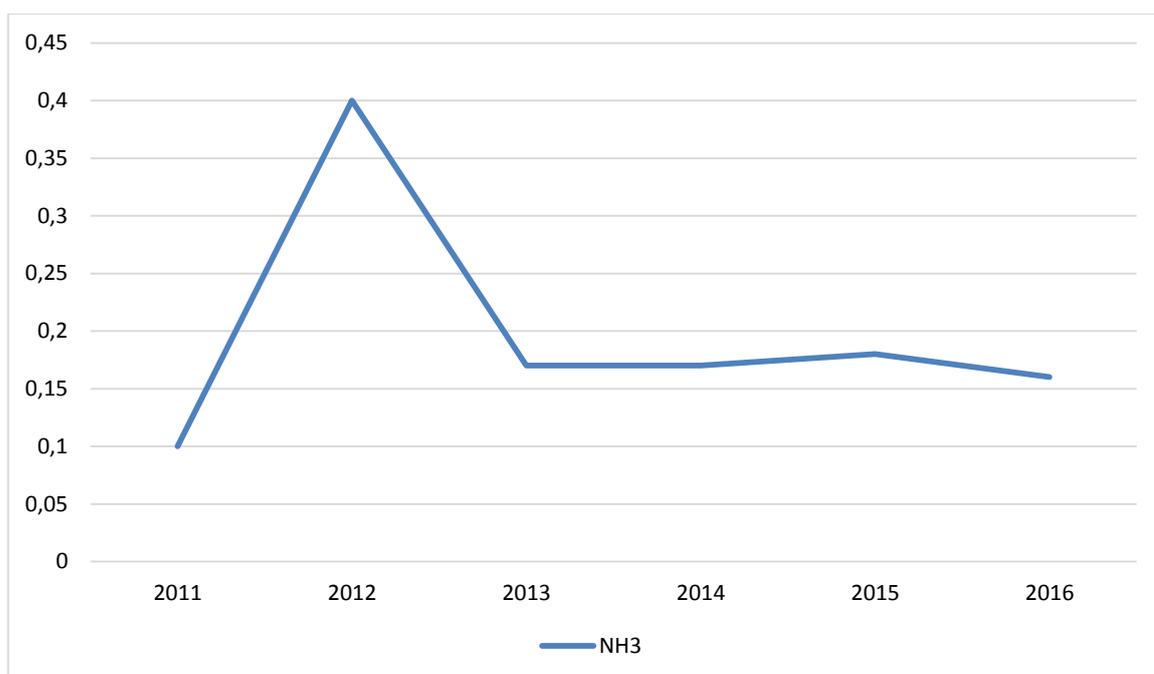


Рис. 19. Динамика объема выбросов аммиака в г. Челябинск, тысяч тонн

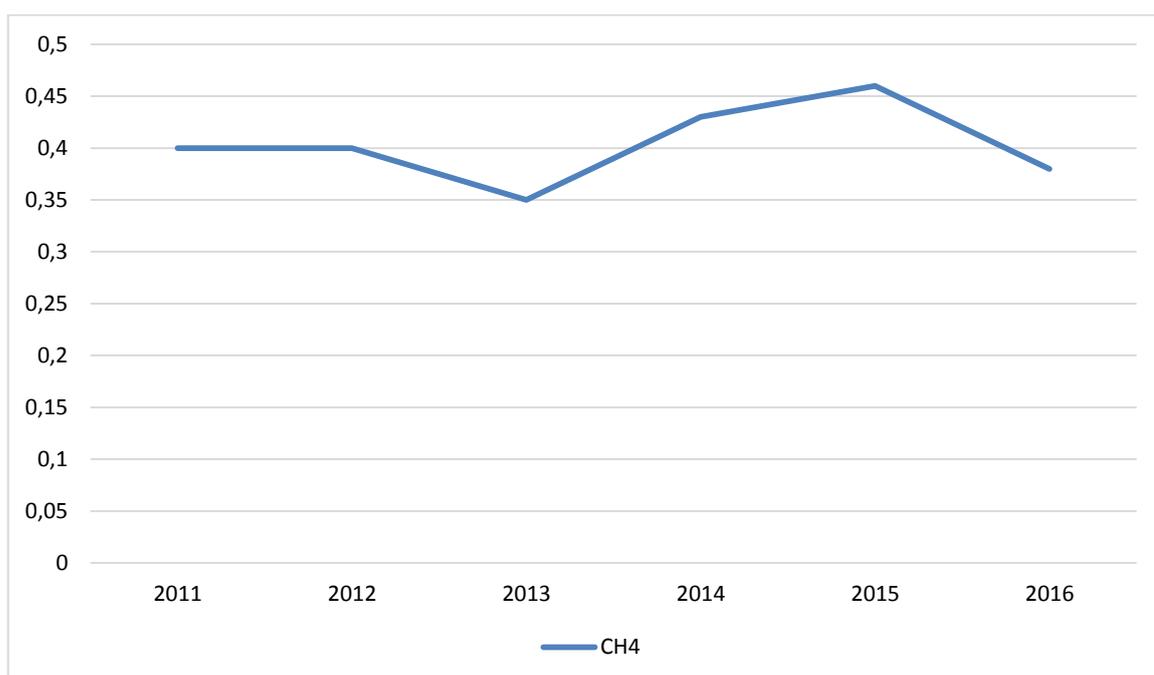


Рис. 20 Динамика объема выбросов CH_4 г. Челябинск, тысяч тонн

Таким образом, можно сказать, что в структуре выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения за период с 2013 по 2017 год, преобладают оксид углерода, который составляет около 47%. В 2013-2014 происходит увеличение выбросов в атмосферу соединений серы. Так же большое количество оксида азота и твердых частиц.

Преобладающим загрязнителем от автотранспорта за все годы является оксид углерода. Над Челябинском прослеживается систематическое превышение норм по формальдегиду и бензапирену. Были зафиксированы превышение норм диоксида азота, фенола, фторида водорода, взвешенных веществ, сероводорода.

Для изучения влияния воздушных поллютантов на состояние лесных экосистем города Челябинска нами была изучена роза ветров (рис. 21.).

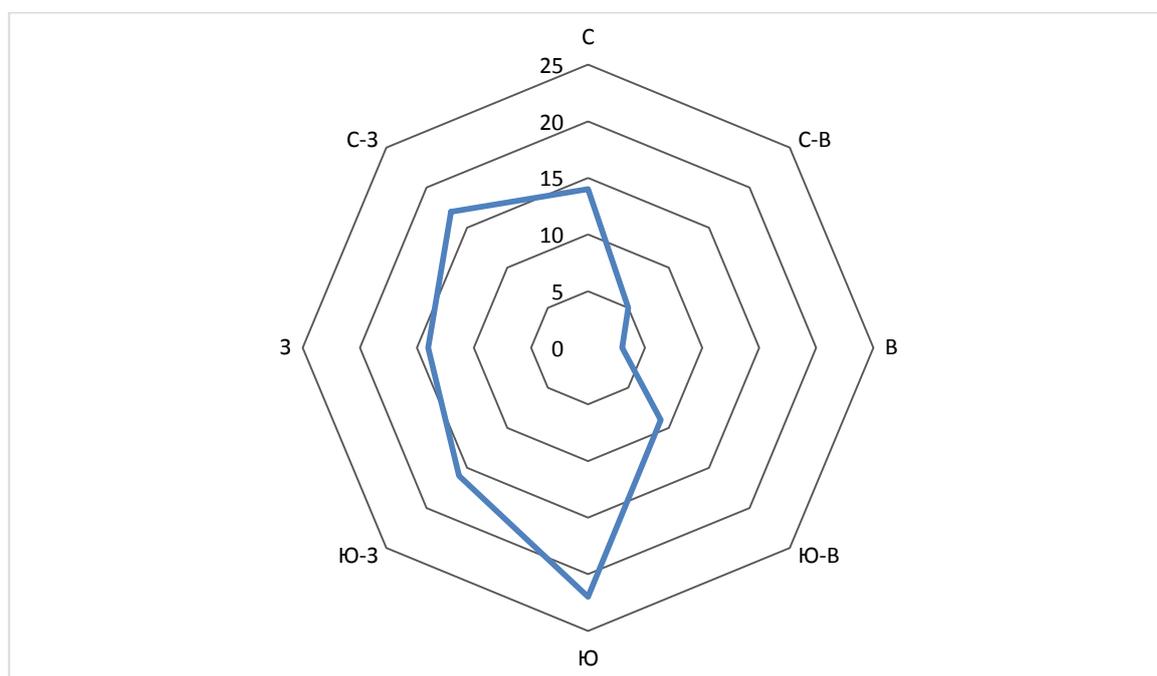


Рис. 21. Годовая роза ветров г. Челябинска по многолетним данным

В результате исследования было установлено, что в городе преобладают ветры южного, северо-западного и юго-западного направлений, ветры северо-восточного и восточного направлений имеют наименьшую повторяемость. В течение года наблюдается незначительные изменения в направлении ветра, но исходя из анализа розы ветров отмеченная выше тенденция в целом сохраняется. Таким образом, можно выделить районы города, которые наименее подвержены загрязнению, таковыми являются южная и западная части города. Воздушный бассейн северной части города (Металлургический район) и его северо-восточная часть, наиболее загрязнен.

2.3 Основные лесные экосистемы г. Челябинска и их характеристика.

Челябинский городской бор.

Это уникальный реликтовый лесной массив, который находится в центральной части г. Челябинск, на правом берегу реки Миасс. Бор расположен с юго-запада на северо-восток, его протяженность составляет 5,6 километров. Ширина примерно 2 километра. Общая площадь бора равна 12 км², из них лесной площади – 1138 гектаров, а лесопокрытой – 852. В соответствии с лесорастительным районированием, Челябинский городской бор располагается в лесостепной области Западно-Сибирской низменности Зауральской предгорно-равнинной провинции Аргаяшском северной лесостепной округе [20]. С каждым годом, площадь Челябинского бора уменьшается. Так, в 1736 году площадь бора была около 25 км², в начале XX века площадь уменьшилась и составляла 20 км². К середине XX века его площадь сократилась до 15 км² и в настоящее время составляет около 12 км². Рельеф слабо всхолмленный, с отдельными сопками высотой 8–15 м с пологими склонами. На территории бора присутствуют около 15 водоемов искусственного происхождения, образовавшихся в гранитных каменоломнях (кварталы 36 и 46) (Рис. 22.). Самые большие из них: Шершневецкий (Студенческий) карьер (20 квартал), Изумрудный карьер, по которому протекает юго-западная граница бора и Голубой карьер, находящийся на юго-востоке бора. Так же есть естественное лесное озеро, которое на сегодняшний день сильно захламлено. По территории бора протекает река Чикинка, которая берет начало в 30-м квартале, пересекая всю территорию бора и впадает в реку Миасс. Во многих местах бора есть родниковые источники с прозрачной, холодной и идеально чистой водой, содержащей небольшое количество радона [20].



Рис. 22. Границы Челябинского городского бора [20]

Гранитный массив лежит в основании Челябинского бора и в связи с этим, гамма-фон на территории бора несколько завышен. В северной части бора наблюдаются некоторые природные аномалии гамма-фона. Почвенный покров главным образом представлен оподзоленными дресвянистыми и дерново-подзолистыми почвами, так же на болотистых участках образовались болотно-луговые почвы. В бору есть ряд своих микроклиматических особенностей: большая влажность воздуха, изменения температурного режима в сторону понижения температур летом и повышения их зимой, ещё более сильное понижение температуры летом в придолинной части бора, малое влияние ветров, большее накопление и замедленное таяние снега в лесу, чем на открытых участках.

В основном лесной массив представлен сосновыми породами деревьев (91,4 %). Местами встречаются береза пушистая и бородавчатая, ольха и осина. Так же, за последние годы в состав древостоя были введены дуб черешчатый, клен остролистный, ясенелистный и татарский, тополь бальзамический, лиственница сибирская, карагач. В сильно разреженных лесонасаждениях хорошо развит подлесок: малина, шиповник коричный, кизильник черноплодный, боярышник кроваво-красный, рябина обыкновенная, жимолость татарская, раkitник русский, дрок красильный, спирея городчатая. В бору можно встретить больше 200 видов растений. Если углубиться в бор, то у основания сосен можно наблюдать кукушкин лен, зеленые мхи. В некоторых местах сохранились маленькие участки с напочвенным покровом из разных видов кустистых лишайников. В бору обитает 118 видов птиц, из которых достоверно гнездятся – 41 вид. Из уникальных птиц в бору на зимовке отмечалась большая белая цапля. В бору встречается несколько редких видов животных – гребенчатый тритон и сибирский углозуб. Зарегистрированы махаон, аполлон, переливница ивовая, сенница Эдип, ленточник тополевый, подалирий, червонец огненный [20].

Никольская роща.

Никольская роща – это сохранившаяся на территории Челябинска в форме прямоугольника лесопарковая зона, площадь которой составляет всего 45 гектаров. Никакого специального благоустройства зеленой зоны не проводилось, когда-то этот участок леса, покрывавший весь район, был отгорожен и получил статус городского парка. В настоящее время вместо состарившихся берез здесь начали высаживать лиственницу, клены, тополя и другие деревья. Так же на территории парка произрастает сосна обыкновенная. Водоемов в пределах лесного массива нет. Никольская роща находится в Калининском районе (на границе с Тракторозаводским), ограничена с севера проспектом Победы, с запада - улицами Героев

ПКиО Северо-Западный находится на северо-западе в Курчатовском районе города Челябинска, за лыжной базой (рис. 24).

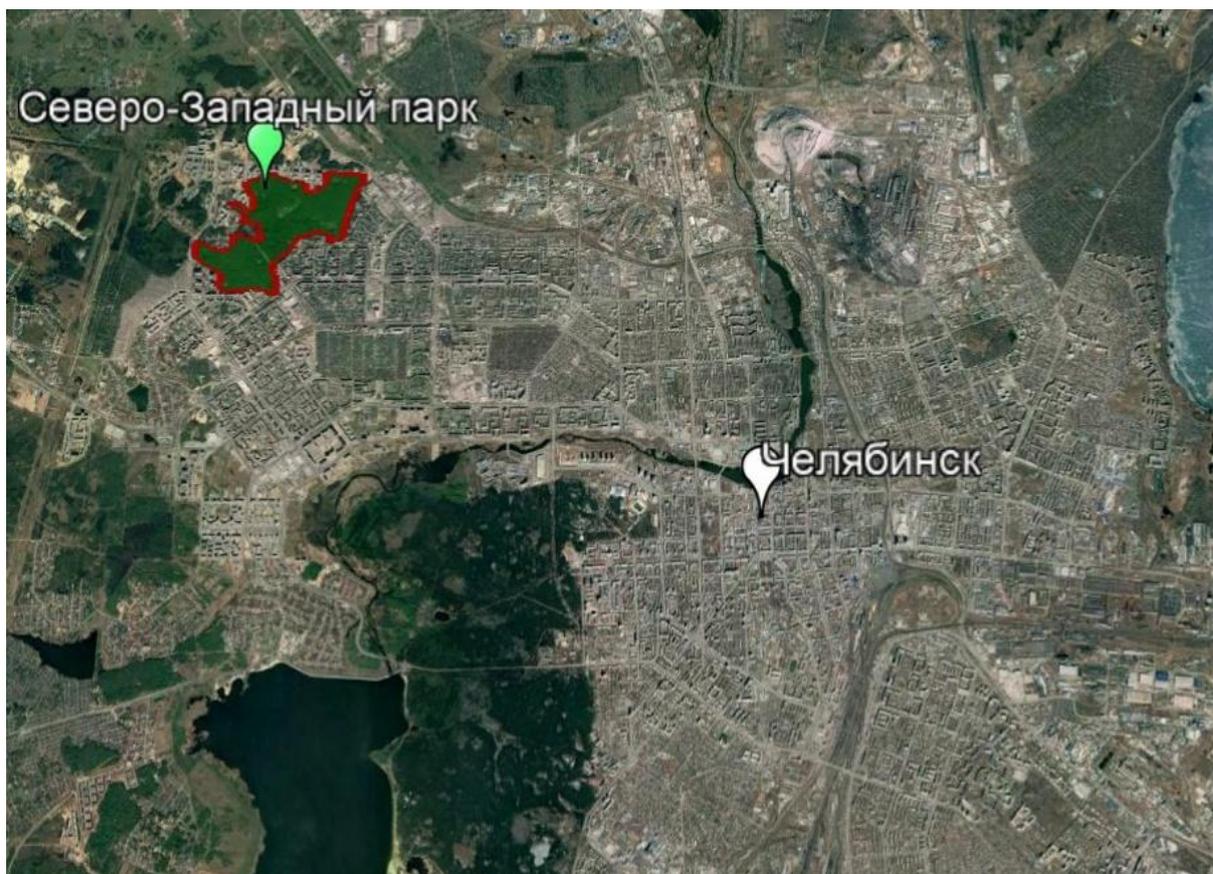


Рис. 24. Расположение Северо-Западного парка

Отсюда и возникло такое название. Парк начал создавать в 2014 году. На месте лесного массива, ограниченного улицами Молдавская, Захаренко, Бейвеля и Хариса Юсупова. Площадь парка составляет свыше 60 га. В настоящее время со стороны улицы Молдавской создана небольшая территория с аттракционами. Водоёмы на территории лесного массива отсутствуют. Видовой состав деревьев преимущественно представлен сосной обыкновенной, также встречаются ель сибирская, береза повислая и пушистая.

2.4 Оценка аэротехногенного загрязнения г. Челябинска методом биоиндикации по хвое сосны обыкновенной

Для исследования аэротехногенного загрязнения города Челябинска методом биоиндикации были выбраны 4 участка, в которых были заложены 5 точек отбора (рис. 25).

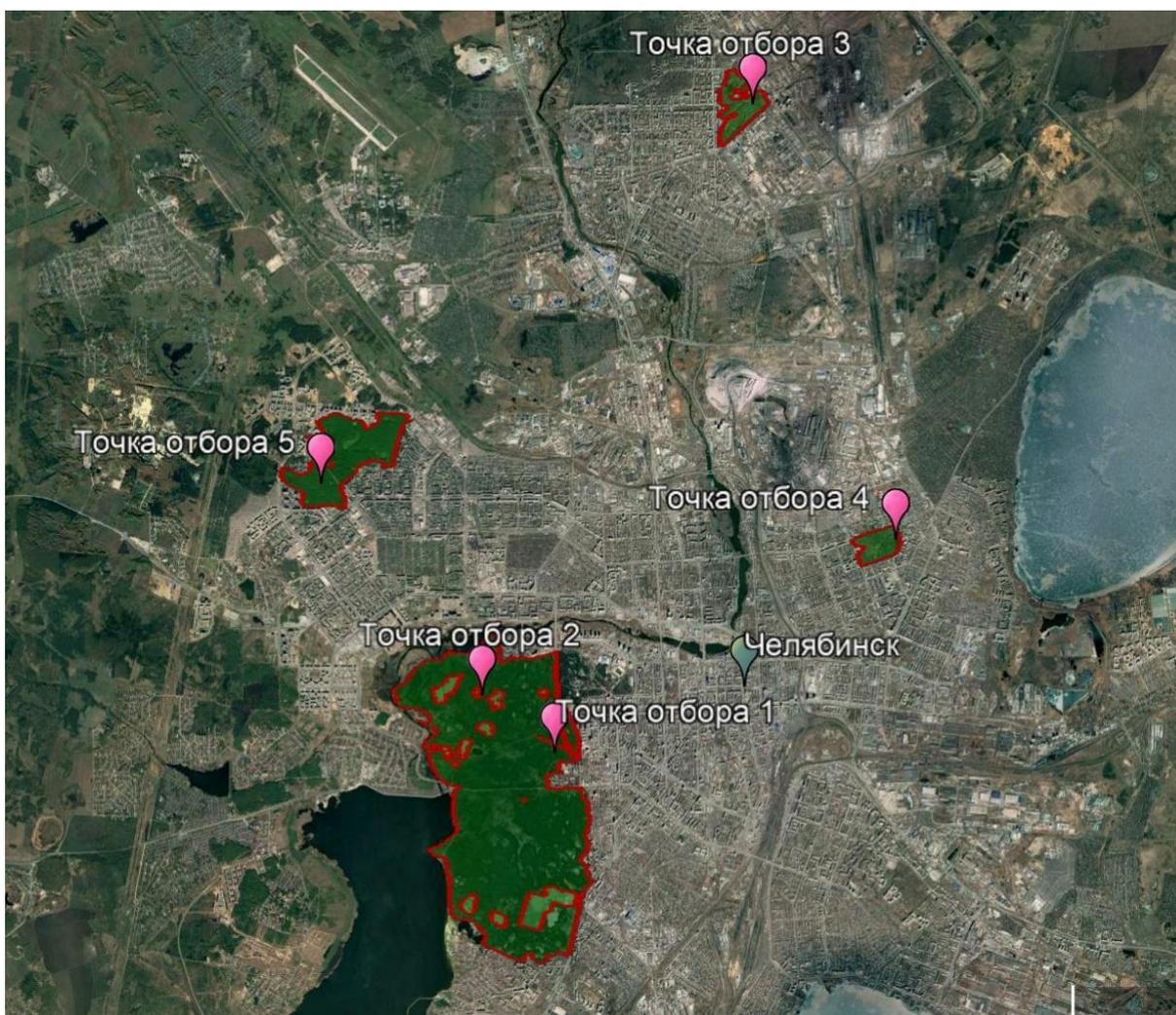


Рис. 25. Карта-схема расположения точек отбора хвои

При выборе участков, учитывалась удаленность от основных стационарных источников загрязнения. Первые 2 точки для отбора материалов были заложены в Челябинском городском бору. Благодаря своему расположению, городской бор, испытывает наименьшее воздействие от загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу предприятиями черной и цветной металлургии. Челябинский городской бор удален от ЧМК и ЧЦЗ к юго-западу примерно на расстояние 5,5-6 км (рис. 26).

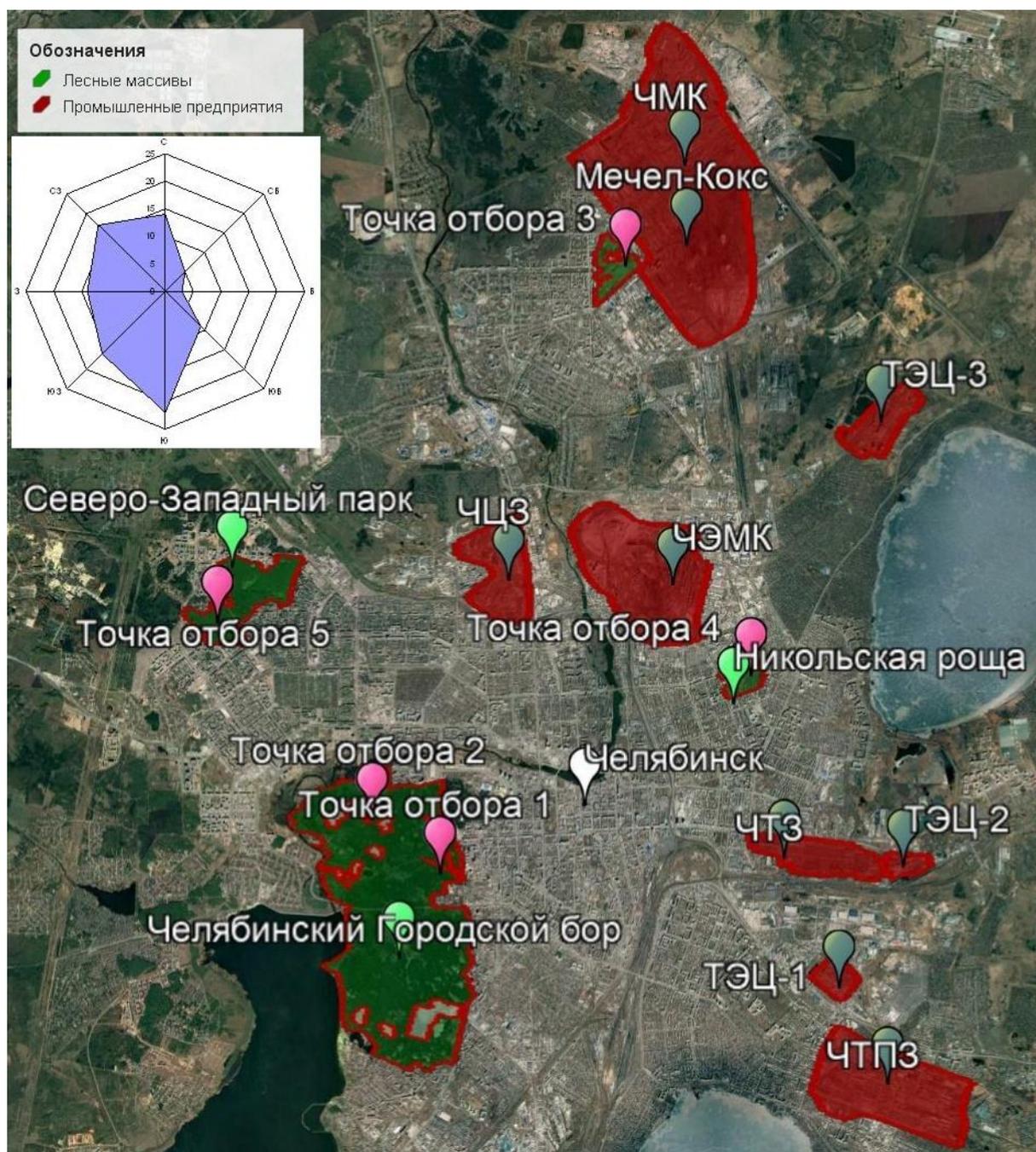


Рис. 26. Карта расположения лесных массивов и стационарных источников загрязнения г. Челябинска

Точка отбора №3 расположена в лесном массиве, находящемся на максимально близком расстоянии от крупного стационарного источника загрязнения - ЧМК. От точки отбора до предприятия всего 500м.

Точка отбора №4 расположена в Никольской роще к северу от которой на расстоянии примерно 1,5 км находятся ЧЭМК и ЖБИ. Вдоль границ рощи,

проходят дороги общего пользования, по которым за день проходит огромный поток автомобилей.

В северо-западной части города Челябинска заложена точка отбора №5, которая удалена от основных источников загрязнения на расстоянии 5,5-6 км.

В каждой точке объектом исследований определен биоиндикатор - сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Растения оценивались по показателю состояния хвои. Внешнее воздействие токсикантов выражается в некрозах и хлорозах. Некрозы – это участки хвои с омертвевшими участками мезофилла листа (рис. 27).



Рис. 27. Некрозы на хвое сосны обыкновенной

Хлорозы - это участки с пожелтением или потемнением, где происходит либо разрушение, либо недостаточное образование хлорофилла в клетках фотосинтезирующей ткани листа (рис. 28).



Рис. 28. Хлорозы на хвое сосны обыкновенной

С помощью этих характеристик можно увидеть объективную картину состояния растений на исследуемых участках.

На отобранных пробах хвои нами определялась степень выраженности некрозов и хлорозов. При обследовании хвои с помощью лупы обнаружено, что кончики большинства хвоинок на участках расположены в непосредственной близости от крупных промышленных предприятий и автодорог имеют желто-коричневый цвет, значительное большинство хвоинок с пятнышками, есть сухие участки, что указывает на загрязнение атмосферного воздуха.

На выбранных участках осматривали сосны высотой не более 5 м. Хвою отбирали на участках $10 \times 10 \text{ м}^2$. Дополнительно фиксировали данные о месте сбора хвои и есть ли вблизи стационарные и подвижные источники загрязнения. Был проведен осмотр хвои прошлого года у каждого дерева. Высокие деревья исследовались на боковых побегах в четвертой сверху мутовке. Всего с каждого из участков было отобрано по 50 пар (100 хвоинок). Как правило, шипик хвои всегда светлый и он не подвергался

оценке. Полученные данные представлены в таблицах 4-9. Анализ таблиц представлен в рис. 29,30.

Таблица 4

Точка отбора хвои № 1. Челябинский городской бор

Класс повреждения	1	2	3			
Количество хвоинок	46	40	14			
Класс усыхания	1	1	1	2	3	4
Количество хвоинок	-	-	71	22	3	4
			71%	22%	3%	4%

Таблица 5

Точка отбора хвои № 2. Челябинский городской бор

Класс повреждения	1	2	3			
Количество хвоинок	38	42	20			
Класс усыхания	1	1	1	2	3	4
Количество хвоинок	-	-	76	12	4	8
			76%	12%	4%	8%

Точка отбора хвои № 3. Лесопосадка вблизи ЧМК

Класс повреждения	1	2	3			
Количество хвоинок	8	39	53			
Класс усыхания	1	1	1	2	3	4
Количество хвоинок	-	-	33	36	11	20
			33%	36%	11%	20%

Таблица 7

Точка отбора хвой № 4. Никольская роща

Класс повреждения	1	2	3			
Количество хвойнок	18	66	16			
Класс усыхания	1	1	1	2	3	4
Количество хвойнок	-	-	59	14	17	10
			59%	14%	17%	10%

Таблица 8

Точка отбора хвой № 5. Северо-западный парк

Класс повреждения	1	2	3			
Количество хвойнок	35	61	4			
Класс усыхания	1	1	1	2	3	4
Количество хвойнок	-	-	63	26	8	3
			63%	26%	8%	3%

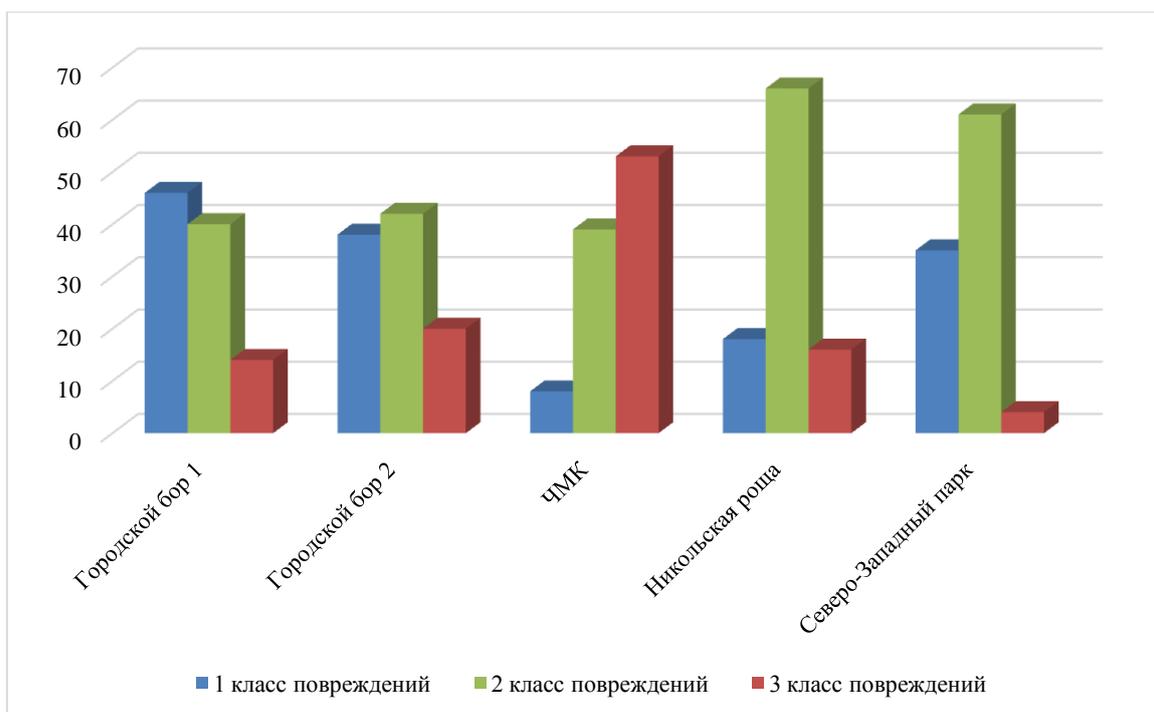


Рис. 29. Распределение хвои по классам повреждений

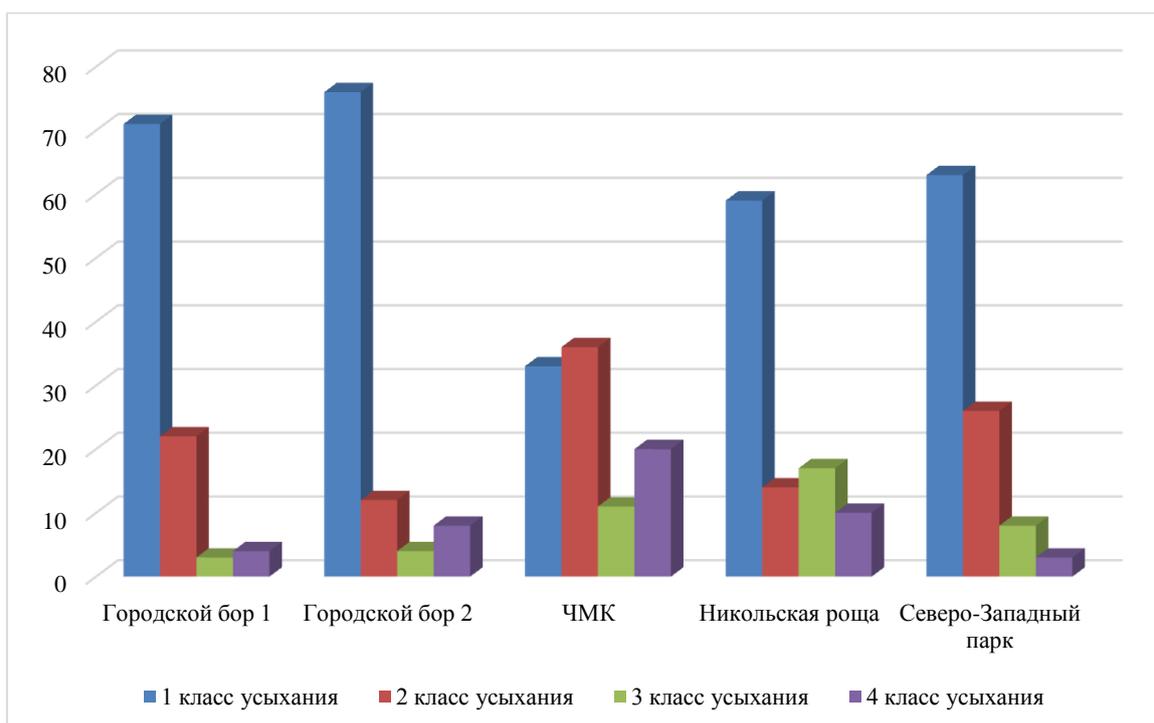


Рис. 30. Распределение хвои по классам усыхания

Таблица 9

Результаты оценки загрязнения атмосферного воздуха по состоянию сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*)

Точка отбора хвои, №	Степень загрязнения атмосферы
№1	II - «чистый»
№2	III - «относительно чистый»
№3	V - «грязный»
№4	III-IV - от «относительно чистого» до «загрязненного»
№5	III-IV - от «относительно чистого» до «загрязненного»

В точке отбора №1 воздух «чистый», объясняется это удаленность данного участка от стационарных и подвижных источников загрязнения. Также рядом отсутствуют крупные автодороги.

В точке отбора №2 воздух «относительно чистый». Эта точка находится, как и первая, в Челябинском городском бору. Предполагаем, что связано это с близостью автодороги.

В точке отбора №3 наивысший уровень загрязнения «грязный». Участок расположен вблизи крупного металлургического комбината ЧМК.

В точке отбора №4 получилось так: III-IV – воздух от «относительно чистого» до «загрязненного». Участок расположен в окружении автодорог. В 1,5 км к северу от территории, располагается промышленная зона.

В точке отбора №5 воздух от «относительно чистого» до «загрязненного». Участок расположен в окружении крупных автодорог.

Выводы по главе

Таким образом, проведенный анализ хвои показывает, что степень загрязнения атмосферного воздуха городской среды определяется не только объемами выбросов и его структурой, но и удаленностью от крупных стационарных источников загрязнения, а также от расположения участков интенсивного движения: чем ближе к источнику загрязнения расположена исследуемая лесная экосистема, тем выше степень поражения хвои. Качество

атмосферного воздуха города Челябинска характеризуется как загрязненный (т.4,5) и грязный (т.3).

ГЛАВА 3. Влияние аэротехногенного загрязнения на растительный мир.

Большая часть промышленных выбросов в атмосферу оказывает на растительность пагубное действие. Главнейшие промышленные газы находятся в следующем порядке по степени убывания их токсичности: фтор, хлор, сернистый ангидрид, окислы азота, аммиак. Масштаб поражения определяется не только токсичностью веществ, но и объемом их выбросов. Для большинства промышленных регионов справедлива такая последовательность токсикантов (с учетом объема выбросов и степени поражения): сернистый газ, окислы азота, пыль, фтор, хлор, аммиак. В районах крупных городов при интенсивном движении автотранспорта существенную роль играют продукты фотохимических реакций. Достаточно хорошо изучены повреждения растительности окислами азота, фтором, сернистым газом, озоном. Ученые выделяют, в зависимости от концентрации газов и длительности их воздействия, три основных вида повреждения растений: острое, хроническое и скрытое [6].

Первые данные о влиянии загрязнения атмосферного воздуха на растительность были получены в 19 веке, когда Ниландер обратил внимание на то, что в Париже, а именно в Люксембургском саду стали исчезать лишайники. Мохово-лишайниковая растительность способна чутко реагировать даже на самые небольшие загрязнения атмосферы (они погибают, например, при концентрации сернистого газа $0,1 \text{ мг/м}^3$), позже и в других городах лишайники первыми реагировали на загрязнение атмосферного воздуха [6].

На территории европейской части России в настоящее время происходит ухудшение восстановления хвойных пород деревьев (смена их лиственными) и усыхание дубрав. В западной части Европейской территории фоновые концентрации двуокиси серы достигают $20\text{—}30 \text{ мкг/м}^3$ (в зимнее

время), т. е. значений, при которых уже происходит изменение биохимических процессов [6].

Для множества видов древесной растительности острое поражение вызывается дозовой нагрузкой, определяемой действием двуокиси серы концентрации 1—2 мг/м³ в течение нескольких часов. Большую настороженность ученых вызывает реакция растительного мира на различные формы загрязнения воздуха двуокисью серы, которая поражает отдельные растения и даже целые сообщества. Чувствительность отдельных видов растительности к поражающему действию сернистого газа значительно выше, чем чувствительность человека. В городах очень чувствительны к выбросам от автотранспорта и промышленности хвойные породы. Например, в стандартных естественных условиях хвоя сосны опадает через 3—4 года, то при больших концентрациях загрязненного воздуха она может погибнуть буквально за несколько часов. У лиственных пород, выбросы поллютантов вызывают ускоренное завершение вегетационного периода и огрубление листьев; нарушение процесса фотосинтеза и дыхания; торможение роста; ожоги, отмирание, иногда опадание листвы даже в июле; сокращение периода выработки кислорода деревьями. Вследствие этого, часто происходит вторичное распускание почек, что влечет за собой дальнейшее ослабление растений. На листьях деревьев, высаженных вдоль улиц, проявляются черные и желтые пятна, возникающие у края листа и быстро распространяющиеся к середине. Листья в итоге отмирают. С каждым годом количество опавших листьев становится больше в зависимости от расстояния между деревьями и дорогой и интенсивности движения транспорта. Атмосферными загрязнениями в первую очередь поражаются сосна, ели, липа и дуб. Нестойкие к газам деревья и кустарники: каштан конский обыкновенный, клен остролистный, акация желтая, барбарис обыкновенный, облепиха, береза пушистая, ломонос фиолетовый, ясень обыкновенный, ясень манчжурский, вязовик (кожанка) ель обыкновенная, сосна обыкновенная, сирень обыкновенная, рябина

обыкновенная. Даже незначительные концентрации газов в воздухе могут угнетать растения, а иногда приводят к их гибели. При изучении воздействия серных загрязнителей на растительный мир и растения, все внимание было направлено на проявление внешних признаков, таких как: некрозы и хлорозы листьев, гибель растений. При более детальном изучении на современном уровне развития науки показало, что проблема намного сложнее. Например, рост растения может быть сильно подавлен без сопутствующего проявления внешних признаков. Поэтому при оценке воздействия серных загрязнителей, стоит учитывать, как прямое, так и косвенное их влияние. Результатом долгого воздействия небольших концентраций, является хроническое повреждение растений.

Для всех видов растений существует определенный предел насыщения листа токсикантами. В зоне высокого содержания поллютантов растения накапливают их в пороговом (максимальном) количестве уже на середине вегетации. В зависимости от индивидуальных особенностей растения, дальнейшее их поступление ослабевает. При воздействии на растительность высоких концентраций в течение кратковременного периода времени, происходит ее острое поражение. Повреждаются ассимиляционные ткани, что приводит к необратимому нарушению газообмена и в конечном итоге к гибели (табл. 10, 11).

Концентрация двуокиси серы, вызывающая острое поражение растительности [6]

Вид растительности	Концентрация, мг/ м куб.	Время воздействия, ч	Симптом поражения
Большинство видов древесной растительности, Россия	2	1 — 2	Некроз, гибель ассимиляционных органов
Хвойные и	2	10	Полная гибель

лиственные породы (кроме дуба и тополя), Германия			ассимиляционных органов
Хвойные породы (сосна, лиственница), США	1,4	7	Гибель ассимиляционных органов
Смешанные леса, Чехия, Словакия	1 — 1,5		Некроз листьев и хвои
Гречиха, США	1,3		Некроз листьев
Лишайники, Великобритания	0,1		Гибель растений

Концентрация двуокиси серы, вызывающая хроническое поражение растительности [6]

Хвойные породы, Россия	0,08 — 0,23	длительное	Гибель сосен в течение 5 — 7 лет
	0,23 — 0,32		Гибель сосен в течение 2 — 3 лет
Лиственные породы, Россия	0,1	постоянное	Деформация листовых пластин
	0,5		Обесцвечивание листьев
Древесно-кустарниковые	0,26 — 0,52	длительное	Повреждение листов

насаждения, Германия			
Ель европейская, Италия	0,3		Повреждение хвои

Для многих видов деревьев сильное поражение вызывается дозой нагрузки, определяемой воздействием двуокиси серы в течение нескольких часов (при концентрации 1—2 мг/м³). Едва заметные первоначальные симптомы хронического поражения, у древесно-кустарниковой растительности появляются при долгом и/или постоянном воздействии с концентрацией 0,1 мг/м³ и сильные повреждения при концентрациях 0,3—0,5 мг/м³ (эти данные были получены в разных странах при неодинаковых климато-географических условиях). Всю растительность можно разделить по степени газоустойчивости на несколько групп: очень чувствительные (0,02—0,2 мг/м³), среднечувствительные (0,5—2 мг/м³) и малочувствительные (> 2—8 мг/м³). Интродуценты в большинстве случаев, обладают более высокой устойчивостью. В сравнении с аборигенными видами они отличаются большей адаптацией к новым экологическим факторам, а также и к загрязненному воздуху. Всего выделяют три механизма влияния двуокиси серы на растительный мир. Во-первых, проникая в клетки и растворяясь там, двуокись серы изменяет рН клеточной среды. Это приводит к подкислению клеточной среды, что в конечном итоге сильно сказывается на состоянии клеток, и происходит их повреждение и отмирание. Во-вторых, проникая внутрь листа, двуокись серы нарушает процесс фотосинтеза. И наконец, в хвое или листьях происходит постепенное накопление серы, приводящее к сульфатному отравлению, в следствии чего наступает засыхание и отмирание. Даже при длительном воздействии малых концентраций двуокиси серы возникают скрытые повреждения. Обычно, концентрации в этом случае лежат в пределах 0,03—0,1 мг/м³. При таких повреждениях визуально отсутствуют наблюдаемые симптомы, но происходит снижение

жизнедеятельности растений: нарушается рост и функции организма, уменьшается интенсивность газообмена [6].

Высокой чувствительностью обладают те виды растений, ассимиляционные органы которых функционируют длительное время (ель, сосна). Лиственница, которая каждый год возобновляет хвою, обладает высокой устойчивостью к воздействию двуокиси серы. Выявлено, что минимальные концентрации двуокиси серы, которые вызывают скрытое повреждение сосен, равны около $0,02 \text{ мг/м}^3$. Пыль оказывает так же неблагоприятное воздействие на растения. Рассеянная в атмосферном воздухе пыль, способствует увеличению температуры воздуха, и в результате приводит к перегреву растений. Весной растения начинают рост раньше, а осенью запаздывает вызревание побегов. И в первом и во втором случае растения могут погубить заморозки. Отрицательно сказывается на развитии растений выпадающая на растения сажа, которая плотно закупоривает устьица листьев и плохо смывается дождями. В отдельную группу загрязнителей атмосферного воздуха можно выделить летучие отходы от цементной промышленности, которые вызывают отмирание ветвей и суховершинность, в первую очередь у дубов. Этилен воздействует на вегетационный период растений. Перхлораты, растворенные в сточных водах, относят к веществам обладающим мутагенными свойствами. Попадая в ареал обитания растений, они не ведут к их прямой гибели, а потомство от таких растений в свою очередь может иметь врожденные и даже губительные нарушения. Хлористый натрий, который применяется в городах в качестве посыпки проезжих частей и тротуаров улиц зимой, так же повреждает растения.

Выводы по главе

Анализ литературных источников, данных по структуре загрязняющих веществ и их концентрации в атмосфере города Челябинска, позволяет предположить, что одним из наиболее значимых токсикантов атмосферного воздуха для растений города Челябинска являются соединения серы, вызывающие повреждения и гибель растений.

Заключение

В настоящее время крупные промышленные регионы России требуют необходимости в постоянном мониторинге качества окружающей среды, что связано с ухудшением экологической ситуации в промышленных центрах. Описанный в работе доступный метод биоиндикации с использованием хвои сосны обыкновенной, как оптимального индикаторного организма позволили дать качественную оценку аэротехногенного загрязнения города Челябинска.

Проведенные исследования по анализу хвои сосны обыкновенной в г. Челябинске, показали, что лесные экосистемы города испытывают постоянное воздействие воздушных поллютантов. В связи с этим сосна обыкновенная может использоваться в качестве объекта индикации для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха. Анализ состояния растений подтвердили результаты многочисленных исследований о том, что качество атмосферного воздуха определяется не только объемами выбросов и его структурой, но и удаленностью от крупных промышленных источников загрязнения, а также от количества транспортных средств: чем ближе к источнику загрязнения расположена исследуемая лесная экосистема, тем выше степень поражения хвои.

Высокий уровень антропогенного загрязнения воздушного бассейна города Челябинска наблюдается в районах, прилегающих к основным источникам загрязнения (ЧМК, ЧЭМК, ЧЦЗ, ТЭЦ и др.), и приводит к тому, что растения, и, в частности, лесные экосистемы испытывают хроническую интоксикацию, что выражается в развитии некрозов и хлорозов, и в конечном итоге может привести к гибели экосистемы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агиков И.Н. Исследование воздействия атмосферных выбросов комбината ЗАО "Карабашмедь" на лесные экосистемы // Экосистемы Центральной Азии: исследования, проблемы охраны и природопользования. Матер. IX Убсунурского международного симпозиума [Текст] / И.Н. Агиков, А.М. Степанов – Кызыл: ГУП "Тываполиграф". 2008.
2. Алексеев В.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеев. – Л.: Наука. Ленинградское отделение. 1990. – 197 с.
3. Березкина М.Г. Мониторинг состояния городской среды при помощи сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) как основного биоиндикатора / М. Г. Березкина // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. – М.: ИПЦ «Луч», 2010. – Вып. 12. – 390 с.
4. Буйволов Ю.А. Методика оценки жизненного состояния леса по сосне / Ю.А. Буйволов, М.В. Кравченко, А.С. Боголюбов – М.: Экосистема, 1998. – 25 с.
5. Буторина А.К. Общие и специфические механизмы устойчивости древесных растений к антропогенному загрязнению / А.К. Буторина [и др.]. // Проблемы повышения экологических функций лесов: материалы симп. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2000. – С. 128-129.
6. Горохов В.А. Городское зеленое строительство [Текст, таблица]: Учеб. пособие для вузов / В.А. Горохов — М.: Стройиздат, 1991. —416 с.
7. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2012 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://74.rospotrebnadzor.ru/268>, свободный (дата обращения 14.04.2019)

8. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2013 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://74.rospotrebnadzor.ru/268>, свободный (дата обращения 15.04.2019)

9. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Челябинске в 2014 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://74.rospotrebnadzor.ru/268>, свободный (дата обращения 16.04.2019)

10. Демина Т.А. Экология, природопользование, охрана окружающей среды [Текст] / Т.А. Демина. – М.: Аспект пресс, 1995.

11. Евгеньев И.Е. Защита придорожной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог / И.Е. Евгеньев, В.В. Савин – М.: Транспорт, 1989. 239 с.

12. Игнатьева О.В. Элементный состав хвои и морфофизиологические показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук / О.В. Игнатьева. – Красноярск, 2005. – 18 с.

13. Колесников С.И. Экология: учебное пособие [Текст] / С.И. Колесников. – М.: «Дашков и Ко»; Ростов н/Д: Наука-Пресс, 2007. – 384 с.

14. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 125 с.

15. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды [Текст, таблица]: учебное пособие / О.А. Ляшенко – СПб ГТУРП. – СПб., 2012. – 67 с.

16. Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. Пособие для студ. высш. учеб. Заведений [Текст, таблица] / О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Сарапульцевой. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

17. Назаренко Н.Н. Биоиндикация окружающей среды [Текст]: учебно-практическое пособие / Н.Н. Назаренко, М.Ю. Мосиенко. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2019. – 115с.

18. Норышева Р.А. Влияние техногенеза на экосистемы // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона: Материалы 80 международной научно - практической конф. / Р.А. Норышева — Омск: «Издат. дом «Наука», 2006. - С.86-90.

19. Норышева Р.А. Биоиндикация состояния окружающей среды // Сбор, науч. трудов аспирантов, соискателей и молодых учёных / Р.А. Норышева; отв. ред. доц. Е.С. Березина, - Тара: изд. ОмГАУ, 2006. - С.66-71.

20. Памятник природы Челябинский городской бор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://chelgorlesopark.ucoz.ru/index/0-5> (Дата обращения 10.05.2019)

21. Протасов В.Ф. Экология: термины и понятия, стандарты, сертификация, нормативы / Протасов В.Ф. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 667с.

22. Состояние атмосферно воздуха в г. Челябинске [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://www.scienceforum.ru/2016/2144/23400>, свободный (Дата обращения 20.03.2019)

23. Степановских А.С. *Общая экология: учебник для вузов* / А.С. Степановских. — М.: изд-во ЮНИТИ-ДАНА. 2015. – 687 с.

24. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы / Р.Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 327 с.

25. Христофорова Н.К. Основы экологии: Учебное пособие / Н.К. Христофорова, К.В. Яновская. - Владивосток: Дальнаука, 1999. - 516 с.20

26. Челябинск - промышленность города, предприятия и заводы Челябинска. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://www.metaprom.ru/regions/chelyabinsk.html>, свободный (дата обращения - 12.03.2019)

27. Чукаева Н.В., Некоторые аспекты использования методик биоиндикации // Успехи современного естествознания / Н.В. Чукаева – 2011. – № 8 – С. 78-79