

Трансграничное загрязнение воздуха

Результаты наблюдений на сети специализированных станций мониторинга трансграничного загрязнения (ЕМЕП) обеспечивают вклад Российской Федерации в осуществление международной Конвенции ЕЭК ООН о дальнем переносе загрязнения атмосферы.

Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ (ЕМЕП).

Главную роль в формировании трансграничного загрязнения воздуха и осадков играют выбросы кислотообразующих соединений в атмосферу, главным образом газообразных оксидов серы и азота.

В рамках выполнения международной «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе» (ЕМЕП – Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe) в 2017 г. проводились наблюдения на четырех станциях ЕМЕП, расположенных в северо-западном регионе Российской Федерации (Янискоски, Пинега) и в центральной части Европейской Российской Федерации (Лесной заповедник (Тверская область), Данки (юг Московской области)). Основные измерения по программе ЕМЕП представляют собой регулярный анализ содержания в атмосфере и атмосферных осадках основных химических соединений, определяющих кислотно-щелочной баланс. По результатам обработки годовых массивов полученных данных оценены реальные величины атмосферных выпадений (нагрузок) серы и азота, образующих приоритетные кислотообразующие соединения, в районах размещения станций.

При использовании традиционного анализа степени закисления атмосферных осадков по величине рН и по показателю концентрации свободных ионов водорода, необходимо учитывать, что он также характеризует соотношение анионов закисляющих соединений и щелочных нейтрализующих катионов, образующихся и абсорбируемых в облачных слоях в ходе переноса. На это соотношение влияют как природные, так и антропогенные факторы. Анализ распределения повторяемости наблюдавшихся значений рН суточных осадков в различных диапазонах характера кислотности (таблица 3.3), показал преобладание нейтральных атмосферных выпадений в северо-западной части Европейской территории Российской Федерации, с наибольшей вероятностью значений рН от 6 до 7, в то время как в Центральной части Европейской территории Российской Федерации около 80% осадков имеют значения рН от 5 до 6. Кислые осадки (рН < 4) в 2017 г. не наблюдались.

Величина выпадений соединений серы и азота на подстилающую поверхность дает возможность оценить степень опасности воздействия загрязне-

Таблица 3.3 – Распределение измеренных значений показателя кислотности (ед. рН) по диапазонам характера закисления атмосферных осадков в районах расположения российских станций ЕМЕП в 2017 г.

Станция (широта, гр. с.ш.)	рН, среднее	Доля проб в диапазоне рН, %				
		< 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	> 7
Янискоски, 69	5,41	0	6	36	56	2
Пинега, 65	5,67	0	0	47	53	1
Лесной, 56	5,24	0	15	73	12	0
Данки, 55	5,37	0	7	66	26	0

Источник: данные Росгидромета.

ния атмосферы на состояние окружающей среды, в частности, в долгосрочной перспективе избыточное поступление этих веществ может привести к закислению почвенных растворов и ухудшению свойств почвы.

Среди составляющих ионного баланса атмосферных осадков сульфат-ион является доминирующим кислотным анионом для всех станций ЕМЕП, его вклад составляет 17-31%, однако вклады нитрат-иона и ионов аммония также довольно существенны – 7-15% и 10-22% соответственно. Среднегодовая концентрация сульфатной серы в осадках в 2017 г. составляла 0,49 мг S /л на станции Янискоски, 0,60 мг S/л на станции Пинега, 0,58 мг S/л на станции Лесной заповедник, 0,73 мг S/л на станции Данки (в районе Приокско-Террасного биосферного заповедника). Характер пространственного распределения содержания нитратов в осадках практически совпадал с наблюдающимся в 2017 г. для сульфатов: наименьшее значение среднегодовой концентрации составило 0,08 мг N/л на станции Янискоски (Мурманская обл.), на территориях более низких широт вдали от промышленных районов и крупных городов (станции Пинега и Лесной заповедник) 0,13-0,26 мг N/л, на станции Данки – 0,29 мг N/л. Для ионов аммония были характерны практически одинаковые значения среднегодовых концентраций, 0,25-0,34 мг N/л. Во внутригодовом ходе максимальные концентрации сульфатов в районах станций ЕМЕП наблюдались в весенний и осенний периоды, при более чем трехкратном превышении значений в холодный период по сравнению с теплым. Наиболее высокая концентрация нитратов и ионов аммония в осадках также наблюдается в холодный период года, отражая важную роль переноса от антропогенных источников при формировании уровней содержания азотсодержащих соединений в осадках.

Расчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпавших осадков величины влажных выпадений для районов станций составляли в 2017 г.: серы 0,35-0,55 г/м² в год и азота 0,16-0,48 г/м² в год. Для всех станций ЕМЕП

количество влажных выпадений серы и азота в зимний период существенно ниже, чем в летний. Доля аммонийного азота составила около 60% от суммарного влажного выпадения азота. Многолетние вариации выпадений связаны с межгодовой изменчивостью сумм осадков (вариации месячных и годовых величин могут составить десятки процентов от среднемноголетних значений), а также с динамикой выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в странах Европы. При относительно большой вариации годовых значений можно отметить практически отсутствие направленного уменьшения сумм влажных выпадений за период действия Гетеборгского протокола (подписан в 1999 г.) с незначительными характеристиками линейного тренда. Изменение значений годовых выпадений серы из атмосферы с осадками на российских станциях ЕМЕП представлено на рисунке 3.14.

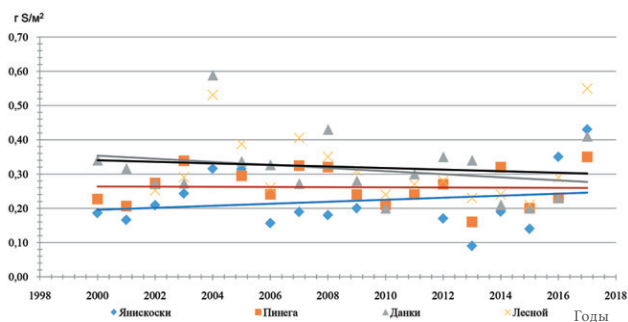


Рисунок 3.14 – Многолетние выпадения сульфатной серы (г S/м²/год) из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП, 1998-2017 гг.

Источник: данные Росгидромета.

По результатам расчета многолетних выпадений с осадками суммы нитратного и аммонийного азота (рисунок 3.15), отмечается, что в целом на некоторых российских станциях ЕМЕП можно отметить рост выпадений азота. Темпы этого роста различны от станции к станции, что может быть связано с высокой межгодовой вариабельностью значений.

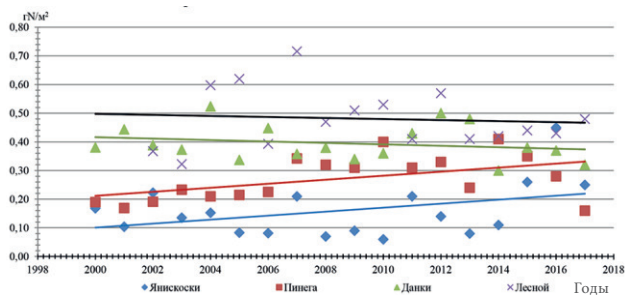


Рисунок 3.15 – Многолетние выпадения суммарного азота (нитратного и аммонийного) (г N/м²/год) из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП, 1998-2017 гг.

Источник: данные Росгидромета.

Среднее содержание оксидов серы и азота (газы и аэрозоли) в атмосферном воздухе, оцениваемое по результатам определения средне-

суточных концентраций газов и аэрозолей на станциях ЕМЕП, в целом закономерно возрастает с севера Европейской территории Российской Федерации к центральным районам Российской Федерации. Уровни концентраций значительно ниже, чем принятые границы допустимых значений для самых чувствительных видов наземной растительности, указанные в научной литературе. Внутригодовая изменчивость концентраций окислов серы имеет явную сезонную зависимость: наибольшие концентрации сернистого газа на станции Данки в 2017 г. наблюдались в январе-марте (до 2,51 мкг/м³), аэрозольного сульфата также в январе-марте (до 2,28 мкг S/м³).

Для характеристики степени экологической опасности, вызываемой поступлением избыточного содержания кислотообразующих веществ из атмосферы, в программах Конвенции (включая ЕМЕП) используется сравнение с уровнями критических нагрузок, рассчитанных с учетом чувствительности почв в части изменения их свойств в долгосрочной перспективе при условии, что экосистемы могут выдерживать воздействие количества подкисляющих выпадений без какого-либо ущерба. Величины критических нагрузок оценены для разных географических районов с использованием методических рекомендаций ЕЭК ООН, однако для азота они являются ориентировочными. Поступление из атмосферы рассчитывается в виде суммы сухих и влажных выпадений всех химических соединений серы и азота, при этом согласно ранее выполненным оценкам для российских станций ЕМЕП вклад сухих выпадений составляет около 40% от суммарных для серы и около 10% для азота. Последнее можно считать несколько заниженной оценкой, поскольку программа мониторинга на российских станциях ЕМЕП не включает измерения газообразной азотной кислоты, аммиака и оксидов азота.

Сравнение годовых влажных выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2017 г. и значений критических нагрузок по этим элементам для районов расположения станций (таблица 3.4), позволяет сделать вывод, что выпадения серы существенно ниже критических нагрузок. Для азота суммарные выпадения близки к критическим значениям, что является тревожным сигналом с учетом существующих тенденций изменения выпадений азота с осадками к росту год от года.

Региональное загрязнение воздуха и осадков по данным станций мониторинга ЕАНЕТ

На территории Российской Федерации с 2000 г. постоянно работают 4 станции международной Сети мониторинга выпадения кислотных осадков в Восточной Азии (ЕАНЕТ): три в регионе озера Байкал – Иркутск (городская), Листвянка (региональная) и Монды (фоновая); одна в Приморском крае – Приморская (региональная). В настоящее время только станции ЕАНЕТ предоставляют результаты регулярного мониторинга содержания

Таблица 3.4 – Сравнение суммарных влажных выпадений в 2017 г. и критических нагрузок серы и азота в районах расположения российских станций ЕМЕП

Станция	Суммарные выпадения и критические нагрузки для серы, гS/м²/год		Суммарные выпадения и критические нагрузки для азота, гN/м²/год	
	Выпадения	Нагрузки	Выпадения	Нагрузки
Янискоски	0,43	0,32-0,64	0,25	<0,28
Пинега	0,35	0,32-0,64	0,16	<0,28
Лесной	0,55	1,6-2,4	0,48	0,56-0,98
Данки	0,41	1,6-2,4	0,32	0,56-0,98

Источник: данные Росгидромета.

загрязняющих веществ в атмосфере вне городов на азиатской территории Российской Федерации.

По данным измерений, в 2017 г. низкое содержание газовых примесей в воздухе наблюдалось на станциях Приморская и Монды, при этом уровни концентрации практически всех изменяемых газов на дальневосточной станции были одинаковы в среднем за год. Средние концентрации диоксида серы (SO₂) на станции в районе озера Байкал продолжают расти, значения в теплый период превышают зимние в 3-5 раз; на фоновом уровне (ст. Монды) в 2017 г. изменения значений регистрировались в интервале 0,09-1,8 мкг/м³. На станции Приморская в последние годы наблюдается значительное снижение содержания азот- и серосодержащих веществ. За весь период наблюдения на всех станциях ЕАНЕТ наибольшие концентрации в составе взвешенных частиц характерны для сульфатов – от 40 до 60% состава атмосферных аэрозолей по массе, при этом наиболее высокие значения практически всех ионов характерны для измерений в Приморском крае (рисунок 3.16). В Байкальском регионе за семнадцать лет наблюдений содержание практически всех основных ионов в аэрозолях воздуха уменьшилось вдвое. При этом наблюдаемое загрязнение атмосферы на ст. Листвянка в 5 и более раз превышает фоновые уровни загрязнения на ст. Монды. Концентрации сульфатов и аммония в аэрозолях в Приморском крае продолжают оставаться заметно выше, чем в регионе Байкала.

В годовом ходе аэрозолей сульфатов и нитратов на региональных станциях хорошо прослеживается максимум в зимний период. В целом в 2017 г. сред-

несезонные концентрации в районе озера Байкал были на уровне многолетних характерных значений или чуть ниже, а в Приморье продолжали снижаться после 2007-2010 гг., став ниже уровней начала периода многолетних измерений.

В многолетнем ходе средних концентраций серы и азотсодержащих веществ в воздухе отмечаются более низкие среднегодовые значения на станциях в регионе озера Байкал по сравнению с 2010-2012 гг. (рисунки 3.17, 3.18). В Приморском крае в 2017 г. содержание в атмосфере аэрозолей серо- и азотсодержащих веществ значительно понизилось в сравнении с 2013 г.

По наблюдениям за загрязнением осадков на региональном уровне, для Дальнего Востока характерно в целом более высокое содержание сульфатов в осадках в течение всего года, однако в теплые месяцы 2017 г. концентрации нитратов имели сравнимые значения. Сезонные изменения выпадений веществ определяются в основном годовым ходом осадков, поэтому максимальные потоки этих двух ионов в 2017 г. отмечены в Приморье в июне-июле (около 0,3 г/м² и 0,18-0,32 г/м² в месяц соответственно), а за все месяцы холодного периода их влажные выпадения в целом не превысили 0,38-0,49 г/м², несмотря на то, что их среднемесячные концентрации в осадках близки к среднегодовым (рисунки 3.19, 3.20). В регионе Байкала внутригодовой ход выпадений в целом соответствует картине прошлых лет наблюдений с максимумами в конце весны-лета практически для всех соединений (кроме нитратов) при наибольших суммах осадков.

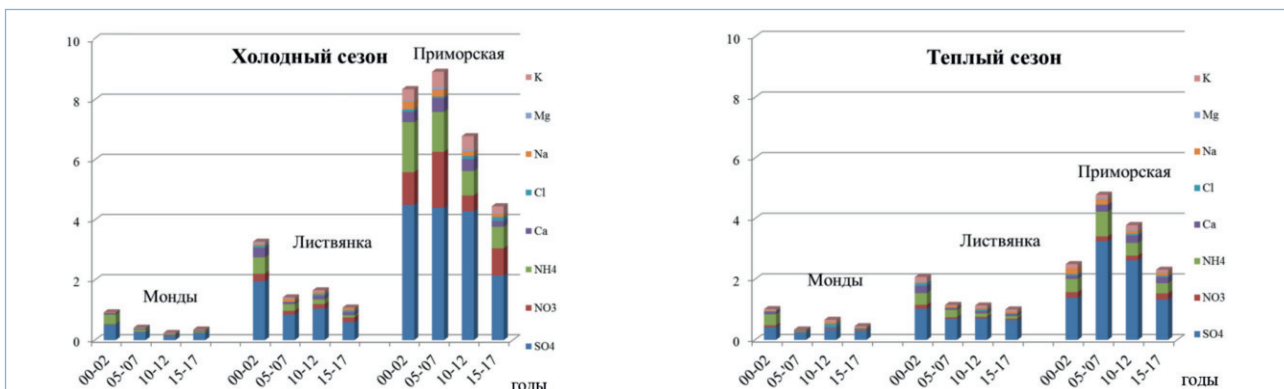


Рисунок 3.16 – Изменение среднего химического состава аэрозолей (мкг/м³) на станциях ЕАНЕТ в холодный (слева) и теплый (справа) периоды, 2000-2017 гг.

Источник: данные Росгидромета.

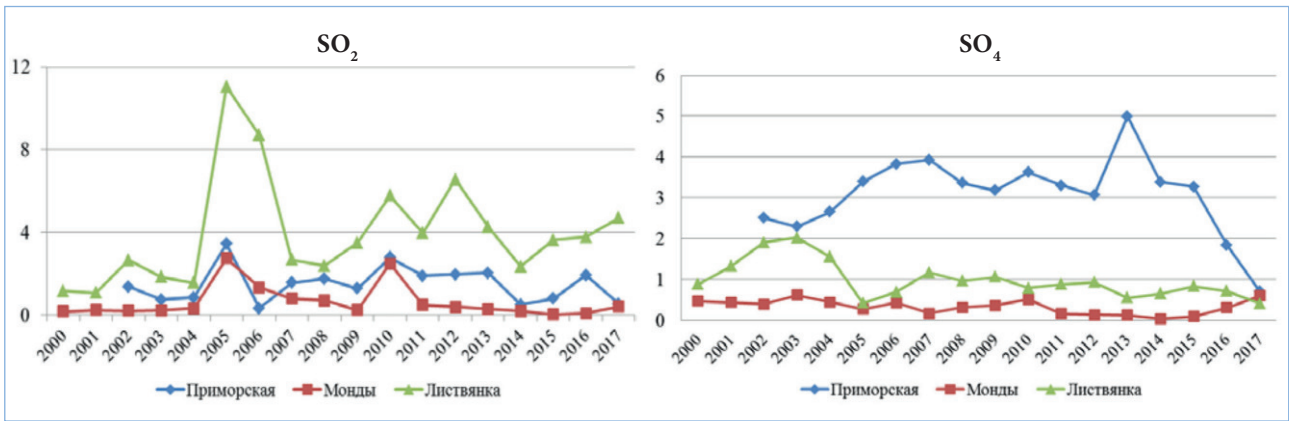


Рисунок 3.17 – Изменения средних годовых концентраций соединений серы (мкг/м³) в воздухе на станциях ЕАНЕТ, 2000-2017 гг.

Источник: данные Росгидромета.

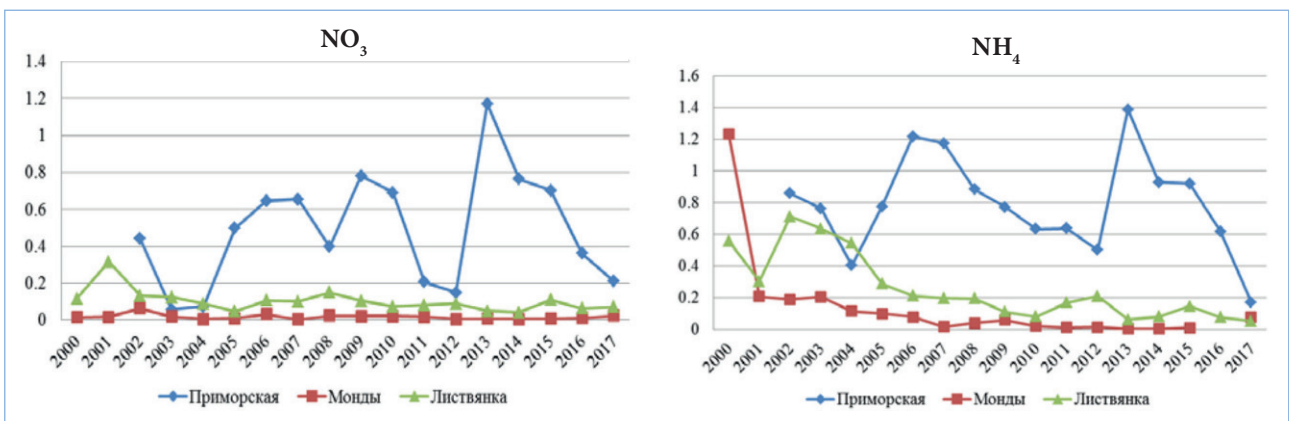


Рисунок 3.18 – Изменения средних годовых концентраций соединений азота (мкг/м³) в воздухе на станциях ЕАНЕТ, 2000-2017 гг.

Источник: данные Росгидромета.

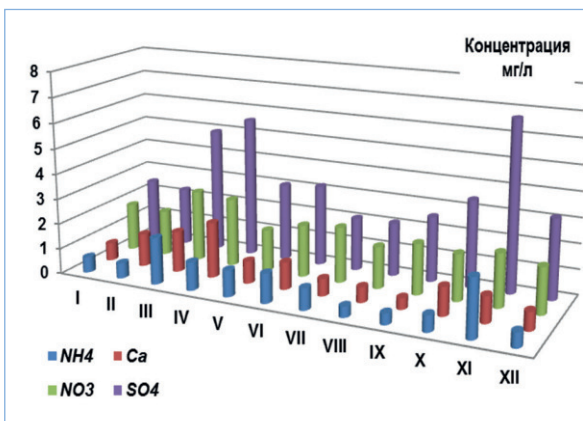


Рисунок 3.19 – Годовой ход концентраций (мг/л) основных кислотообразующих ионов с осадками на Дальнем Востоке (ст. Приморская) в 2017 г.

Источник: данные Росгидромета.

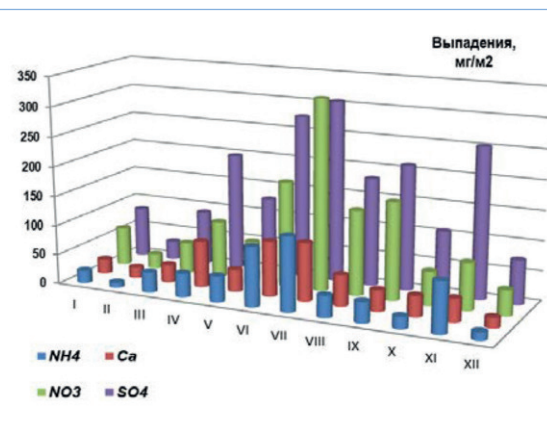


Рисунок 3.20 – Годовой ход выпадений основных кислотообразующих ионов с осадками на Дальнем Востоке (ст. Приморская) в 2017 г.

Источник: данные Росгидромета.

Вследствие региональных особенностей поступления осадков, при сравнимых уровнях концентраций кислотных соединений в осадках, величина их влажных выпадений значительно выше в Приморском регионе, чем в Байкальском регионе (таблица 3.5). При этом уровни потоков серы и азота

с осадками (без учета сухих выпадений) в Прибайкалье все еще ниже значений критических нагрузок, предлагаемых в Европе для оценки величины выпадений. Тем не менее для некоторых районов Приморья общие выпадения азота могут приближаться к указанным критическим значениям.

Таблица 3.5 – Сравнение суммарных выпадений серы и азота с осадками на станциях ЕАНЕТ и критических нагрузок, используемых в ЕМЕП (г/м²/год), 2008-2017 гг.

Станция	Влажные выпадения (в единицах элемента) (в скобках – среднее за 9 лет)			Критические нагрузки (ЕМЕП)	
	S (SO ₄)	N (NO ₃)	N (NH ₄)	S _{CL}	N _{CL}
Листвянка	0,09-0,34 (0,22)	0,032-0,10 (0,073)	0,034-0,16 (0,095)	1,6-2,4	0,56-0,98
Монды	<0,01-0,051 (0,031)	<0,001-0,022 (0,015)	<0,001-0,04 (0,020)	0,32-0,64	< 0,28
Приморская	0,44-0,91 (0,62)	0,087-0,41 (0,24)	0,31-0,58 (0,39)	1,6-2,4	0,56-0,98

Источник: данные Росгидромета.

КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Для определения уровня загрязнения атмосферы используются следующие характеристики загрязнения воздуха:

- средняя концентрация примеси, мг/м³ или мкг/м³ (q_{ср});
- максимальная разовая концентрация примеси, мг/м³ или мкг/м³ (q_М).

Загрязнение воздуха определяется по значениям средних и максимальных разовых концентраций примесей. Степень загрязнения оценивается при сравнении фактических концентраций с ПДК.

ПДК – предельно допустимая концентрация примеси для населенных мест. Средние концентрации сравниваются с ПДК среднесуточными (ПДКс.с.), максимальные из разовых концентраций – с ПДК максимально разовыми (ПДКм.р.)

Для оценки качества воздуха в соответствии с РД 52.04.667-2005 используются:

- ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий среднегодовые концентрации нескольких примесей;
- СИ – стандартный индекс – наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДКм.р., определяемая из данных наблюдений на станции за одной примесью или на всех станциях рассматриваемой территории за всеми примесями за месяц или за год;
- НП – наибольшая повторяемость (%) превышения ПДКм.р. по данным наблюдений за одной примесью на всех станциях города за год.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, СИ<5, НП<20%, высоким при ИЗА от 7 до 13, СИ от 5 до 10, НП от 20 до 50% и очень высоким при ИЗА, равном или больше 14, СИ>10, НП>50%.

Характеристика уровня загрязнения воздуха

По данным Росгидромета, наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в Российской Федерации в 2017 г. проводились в 244 городах

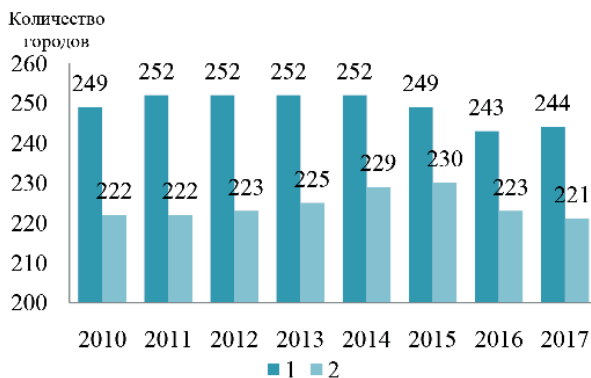


Рисунок 3.21 – Количество городов с наблюдениями за загрязнением воздуха (1), в т.ч. на сети Росгидромета (2) в 2017 г.

Источник: данные Росгидромета.

на 672 станциях, из них регулярные наблюдения Росгидромета выполнялись в 221 городе на 613 станциях (рисунки 3.21-3.24).

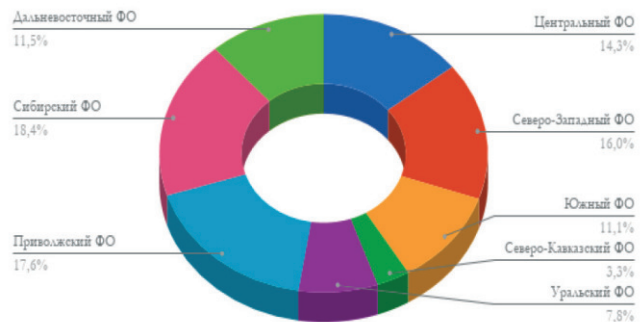


Рисунок 3.22 – Доля городов с регулярными наблюдениями за загрязнением воздуха в разрезе федеральных округов в 2017 г.

Источник: данные Росгидромета.