

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИРГУПС)
Забайкальский институт железнодорожного транспорта –
филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИРГУПС)

Кафедра «Техносферная безопасность»

Н.А. Коновалова

ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Учебное пособие

Чита
2025

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИрГУПС)
Забайкальский институт железнодорожного транспорта –
филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС)

Кафедра «Техносферная безопасность»

Н.А. Коновалова

ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Учебное пособие
для самостоятельной работы
студентов всех специальностей и направлений подготовки по
дисциплинам «Инженерная экология», «Химия. Общая экология»

Чита
2025

УДК 504
ББК Б 1
К 64

Рецензенты:

профессор кафедры «Техносферная безопасность»
Забайкальского института железнодорожного транспорта
д.м.н. *Н.Д. Авсеенко*

профессор кафедры техносферной безопасности
Забайкальского государственного университета
д.т.н. *К.К. Размахнин*

Коновалова Н.А.

К 64 Особенности антропогенной трансформации природной среды. Учебное пособие для самостоятельной работы студентов всех специальностей и направлений подготовки по дисциплинам «Инженерная экология», «Химия. Общая экология» / Н.А. Коновалова – Чита: ЗаБИЖТ, 2025. – 92 с.

Учебное пособие содержит теоретический материал для самостоятельной работы по дисциплинам «Инженерная экология», «Химия. Общая экология».

УДК 504
ББК Б 1

© Коновалова Н.А., 2025
© Забайкальский институт железнодорожного
транспорта (ЗаБИЖТ), 2025

План издания 2025 г.

Коновалова Наталия Анатольевна
ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
Учебное пособие для самостоятельной работы студентов всех специальностей и
направлений подготовки по дисциплинам «Инженерная экология», «Химия. Общая
экология».

Издаётся в авторской редакции
Подписано в печать 07.10.2025 г. Поз. 1.6. Бумага тип. № 2.
Формат 60х84/16. Уч.-изд. л. 4,64. Тираж 10. Цена 232 руб.

672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Техногенная нагрузка урбанизированных территорий на окружающую среду	6
1.1 Воздействие промышленного производства и транспорта на качество атмосферного воздуха	6
1.2 Особенности антропогенного воздействия на водные объекты	18
1.3 Антропогенное воздействие на почвы	26
Вопросы для самоконтроля.....	30
Глава 2. Проблема накопления отходов производства и потребления и их воздействие на окружающую среду	31
Вопросы для самоконтроля	36
Глава 3. Антропогенное воздействие предприятий ГПК на окружающую среду	37
Вопросы для самоконтроля	46
Глава 4. Особенности антропогенного воздействия предприятий ТЭК на природную среду	47
Вопросы для самоконтроля	52
Глава 5. Антропогенное воздействие отходов переработки древесины на окружающую среду	53
Вопросы для самоконтроля	56
Глава 6. Способы минимизации антропогенного воздействия.....	57
6.1 Способы утилизации отходов ГПК	59
6.2 Способы утилизации отходов ТЭК	68
6.3 Способы утилизации отходов переработки древесины	75
Вопросы для самоконтроля	79
Заключение	80
Библиографический список	82

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшей мировой экологической проблемой является глобальная антропогенная трансформация природной среды, вызванная интенсивным воздействием промышленности на природные экосистемы. Антропогенные факторы, изменяющие состояние биотопа и биотических компонентов, обуславливают сокращение биоразнообразия и деградацию экосистемных функций. Помимо существенного экономического ущерба это представляет реальную угрозу жизни и здоровью людей. Многие страны мира осознали ценность природного капитала и, столкнувшись с ограниченностью природных ресурсов, начали активно внедрять платежи за экосистемные услуги. Существенное значение экосистемным услугам придается в Целях устойчивого развития ООН на период 2016-2030 гг., связанных с сохранением наземных и морских экосистем, поскольку за последние 50 лет около 60 % экосистемных услуг деградировали. Термин «экосистемные услуги» впервые введен в 1981 г. в научной работе П. Эрлиха и А. Эрлиха. Цель концепции экосистемных услуг, сформулированной в 1990-х гг., заключалась в привлечении внимания к проблемам охраны природы, сохранения биоразнообразия и экологических функций экосистем, а также к созданию экономических возможностей их решения. Эффективность концепции экосистемных услуг и связанной с ней концепции природного капитала заключалась в поиске компромиссов между сохранением биоразнообразия и экономическим развитием регионов. Рассмотрение экосистемных услуг с позиции экосистемного подхода применено на практике в проектах Экологического департамента Всемирного банка, где экосистемы выступают в качестве форм природного капитала.

Результаты экономических исследований, связанных с экосистемными услугами, приведены в работах Г. Дейли, Р. де Грута, Р. Костанцы. Выполненная под руководством Р. Костанцы оценка стоимости природного капитала и глобальных экосистемных услуг составила около 33 триллионов долларов США в год. Данное исследование, как и более ранние научные работы в этой области, вызвали интерес к дальнейшему развитию подобных экономических исследований в силу увеличения давления антропогенных факторов на экосистемы. Несмотря на значительное количество научных работ в

области экосистемных услуг, их унифицированная классификация до сих пор не выработана.

Большинство классификаций строятся по функциональному признаку. К наиболее известным можно отнести три международные классификации, приведенные в Европейском экологическом агентстве (ЕЕА), Докладе ООН «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (2003 г.) и международном проекте ТЕЕВ. Классическим стал Доклад ООН, в котором приведены характеристики обеспечивающих, регулирующих, культурных и поддерживающих экосистемных услуг. В настоящее время оценка экосистемных услуг проведена во многих странах мира, при этом лидерами являются страны Евросоюза. Национальные программы в данной области существуют в Великобритании, Германии, Голландии и других странах, пилотные проекты осуществляются в Бразилии, Испании, Колумбии.

Экосистемные услуги активно исследуются в Российской Федерации и касаются оценки экологических и монетарных параметров, а также региональной специфики. По итогам Государственного Совета «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений» Президент России в 2017 г. утвердил перечень поручений, касающихся формирования системы компенсаций за экосистемные услуги для Российской Федерации как экологического донора. Разрушение природных комплексов, сокращение биоразнообразия и деградация значимых экосистемных функций вызваны усилением антропогенного воздействия на окружающую среду. При антропогенном воздействии наиболее уязвимыми являются природные системы, так как их восстановление требует длительного времени, а смена сообществ на устойчивые к негативному воздействию приводит к образованию антропогенных экосистем. В этой связи актуальным становится сохранение ландшафтов, сокращение использования ресурсов при производстве и потреблении, снижение негативного воздействия на окружающую среду, а также поддержание способности экосистем к восстановлению. Указом Президента Российской Федерации «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» № 400 от 02.07.2021 г. введены требования по улучшению состояния окружающей среды, ликвидации накопленного вреда и повышению уровня утилизации отходов.

Учебное пособие содержит систематизированный материал по проблеме антропогенной трансформации природной среды,

предназначено для выполнения самостоятельной работы по дисциплинам «Инженерная экология», «Химия. Общая экология».

Глава 1. Техногенная нагрузка урбанизированных территорий на окружающую среду

В настоящее время рост уровня урбанизации и промышленное развитие территорий способствуют, с одной стороны, экономическому развитию регионов, а с другой стороны, деградации природной среды. На урбанизированных территориях, где проживает около 74 % населения Российской Федерации, комплексное воздействие антропогенных факторов усиливает экологическую напряженность, и состояние окружающей среды оценивается как неблагоприятное. Результатом хозяйственной деятельности человека является наличие в окружающей среде широкого спектра ксенобиотиков, концентрации которых превышают установленные ПДК. Значительная вариабельность экспозиционных доз при их суммарном и многосредовом воздействии является особенностью антропогенной нагрузки, сформированной на урбанизированных территориях.

1.1 Воздействие промышленного производства и транспорта на качество атмосферного воздуха

Крупнейшими источниками ксенобиотиков являются комплексы химических, сланце- и нефтеперерабатывающих предприятий, а также предприятий по производству строительных материалов, цветной и черной металлургии. Существенный вклад в загрязнение приземного слоя воздуха вносит автотранспорт, выхлопные газы которого содержат значительное количество токсичных веществ – альдегидов, спиртов, эфиров, кетонов, углеводородов, тяжелых металлов, оксидов азота, углерода, серы и др., концентрация которых возрастает в летнее время и приводит к увеличению токсичности воздуха [1].

Высокодисперсные пылевые частицы, химические вещества и аэрозоли, попадающие в воздух в результате износа покрытий автомобильных дорог, тормозных колодок и шин, разливов масел и технологических жидкостей, также являются источниками загрязнения воздуха. В соответствии с данными министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации основными загрязняющими

веществами, поступающими с выбросами промышленных предприятий и транспорта, являются взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода и оксиды азота (таблица 1). Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вызвано также особенностями трансграничного рассеивания загрязняющих веществ.

Рассмотрим поступление загрязняющих веществ в атмосферу на примере периода 2010-2020 гг. По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, суммарный объем выбросов загрязняющих веществ на территории России в 2020 г. сократился на 5 % в сравнении с 2019 г. (21528 тыс. т). Динамика выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ (по данным Федеральной службы государственной статистики) от передвижных и стационарных источников в пересчете на душу населения приведена в таблице 2.

Таблица 1 – Выбросы загрязняющих атмосферу веществ за период 2010-2020 гг.

Период	Выбросы загрязняющих веществ, тыс. т (стационарные / передвижные источники)				
	твердые вещества	оксид углерода	диоксид серы	летучие органические вещества	оксиды азота
2010	2381,2 / 53,8	5565,1 / 9776,6	4385,3 / 112,6	1605,3 / 1279,8	1855,2 / 1801,7
2011	2283,1 / 44,2	5753,5 / 10062,1	4342,7 / 112,0	1622,8 / 1343,8	1880,0 / 1681,9
2012	2249,4 / 23,7	6001,8 / 10091,1	4340,9 / 74,5	1638,2 / 913,9	1937,5 / 1419,0
2013	2008,5 / 24,9	5350,9 / 10406,6	4173,3 / 75,9	1455,8 / 1368,0	1874,2 / 1459,1
2014	1922,2 / 25,3	4938,4 / 10554,6	4036,3 / 77,0	1340,0 / 1390,0	1805,5 / 1482,9
2015	1820,4 / 25,9	4799,6 / 10706,8	4099,4 / 78,0	1294,5 / 1411,0	1787,4 / 1504,3
2016	1723,9 / 26,3	4907,1 / 10929,1	4011,4 / 79,6	1304,6 / 1440,2	1830,1 / 1534,6
2017	1728,9 / 26,5	4950,3 / 11195,0	3700,5 / 81,1	1254,5 / 1477,5	1879,4 / 1570,0
2018	1509,0 / 28,1	4868,4 / 11700,7	3617,0 / 85,3	1335,7 / 1543,7	1770,7 / 1647,7
2019	1611,3 /	4834,6 /	3676,7 /	1271,5 /	1799,0 /

	29,5	3745,6	37,4	432,3	979,3
2020	1566,8 / 28,3	4816,9 / 3638,0	3594,4 / 37,3	1261,0 / 415,7	1822,1 / 950,0

В соответствии с данными Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации основными источниками тяжелых металлов в атмосферном воздухе являются выбросы промышленных предприятий, энергетики и транспорта. За период 2010-2020 гг. сократились объемы выбросов никеля, мышьяка, хрома, оксидов ванадия (V) и меди. Отмечено увеличение объемов выбросов марганца, оксида кадмия и свинца.

Таблица 2 – Удельные объемы выбросов основных загрязняющих веществ в пересчете на душу населения за период 2010-2019 гг.

Период	Загрязняющие вещества, кг/чел					
	Диоксид серы	Оксиды азота	Оксид углерода	Летучие органические соединения	Аммиак	Всего
2010	32	26	108	20	0,5	186,5
2011	31	26	111	21	0,5	189,5
2012	31	24	113	18	0,6	186,6
2013	30	24	110	20	0,6	184,6
2014	28	23	106	19	0,6	176,6
2015	29	23	106	19	0,6	177,6
2016	28	24	108	19	0,7	179,7
2017	26	24	110	19	0,7	179,7
2018	25	24	113	20	0,7	182,7
2019	25	20	59	12	0,8	116,8

* – данные за 2020 г. отсутствуют

Объемы выбросов тяжелых металлов от стационарных источников (2011-2019 гг.) приведены в таблице 3. По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды уровень загрязнения воздуха в 2018-2020 гг. в Российской Федерации оценивался как высокий и очень высокий: 2018 г. – в 46 городах (13,4 млн. человек); 2019 г. – 40 городах (10,6 млн. человек); 2020 г. – 34 городах (9,6 млн. человек).

Таблица 3 – Объемы выбросов в атмосферу тяжелых металлов от стационарных источников за период 2011-2019 гг.

Период	Тяжелые металлы и их соединения, т								
	ванадий	кадмий	марганец	медь	никель	ртуть	свинец	хром	мышьяк
2011	412	11	900	1535	269	3	95	104	176
2012	453	13	838	1523	188	3	94	102	182
2013	421	13	795	1680	107	3	94	102	158
2014	351	6	836	1647	4	5	89	107	103
2015	287	9	870	1451	6	4	87	103	112
2016	270	8	876	1286	6	4	84	105	93
2017	270	7	1010	1231	4	1	82	95	90
2018	154	7	1468	1227	4	1	169	94	83
2019	-	6	1417	1158	11	39	75	155	105

* – за 2020 г. данные отсутствуют

Наибольший процент населения (55%), испытывающего негативное воздействие загрязняющих веществ, проживает в Сибирском федеральном округе. В 2020 г. в 165 городах (102,9 млн. человек) отмечено превышение ПДК по среднегодовым концентрациям взвешенных веществ, бенз(а)пирена, формальдегида, диоксида азота. В 37 городах (13,7 млн. человек) максимальные концентрации загрязняющих веществ превысили 10 ПДК.

Города Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения за период 2019-2020 гг., по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Города Российской Федерации с максимальным уровнем загрязнения атмосферного воздуха за 2019-2020 гг.

Город	Загрязняющие вещества	
	2019 г.	
Абакан	бенз(а)пирен; NO ₂ ; CO; взвешенные вещества; формальдегид	
Братск	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; CS ₂ ; формальдегид; HF	

Зима	бенз(а)пирен; NO ₂ ; HCl; формальдегид; CO
Иркутск	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; формальдегид; NO
Кызыл	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; формальдегид; CO
Лесосибирск	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; формальдегид; NO ₂ ; CO
Минусинск	бенз(а)пирен; NO ₂ ; формальдегид; взвешенные вещества; CO
Новокузнецк	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; HF; NO ₂ ; NH ₃
Норильск	SO ₂ ; NO; NO ₂ ; взвешенные вещества; бенз(а)пирен
Свирск	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; SO ₂ ; CO
Селенгинск	бенз(а)пирен; O ₃ ; PM _{2,5} ; PM ₁₀ ; взвешенные вещества
Улан-Удэ	бенз(а)пирен; PM _{2,5} ; PM ₁₀ ; взвешенные вещества; формальдегид
Усолье-Сибирское	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; формальдегид; SO ₂
Черемхово	бенз(а)пирен; NO ₂ ; взвешенные вещества; SO ₂ ; NO
Черногорск	бенз(а)пирен; NO ₂ ; формальдегид; взвешенные вещества; CO
Чита	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; фенол; NO ₂ ; формальдегид
Шелехов	бенз(а)пирен; O ₃ ; взвешенные вещества; PM ₁₀ ; NO ₂
Южно-Сахалинск	формальдегид; бенз(а)пирен; NO ₂ ; C (сажа); взвешенные вещества
2020 г.	
Вихоревка	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; CO; SO ₂
Зима	бенз(а)пирен; NO ₂ ; формальдегид; HCl; CO
Канск	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂
Кызыл	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; формальдегид; C (сажа)
Минусинск	бенз(а)пирен; NO ₂ ; формальдегид; взвешенные вещества; CO
Норильск	SO ₂ ; CO; NO ₂ ; взвешенные вещества; бенз(а)пирен
Свирск	бенз(а)пирен; взвешенные вещества; NO ₂ ; SO ₂ ; CO
Селенгинск	бенз(а)пирен; PM _{2,5} ; PM ₁₀ ; взвешенные вещества; O ₃
Улан-Удэ	бенз(а)пирен; PM _{2,5} ; PM ₁₀ ; взвешенные вещества; NO ₂
Усолье-Сибирское	бенз(а)пирен; NO ₂ ; формальдегид; взвешенные вещества; SO ₂
Черемхово	бенз(а)пирен; NO ₂ ; взвешенные вещества; SO ₂ ; NO
Черногорск	бенз(а)пирен; NO ₂ ; формальдегид; взвешенные вещества; CO
Чита	бенз(а)пирен; O ₃ ; взвешенные вещества; NO ₂ ; фенол

Шелехов	бенз(а)пирен; O ₃ ; NO ₂ ; взвешенные вещества; PM10
Южно-Сахалинск	формальдегид; бенз(а)пирен; NO ₂ ; С (сажа); взвешенные вещества

В Сибирском федеральном округе в 2020 г. 14 городов характеризовались высоким и очень высоким уровнями загрязнения атмосферного воздуха. Общий объем выбросов загрязняющих веществ составил 6471,0 тыс. т (879,1 тыс. т – передвижные; 5591,9 – стационарные источники). В 2020 г. выбросы твердых веществ, диоксида серы и оксидов азота в сравнении с 2010 г. уменьшились на 37,3; 7,7 и 15,0 %, соответственно. В Дальневосточном федеральном округе в 2020 г. для 6 городов отмечен высокий и очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха. Общий объем выбросов загрязняющих веществ (включая выбросы от железнодорожного транспорта) составил 1441,7 тыс. т (2018 г. – 2056,9 тыс. т; 2019 г. – 1447,22 тыс. т). Выбросы от стационарных источников составили, тыс. т: 1120,2 (2020 г.); 1098,5 (2019 г.); 1026,4 (2018 г.).

Максимальный уровень загрязнения атмосферного воздуха отмечен в городах с предприятиями топливно-энергетического комплекса (ТЭК), машиностроения, черной, цветной, алюминиевой, лесной, деревообрабатывающей, угольной, горнодобывающей, химической, нефтеперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Вклад в очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха вносят бенз(а)пирен, поступающий в воздух в результате сжигания твердого топлива, взвешенные вещества, формальдегид, диоксид азота и приземный озон. Таким образом, в настоящее время большинство регионов Российской Федерации характеризуются сложной экологической обстановкой и, как следствие, неблагоприятными для жизни санитарно-гигиеническими условиями.

Проблема оздоровления окружающей среды на протяжении длительного времени является предметом пристального внимания ООН, так как состояние здоровья населения напрямую зависит от решения общемировых экологических проблем [2, 3]. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 92 % мирового населения проживает в регионах с загрязненным атмосферным воздухом, что способствует развитию неинфекционных заболеваний, являющихся более чем в 60 % случаев основной причиной смерти (свыше 4 млн. смертей ежегодно) [4-6].

Хозяйственная деятельность человека, приводящая к загрязнению атмосферы различными химическими соединениями, оказывает существенное влияние на здоровье человека [7-10].

Множественные эколого-гигиенические исследования [11-14] подтверждают взаимосвязь атмосферных загрязнений и заболеваемости населения. Длительное проживание в условиях загрязненного атмосферного воздуха при хроническом воздействии токсикантов способствует возникновению и развитию общетоксических, канцерогенных, мутагенных и других эффектов [15].

Отмечены изменение структуры заболеваемости населения и рост числа хронических неспецифических заболеваний. Загрязнение атмосферы способствует развитию коронарных и дегенеративных заболеваний сердца, атеросклероза, рака легкого, эмфиземы, бронхиальной астмы и других заболеваний, а также росту смертности от сердечно-сосудистой патологии [16].

Показатели инвалидности и смертности, характеризующие ущерб здоровью, являются определяющими для характеристики здоровья населения [17]. Экологически неблагоприятные регионы, особенно с развитой сетью химических производств, характеризуются резким снижением рождаемости, повышением уровня смертности от врожденных аномалий и опухолей, а также ростом инвалидизации населения [18-20].

В атмосферном воздухе городов с развитой химической и нефтехимической промышленностью регистрируются вещества, обладающие следующими действиями: аллергическими (формальдегид, диоксид азота, пыль органическая, акролеин); раздражающими (диоксид серы, диоксид азота, аммиак, хлор, сероводород, оксид хлора, серная кислота, метанол); канцерогенными (оксид хрома, никель, фенол, формальдегид, бенз(а)пирен, толуол и др.); мутагенными (формальдегид, свинец, этанол, озон, толуол и др.); тератогенными (оксид хрома, свинец и др.); эмбриотоксическими (диоксид серы, винил хлорид и др.); наркотическими (метанол, винилхлорид, циклогексанол, толуол).

Проблемами предприятий химической промышленности, связанными с сохранением здоровья населения и качества окружающей среды, являются: комбинированное воздействие токсикантов (до 200-300 ингредиентов); отсутствие данных по их кинетике и трансформации в окружающей среде; залповые и аварийные выбросы химически

опасных веществ, характеризующиеся 5-10-кратным превышением максимально разовых ПДК [21].

Значительный риск для здоровья населения представляют загрязнения атмосферы, вызванные изменениями погодных условий [22]. Температурные характеристики, повышенная влажность воздуха и показатели точки росы препятствуют процессу самоочищения атмосферы. Увеличение температуры окружающей среды способствует повышению концентрации химических веществ в атмосферном воздухе городов [23].

Режим перемещения и влажность воздуха в приземных слоях выступают ключевыми факторами перераспределения и трансформации промышленных ксенобиотиков в пространстве. Их перенос в горизонтальной плоскости, концентрация вблизи поверхности и время воздействия на экосистемы связаны с направлением и силой ветра.

Взвешенные вещества, оказывающие одно из самых негативных воздействий на здоровье человека, являются наиболее распространенными загрязнителями атмосферы [24, 25] и, как правило, включают органический углерод, неорганические компоненты, пыльцу, бактерии, споры [26]. Частицы микроразмерного ряда адсорбируют из окружающей среды токсиканты и, попадая во внутреннюю среду организма, накапливаются в органах и тканях, оказывая мощнейшее токсическое действие [27].

Максимально опасным является загрязнение воздуха твердыми частицами размером менее 10 мкм, так как данные частицы составляют до 70 % всех взвешенных частиц и обладают способностью свободно проникать в живые организмы [28]. Частицы с диаметром менее 10 мкм, в зависимости от их химического состава и дисперсности, могут вызывать существенное отрицательное воздействие на здоровье человека и приводить к росту смертности от болезней органов дыхания и сердечно-сосудистых заболеваний [29].

Загрязнение воздуха частицами микроразмерного ряда вносит наибольший вклад (72 %) в смертность от ишемической болезни сердца и инсульта. Данные проекта Arhekom, полученные в 12 странах Европы, свидетельствуют о том, что загрязнение взвешенными частицами приводит к сокращению средней продолжительности жизни на 9 месяцев.

Установлено [30], что повышение концентрации PM_{2,5} вызывает развитие артериальной гипертензии и риск сердечно-сосудистой

смертности. Кратковременное увеличение среднесуточной концентрации $PM_{2,5}$ на 10 мкг/м^3 увеличивает риск смерти от болезней системы кровообращения в 2,8 раза, а также приводит к увеличению числа госпитализаций и смертности от хронических заболеваний легких и сердца, особенно у лиц пожилого возраста в теплое время года.

В эксперименте на клеточных культурах [31] изучен состав, свойства и действие частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} . Показано, что частицы пыли $PM_{2,5}$ имеют более значительную концентрацию тяжелых металлов в сравнении с PM_{10} . При этом частицы $PM_{2,5}$ оказались более токсичными и приводили к существенно большему образованию малонового диальдегида – маркера перекисного окисления липидов, экспрессии каталазы и фрагментации ДНК.

Частицы $PM_{0,1}$ и $PM_{2,5}$ дорожно-транспортной природы, по сравнению с промышленной пылью, содержат более существенную концентрацию тяжелых металлов, обладают большей токсичностью и чаще вызывают хронические неинфекционные заболевания [32]. Частицы $PM_{2,5}$, измененные в результате различных атмосферных процессов и включающие компоненты минерального сырья, при длительном воздействии на организм оказывают большее влияние на системное воспаление в сравнении с промышленной пылью. Увеличение концентрации $PM_{2,5}$ на 1 мкг/м^3 ассоциировано с повышением на 4,53 % концентрации С-реактивного белка [33].

Частицы $PM_{2,5}$, находящиеся в урбанизированной среде, в большей степени нарушают функцию эндотелия, изменяют активность автономной нервной системы и повышают артериальное давление, в сравнении с озоном [34]. Увеличение концентрации $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе приводит к повышению пульсового и систолического давления, тромбообразованию и острым кардиоваскулярным событиям, прогрессированию атеросклероза, а обнаруженные в составе частиц $PM_{2,5}$ и $PM_{0,1}$ тяжелые металлы оказывают значительное токсическое действие [35].

Исследования долговременного воздействия взвешенных частиц на человека свидетельствуют, что за период наблюдения у 3086 лиц (из 99446 обследованных) был выявлен инсульт ишемического типа. Установлено, что при долговременном действии $PM_{2,5}$ в зависимости от размера и химического состава могут возникать злокачественные новообразования различной локализации [36].