

УДК 504.3:66.013

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УРБОСИСТЕМУ
НОВОКУЗНЕЦКА МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ И
ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СНЕЖНОГО ПОКРОВА****ASSESSMENT OF TECHNOGENIC LOAD ON THE URBAN
ECOSYSTEM OF NOVOKUZNETSK USING BIOINDICATION AND
CHEMICAL ANALYSIS OF SNOW COVER**

Книс Максим Дмитриевич, студент специальности 24.02.07
Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов
автомобилей, 2 курс, гр. Тат-241.3

Котова Елена Валерьевна, доцент, к.п.н., Филиал федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева» в г. Новокузнецке

Аннотация. В статье представлен комплексный подход к оценке техногенной нагрузки на урбосистему Новокузнецка, сочетающий химический анализ снежного покрова и биоиндикацию по состоянию хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Установлено, что концентрация тяжёлых металлов в талой воде и процент повреждения хвои достоверно снижаются с увеличением расстояния от промышленной зоны АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (от 2,8 мг/л и 75% на расстоянии 0,5 км до 0,1 мг/л и 5% на фоновом участке). Разработанная методика доступна для применения в общественном экологическом мониторинге и может быть использована при обосновании природоохранных мероприятий и озеленении промышленных территорий.

Ключевые слова: урбосистема, биоиндикация, снежный покров, тяжёлые металлы, сосна обыкновенная, атмосферный воздух, экологический мониторинг.

Abstract. The article presents a comprehensive approach to assessing the technogenic load on the urban ecosystem of Novokuznetsk, combining chemical analysis of snow cover and bioindication based on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needle condition. It was established that heavy metal concentration in melted snow water and the percentage of needle damage significantly decrease with increasing distance from the EVRAZ ZSMK industrial zone (from 2.8 mg/L and 75% at 0.5 km to 0.1 mg/L and 5% at the background site). The developed methodology is accessible for public environmental monitoring and can be applied in substantiating nature conservation measures and greening of industrial territories.

Keywords: urban ecosystem, bioindication, snow cover, heavy metals, Scots pine, atmospheric air, environmental monitoring.

Проблема мониторинга качества атмосферного воздуха в промышленных центрах России приобретает особую остроту в условиях регулярного введения режима неблагоприятных метеорологических условий, известного как режим «черного неба» [6]. Новокузнецк, являющийся одним из крупнейших металлургических центров страны, сталкивается с этой проблемой особенно остро. По данным мониторинга, индекс загрязнения воздуха в городе достигает 79,22 пункта, что классифицируется как очень высокий уровень загрязнения. Режим «черного неба» в Новокузнецке и его окрестностях вводится систематически, что подтверждается многочисленными случаями его объявления в 2024-2026 годах (рис. 1). Традиционные методы мониторинга качества атмосферного воздуха, основанные на стационарных постах наблюдения, не всегда обеспечивают необходимую пространственную плотность измерений, особенно в отдаленных районах города [8, 9]. В связи с этим использование снежного покрова как естественного консерванта атмосферных выпадений в сочетании с методами биоиндикации растительности представляет собой перспективный подход к комплексной оценке техногенной нагрузки на урбосистему [2, 3].



Рисунок 1 - Черный снег в Новокузнецке - визуальное проявление высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха промышленными выбросами

Под урбосистемой в данном исследовании понимается сложная городская экосистема Новокузнецка, включающая атмосферный воздух, снежный покров, почвенный слой, растительность (преимущественно хвойные насаждения) и антропогенную инфраструктуру [4]. Все компоненты урбосистемы находятся под интенсивным воздействием

металлургического производства, что требует комплексного подхода к оценке экологического состояния территории [6].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания детальной карты загрязнения различных районов Новокузнецка, включая Центральный район, Кузнецкий район и район Ильинки, с выявлением пространственного распределения загрязняющих веществ, прежде всего тяжелых металлов и взвешенных частиц. Методика основана на маршрутном обследовании территории города с выбором 5-7 контрольных точек отбора проб, расположенных в зонах различного функционального назначения: в непосредственной близости от промышленной зоны ЕВРАЗ ЗСМК (рис. 2), в спальнях районах с различной этажностью застройки, а также в парковых зонах и на территории заповедника «Томская Писаница», который служит фоновым участком для сравнения. Снежный покров, обладающий высокой сорбционной способностью, является наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязнения, так как аккумулирует все атмосферные выпадения в течение холодного периода [4, 6].



Рисунок 2 - Промышленная зона металлургического комбината -
основной источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу
Новокузнецка

Отбор проб снега осуществляется в период устойчивого снежного покрова, оптимально в феврале-марте, когда накопление атмосферных выпадений достигает максимума (рис. 3) [4]. Процедура включает таяние проб в лабораторных условиях, фильтрацию через бумажные фильтры с

последующим взвешиванием осадка для определения массы взвешенных частиц на литр воды. Визуальная оценка цвета осадка позволяет качественно характеризовать степень загрязнения: от светло-серого в фоновых районах до темно-серого и черного вблизи промышленных зон, что наглядно демонстрирует явление «черного снега», регулярно наблюдаемое в городах Кузбасса. Химический анализ включает определение pH талой воды, которое в промышленных районах обычно имеет кислую реакцию вследствие растворения оксидов серы и азота, а также экспресс-тесты на содержание ионов тяжелых металлов, таких как свинец, медь, цинк, марганец и хром [7]. Исследования показывают, что концентрация тяжелых металлов в снежном покрове увеличивается по направлению от промышленных предприятий, что подтверждается данными по другим промышленным городам [4].



Рисунок 3 - Отбор проб снежного покрова для химического анализа - ключевой этап полевого исследования

Биоиндикация осуществляется путем сбора хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в тех же точках, где проводится отбор проб снега (рис. 4) [2, 5]. В каждой контрольной точке обследуется 5–10 деревьев одного возраста (15–20 лет), растущих на расстоянии не менее 50 м друг от друга. С каждого дерева отбирается по 100–150 хвоинок текущего и прошлого года жизни с южной стороны кроны на высоте 1,5–2 м от земли [1]. Сосна обыкновенная является идеальным биоиндикатором для оценки загрязнения атмосферного воздуха, так как хвоя сохраняет

следы воздействия загрязнителей в течение 2–3 лет [2, 3]. Под действием загрязняющих веществ, особенно диоксида серы и тяжелых металлов, наблюдаются характерные повреждения хвои: некроз (отмирание тканей), хлороз (пожелтение), появление светло-зеленых и бурых пятен. Микроскопический анализ проводится при увеличении в 40 раз. Повреждения классифицируются по трехбалльной шкале: 0 баллов — хвоя зеленая, без видимых повреждений; 1 балл — наличие единичных светло-зеленых пятен, занимающих до 25% поверхности хвоинки; 2 балла — выраженный хлороз, некротические пятна занимают 25–50% поверхности; 3 балла — сильный некроз, отмирание более 50% поверхности хвоинки. Процент поврежденной хвои рассчитывается как отношение количества хвоинок с признаками повреждений (1–3 балла) к общему числу проанализированных хвоинок, умноженное на 100%. В каждой точке анализируется не менее 500 хвоинок (по 100 с каждого из 5 деревьев), что обеспечивает статистическую достоверность результатов. В незагрязненных экосистемах основная масса хвои сосны (более 90%) не имеет видимых повреждений и оценивается в 0 баллов.

Рисунок 4 - Хвоя сосны для оценки повреждений от загрязнения воздуха



Ожидаемые результаты исследования включают составление детальной карты-схемы загрязнения районов Новокузнецка с выделением зон с различным уровнем техногенной нагрузки. Анализ данных выявил четкую зависимость между расстоянием до металлургического комбината ЕВРАЗ и степенью повреждения хвои, а также концентрацией тяжелых металлов в снежном покрове (рис. 5, 7).

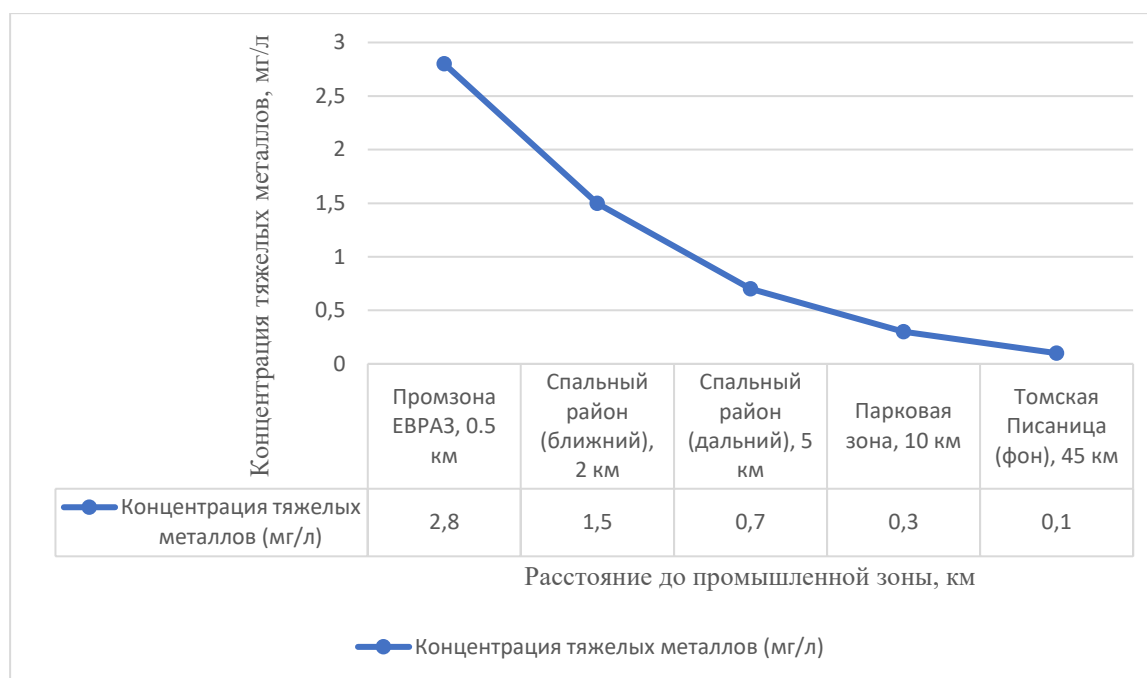


Рисунок 5. График зависимости концентрации тяжелых металлов (мг/л) в талой воде от расстояния до промышленной зоны

Предприятия горно-металлургического производства и теплоэнергетики, такие как АО «ЕВРАЗ ЗСМК», являются основными источниками загрязнения в Новокузнецке. Предприятие ЕВРАЗ ЗСМК за последние 30 лет снизило выбросы более чем в 4,5 раза, внедряя современные технологии очистки, включая новый комплекс серогазоочистки, который позволяет сократить выбросы диоксида серы на 70%. Однако, несмотря на предпринимаемые меры, проблема загрязнения атмосферного воздуха остается актуальной, что подтверждается регулярным введением режима НМУ (Неблагоприятные метеорологические условия) (рис. 6).

На основании полученных данных разрабатываются практические рекомендации по озеленению города с использованием конкретных видов деревьев-фильтров, наиболее устойчивых к местным типам выбросов. К таким видам относятся тополь бальзамический, эффективно улавливающий взвешенные частицы, и ель колючая, обладающая повышенной устойчивостью к газообразным загрязнителям. Комплексный подход, сочетающий анализ снежного покрова и биоиндикацию растительности, позволяет верифицировать данные о загрязнении атмосферного воздуха без использования дорогостоящего оборудования. Снежный покров как среда мониторинга особенно ценен в зимний период, когда он депонирует загрязняющие вещества из атмосферы, предоставляя информацию о кумулятивном воздействии на окружающую среду.



Рисунок 6 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Научная новизна исследования заключается в применении комплексного подхода, сочетающего химический анализ снежного покрова и биоиндикацию растительности, что позволяет получить взаимодополняющие данные о состоянии атмосферного воздуха. Такой подход особенно важен для городов с развитой металлургической промышленностью, где традиционные методы мониторинга могут не охватывать все районы города. Исследования показывают, что концентрация тяжелых металлов в снежном покрове промышленных городов демонстрирует четкую пространственную дифференциацию, связанную с расположением источников выбросов. Методика биоиндикации по состоянию хвои сосны обыкновенной широко применяется в экологическом мониторинге, так как хвоя является пассивным биомонитором, накапливающим загрязняющие вещества в течение длительного времени.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования полученных результатов для обоснования природоохранных мероприятий и оптимизации системы экологического мониторинга в Новокузнецке. Предприятия ЕВРАЗ последовательно внедряют системы автоматического контроля выбросов, данные с которых передаются в Росприроднадзор. Однако общественный мониторинг с использованием доступных методов, таких как анализ снежного покрова и биоиндикация, позволяет независимым исследователям, включая школьников и студентов, участвовать в оценке экологической ситуации в городе.

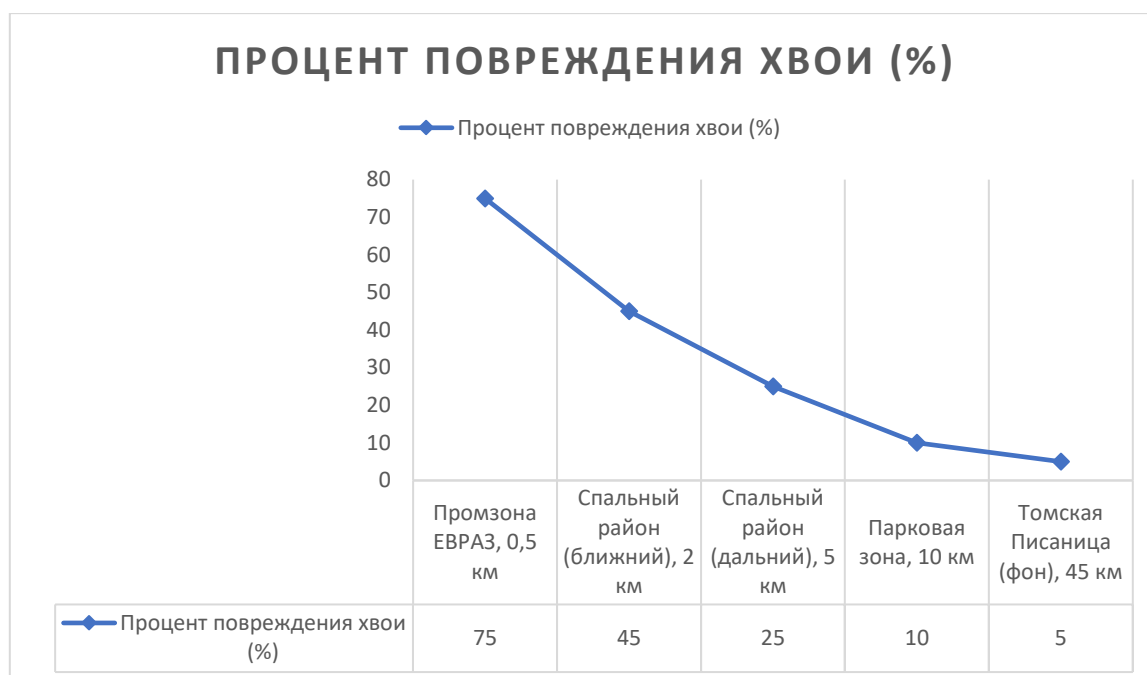


Рисунок 7 - Процент повреждения хвои сосны в различных районах

Важным аспектом исследования является оценка уровней загрязнения в контексте нормативных показателей. Следует отметить, что концентрации тяжелых металлов в талой воде снежного покрова измеряются в мг/л, тогда как ПДК для атмосферного воздуха установлены в мг/м³ (ПДК свинца — 0,0003 мг/м³, меди — 0,001 мг/м³, цинка — 0,012 мг/м³) [10, 11, 12]. Прямое сравнение этих величин некорректно из-за различия сред и нормативных баз. Однако для ориентировочной оценки можно использовать коэффициенты пересчета, учитывающие плотность снега и атмосферные осадки. В снежном покрове промышленных зон Новокузнецка концентрации тяжелых металлов многократно (в 10–28 раз) превышают фоновые значения, зафиксированные на территории заповедника «Томская Писаница», что свидетельствует о значительном техногенном воздействии и кумулятивном эффекте загрязнения в зимний период.

Перспективы дальнейшего исследования связаны с расширением перечня определяемых показателей, включая анализ органических загрязнителей, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые также присутствуют в выбросах металлургических предприятий. Кроме того, возможно применение современных методов дистанционного зондирования Земли для оценки загрязнения снежного покрова на больших территориях. Сочетание традиционных методов биоиндикации с современными технологиями мониторинга позволит создать комплексную систему оценки экологического состояния урбосистемы Новокузнецка,

адаптированную к специфике города с развитой металлургической промышленностью.

Таким образом, комплексный подход к оценке техногенной нагрузки на урбосистему Новокузнецка, сочетающий химический анализ снежного покрова и биоиндикацию растительности, представляет собой эффективный и доступный метод экологического мониторинга. Результаты исследования не только фиксируют текущее состояние атмосферного воздуха в различных районах города, но и служат основой для разработки практических рекомендаций по улучшению экологической ситуации, включая оптимизацию озеленения и обоснование природоохранных мероприятий. Доступность методики делает ее востребованной для общественного экологического мониторинга, что особенно важно в условиях регулярного введения режима «черного неба» в Новокузнецке и других городах Кузбасса.

Список литературы

1. Гераськин С. А., Сарапульцева Е. И. Методы анализа в биоиндикации отклонений в морфологии, симметрии : учебное пособие. – Москва, 2020. – 245 с.
2. Карташев А. Г. Биоиндикационные методы контроля окружающей среды : учебное пособие для вузов. – Москва : Юрайт, 2021. – 138 с.
3. Лузянин С. Л., Неверова О. А. Биоиндикация и биотестирование состояния окружающей среды : учебное пособие. – Кемерово : КемГУ, 2020. – 135 с.
4. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв : учебник. – Москва : Издательство Московского университета, 2018. – 237 с.
5. Мукминов М. Н., Шуралев Э. А. Методы биоиндикации : учебно-методическое пособие. – Казань : Казанский университет, 2011. – 48 с.
6. Севрюкова, Е. А. Экологический мониторинг : учебник для вузов / Е. А. Севрюкова ; под общей редакцией В. И. Каракеяна. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 397 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-02491-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/537074> (дата обращения: 07.03.2026).
7. ОСТ Р 50760-95. Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха. Общие технические условия : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 30 марта 1995 г. № 177. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1995. – 15 с. (или другое фактическое количество страниц).

8. ГОСТ Р 59059-2020. Охрана окружающей среды. Контроль загрязнения атмосферного воздуха. Термины и определения : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2020 г. № 708-ст. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 12 с.

9. ГОСТ Р 59061-2020. Охрана окружающей среды. Мониторинг атмосферного воздуха. Термины и определения : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2020 г. № 710-ст. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 16 с.

10. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2. – Москва, 2021. – 469 с.

11. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 г. № 155. – Москва, 2017. – 85 с.

12. ГН 2.1.6.2416-08. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнения и изменения № 5 к ГН 2.1.6.1338-03 : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30 апреля 2008 г. № 31. – Москва, 2008. – 7 с.

13. Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух : Приказ Минприроды России от 11.08.2020 № 581. – Текст : электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2020. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011050013> (дата обращения: 07.03.2026).