

УДК 57.083.18

DOI: : <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2025-1-59-67>

Влияние полигона твердых коммунальных отходов «Ядрово» на загрязнение атмосферного воздуха в районе города Волоколамска

О.Ю. Сурсимова, Л.В. Муравьева

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

При помощи методов биоиндикации выявлено негативное воздействие полигона твердых коммунальных отходов на сопредельную территорию. Обнаружено угнетение морфологических параметров биоиндикатора ель обыкновенная (*Picea abies* (L.)), а также накопление тяжелых металлов. Выявлен следующий ряд накопления металлов в хвое мг/кг относительно контроля: $Mn \geq Cd \geq Al \geq Pb \geq Ni \geq Co \geq Ti \geq Fe \geq Zn \geq Sr$. Выраженные уменьшения размеров и площади хвои, высокий процент хлорозов и некрозов, а также накопление поллютантов растениями отмечены на расстоянии до 700 м от полигона.

Ключевые слова: полигон, твердые коммунальные отходы, биоиндикация, поллютанты.

Постановка проблемы

Вопрос негативного воздействия полигонов твердых бытовых отходов (ТКО) на окружающую среду сегодня представляется крайне актуальным, поскольку их захоронение является одним из наиболее распространенных способов обращения с отходами производства и потребления. Объем твердых коммунальных отходов в стране составляет примерно 65 млн. тонн в год, 40 % из которых являются органическими отходами, 35 % – бумага, 6 % – пластик. Таким образом, на каждого жителя страны приходится в среднем 400 кг мусора в год. Утилизация ТКО считается одной из самых затратных и трудоёмких. Практически все ТКО в России вывозятся на мусорные полигоны [4].

В Москве и Московской области каждый год образуется около 9,7 миллионов тонн твердых бытовых отходов и крупногабаритного мусора, из которых 5 миллионов тонн приходится на город Москву и 4,7 миллиона тонн на Московскую область. Большая часть этих отходов отправляется на полигоны, карьеры и свалки Московской области [5].

Рекультивация полигонов в Подмоскowie в рамках федерального проекта «Чистая страна» национального проекта «Экология» началась в 2018 году. В федеральный проект «Чистая страна» в Подмоскowie включено 28 объектов накопленного вреда окружающей среде. К началу 2023 г. было рекультивировано 17 полигонов. Полигон ТКО «Ядрово»

функционировал более 20 лет, годовая мощность превышала 120 000 м³. В данный момент ведется его рекультивация. На территории полигона находятся два участка захоронения отходов. Южный участок не используется с весны 2018 г., он закрыт изоляционным материалом и грунтом. На этом участке проведены работы по сбору свалочного газа с его последующим сжиганием в факельной установке и по сбору фильтрата в емкость-накопитель для дальнейшей транспортировки. Северный участок полигона использовался до 2020 г. в соответствии с требованиями нормативов для полигонов твердых коммунальных отходов. Длительное функционирование полигонов ТКО оказывает воздействие на все параметры окружающей среды, вызывая загрязнение атмосферного воздуха, почвы, грунтовых вод, но даже закрытый полигон является объектом накопленного вреда и продолжает выделять биогаз в атмосферный воздух [9].

Целью данной работы был анализ влияния полигона ТКО «Ядрово» г. Волоколамска на атмосферный воздух сопредельной территории методом фитоиндикации.

Одними из самых ярких проявлений антропогенного загрязнения у древесного растения являются морфологические показатели (изреживание, усыхание кроны) и наличия хлорозов и некрозов [8]. Появление таких негативных признаков в структуре ассимиляционного аппарата, позволяет оценить загрязнение атмосферы (региона) и использовать растения для биоиндикации среды [10].

Методика. При проведении исследований в г. Волоколамске, в качестве биоиндикатора нами была использована ель обыкновенная (*Picea abies* (L.)). Этот вид растений широко распространён и обладает высокой чувствительностью к загрязнению. Для наблюдения были выбраны участки, расположенные в заданной трансекте, соответствующей розе ветров (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Участки отбора проб хвои и наблюдения за состоянием древостоя в окрестностях полигона ТКО «Ядрово»

№ участка	расстояния до полигона ТКО в (м)
1	100
2	300
3	500
4	700
5	900
6	фоновый участок

В качестве фонового участка был выбран лесной массив на удалении 30 км от полигона ТКО «Ядрово» и города. Для оценки

интенсивности загрязнения воздуха фиксировались такие морфометрические показатели хвои разных лет жизни, как размеры, площадь, объем листа, определялся процент некрозов и хлорозов. Также проводилось визуальное обследование, при котором изучалась густота кроны, высота дерева, состояние побегов [1, 2].



Рис. 1. Схема расположения точек наблюдения за состоянием древостоя в окрестностях полигона ТКО «Ядрово». Звёздочкой обозначено «тело» полигона

Для более детального анализа накопления загрязняющих веществ в фитоиндикаторе, а также для выяснения причин угнетения растений, была проведена атомно-эмиссионная спектрометрия. Исследование проводилось с использованием спектрофотометра СФ-2000 по методике выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Анализ проводился на содержание 26 металлов, включая тяжелые металлы и мышьяк. Результаты опытных точек сопоставлялись с результатами, полученными на фоновом участке. Это позволило определить относительное накопление металлов в биоиндикаторе и оценить степень его загрязнения.

Результаты исследования. На первом этапе исследования проводилось визуальное наблюдение за состоянием древостоя по методике диагностики жизненного состояния деревьев и древостоев [1]. Наибольшее нарушение состояния древостоя наблюдается в точках 1 и 2 (расстояние от полигона до 300 м), что косвенно свидетельствует о сильном уровне загрязнении атмосферного воздуха. Наименьшее

проявление угнетения растений отмечено в точке №5, расстояние от полигона метров, что соответствует слабому загрязнению.

Анализ результатов морфометрических параметров хвои елей, произрастающих в загрязненных и фоновых насаждениях показал существенное уменьшение площади и объема хвои на участках вблизи полигона (до 300 метров) (табл. 2). Максимальные показатели площади и объема хвои наблюдаются на фоновом участке (18,47 мм²; 19,71 мм³), наименьшие на участках №1 (13,25 мм²; 10,25 мм³) и №2 (11,92 мм²; 9,13 мм³). Известно, что спецификой загрязненных участков является, как правило, снижение длины и толщины хвои ели по сравнению с фоном [6]. Это указывает на наличие в атмосфере загрязнителей, замедляющих рост и снижения интенсивности солнечной радиации, присутствия ингибиторов роста и других негативных факторов. Вероятно, основная причина плохого состояния деревьев связана с выбросами свалочного газа и накоплением загрязнителей в хвое.

Таблица 2
Средняя площадь поверхности и объема хвои ели обыкновенной, произрастающей на анализируемых участках

№ участка	Расстояние от полигона (м)	Площадь поверхности хвои (мм ²)	Объем хвои (мм ³)
1	100	13,25±0,75	10,25±0,48
2	300	11,92±0,65	9,13±0,36
3	500	14,93±0,74	12,74±0,29
4	700	14,42±0,98	9,37±0,31
5	900	14,52±0,81	12,52±0,38
6 (фон)	36000	18,47±0,68	19,71±0,51

Следующим этапом исследования было изучение степени усыхания и повреждения хвои. Изменение окраски хвои и наличие некротических поражений (хлорозов и некрозов) являются информативными индикаторами состояния окружающей среды. Хлорозы и некрозы являются одним из механизмов дезактивации токсичных соединений в растениях [11].

Анализ рис.2 показывает, что на участках 1-4 процент усыхания выше фоновых значений. Необходимо отметить, что на всех участках №1-4 выявлены 3-й и 4-й классы усыхания, в то время, как на фоновом в незначительном количестве отмечен только 2 класс. Полученные результаты показывают негативное влияние на фотосинтетический аппарат ели обыкновенной, которое выражается в снижении физиологических и морфологических показателей, преимущественно в зонах от 100 до 700 метров от источника загрязнения. Наиболее сильному негативному воздействию подвержен участок, расположенный на расстоянии 300 метров от полигона.

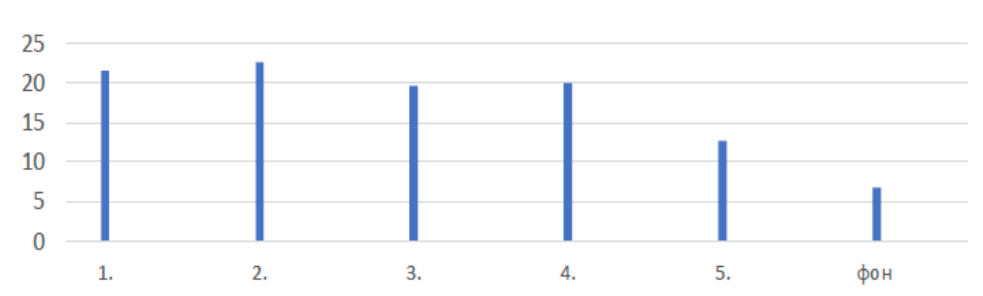


Рис. 2. Суммарная доля поврежденных хвоинок по классам усыхания II – IV в процентах. По абсциссе номер участка наблюдения, по ординате – доля поврежденных хвоинок, %

Для изучения причин деградаций хвои была проведена атомно-эмиссионная спектрометрия при помощи спектрофотометра СФ-2000 на накопление тяжелых металлов растением. Загрязнение воздуха, или поступление в атмосферу несвойственных ей минеральных веществ, негативно сказывается на состоянии и устойчивости лесных насаждений [2, 7].

Исследования показали, что содержание некоторых тяжелых элементов в хвое елей, растущих вблизи источника загрязнения (от 100 до 700 метров), существенно отличается от содержания этих элементов в хвое деревьев, растущих в чистых районах. Для анализа были выбраны следующие поллютанты: алюминий (Al), свинец (Pb), медь (Cu), железо (Fe), цинк (Zn), никель (Ni), мышьяк (As), кадмий (Cd), кобальт (Co), хром (Cr), марганец (Mn), стронций (Sr), титан (Ti). Результаты опытных точек сопоставлялись с результатами, полученным на фоновом участке (табл.3). Из табл. 3 видно, что концентрации поллютантов в хвое ели фонового участка в десятки раз ниже, чем на участках вблизи полигона. При рассмотрении ближайшей к полигону точки выявлен следующий ряд накопления металлов относительно контроля: $Mn \geq Cd \geq Al \geq Pb \geq Ni \geq Co \geq Ti \geq Fe \geq Zn \geq Sr$. Концентрации хрома и меди превышают фон не более 1,5 раза. Особенно высокое накопление наблюдается на участках, расположенных до 700 м от объекта накопленного вреда. Данное расстояние превышает рекомендованные размеры санитарно-защитной зоны полигона ТБО в 500 м.

Содержание таких тяжелых металлов как, кадмий, никель, свинец, кобальт на расстоянии 100 и 300 метров превышают фоновые показатели в 7 и более раз, что позволяет считать их поллютантами с наибольшим экологическим риском.

Таблица 3

Содержание металлов и мышьяка в хвое ели обыкновенной произрастающей на анализируемых участках (мг/кг сухого вещества)

Расстояние от полигона	Al	Pb	Cu	Fe	Zn	Ni	As	Cd	Co	Cr	Mn	Sr	Ti
100 м	229,89	30,89	1,89	330,93	35,09	8,51	0,38	0,21	0,21	2,41	1353,73	22,15	10,24
300 м	153,53	31,40	2,58	277,67	41,60	3,45	1,13	0,25	0,23	2,47	1066,60	15,31	5,59
500 м	124,33	4,06	2,03	174,06	22,47	7,01	0	0,20	0,13	2,49	1016,73	13,81	7,92
700 м	217,42	13,39	2,47	212,80	27,84	3,99	0	0,13	0,11	2,41	890,67	19,21	5,49
900 м	71,56	4,03	1,72	65,33	14,47	2,06	0	0,05	0,08	2,27	449,93	14,5	4,28
30 км фон	29,99	4,12	1,42	114,14	21,61	1,15	0	0,02	0,03	2,27	128,59	14,48	2,31
C/Cф	7,66	7,49	1,33	2,89	1,62	7,4		10,5	7	1,06	10,52	1,52	4,43

Тяжелые металлы разрушают фотосинтетический аппарат растения, что в итоге приводит к его угнетению. С помощью коэффициента корреляции Пирсона была проведена оценка взаимосвязи между концентрациями указанных металлов в хвое и биоиндикационными показателями. Сопоставляли площадь листовой пластинки мм³ и содержание металла в мг\кг. Результаты анализа показали следующие значения корреляции: для алюминия (Al) -0,69; для свинца (Pb) -0,75; для кадмия (Cd) -0,66 и для никеля (Ni) -0,46. Эти значения свидетельствуют о значительной отрицательной связи между уровнями содержания этих металлов в хвое и ее морфологическими параметрами.

Выводы. Оценка уровня угнетения ели обыкновенной, выражающегося в уменьшении размеров хвои и высокой доле хлорозов и некрозов хвои, свидетельствует о загрязнении атмосферного воздуха вблизи полигона ТКО «Ядрово». Наиболее значительные изменения показателей жизнеспособности древостоя наблюдаются в ближайших к полигону точках (расстояние от полигона до 300 м). Возможная причина такого состояния связана, с выбросами свалочного газа и накоплением поллютантов в листовых пластинах. Анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в хвое биоиндиктора с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) показал многократное превышение фоновых значений в точках 1 и 2 (на расстоянии до 300 м от источника загрязнения) по следующим загрязнителям: марганец, кадмий, алюминий, свинец, никель, кобальт. Эти результаты свидетельствуют о значительном загрязнении воздуха вблизи источника загрязнения и накоплении загрязняющих веществ в хвое деревьев.

Метод биоиндикации может служить достоверным способом определения качества атмосферного воздуха и использоваться для мониторинга состояния закрытых полигонов ТКО.

Список литературы

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоводство 1989. № 4. С. 51-57.
2. Алехина Г.П., Хардикова С.В., Верхошенцева Ю.П., Шамраев А.В, Биоиндикация качества атмосферного воздуха по состоянию хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях города Орска Оренбургской области // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. №2. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_203.pdf.
3. Биоиндикация атмосферного загрязнения с использованием флуоресцентного метода / Г. А. Сорокина, К. В. Фидельская, А. Ю. Даниленко, Н. В. Пахарькова // Вестник КрасГАУ. 2012. № 10(73). С. 121-126.

4. Гладкова, Е. В. Проблема накопления и утилизации твёрдых коммунальных отходов: состояние и тенденции развития в Московской области // Молодой ученый. 2019. № 49 (287). С. 28-30. URL: <https://moluch.ru/archive/287/64709>.
5. Информационный выпуск Министерства экологии и природопользования Московской области «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2021 году».
6. Захаров В.М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / В.М. Захаров, Д.М. Кларк. М.: Высшая школа, 1993. 68 с.
7. Ковылина О.П., Зарубина И.А., Ковылин А.Н. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в зоне техногенного загрязнения // Хвойные бореальной зоны. 2008. № 3–4. С. 284–289.
8. Лесовая, П. А. Определение степени загрязнения атмосферного воздуха в городе Волоколамск (Московская область) по состоянию хвои ели обыкновенной / П. А. Лесовая // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 07 апреля 2023 года. Тверь: Тверской государственный университет, 2023. С. 32–36.
9. Свод правил СП 320.1325800.2017. "Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация" (утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 ноября 2017 г. № 1555/пр и введен в действие с 18 мая 2018 г.).
10. Щербенко Т. А. Поглощение элементов сосной и елью в лесных экосистемах северной тайги в условиях атмосферного загрязнения: дис. канд биол наук: 03.00.27. М, 2008. 172 с.
11. Юдина Т.Н. Анализ устойчивости сосны к загрязнению на основании флуоресцентных характеристик хвоинок / Т.Н. Юдина, А.В. Смирнов, А.С. Николаева // Лесоведение. 2017. № 1. С. 39–45

Об авторах:

СУРСИМОВА Ольга Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и экологии. ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп.2, e-mail: voroni-olga@yandex.ru), ORCID: 0000-0002-0993-3144, SPIN-код: 4111-8066.

МУРАВЬЕВА Любовь Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп. 2, e-mail: lmuraviova@mail.ru), ORCID: 0000-0002-6434-2056, SPIN-код: 4091-7957.

The impact of the solid municipal waste landfill "Yadrovo" on air pollution in the area of the city of Volokolamsk

O.Yu. Sursimova, L.V. Muraveva

Tver State University, Tver

Annotation. Using bioindication methods, the negative impact of the municipal solid waste landfill on the adjacent territory was revealed. An inhibition of the morphological parameters of the bioindicator spruce (*Picea abies* (L.)), as well as the accumulation of heavy metals by it, was found. The following series of accumulation of metals in conifers mg/kg relative to the control was revealed: $Mn \geq Cd \geq Al \geq Pb \geq Ni \geq Co \geq Ti \geq Fe \geq Zn \geq Sr$. Marked decreases in the size and area of needles, a high percentage of chlorosis and necrosis, as well as the accumulation of pollutants by plants were noted at a distance of up to 700 m from the landfill.

Keywords: *Landfill, municipal solid waste, bioindication, pollutants.*

Рукопись поступила в редакцию 10.02.2025

Рукопись принята к печати 17.02.2025