

**САВВАТЕЕВА О. А., МОКРУШИНА М. Г.**  
**БИОИНДИКАЦИЯ ПО ХВОЙНЫМ ПОРОДАМ ДЕРЕВЬЕВ В ГОРОДАХ**  
**(НА ПРИМЕРЕ Г. ДУБНА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Международный университет природы, общества и человека «ДУБНА»  
г. Дубна, Московской области

*Данная работа отражает результаты биоиндикационного исследования территории г. Дубны Московской области по сосне обыкновенной *Pinus sylvestris* L. В основу метода исследования заложена прямая зависимость повреждения хвои сосны обыкновенной (некрозы и усыхания) от уровня загрязнения атмосферного воздуха. Кроме того, проанализированы морфометрические характеристики хвои *Pinus sylvestris* L. Результатом исследования является оценка состояния территории города.*

**Введение**

Основной целью исследования являлось изучение состояния атмосферного воздуха городской территории на примере г. Дубны Московской области. Эта тема является актуальной потому, что с каждым годом возрастает количество техногенных объектов, которые в свою очередь сильно влияют на состояние окружающей среды, в частности на состояние воздуха. Атмосферный воздух является высокодинамичным компонентом среды, поэтому его состояние достаточно трудно оценить лабораторными методами исследований. Лабораторные методы, также как и расчетные, основанные на прямых наблюдениях, могут нести большие погрешности. Целесообразно выполнение контроля состояния атмосферного воздуха косвенными методами изучения статичных компонентов среды с целью получения более точных результатов исследования. В настоящее время в использовании метода биоиндикации при решении экологических проблем накоплен большой положительный опыт. Метод широко применяется для оценки состояния и мониторинга окружающей среды как в природных, так и в нарушенных, в том числе техногенных экосистемах [6].

На сегодняшний день используют экспресс-методы биоиндикации, которые позволяют на измерении одной или нескольких функций живого объекта давать быструю и точную оценку состояния окружающей среды. В отличие от классических методов, экспресс-методы более перспективны и менее трудоемки. Преимущество биоиндикационных методов над физико-химическими заключается в том, что биоиндикация обращается к живому объекту, который реагирует на весь комплекс загрязняющих веществ. Благодаря поглотительной деятельности растений происходит очищение атмосферного воздуха. Однако, возможности этих систем ограничены. Растения очень чутко реагируют на загрязнение окружающей среды, что обуславливает использование их в качестве индикаторов загрязненности атмосферы. [5]

В городе Дубна в качестве биоиндикатора была выбрана сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. по следующим причинам: 1) данный вид очень чувствителен к изменению состояния воздуха; 2) на территории города Дубна сосна обыкновенная произрастает повсеместно. Данный метод исследований основан на зависимости степени повреждения хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. от уровня загрязнения атмосферного воздуха. Метод биоиндикации является достаточно точным и недорогим методом исследования. Хвойные удобны тем, что могут служить биоиндикаторами круглогодично. Использование хвойных дает возможность проводить биоиндикацию на огромных территориях, при этом их использование на малых территориях также весьма информативно. [4]

### Объекты и методы исследования

Город Дубна расположен в одной из самых экологических зон Подмосковья. Численность населения на 1 января 2013 года составляет 72551 человек. Город расположен в самой северной точке Московской области в Талдомском районе на берегу реки Волга в 128 км от Москвы. Более половины территории города занимают леса, пойменные луга, водная гладь. Нагрузка на компоненты окружающей среды обусловлена в наибольшей степени воздействием автотранспорта.

В городе Дубна в летний период 2012 года проводилось биоиндикационное исследование состояния городской территории. В качестве биоиндикатора выступала сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. Пробоотбор выполнен по 58 точкам по всему г. Дубна по всем функциональным зонам.

Методика проведения данных исследований заключалась в следующем: выбирались сосны высотой 1–1,5 м на открытой местности с 8–15 боковыми побегами. Очень важен при выборе деревьев показатель вытоптанности участка произрастания сосны, который оценивается баллами 1–4: 1 – вытаптывания нет; 2 – вытоптаны тропы; 3 – нет ни травы, ни кустарников; 4 – осталось немного травы вокруг деревьев. При вытоптанности территории, оцениваемой баллами 3 и 4, экспресс-оценка воздушного загрязнения невозможна. У каждого дерева осматривались хвоинки предыдущего года (вторые сверху мутовки). Если деревья очень большие, то обследование проводилось на боковом побеге в четвертой сверху мутовке [2]. Всего собирались не менее 30 хвоинок (в нашем случае было отобрано 34–40 хвоинок) с каждой точки наблюдения.

Затем выполнялись подсчеты хвоинок с пятнами, некрозами и усыханиями. По степени повреждения и усыхания хвои выделяют несколько классов [1]:

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

Классы повреждения: 1 – хвоинки без пятен; 2 – хвоинки с небольшим числом мелких пятен; 3 – хвоинки с большим числом черных и желтых пятен. Классы усыхания: 1 – на хвоинках нет сухих участков; 2 – на хвоинках усох кончик 2 – 5 мм; 3 – усохла 1/3 хвоинки; 4 – вся или большая часть хвоинки сухая.

Проводилась оценка степени загрязнения атмосферного воздуха по оценочной шкале, включающей возрастные характеристики хвои, а также классы повреждения хвои на побегах второго года жизни. Кончик хвоинки всегда светлее, поэтому он не рассматривался.

Оценка степени загрязнения воздуха проводилась по оценочной шкале, включающей возрастные характеристики хвои, а также классы повреждения хвои на побегах второго года жизни по таблице ниже.

Максимальный возраст хвои	Класс повреждения хвои на побегах второго года жизни		
4	I	I–II	III
3	I	II	III–IV

2	II	III	IV
2	–	IV	IV–V
1	–	IV	V–IV
1	–	–	VI

I – воздух идеально чистый; II – чистый; III – относительно чистый («норма»); IV – загрязненный («тревога»); V – грязный («опасно»); VI – очень грязный («вредно»); – – невозможные сочетания [2].

Также выполнялись измерения длины и ширины хвоинок, расчеты полусферической и общей поверхности хвои. Величина полусферической и общей поверхности хвои имеет огромное значение для фотосинтетической деятельности растений. Расчет полусферической стороны хвои и общей поверхности хвоинки был проведен соответственно по формулам [3]:

$$TA_n = \pi r L, TA_n = \pi r L + (2r) L,$$

где  $r$  –  $\frac{1}{2}$  ширины плоской части хвоинки,  $L$  – длина хвоинки.

На следующем этапе массивы данных подвергались статистической обработке с определением характера распределения и выбора репрезентативной описательной статистики. По результатам статистической обработки было показано, что для картирования результатов могут быть использованы осредненные характеристики по точкам пробоотбора.

На последнем этапе результаты исследований были картированы на основе картографического пакета *Surfer* методом Кригинга, который показан как наиболее приемлемый и наименее смещающий значения интерполяционной функции относительно исходных данных.

### Обсуждение результатов

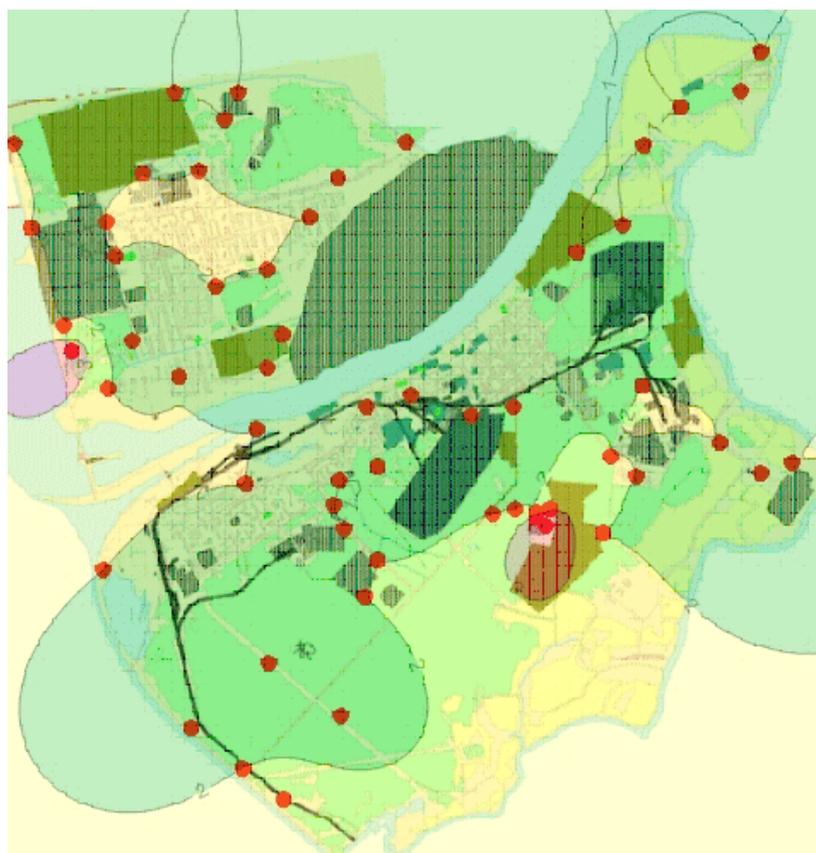
По результатам исследования состояния атмосферного воздуха можно заключить, что на территории города Дубны он характеризуется следующими степенями загрязнения: идеально чистый; чистый; относительно чистый и загрязненный (по отдельным точкам исследования) (рис. 1).

Основная часть города характеризуется I уровнем загрязнения воздуха – воздух идеально чистый с тяготением по северо-восточному направлению. Сюда относятся жилые территории, промышленные предприятия, зеленые зоны и участки, прилегающие к водным объектам.

II уровень загрязнения воздуха (воздух чистый) отмечается на западных и юго-восточных территориях города. Это граница города с Ивановским водохранилищем, плотина, начало канала Москва – Дубна, стрелка рек Сестра и Дубна и фактически вся территория юго-восточнее Нового шоссе. Кроме того, есть два небольших по площади участка со II уровнем загрязнения воздуха в Левобережной части города – центральная жилая часть и в Правобережной части – в промышленной зоне Александровки и университетского городка. Территории и участки со II уровнем загрязнения воздуха, по всей видимости, обусловлены влиянием автотранспорта и промышленности (в меньшей степени) на состояние деревьев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Территории с III уровнем загрязнения атмосферного воздуха (воздух относительно чистый) расположены вблизи двух техногенных объектов ТБО «Дубна Правобережная» и Южная канава. Возможно, эти участки выделяются из-за ухудшенного состояния сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. не столько из-за воздушного загрязнения, сколько из-за загрязнения грунтовых вод.

При исследованиях также обнаружены несколько отдельных точек с IV уровнем загрязнения воздуха – воздух загрязненный. Однако из-за своей локальности в результате интерполяции эти точки не были выделены.



Легенда

- воздух идеально чистый (I уровень)
- воздух чистый (II уровень)
- воздух относительно чистый (III уровень)

Рисунок 1. Загрязненность атмосферного воздуха

По результатам исследования хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. длина хвоинок варьирует от 30 до 90 мм (рис. 2). Наибольшие длины встречаются в районах с пониженным уровнем антропогенного воздействия и озелененных участках города. На большей части территории города произрастает сосна, длина хвои которой находится в пределах нормы – от 60 мм, что говорит о благоприятном развитии растений. С повышением уровня антропогенного воздействия средняя длина хвои заметно снижается, достигая в некоторых точках исследования 42 мм. Участки снижения длины хвои встречаются в обоих районах города. Это Южная канава, территория очистных сооружений, полигон ТБО, промышленная территория в Александровке. Отсюда можно сделать вывод о том, что загрязненность воздуха сказывается на физиологических процессах растений и на их развитии в целом.

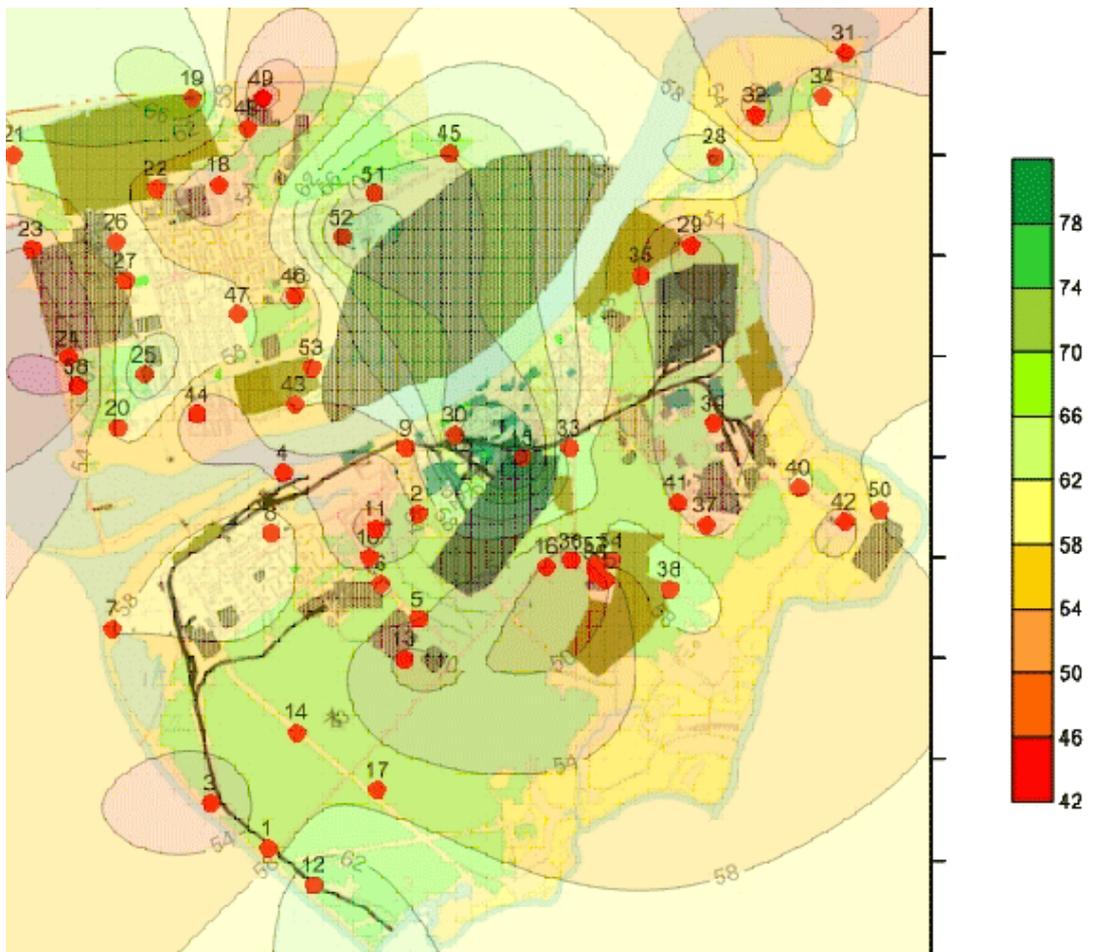


Рисунок 2. Распределение длины хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

По результатам исследования хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. ширина хвоинок составляет около 1 мм с небольшими вариациями.

Сосны с наибольшей шириной хвои (более 1 мм) произрастают на территориях с минимальной антропогенной нагрузкой, большей частью это лесные территории на юго-востоке. Наименьшая же ширина хвои (менее 1 мм) наблюдается на селитебных территориях, вблизи промышленных объектов и напряженных автомобильных дорог. Это подтверждает то, что растения остро реагируют на изменение состояния окружающей среды.

По результатам исследования хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. полусферическая поверхность хвои варьирует от 70 до 130 кв.мм, а сферическая поверхность хвои варьирует от 115 до 215 кв.мм (рис. 3). Распределение параметров сходно, равно как близко к распределению длины хвоинок, описанному выше.

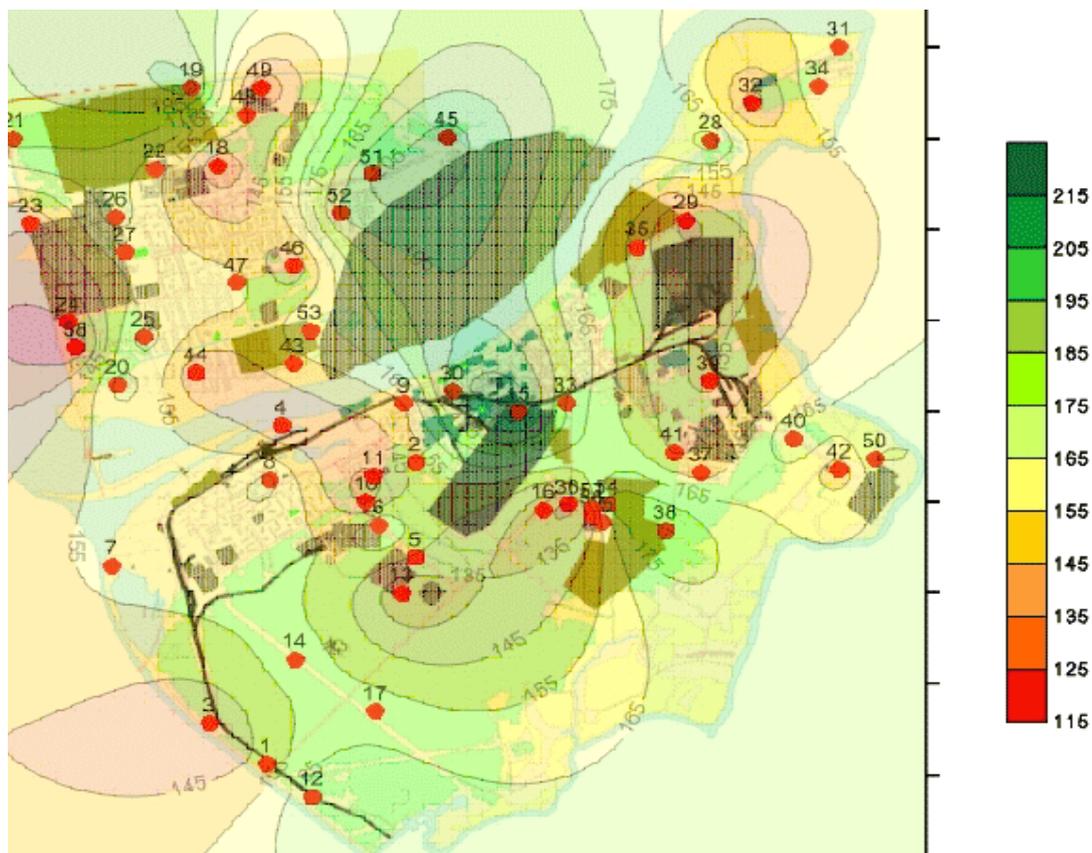


Рисунок 3. Распределение сферической поверхности хвои сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Хвоя с наибольшими поверхностями наблюдается на территориях с наименьшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха (например, выезд из города на левом берегу) или озелененными участками (например, Институтская часть города). Снижение площади поверхности, как полусферической, так и общей, наблюдается в районах повышенной антропогенной нагрузки (промышленные объекты, Южная канава, автомобильные дороги).

### Выводы

На территории города Дубна общее состояние атмосферного воздуха находится в пределах нормы, но нельзя исключать тот факт, что некоторые участки находятся в тревожном состоянии. Что касается растительности, произрастающей на территории города, то можно сказать о явном влиянии уровня загрязнения атмосферы на их рост и развитие. Это подтверждают результаты проведенных исследований по таким показателям, как длина и ширина хвои, а также полусферическая и общая поверхность хвои.

Следует более детально изучить вопрос влияния качества подземных вод на состояние деревьев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., поскольку участки снижения уровней всех параметров приурочены к Южной отводной канаве и полигону ТБО.

По результатам проведенного исследования можно сказать, что хвойные растения являются достаточно удобными биоиндикаторами. Это обусловлено высокой скоростью реагирования на изменение состояния окружающей среды. Помимо того, хвойные растения пригодны для использования в качестве биоиндикаторов круглогодично. Также это дает возможность для проведения многолетних наблюдений за состоянием среды.

Собранный материал с точки зрения статистики показывает достаточную полноту и качество проведения измерений. На основе этого, можно сделать вывод о достоверности результатов, полученных при проведении исследования. Полученные данные могут быть

положены в основу биомониторинга территории г. Дубны.

#### Список литературы

1. Ашихмина Т. Я. Экологический мониторинг. – М.: Академический Проект; Альма Матер, 2008. – 416 с.
2. Мелехова О. П., Егорова Е. И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.
3. Уткин А. И., Ермолаева Л. С., Уткина И. А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. – М.: Наука, 2008. – 292 с.
4. Федорова А. И., Никольская А. Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. – М.: Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 2003. – 288 с.
5. Физиология растений. Под ред. В. Артамонова. – М.: Агропромиздат, 2008. – 334 с.
6. Шихова Н. С. Биохимическая оценка состояния городской среды // Экология. 1997. №2. С. 146 – 149.