

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПО РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) ЗА 2000–2023 ГГ.

Семенова Наталья Павловна

Кандидат биологических наук,
Федеральное Государственное Бюджетное
Образовательное Учреждение Высшего Образования
«Всероссийский государственный университет
юстиции (РПА Минюста России)» (г. Москва)
ns38@bk.ru

ANALYSIS OF THE RESULTS OF LONG- TERM ATMOSPHERIC EMISSIONS IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) FOR 2000–2023

N. Semenova

Summary. This paper presents the long-term dynamics of changes in emissions of pollutants from stationary sources in the Republic of Sakha (Yakutia) for the period from 2000 to 2023. The evaluation of the analyzed data was carried out using generally accepted parametric and nonparametric criteria of mathematical statistics with a preliminary test of the obtained data for the normality of the distribution. The quantitative indicators of the study formed the basis for the construction of diagrams and tables. The analysis showed that the priority pollutants of atmospheric air throughout the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) are: suspended solids (total dust), carbon monoxide, nitrogen dioxide, benz(a)pyrene, sulfur dioxide, hydrogen sulfide, average annual concentrations, which in many cities of the republic exceed the maximum permissible concentration several times. The main stationary sources of atmospheric air pollution in the republic are enterprises of housing and communal services, coal mining and diamond mining, as well as oil and gas production.

Keywords: ecology, atmospheric air, atmospheric pollution, emissions.

Аннотация. В данной работе представлена многолетняя динамика изменения выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников на территории Республика Саха (Якутия) за период с 2000 года по 2023 год. Оценка анализируемых данных проводилась с использованием общепринятых параметрических и непараметрических критериев математической статистики с предварительным испытанием полученных данных на нормальность распределения. Количественные показатели исследования легли в основу построения диаграмм и таблиц. Проведенный анализ показал, что приоритетными загрязняющими веществами атмосферного воздуха на всей территории Республики Саха (Якутия) являются: взвешенные вещества (общая пыль), оксид углерода, азота диоксид, бенз(а)пирен, диоксид серы, сероводород среднегодовые концентрации, которых во многих городах республики превышают предельно допустимую концентрацию в несколько раз. Основными стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха республики являются предприятия ЖКХ, угледобывающей и алмазодобывающей промышленности, а также нефтегазодобычи.

Ключевые слова: экология, атмосферный воздух, загрязнение атмосферы, выбросы.

Введение

Глобальная экологическая проблема антропогенного загрязнения окружающей среды резко обострилась в XX веке, ознаменовавшись невиданным ранее масштабом воздействия человека на планету. Ключевым фактором стало резкое расширение спектра используемых материалов. Человечество освоило добычу и переработку огромного количества металлов, ранее практически не вовлеченных в техногенный цикл. Речь идет не только о традиционных железе, меди и золоте, но и о редких землях, использовании которых быстро растут в электронике, энергетике и других высокотехнологичных отраслях. Параллельно с этим, было начато массовое производство синтетических материалов — пластмасс, синтетических волокон, фторуглеродов и множества других веществ, совершенно чуждых природным экосистемам. Эти «ксенобиотики» обладают уникальными свойствами, часто не только неразлага-

емыми в естественных условиях, но и токсичными для живых организмов.

Проблема усугубляется тем, что скорость производства этих веществ значительно превышает способность биосферы к их разложению и утилизации. Замкнутый природный круговорот веществ нарушается, и отходы производства накапливаются в окружающей среде, загрязняя литосферу, гидросферу и атмосферу. Пластмассовые отходы образуют гигантские «острова мусора» в океанах, загрязняющие воду и угрожающие морской жизни. Загрязнение почв тяжелыми металлами снижает её плодородие, делая земли непригодными для сельского хозяйства. Выбросы промышленных предприятий и транспорта приводят к кислотным дождям, смогу и парниковому эффекту, изменяя климат планеты и вызывая экстремальные погодные явления.

Атмосфера загрязняется не только выбросами промышленных предприятий, но и выхлопными газами

автотранспорта, содержащими оксиды азота, серы и углерода, а также твердые частицы. Эти загрязнители вызывают респираторные заболевания у людей и животных, повреждают растительность и ускоряют разрушение памятников архитектуры. Гидросфера страдает от сточных вод, содержащих нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы и другие вредные вещества. Это приводит к гибели водных организмов, загрязнению питьевой воды и ухудшению качества морской среды. Литосфера загрязняется не только отходами производства, но и радиоактивными веществами, используемыми в атомной энергетике и других отраслях. Радиоактивное загрязнение может сохраняться в течение тысяч лет, оказывая пагубное воздействие на все живые организмы.

Естественные адаптационные механизмы биосферы, за миллионы лет эволюции настроенные на переработку природных веществ, просто не справляются с таким объемом и разнообразием антропогенных загрязнителей.

Это приводит к деградации экосистем, вымиранию видов растений и животных, уменьшению биоразнообразия и негативным последствиям для человека, от проблем со здоровьем до угрозы продовольственной безопасности. Решение проблемы требует комплексного подхода, включающего разработку и внедрение чистых технологий, утилизацию отходов, разработку новых материалов, развитие возобновляемых источников энергии и изменение образа жизни человека в сторону более экологичного потребления. Без радикальных изменений в нашем отношении к природе, будущее планеты остаётся под угрозой. Необходимо международное сотрудничество и изменение политической и экономической систем, чтобы приоритетом стало сохранение устойчивости экосистем и благополучия человечества.

Неблагоприятное воздействие на организм человека суровых погодных условий значительно усиливается под влиянием антропогенных и техногенных факторов, усугубляющих экологическую обстановку на данной территории [2,3,4,6].

Территория Республики Саха (Якутия) расположена в неблагоприятной климатической зоне, для которой характерна низкая рассеивающая способность атмосферы, определяющая очень высокий потенциал загрязнения. В условиях частой повторяемости приземных и приподнятых инверсий, застойных явлений и туманов, высокий уровень загрязнения атмосферы формируется даже при относительно небольших выбросах загрязняющих веществ. Совокупность метеорологических условий неоднозначно влияет на уровень загрязнения атмосферного воздуха. Так, в теплый период года, особенно летом, происходит снижение концентраций ряда загрязняющих веществ, в зимний период наоборот — создаются условия для роста потенциала загрязнения атмосферы.

Материалы и методы

Исследование загрязнения атмосферного воздуха Республики Саха (Якутия) за период с 2000 по 2023 год основывалось на данных о выбросах загрязняющих веществ от стационарных источников, предоставленных Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). Анализ охватывал общий объем выбросов, детализируя их состав по фракциям: твердые, газообразные и жидкие. В рамках исследования особое внимание уделялось основным загрязняющим компонентам: диоксиду серы (SO_2), оксиду углерода (CO), оксидам азота (NO_x) и углеводородам (без учета летучих органических соединений — ЛОС). Исключение ЛОС из анализа, хотя и упрощает картину, требует особого указания, поскольку ЛОС являются значительным источником фотохимического смога и влияют на образование приземного озона. Дальнейшие исследования должны учитывать и этот фактор. Методология исследования включала применение как параметрических, так и непараметрических методов математической статистики. Выбор методов определялся результатами тестов на нормальность распределения исходных данных. Это ключевой аспект, поскольку параметрические методы (например, t -критерий Стьюдента или дисперсионный анализ) требуют нормального распределения, в то время как непараметрические методы (например, критерий Уилкоксона или критерий Кендалла) более робустны и применимы к данным с ненормированным распределением. Выбор конкретных статистических тестов зависел от формулируемых гипотез и характера исследуемых зависимостей. Например, для выявления тенденций изменения выбросов во времени могли быть использованы методы временных рядов. Кроме того, исследование могло включать корреляционный анализ для выяснения взаимосвязи между разными загрязняющими веществами, а также регрессионный анализ для моделирования зависимости уровня загрязнения от различных факторов. Для обработки данных использовался специализированный программный пакет статистического анализа, установленный на персональном компьютере. Важно отметить, что данные о выбросах от стационарных источников не дают полной картины загрязнения воздуха. Необходимо учитывать выбросы от передвижных источников (транспорт), а также природные источники загрязнения (например, пыльные бури в степных и полупустынных районах Якутии). Для более полного анализа необходимо использовать данные мониторинга качества воздуха с постами наблюдения, расположенными в разных точках республики. Это позволит получить более точные оценки концентраций загрязняющих веществ и их воздействия на здоровье населения. Кроме того, следует учитывать метеорологические факторы, такие как направление и скорость ветра, температура и атмосферное давление, которые существенно влияют на распространение загрязняющих

веществ в атмосфере. Комплексный подход, включающий анализ данных о выбросах, данных мониторинга качества воздуха и метеорологических данных, позволит создать более точную и полную картину загрязнения атмосферного воздуха Республики Саха (Якутия) и разработать эффективные меры по его снижению.

Результаты и обсуждение

В населенных пунктах республики атмосферный воздух в значительной степени загрязнен вредными выбросами от передвижных и стационарных источников, которые выбрасывают в атмосферу самые разнообразные загрязняющие вещества, каждое из которых оказывает вредное воздействие на здоровье человека с различной степенью интенсивности воздействия (рис. 1). Загрязнение воздуха напрямую зависит от интенсивности

выбросов вредных веществ и их химического состава, а также от высоты, на которой происходят выбросы, и, в конечном счете, от метеорологических условий, определяющих перенос, рассеивание и трансформацию выбрасываемых веществ.

По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в 2023 году составил 374,3 тыс. тонн. Динамика выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, которые исходят от стационарных источников, по муниципальным образованиям республики представлена на рис. 2.

Анализ предоставленных данных свидетельствует о том, что в республике не наблюдается устойчивой ди-



Рис. 1. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ

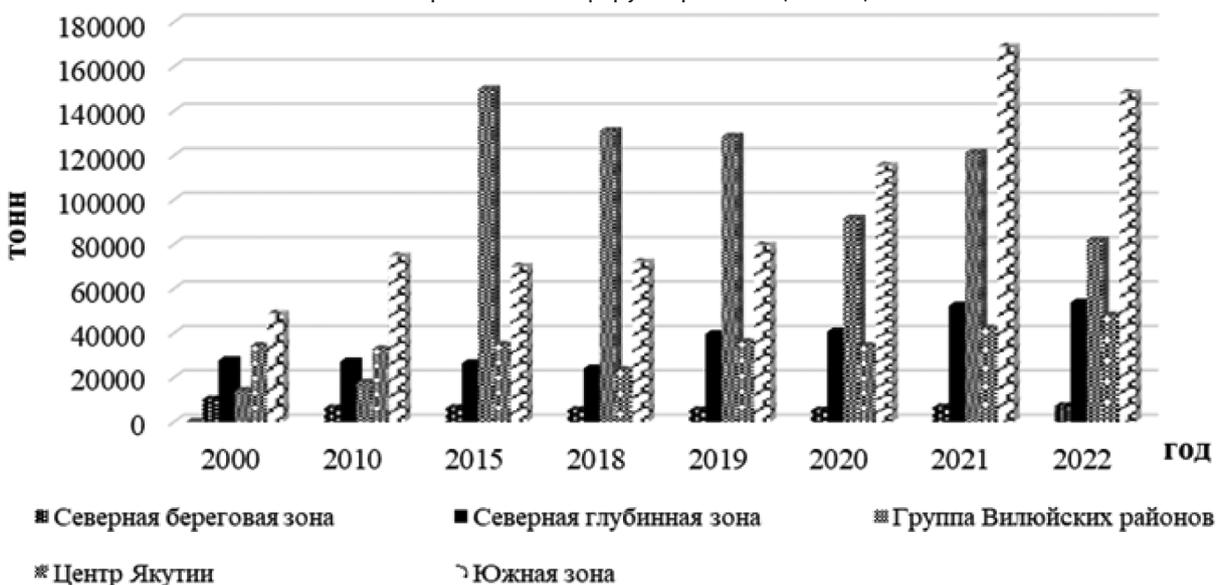


Рис. 2. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, по муниципальным образованиям

намики к сокращению выбросов. Тем не менее, в последние годы произошли значительные изменения в территориальном распределении выбросов загрязняющих веществ. В Южной зоне и в группе Вилюйских районов увеличились как доля, так и объемы выбросов, тогда как плановые выбросы стационарных источников в Северной береговой зоне снизились [7].

Основную роль в загрязнении атмосферного воздуха играют стационарные источники из алмазодобывающей, топливной и золотодобывающей отраслей, а также электроэнергетики и нефтегазодобычи.

В 2023 году в составе выбросов, возникающих от стационарных источников загрязнения, преобладали твердые вещества — 92,99 тыс. т (26 %), диоксид серы — 21,0 тыс. т (6 %), оксиды азота — 53,2 тыс. т (15 %), оксид углерода — 167,9 тыс. т (48 %), и углеводороды (без летучих органических соединений) — 18,96 тыс. т (5 %) (рис. 3).

В 2023 году в Республике Саха (Якутия) основными загрязняющими веществами атмосферы были диоксид азота и взвешенные частицы (PM10). Лабораторный мониторинг ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия)» показал, что в Якутске, Мегино-Кангаласском муниципальном образовании и Ленском районе зарегистрировано превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) по проценту от общего числа проб.

За последние 20 лет (2000–2023 гг.) в республике отмечается рост среднегодовых значений концентра-

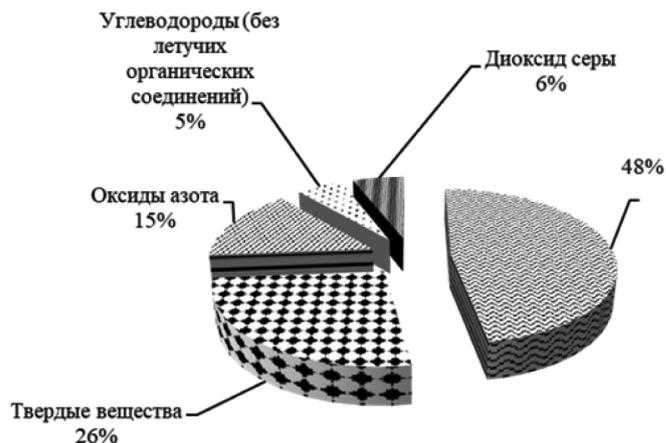


Рис. 3. Доля наиболее распространенных загрязняющих веществ в валовых выбросах в атмосферу от стационарных источников, %

ции взвешенных частиц и формальдегида. Согласно данным Якутского управления по гидрометеорологии, в 2023 году уровень загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах республики оставался на высоком уровне, оцениваемом как повышенный в Якутске и Мирном, а в Нерюнгри — как низкий.

На протяжении периода наблюдений (2000–2023 гг.) в атмосферу было выброшено 5217,09 тыс. тонн загрязняющих веществ, из которых 1339,99 тыс. тонн (25,68 %) составили твердые частицы, а газообразные и жидкие — 74,32 % (3877,1 тыс. тонн). В составе газовых выбросов основную долю занял оксид углерода (60,9 %), затем следуют оксиды азота (19,15 %), диоксид серы (9,22 %) и углеводороды (5,74 %).

Таблица 1.

Показатели, характеризующие многолетнюю динамику выбросов в атмосферный воздух по Республике Саха (Якутия) за 2000–2023 гг.

| Вид выброса | М, тыс. тонн | ±m | Уравнение регрессии* | Темп прироста | | Коэффициент детерминации (R ²) | |
|-----------------------|--|------|----------------------|--------------------|-------------------|--|------|
| | | | | к предыдущему году | к начальному году | | |
| Всего | 217,4 | 16,6 | 10,31x + 88,5 | 1,02 | 2,79 | 0,80 | |
| в том числе | | | | | | | |
| Твердых | 55,8 | 2,9 | 1,38x + 38,5 | 1,08 | 2,23 | 0,85 | |
| Газообразных и жидких | 161,5 | 14,4 | 8,92x + 49,98 | 1,12 | 3,04 | 0,84 | |
| из них | Диоксид серы | 14,9 | 0,8 | 0,12x + 13,4 | 1,03 | 1,39 | 0,76 |
| | Оксид углерода | 98,4 | 10,1 | 6,06x + 22,7 | 1,13 | 3,40 | 0,76 |
| | Оксиды азота | 30,9 | 1,9 | 1,05x + 17,8 | 1,06 | 2,14 | 0,85 |
| | Углеводороды (без летучих органических соединений) | 9,3 | 1,7 | 0,95x – 2,6 | 1,47 | 11,85 | 0,77 |

Примечание: * уравнение регрессии $Y_T = bx + a$, где Y_T — теоретический уровень исследуемого показателя; b — коэффициент регрессии; x — номер члена динамического ряда; a — начальный уровень исследуемого показателя.

Показатели, характеризующие многолетнюю динамику выбросов в атмосферу по Республике Саха (Якутия), представлены в табл. 1.

Проанализировав показатели таблицы 1 можно сделать вывод о том, что наблюдался значительный рост количества выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в республике за исследуемый период. Например, общее количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух с 2000 года, возросло почти в три раза (с 134,2 до 374,3 тыс.т). Темп прироста выбросов углеводородов (без летучих органических соединений) за исследуемый период составил 11,85. Величина достоверности аппроксимации практические для всех веществ имеет модель хорошего качества (R^2 выше 0,8).

Заключение

Главными факторами загрязнения атмосферы в Республике Саха (Якутия) по-прежнему остаются выбросы от промышленных объектов. Этот регион характеризует-

ся сложными климатическими и географическими условиями, а также высоким уровнем загрязнения, вызванного человеческой деятельностью. В ходе исследования были выявлены основные загрязнители воздуха на территории всей Республики Саха (Якутия): взвешенные частицы (пыль), угарный газ, диоксид азота, бенз(а)пирен, диоксид серы и сероводород. Среднегодовые уровни этих веществ в некоторых населенных пунктах значительно превышают установленные нормативы.

Анализ подтвердил серьезное загрязнение атмосферного воздуха из-за выбросов стационарных источников. В будущем необходимо выявить ключевые загрязняющие вещества и наиболее пострадавшие территории отдельно для каждого муниципального образования и в контексте различных жизненно важных сред. Такой анализ загрязнения может стать основой для формирования экологической политики и защиты здоровья населения в регионах с высоким уровнем загрязнения окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2023 году — Якутск, 2024. — 966 с.
2. Исследование динамики процессов трансформации массовых техногенных загрязнителей в атмосферном воздухе и их влияния на здоровье населения / Хадарцев А.А., Хрупачев А.Г., Платонов В.В., Алиякберова Е.М., Ганюков С.П., Хмелевцов В.С. // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2011. — № 34. — С.34–41.
3. Лещук, С.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на здоровье населения / С.И. Лещук, Д.И. Очиржапова // Вестник ИрГСХА. — 2012. — № 51. — С. 52–61.
4. Магамета, С.Д. Воздействие факторов окружающей среды на состояние здоровья / С.Д. Магамета, Р.Д. Магамета, А.Ю. Магамета // Проблемы теории и практики автомобильного транспорта: Сборник научно-практических статей: под общ. ред. Т.К. Екшикеева. — СПб: Издательство СЗГУ, 2009. — С. 168–180.
5. Об экологической ситуации в Республике Саха (Якутия) в 2013 году: Государственный доклад. — Якутск: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Саха (Якутия), 2014. — 329 с.
6. Погосян Х.П. Атмосфера и человек / Х.П. Погосян. — М.: Просвещение, 2017. — 160 с.
7. Семенова Н.П. Анализ загрязнения атмосферного воздуха на территории Республика Саха (Якутия) с 200 по 2022 годы / Н.П. Семенова // Путь науки. Международный научный журнал. — 2024. — № 9 (127). — С. 35–41.
8. Статистический ежегодник Республики Саха (Якутия): статистический сборник / редакционная коллегия: И.К. Гаевая (председатель), И.И. Батожергалова, В.А. Константинова. — Якутск: Типография СММК, 2023. — 544 с.

© Семенова Наталья Павловна (ns38@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»