

3

глава

КАЧЕСТВО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СОСТОЯНИЕ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

3.1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Поступление загрязняющих веществ в атмосферный воздух происходит в результате деятельности природных и антропогенных источников, а также в результате регионального и трансграничного переноса.

Задача оценки выбросов является сложной по причине многообразия и сложности источников поступления загрязняющих веществ в атмосферу, а также протекающих в атмосфере физических и химических процессов. На национальном уровне осуществляется учет выбросов от крупных стационарных источников на основании формы статистической отчетности № 1-ос (воздух). Выбросы от мобильных (передвижных) источников оцениваются расчетным путем. Степень полноты информации о выбросах различается в зависимости от загрязняющего вещества. Наиболее полными являются данные о выбросах оксидов серы и азота, оксида углерода и твердых веществ; значительно менее полными представляются данные о выбросах тяжелых металлов, аммиака, стойких органических загрязнителей (СОЗ).

В данном разделе представлены данные о выбросах загрязняющих веществ, полученные на основании результатов статистического учета, а также расчетные данные.

В 2012 г. общие валовые выбросы загрязняющих веществ от стационарных и мобильных источников на территории Беларуси составили 1389,1 тыс.т (68,8% от мобильных источников, 31,2% от стационарных источников).

В составе валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 2012 г., как и в предыдущие годы, преобладали оксид углерода – 50,2%, углеводороды и неметановые летучие органические соединения (НМЛОС) – 26,5%, оксиды азота – 11,7%, твердые вещества – 4,9% и диоксид серы – 4,8% (табл. 3.1). Большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (88,7%), углеводородов и НМЛОС (53,9%) и оксидов азота (64,2%) обусловлена работой мобильных источников. Стационарными источниками обусловлено 95,9% выбросов диоксида серы и 54,8% выбросов твердых веществ.

Таблица 3.1

**Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу
от стационарных и мобильных источников
на территории Беларуси в 2012 г., тыс.т**

Область	Твердые вещества	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды (включая НМЛОС)	Прочие	Всего
Брестская	9,39	90,92	2,52	19,72	43,76	2,26	168,57
Витебская	10,38	83,94	31,86	25,72	68,44	3,53	223,87
Гомельская	10,14	95,79	19,98	25,34	66,69	4,21	222,15
Гродненская	9,72	80,87	2,40	21,08	42,45	5,11	161,63
г.Минск	7,00	153,87	2,56	26,33	46,56	0,14	236,46
Минская	12,90	128,51	4,96	26,46	63,41	6,35	242,59
Могилевская	8,69	62,94	2,11	19,97	37,07	3,05	133,83
Всего	68,22	696,84	66,39	164,62	368,38	24,65	1389,10

В 2012 г. по сравнению с 2011 г. валовые объемы выбросов загрязняющих веществ увеличились на 73,9 тыс.т преимущественно за счет увеличения выбросов углеводородов (на 44,3 тыс.т), а также диоксида серы (на 19,6 тыс.т) и оксида углерода (на 10,1 тыс.т). Выбросы оксидов азота увеличились незначительно – на 1,0 тыс.т, выбросы твердых частиц уменьшились на 2,2 тыс.т.

Выбросы от стационарных источников

В 2012 г. по форме № 1-ос (воздух) в Беларуси отчиталось 2130 предприятий, что на 232 предприятия (или на 12%) больше, чем в 2011 г.

Согласно данным статистической отчетности, в 2012 г. общее количество выбросов от стационарных источников составило 433,2 тыс.т, что на 62,3 тыс.т (или на 17%) больше, чем в 2011 г. Из 433,2 тыс.т загрязняющих веществ 395,2 тыс.т (или 91%) было выброшено предприятиями, представшими отчетность и в 2011 г.

Отрасли экономики. Среди отраслей экономики Беларуси основной объем выбросов загрязняющих веществ в 2012 г. пришелся на промышленность – 294,5 тыс.т или 68% (табл. 3.2). Доля отрасли «сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» составила 22,9% (99,4 тыс.т), отрасли «транспорт и связь» – 3,9% (17,1 тыс.т). Вклад остальных отраслей в общий объем выбросов загрязняющих веществ стационарными источниками в сумме составил 5,2% (22,2 тыс.т).

На промышленность пришлось 72,5% выбросов твердых веществ, 85,2 – оксида углерода, 96,5 – диоксида серы, 94,1 – оксидов азота и 91,0% – НМЛОС. Основным «поставщиком» в атмосферу углеводородов (без НМЛОС) было «сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» – 69,0%.

Среди отраслей промышленности по объему выбросов загрязняющих веществ выделялось «производство и распределение электроэнергии, газа и воды» – 206,6 тыс.т или 70,2% от общих выбросов в промышленности. На горнодобывающую промышленность пришлось 80,7 тыс.т или 27,4%, на обрабатывающую – 7,2 тыс.т или 2,4%.

По сравнению с предыдущим годом, в 2012 г. наблюдался рост выбросов практически всех загрязняющих веществ за исключением диоксида азота, выбросы которого практически не изменились, и твердых веществ, выбросы которых сократились на 2,5 тыс.т или на 6,7%. Наибольшее относительное увеличение выбросов характерно для углеводородов (на 56,6%) и диоксида серы (на 44%).

Среди отраслей экономики наибольшее увеличение выбросов по сравнению с 2011 г. характерно для отрасли «сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство» – на 32,5 тыс.т или на 48,6%. Данное увеличение произошло, главным образом, из-за роста выбросов углеводородов (без НМЛОС) – на 31,8 тыс.т или на 85,7%. Увеличение выбросов в промышленности составило 27,9 тыс.т или 10,5%, главным образом, за счет роста выбросов диоксида серы – на 19,5 тыс.т или на 46,4%. Выбросы загрязняющих веществ в других отраслях экономики изменились в меньшей степени.

Таблица 3.2

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников по основным секторам экономики Беларуси в 2012 г., тыс.т*

Отрасль хозяйства	Твердые вещества	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеродороды (без НМЛОС)	НМЛОС	Прочие	Всего
Промышленность	27,1	67,0	61,5	55,4	14,9	63,7	4,9	294,5
в т.ч. обрабатывающая	2,7	1,9	1,1	0,9	0,0	0,6	0,0	7,2
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	16,9	44,4	48,8	27,8	3,1	61,8	3,8	206,6
горнодобывающая	7,5	20,7	11,6	26,7	11,8	1,3	1,1	80,7
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	4,9	3,0	0,7	1,2	68,9	1,3	19,4	99,4
Транспорт и связь	0,6	3,3	0,4	1,5	10,0	1,3	0,0	17,1
Строительство	3,1	2,8	0,5	0,3	1,5	0,3	0,1	8,6
Прочие	1,7	2,5	0,6	0,5	4,6	3,4	0,3	13,6
Всего	37,4	78,6	63,7	58,9	99,9	70,0	24,7	433,2

*Данные Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Города. Среди городов Беларуси в 2012 г. наибольшие объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников были характерны для Новополоцка (67,77 тыс.т), Минска (26,57) и Гродно (11,95 тыс.т) (табл. 3.3), причем в каждом из этих городов выбросы увеличились относительно уровня предыдущего года. Выбросы от стационарных источников в г.Новолукомле уменьшились и составили 9,56 тыс.т. Согласно статистическим данным, выбросы от стационарных источников в диапазоне от 2,5 до 10 тыс.т были характерны для 14 городов страны (в 2011 г. – 12 городов).

Выбросы от мобильных источников

Оценка выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников за 2012 г. выполнена Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды с использованием удельных показателей выбросов на единицу использованного топлива по

обобщенным группам транспортных средств (бензиновые, дизельные, автомобили на сжатом газе, на сжиженном газе) и экологическим классам, а также данных об объемах топлива, израсходованного на работу транспорта.

Таблица 3.3

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников по областям и городам Беларуси
(указаны города, где выбросы превышают 1 тыс.т), тыс.т

Область, город	Твердые вещества	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Угледороды (без НМЛОС)	НМЛОС	Прочие	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Брестская область	4,54	6,65	2,14	4,00	12,97	2,22	2,26	34,78
Брест	0,35	0,77	0,08	0,58	0,78	0,81	0,09	3,47
Белоозерск	0,06	0,24	0,80	1,05	0,08	0,02	0,00	2,24
Барановичи	0,29	0,34	0,06	0,42	0,29	0,29	0,04	1,72
Пинск	0,22	0,32	0,05	0,35	0,20	0,28	0,04	1,45
Витебская область	6,04	12,79	31,54	12,29	9,41	34,85	3,53	110,45
Новополоцк	0,23	3,08	28,21	4,08	0,47	31,33	0,38	67,77
Новолукомль	0,14	2,01	2,10	5,15	0,09	0,02	0,04	9,56
Витебск	0,77	1,09	0,23	0,82	0,19	1,68	0,03	4,81
Орша	0,18	2,04	0,14	0,65	0,50	0,12	0,01	3,63
Полоцк	0,27	0,44	0,06	0,38	0,02	0,54	0,02	1,72
Гомельская область	5,47	15,64	19,62	10,63	23,38	16,47	4,21	95,42
Гомель	1,15	1,60	2,08	2,40	0,05	1,37	0,52	9,17
Жлобин	0,81	6,08	0,50	1,19	0,00	0,39	0,03	8,98
Светлогорск	0,15	0,68	0,51	0,54	0,33	0,55	0,03	2,79
Речица	0,15	0,36	0,01	0,39	0,01	0,52	0,01	1,44
Гродненская область	5,79	8,72	2,08	8,09	14,87	3,68	5,11	48,34
Гродно	1,53	2,34	1,54	2,80	0,27	2,06	1,40	11,95
Лида	0,17	0,94	0,11	0,32	0,26	0,61	0,05	2,46
Сморгонь	0,18	0,40	0,02	0,08	0,20	0,20	0,03	1,11
г.Минск	2,36	11,03	1,98	5,89	0,51	4,66	0,14	26,57
Минская область	7,44	15,49	4,47	7,74	24,12	3,63	6,35	69,24
Солигорск	0,90	0,41	0,92	1,10	0,80	0,35	0,10	4,58
Слуцк	0,27	2,44	0,17	0,28	0,44	0,06	0,04	3,70
Борисов	0,39	0,52	0,37	0,37	0,57	0,48	0,13	2,82

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Жодино	0,30	0,40	0,36	0,35	0,01	0,30	0,00	1,73
Вилейка	0,22	0,65	0,05	0,16	0,23	0,33	0,03	1,66
Молодечно	0,18	0,16	0,26	0,15	0,18	0,68	0,01	1,62
Могилевская область	5,76	8,32	1,87	10,30	14,63	4,52	3,05	48,45
Могилев	0,64	1,77	0,54	1,77	0,05	1,89	0,18	6,83
Бобруйск	0,66	1,40	0,68	1,44	0,42	1,90	0,03	6,53
Кричев	0,68	0,40	0,04	4,29	0,18	0,08	0,03	5,70
Костюковичи	0,97	1,65	0,15	1,66	0,09	0,03	0,00	4,57

*Данные Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Согласно проведенным расчетам, в 2012 г. общий объем выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников на территории Беларуси составил 955,8 тыс.т, в том числе 618,2 тыс.т (64,7%) оксида углерода и 198,5 тыс.т (20,8%) углеводородов (табл. 3.4). Доля остальных загрязняющих веществ в общем объеме выбросов была менее значительной: оксиды азота – 11,1%, твердые вещества – 3,2, диоксид серы – 0,3%. Выбросы бензо(а)пирена составили 0,78 т.

Таблица 3.4
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от мобильных источников на территории Беларуси в 2012 г., тыс.т*

Область	Твердые вещества	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды	Бензо(а)-пирен**	Всего
Брестская	4,85	84,27	0,38	15,72	28,57	116,84	133,79
Витебская	4,34	71,15	0,32	13,43	24,18	103,10	113,42
Гомельская	4,67	80,15	0,36	14,71	26,84	112,52	126,73
Гродненская	3,93	72,15	0,32	12,99	23,90	96,06	113,29
г.Минск	4,64	142,84	0,58	20,44	41,39	135,54	209,89
Минская	5,46	113,02	0,49	18,72	35,66	139,44	173,35
Могилевская	2,93	54,62	0,24	9,67	17,92	71,80	85,38
Всего	30,82	618,20	2,69	105,68	198,46	775,30	955,85

*Данные Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. **Значения приведены в килограммах.

Наибольшее количество загрязняющих веществ было выброшено мобильными источниками в г.Минске и Минской области

(соответственно 209,9 и 173,4 тыс.т), наименьшее – в Могилевской области (85,4 тыс.т).

По сравнению с предыдущим годом общий объем выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников в 2012 г. увеличился на 11,4 тыс.т, главным образом, за счет оксида углерода (его выбросы возросли на 5,4 тыс.т) и углеводородов (выбросы увеличились на 5,1 тыс.т).

В 2012 г. по сравнению с 2011 г. количество выбросов от мобильных источников сократилось в Брестской, Витебской и Гродненской областях (соответственно на 15,3, 3,9 и 9,9 тыс.т). В остальных областях и г.Минске количество выбросов от мобильных источников увеличилось. В наибольшей степени данное увеличение было характерно для г.Минска – на 27,7 тыс.т или на 15,2%. В целом в г.Минске вклад мобильных источников в общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 2012 г. составил 88,8%. Для областей он изменялся от 57,0 (Гомельская область) до 79,4% (Брестская область).

Удельные выбросы загрязняющих веществ

В ряду экологических показателей, характеризующих загрязнение атмосферного воздуха, выделяются показатели удельных выбросов загрязняющих веществ в расчете на единицу площади территории страны и на одного жителя. Данные показатели широко используются для сравнения между собой различных стран, а также регионов внутри страны.

В 2012 г. удельные валовые выбросы загрязняющих веществ от стационарных и мобильных источников, рассчитанные на единицу площади Беларуси, составили $6,69 \text{ т/км}^2$, что на $0,39 \text{ т/км}^2$ или на 6% больше, чем в 2011 г. В разрезе областей данная величина изменялась в диапазоне от 4,60 (Могилевская область) до $6,44 \text{ т/км}^2$ (Гродненская область). Отдельно следует рассматривать г.Минск, где величина удельных валовых выбросов загрязняющих веществ в 2012 г. составила $679,48 \text{ т/км}^2$.

Удельные показатели выбросов по основным загрязняющим веществам, рассчитанные в целом для страны, представлены в таблице 3.5.

Высокие значения удельных выбросов твердых веществ и оксидов азота на единицу площади, превышающие средние для страны значения, характерны для Гродненской области ($0,39 \text{ т/км}^2$ твердых веществ и $0,84 \text{ т/км}^2$ оксидов азота), диоксида серы – для Витебской и Гомельской областей (соответственно 0,79 и

0,49 т/км²). Для г.Минска удельные выбросы загрязняющих веществ составили: оксид углерода – 442,16 т/км², углеводороды (включая НМЛОС) – 133,79, оксиды азота – 75,66, твердые вещества – 20,11, диоксид серы – 7,36 т/км².

Таблица 3.5

**Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу
от стационарных и мобильных источников
на территории Беларуси в 2012 г.**

Удельный показатель	Твердые вещества	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды (включая НМЛОС)
т/км ²	0,33	3,36	0,32	0,79	1,77
т/чел.	0,007	0,074	0,007	0,017	0,039

В пересчете на душу населения удельные валовые выбросы загрязняющих веществ в 2012 г. в целом для территории Беларуси составили 0,147 т/чел. На уровне областей наиболее высокое значение данного показателя характерно для Витебской области (0,185 т/чел.), самое низкое – для Брестской (0,121 т/чел.).

Удельные выбросы загрязняющих веществ по отдельным ингредиентам на душу населения в разрезе областей распределены следующим образом. Высокие значения удельных выбросов твердых веществ, превышающие среднее для страны значение, характерны для Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областей (0,008–0,009 т/чел.), оксида углерода – для Гродненской и Минской областей, а также г.Минска (0,076–0,092 т/чел.), диоксида серы – для Витебской и Гомельской областей (0,014–0,026 т/чел.), оксидов азота – для Витебской, Гомельской, Гродненской, Минской и Могилевской областей (0,018–0,021 т/чел.), углеводородов (включая НМЛОС) – для Витебской, Гомельской, Гродненской и Минской областей (0,040–0,057 т/чел.).

Оценка выбросов загрязняющих веществ в рамках Программы ЕМЕП

Полнота и качество информации о выбросах загрязняющих веществ являются необходимыми элементами регулирования трансграничного загрязнения атмосферы. Однако, официальные статистические данные не в полной мере учитывают выбросы в атмосферу таких загрязняющих веществ, как тяжелые металлы, аммиак, стойкие органические загрязнители. Кроме того, официальная статистика не дает представления о выбросах твердых

веществ с разделением их на фракции различного размера. В связи с этим возникла необходимость проведения дополнительной инвентаризации выбросов.

На протяжении ряда лет в Институте природопользования НАН Беларуси осуществляется подготовка национальных данных о выбросах, которые требуются для выполнения обязательств Республики Беларусь по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Инвентаризация проводится на основе методологии и руководящих принципов подготовки национальных данных о выбросах в рамках «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе» (Программа ЕМЕП).

Согласно требованиям руководящих принципов предоставления данных, сведения о выбросах предоставляются за год, предшествующий отчетному. Таким образом, в 2012 г. предоставляются данные за 2011 г. В данном подразделе представлены результаты оценки выбросов тяжелых металлов, аммиака, CO₃ и твердых взвешенных частиц в 2011 г.

Тяжелые металлы. В 2012 г. оценены выбросы мышьяка, кадмия, хрома, меди, ртути, никеля, свинца и цинка на территории Беларуси по основным категориям источников за 2011 г. Результаты оценки приведены в таблице 3.6.

Как показывает таблица 3.6, в 2011 г. из перечисленных тяжелых металлов наиболее существенным объемом выбросов характеризовался *цинк* – 350,15 т. При этом 88% его выбросов пришлось на такую категорию источников, как производство металлов. Около 6% дала энергетика общего пользования и производства тепла, 4% – сжигание топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве. Вклад остальных категорий источников в общий объем выбросов в сумме дал менее 2%.

Вторым по объему выбросов после цинка в 2011 г. являлся *свинец* – 68,92 т, 56% из которых поступило в атмосферу в результате сжигания топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве. Следующий крупный источник выбросов свинца – производство металлов (23,06 т или 33%). Вклад остальных категорий источников в суммарный выброс в сумме составил около 11%.

Общие выбросы *никеля* в 2011 г. составили 26,87 т. Никель поступал в атмосферный воздух преимущественно с выбросами от сжигания топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве (17,16 т или 64% от общего объема выбросов данного элемента) и энергетике общего пользования и производства тепла (5,65 т или 21%).

Таблица 3.6

Выбросы тяжелых металлов на территории Беларуси в 2011 г.*, т

Категория источника	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Энергетика общего пользования и производства тепла	0,06	0,27	0,04	0,19	0,02	5,65	2,96	20,28
Сжигание топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве	0,81	1,68	1,64	1,88	0,81	17,16	38,75	15,52
Сжигание топлива в жилом секторе	0,04	0,05	0,19	0,42	0,00	0,13	0,35	3,88
Прочее стационарное сжигание топлива	0,06	0,02	0,10	0,68	0,01	1,36	0,16	1,57
Передвижные источники	0,00	0,03	0,17	1,01	–	1,69	3,37	0,34
Химическая промышленность	0,10	0,03	0,83	0,15	0,00	0,00	0,16	0,00
Производство металлов	0,28	0,92	6,93	7,33	0,02	0,83	23,06	308,51
Прочие	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,06	0,12	0,05
Всего	1,36	3,00	9,94	11,70	0,86	26,87	68,92	350,15

*Оценка выбросов в рамках Программы ЕМЕП происходит на год позже.

Выбросы *меди* и *хрома* в 2011 г. составили соответственно 11,70 и 9,94 т. Наибольшие объемы выбросов были характерны для производства металлов – 63% от общего выброса меди и 70% от общего выброса хрома. Вторым по значимости источником явилось сжигание топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве – 16% выбросов меди и 17% выбросов хрома.

Для *мышьяка* и *кадмия* была характерна обратная картина – основной объем выбросов пришелся на сжигание топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве (60% общего выброса мышьяка и 56% общего выброса кадмия). Вторым по объему выбросов было производство металлов – 21% выбросов мышьяка и 31% выбросов кадмия. Общий объем выбросов для мышьяка составил 1,36 т, для кадмия – 3,00 т.

Выбросы *ртути* в 2011 г. на 94% были обусловлены сжиганием топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве. Общий объем выбросов был менее 1 т.

По сравнению с предыдущим (2010 г.) уменьшились выбросы мышьяка, кадмия, никеля и свинца. Наибольшее относительное уменьшение выбросов характерно для никеля – 31% (с 35,18 т в

2010 г. до 26,87 т в 2011 г.). Выбросы хрома, меди, ртути и цинка в 2011 г. увеличились. Наибольшее увеличение характерно для меди – 18% (с 9,91 до 11,70 т).

Аммиак. Статистика на основании форм отчетности № 1-ос (воздух) недоучитывает поступление аммиака в атмосферный воздух из многих значительных источников, в первую очередь, от такой отрасли, как сельское хозяйство. Выполненные в рамках Программы ЕМЕП расчеты показали, что в 2011 г. общие выбросы аммиака на территории Беларуси составили 150,2 тыс.т, что на 0,9 тыс.т меньше, чем в 2010 г. Основной вклад в поступление аммиака в окружающую среду внесла такая категория сельскохозяйственных источников, как «уборка, хранение и использование навоза» (107,9 тыс.т или 72% от общего выброса аммиака). От категории «внесение минеральных удобрений» в 2011 г. в атмосферу поступило 30,1 тыс.т аммиака или 20% от его общего выброса (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Структура источников выбросов аммиака на территории Беларуси в 2011 г.

Стойкие органические загрязнители (СОЗ). Выбрасываемые в атмосферный воздух стойкие органические загрязнители представлены большой группой соединений, в состав которой входят диоксины/фураны, полициклические ароматические углеводо-

роды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), гексахлорбензол (ГХБ), а также ряд других веществ.

Все оценки выбросов СОЗ получены расчетным путем. Выбросы диоксинов/фуранов оценены в граммах эквивалента токсичности (диоксинового эквивалента).

Общий выброс диоксинов/фуранов в 2011 г. составил 36,13 г ЭТ, что на 0,33 г ЭТ меньше, чем в 2010 г. Основные источники выбросов диоксинов/фуранов представлены на рисунке 3.2. Наибольший вклад в выбросы внесло сжигание отходов – 13,8 г ЭТ (34% от общего выброса), производство металлов – 8,4 г ЭТ (23%), а также сжигание топлива в обрабатывающей промышленности и строительстве – 6,55 г ЭТ (18%). На долю прочих источников пришлось 6,57 г ЭТ выбросов.

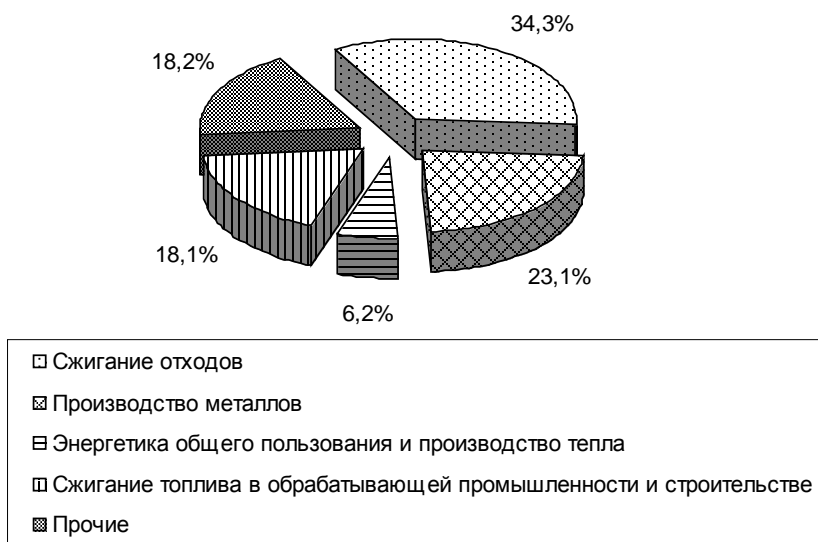


Рис. 3.2. Структура источников выбросов диоксинов/фуранов в атмосферу на территории Беларуси в 2011 г.

Суммарный выброс четырех индикаторных ПАУ в 2011 г. составил 49,3 т, в том числе бензо(а)пирена – 12,1 т, бензо(б)-флуорантена – 23,9 т, бензо(к)-флуорантена – 6,6 т, индено(1,2,3-с,д)пирена – 6,7 т.

Основным источником выбросов индикаторных ПАУ явилось стационарное сжигание топлива в жилом секторе – 29,2 т или 59% от общего выброса ПАУ. Существенный вклад внесла также энер-

гетики общего пользования и производства тепла – 13,5 т или 27% суммарного выброса (рис. 3.3).

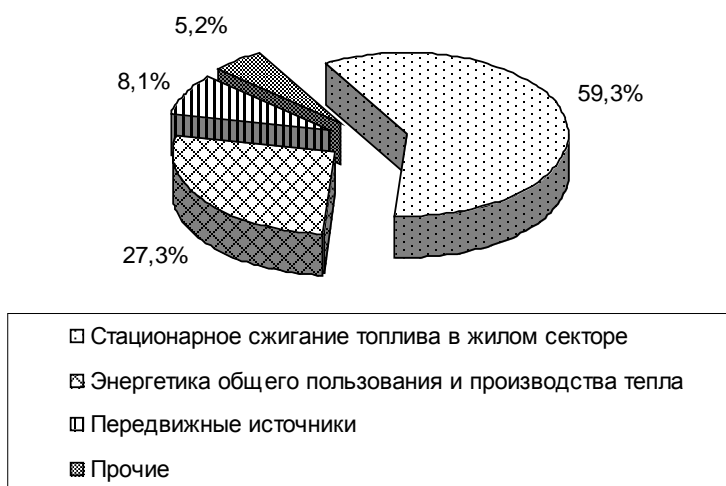


Рис. 3.3. Структура источников выбросов ПАУ в атмосферу на территории Беларуси в 2011 г.

Твердые взвешенные частицы (ТЧ). Согласно расчетам, проведенным с использованием модели GAINS, валовые выбросы твердых взвешенных частиц (суммарные твердые частицы) на территории Беларуси в 2011 г. составили 85,8 тыс.т, что на 22% превосходит величину выбросов твердых веществ, полученную на основании данных статистической отчетности по формам № 1-ос (воздух).

В общем объеме выбросов ТЧ выбросы твердых частиц фракции размером менее 10 микрон (ТЧ10) составили 44,1 тыс.т, менее 2,5 микрон (ТЧ2,5) – 30,5 тыс.т.

Наибольший вклад в выбросы суммарных твердых частиц внесли такие категории, как «сельское хозяйство и прочие источники» – 18% (15,4 тыс.т), «обрабатывающая промышленность» – 17% (14,6 тыс.т), «уборка, хранение и использование навоза» – 12% (10,3 тыс.т).

В выбросы ТЧ10 наибольший вклад внесли автомобильный транспорт – 23% (10,0 тыс.т), энергетика общего пользования и производства тепла – 20% (8,8 тыс.т), обрабатывающая промышленность и строительство – 17% (7,5 тыс.т), жилой сектор – 16% (7,0 тыс.т) (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Структура источников выбросов ТЧ10 в атмосферу на территории Беларуси в 2011 г.

В выбросы ТЧ2,5 наибольший вклад внесли энергетика общего пользования и производства тепла – 22% (6,7 тыс.т), бытовой сектор – 21% (6,4 тыс.т), автомобильный транспорт – 20% (6,1 тыс.т), обрабатывающая промышленность – 18% (5,5 тыс.т).

По сравнению с 2010 г. выбросы суммарных твердых частиц уменьшились на 1,4 тыс.т, в то время как выбросы ТЧ10 увеличились на 3,9 тыс.т, ТЧ2,5 – на 3,2 тыс.т.

3.2. Качество атмосферного воздуха

В 2012 г. мониторинг состояния атмосферного воздуха проводился в 20 промышленных городах Беларуси, включая областные центры, а также Полоцк, Новополоцк, Оршу, Бобруйск, Мозырь, Речицу, Светлогорск, Пинск, Новогрудок, Жлобин, Лиду, Солигорск, Барановичи и Борисов. Регулярными наблюдениями были охвачены территории, на которых проживает 87% населения крупных и средних городов страны. Государственная сеть мониторинга также включала в себя стационарные наблюдения, проводимые Министерством здравоохранения Республики Беларусь в г.Могилеве (один стационарный пост).

Сеть мониторинга атмосферного воздуха в 2012 г. включала 66 станций: 11 станций в Минске, 6 в Могилеве, по 5 в Гомеле и Витебске, по 4 в Бресте и Гродно; в остальных промышленных центрах действовало по 1–3 станции. В областных центрах, Полоцке, Новополоцке, Солигорске и в районе Мозырского промышленного узла функционировало 14 автоматических станций, позволяющих получать информацию о содержании в воздухе основных загрязняющих веществ в режиме реального времени.

Во всех городах в воздухе определялись концентрации основных загрязняющих веществ (суммарные твердые частицы – недифференцированная по составу пыль/аэрозоль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота), формальдегида, свинца и кадмия. Измерялись также концентрации многих специфических веществ – аммиака, бенз(а)пирена, фенола, сероводорода, сероуглерода, летучих органических соединений. На всех автоматических станциях измерялись концентрации твердых частиц фракции размером до 10 микрон (ТЧ10) и приземного озона. Измерения концентраций ТЧ10 проводились также в Жлобине.

Большой объем работ по изучению состояния воздуха в парках, зонах отдыха, вблизи автодорог, под факелом промышленных предприятий выполнен Центрами гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья и некоторыми ведомственными лабораториями в Гомеле, Могилеве, Речице и Новополоцке.

В 19 пунктах мониторинга регулярно проводились наблюдения за химическим составом атмосферных осадков. В период максимального накопления влагозапаса в снеге в 16 пунктах проведения снегомерная съемка. Ввиду отсутствия устойчивого снежного покрова на большей части Брестской и Гродненской областей, в Пружанах, Высоком, Барановичах, Гродно, Лиде и Волковыске пробы снега не отбирались.

Оценка дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в рамках «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе» (Программы ЕМЕП) проводилась на специализированной трансграничной станции Высокое (западная граница Беларуси). Дополнительно в рамках данной программы проводились наблюдения за суточными выпадениями атмосферных осадков на станциях Мстиславль (восточная граница) и Браслав (северная граница). На станции фонового мониторинга (СФМ) Березинский заповедник анализировалось состояние воздуха и атмосферных осадков по программе Глобальной службы атмосферы.

Для оценки состояния атмосферного воздуха использовались такие показатели, как количество дней в году, в течение которых установлены превышения среднесуточных ПДК, а также повторяемость (доля) проб с концентрациями выше максимально разовых ПДК. Данные о количестве дней в году со среднесуточными концентрациями ТЧ10 выше ПДК, полученные в результате непрерывных измерений, сравнивались с целевым показателем, принятым в странах Европейского Союза.

Влияние погодных условий на формирование уровня загрязнения воздуха в 2012 г.

Анализ сезонных изменений концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Беларуси в 2012 г. показал, что влияние метеорологических условий на формирование уровня загрязнения воздуха наиболее отчетливо проявилось в феврале и июле.

Февраль. Преобладание длительного периода с очень низкими температурами воздуха (в среднем по стране на 5°C ниже средней многолетней температуры для данного месяца) обусловило рост содержания в воздухе диоксида серы, бенз(а)пирена и ТЧ10. Увеличение загрязненности воздуха, по всей вероятности, было связано с использованием на предприятиях теплоэнергетики мазута в качестве резервного топлива. По данным непрерывных измерений, содержание в воздухе бенз(а)пирена было в 1,5–2,0 раза выше, чем в январе и марте. В Минске зафиксированы концентрации диоксида серы выше установленного норматива. Следует отметить, что превышения ПДК диоксида серы в воздухе крупных промышленных центров страны отмечаются крайне редко. В большинстве контролируемых городов увеличилось количество дней с концентрациями ТЧ10 выше ПДК. Максимальные среднесуточные концентрации в некоторых городах достигали 1,5–2,0 ПДК.

«Пик» загрязнения воздуха формальдегидом, как и в предыдущие годы, отмечен в *июле*, который характеризовался повышенным температурным режимом, способствовавшим быстрому протеканию фотохимических реакций в атмосфере и образованию формальдегида (рис. 3.5). Кроме того, существенное влияние на формирование уровня загрязнения воздуха формальдегидом в этот период оказала повышенная повторяемость слабых ветров (в отдельных пунктах до 60–80%).

Некоторое увеличение содержания в воздухе твердых частиц, особенно в южной части страны, зарегистрировано в *мае* и

сентябре, которые характеризовались дефицитом атмосферных осадков (во многих пунктах выпало менее половины нормы).

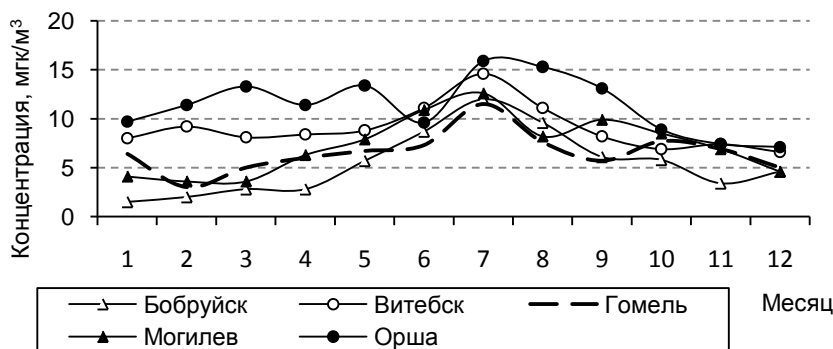


Рис. 3.5. Внутригодовые изменения концентрации формальдегида в воздухе городов Беларуси в 2012 г.

Вместе с тем в целом по Беларуси в 2012 г. преобладали благоприятные для рассеивания загрязняющих веществ метеорологические условия.

Состояние атмосферного воздуха городов

По данным стационарных наблюдений, в 2012 г. содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в большинстве контролируемых городов страны было ниже значений установленных нормативов. Количество дней со среднесуточными концентрациями особенно опасных для здоровья населения ТЧ10 в атмосферном воздухе в Бресте, Могилеве, Жлобине, Гродно, Полоцке, Солигорске, Новополоцке, жилых районах Минска и Гомеля остается стабильным и ниже целевого показателя, принятого в Европейском Союзе. Ухудшение качества воздуха, отмеченное в отдельные периоды, было связано с дефицитом атмосферных осадков и преобладанием неблагоприятных для рассеивания загрязняющих веществ метеоусловий.

Состояние атмосферного воздуха в Бобруйске, Барановичах, Борисове, Гродно, Новогрудке, Светлогорске, Жлобине, Полоцке, Новополоцке, Лиде, Солигорске и в большинстве контролируемых районов Минска, Гомеля, Витебска, Орши и Мозыря оценивается как стабильно хорошее.

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к снижению количества «проблемных» районов в контролируемых промышленных центрах страны. В 2012 г. их число было почти в три раза ниже, чем в 2007 г. (рис. 3.6).

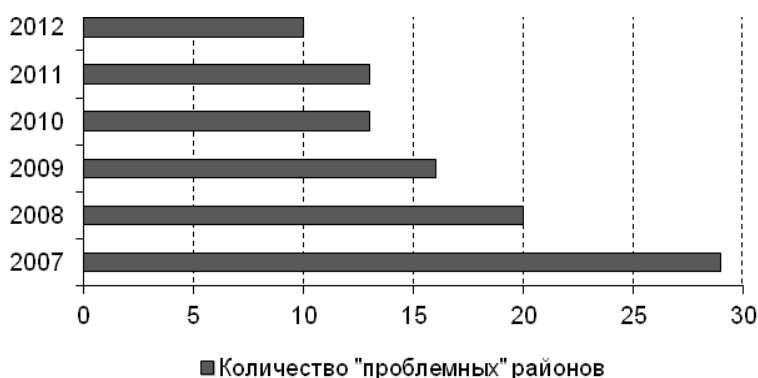


Рис. 3.6. Количество «проблемных» районов в отношении загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах Беларуси в 2007–2012 гг.

Вместе с тем, в некоторых районах Бреста, Пинска и Орши по-прежнему существует проблема загрязнения воздуха формальдегидом, Могилева – диоксидом азота, фенолом и формальдегидом, Речицы – твердыми частицами (табл. 3.7). В периоды с неблагоприятными метеоусловиями их максимальные концентрации превышали установленные нормативы в 3–4 раза.

Данные непрерывных измерений на автоматических станциях показали, что в отдельных районах Минска (ул.Радиальная) и Гомеля (ул.Барыкина) превышен целевой показатель качества атмосферного воздуха по ТЧ10, который, согласно Директиве Совета Европейского Союза, не допускает превышения среднесуточной ПДК (50 мкг/м^3) более, чем в 9,6% от общего количества измерений в течение календарного года (более 35 дней в год).

В таблице 3.8 представлены среднегодовые и максимально разовые концентрации основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов в 2012 г.

Далее более подробно рассматривается загрязнение атмосферного воздуха городов Беларуси отдельными загрязняющими веществами.

Таблица 3.7

Перечень «проблемных» районов в отношении загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах Беларуси в 2012 г.

Город	Адрес станции	Зона наблюдений	Характеристика нагрузки	Вещества, определяющие повышенный уровень загрязнения воздуха
Минск	ул.Радиальная, 50	Промышленная	Эпизодически*	ТЧ10, оксид углерода
Гомель	ул.Барыкина, 319	Смешанная**	Эпизодически	ТЧ10, оксид углерода
Речица	ул.Молодежная, 5 ул.Чкалова, 24	Смешанная	Эпизодически	Суммарные твердые частицы
Брест	ул.Пушкинская, 82 ул.17 Сентября– ул.Интернациональная	Смешанная Автодорога	Постоянно***	Формальдегид
Пинск	ул.Завальная, 39 ул.Центральная, 11	Автодорога Жилая	Эпизодически Постоянно	Формальдегид, диоксид азота Формальдегид
Орша	ул.Пакгаузная	Автодорога	Эпизодически	Формальдегид
Могилев	ул.Челюскинцев, 45	Промышленная	Эпизодически	Диоксид азота

*Превышения установленных нормативов отмечались только в отдельные месяцы. **Станция расположена в зоне влияния выбросов как стационарных, так и мобильных источников. ***Превышения установленных нормативов отмечались большую часть года.

Суммарные твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль). Средние за 2012 г. концентрации суммарных твердых частиц в воздухе в Речице и Витебске составляли 0,7 ПДК, в Лиде, Могилеве, Мозыре, Новогрудке и Пинске – 0,3 ПДК, в других контролируемых городах – 0,2 ПДК и менее.

Превышения среднесуточной ПДК зафиксированы в отдельных районах Гродно, Баранович, Новогрудка, Мозыря, Жлобина, Пинска и Светлогорска, однако количество дней с превышениями в указанных городах было незначительно. Больше всего превышений установленного норматива отмечено в Речице: в целом по городу зарегистрировано 46 дней со среднесуточными концентрациями суммарных твердых частиц выше ПДК, большинство из них (45 дней) – в период с 15 марта по 15 сентября (рис. 3.7).

Таблица 3.8

Среднегодовые и максимально разовые концентрации основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Беларуси в 2012 г., мкг/м³ (данные станций с дискретным отбором проб)

Город	Суммарные твердые частицы		Оксид углерода		Диоксид азота	
	q _{ср.} *	q _{м.} **	q _{ср.}	q _{м.}	q _{ср.}	q _{м.}
Бобруйск	<15	268	738	3900	24	240
Брест	27	265	797	3300	33	222
Витебск	112	192	610	3500	35	134
Гомель	23	223	422	1800	21	49
Гродно	37	315	720	3800	19	222
Жлобин	30	490	233	1300	11	122
Лида	49	217	492	920	22	64
Минск	<15	165	434	2700	37	418
Могилев	44	317	670	4100	49	1100
Мозырь	51	336	494	2900	19	191
Новогрудок	50	281	980	2410	31	50
Новополоцк	<15	274	330	1000	47	457
Орша	<15	171	749	3900	25	277
Пинск	42	223	419	1100	32	248
Полоцк	<15	362	483	1900	63	441
Речица	105	1100	477	1400	32	117
Светлогорск	35	278	648	1200	34	72
ПДК	150	300	3000	5000	100	250

*Среднегодовая концентрация загрязняющего вещества. **Максимально разовая концентрация загрязняющего вещества.

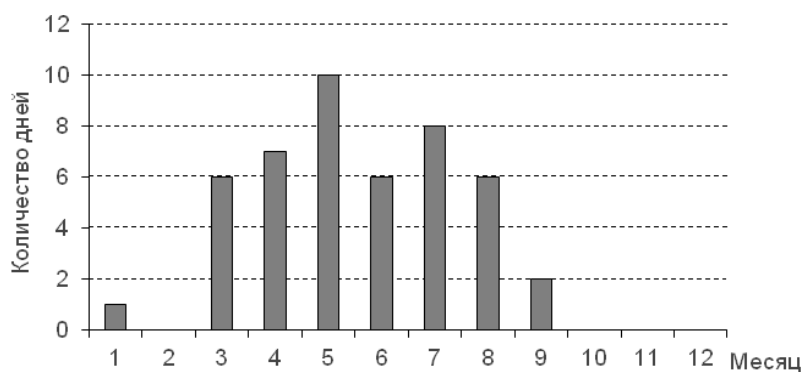


Рис. 3.7. Количество дней со среднесуточными концентрациями суммарных твердых частиц выше ПДК в 2012 г. в Речице (в целом по городу)

Существенный рост уровня загрязнения воздуха суммарными твердыми частицами во многих городах зафиксирован в мае и сентябре, которые характеризовались дефицитом атмосферных осадков. Максимальная из максимально разовых концентраций в воздухе в Жлобине в периоды с неблагоприятными метеоусловиями превышала установленный норматив в 1,6 раза. В Речице на расстоянии 600 м от ПДО «Речицадрев» отмечена концентрация суммарных твердых частиц в 1,3 раза выше установленного норматива, в районе ул.Молодежная максимальная концентрация достигала 3,7 ПДК. В Могилеве в зонах влияния ОАО «Можелит» и завода «Электродвигатель» зафиксированы концентрации суммарных твердых частиц 1,2–1,4 ПДК, завода искусственного волокна – 1,5 ПДК.

В последние годы в большинстве городов наблюдается устойчивая тенденция к снижению уровня загрязнения воздуха суммарными твердыми частицами. По сравнению с 2008 г. содержание твердых частиц в атмосферном воздухе в Мозыре и Светлогорске понизилось на 14–19%, в Бобруйске, Речице, Гродно и Пинске – на 29–37%, в Гомеле и Жлобине – на 55–69%. Увеличение среднегодовых концентраций суммарных твердых частиц отмечено только в Новогрудке. В остальных городах динамика среднегодовых концентраций неустойчива.

Твердые частицы фракции до 10 микрон (ТЧ10). Мониторинг ТЧ10 проводился в 10 городах и в районе Мозырского промышленного узла. Среднегодовые концентрации в большинстве городов находились в пределах 0,4–0,6 ПДК. Несколько выше (0,7–0,8 ПДК) уровень загрязнения воздуха ТЧ10 был в Бресте, Минске (район ул.Тимирязева), Гомеле (район ул.Барыкина) и Могилеве (район пер.Крупской). В районе Минского тракторного завода (ул.Радиальная) среднегодовая концентрация составляла 0,9 ПДК.

Максимальные из среднесуточных концентраций ТЧ10 в воздухе в Полоцке, Гродно, Могилеве и Гомеле достигали 1,5–2,1 ПДК, в Жлобине и Бресте – 2,3 ПДК, в Солигорске – 2,6 ПДК. В Минске (район ул.Корженевского) зарегистрирована среднесуточная концентрация почти в 3 раза выше установленного норматива. В Гомеле (район ул.Барыкина) среднесуточные концентрации ТЧ10 превышали ПДК в течение 35 дней на протяжении года, в Минске (район ул.Радиальная) – в течение 53 дней. Тем не менее, по сравнению с предыдущим годом повторяемость (доля) дней со среднесуточными концентрациями ТЧ10 выше установленного норматива для большинства городов существенно уменьшилась (табл. 3.9).

Во внутригодовой динамике содержания ТЧ10 в атмосферном воздухе существенный рост их концентраций во многих горо-

дах отмечен в первой половине февраля, когда преобладала сухая морозная погода, а также в мае и сентябре, которые характеризовались дефицитом атмосферных осадков. Характерный для апреля максимум загрязнения воздуха ТЧ10 в 2012 г. не проявился, что было связано с избыточным количеством атмосферных осадков в этом месяце.

Таблица 3.9

**Характеристика загрязнения воздуха ТЧ10
в городах Беларуси в 2011–2012 гг.**

Город	Район	Доля проб с превышениями среднесуточной ПДК, %		Максимальная из среднесуточных концентраций, доли ПДК	
		2011 г.	2012 г.	2011 г.	2012 г.
Брест	ул.Северная	12,4	6,2	2,1	2,3
Гомель	ул.Барыкина	34,5	10,2	6,3	2,1
Гродно	пр.Космонавтов	1,3	2,3	1,2	1,5
Жлобин	ул.Пригородная	3,2	6,8	1,5	2,3
Минск	пр.Независимости	3,4	4,3	1,8	2,0
	ул.Тимирязева	18,7	7,0	3,1	1,5
	ул.Корженевского	9,5	7,4	2,3	2,9
	ул.Радиальная	21,1	15,6	2,1	2,3
Могилев	пер.Крупской	9,6	7,5	1,9	1,9
	пр.Шмидта	2,9	0,5	1,6	1,1
	ул.Мовчанского	2,2	2,2	1,3	2,2
Новополоцк	ул.Молодежная	0,4	0,6	1,6	1,2
Полоцк	ул.Кульнева	1,2	3,0	1,4	1,5

Диоксид серы (SO₂). По данным непрерывных измерений на автоматических станциях, среднегодовые концентрации диоксида серы в воздухе в большинстве городов находились в пределах 0,2–0,4 ПДК. Несколько выше уровень загрязнения воздуха диоксидом серы был в Гродно, Могилеве, Гомеле и Полоцке, однако превышений среднесуточной ПДК не зафиксировано.

Во внутригодовой динамике содержания диоксида серы в атмосферном воздухе некоторое увеличение его концентраций отмечено в первой половине февраля, которая характеризовалась пониженным температурным режимом. Максимально разовые концентрации диоксида серы в Минске в это время достигали 2 ПДК, что, по всей вероятности, было связано с использованием предприятиями теплоэнергетики мазута в качестве резервного топлива. Кратковременные превышения максимально разовой ПДК (в

1,1 раза) зарегистрированы в конце сентября в районе Мозырского промышленного узла.

Оксид углерода (СО). В 2012 г. среднегодовые концентрации оксида углерода в большинстве контролируемых городов находились в пределах 0,1–0,2 ПДК.

Превышения среднесуточной ПДК отмечались только в районах автоматических станций в Минске и Гомеле, однако количество дней с превышениями ПДК было незначительным. В суточном ходе концентраций СО по-прежнему выделяются два максимума: первый – с 7 до 9 часов, второй – с 17 до 21 часа (рис. 3.8).

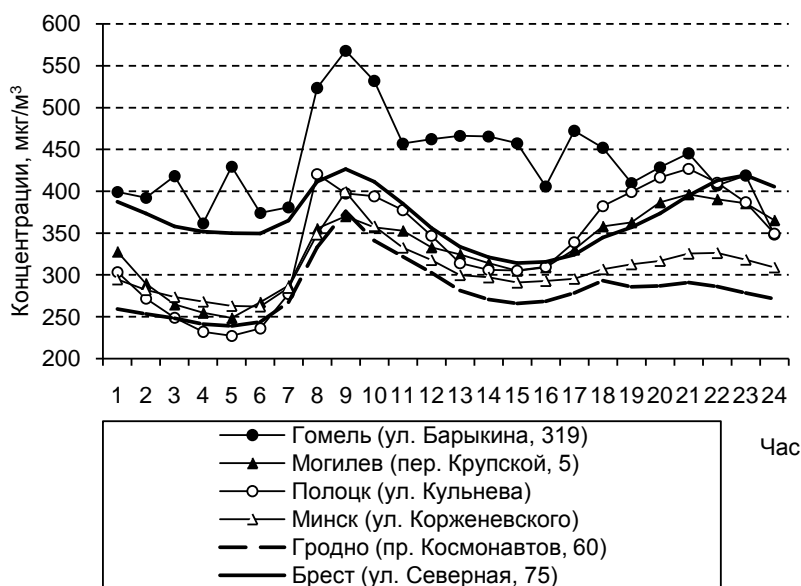


Рис. 3.8. Суточный ход концентрации оксида углерода в городах Беларуси в 2012 г.

Максимальная из максимально разовых концентраций СО в жилом районе Минска составляла 1,3 ПДК, в Гомеле (район ул.Барыкина) – 2,3 ПДК. В двух районах Минска (ул.Тимирязева и Радиальная) в дни с неблагоприятными метеоусловиями зафиксированы концентрации СО в 3,0–3,2 раза выше установленного норматива.

По данным Центров гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья, в районах автодорог с интенсивным движением транспорта максимально разовые концентрации оксида углерода при неблагопри-

ятных для рассеивания метеоусловиях в Минске превышали установленный норматив в 1,4–2,1 раза, в Гомеле – в 1,3–1,8 раза.

В последние годы в подавляющем большинстве контролируемых городов Беларуси наблюдается устойчивая тенденция к снижению уровня загрязнения воздуха оксидом углерода. По сравнению с 2008 г. содержание оксида углерода в воздухе в Бобруйске и Речице понизилось на 11–22%, в Жлобине и Орше – на 24–34%, в Светлогорске, Могилеве и Полоцке – на 42–48%, в Новополоцке – на 74%. В Гомеле, Витебске, Гродно и Минске снижение среднегодовых концентраций СО в воздухе незначительно (не более 8%). Вместе с тем, в Бресте уровень загрязнения воздуха оксидом углерода возрос. Тенденция среднегодовых концентраций оксида углерода в воздухе в Новогрудке неустойчива.

Диоксид азота (NO_2). Средние за год концентрации диоксида азота в большинстве городов Беларуси в 2012 г. находились в пределах 0,2–0,4 ПДК. В Могилеве, Полоцке и Новополоцке уровень загрязнения воздуха NO_2 несколько был выше. Превышения среднесуточной ПДК отмечены в Минске, Могилеве, Новополоцке, Полоцке и Пинске.

По данным непрерывных измерений, суточный ход концентраций NO_2 по-прежнему аналогичен суточному ходу концентраций СО, что свидетельствует об общем источнике поступления данных загрязняющих веществ в атмосферу – выбросах автотранспорта (рис. 3.9).

Максимальные из максимально разовых концентраций диоксида азота в воздухе в Минске, Полоцке и Новополоцке превышали установленный норматив в 1,7–1,8 раза. В юго-западном районе Могилева в период с неблагоприятными метеорологическими условиями зарегистрирована концентрация диоксида азота 4,4 ПДК.

По сравнению с 2008 г. содержание диоксида азота в воздухе в Могилеве, Мозыре и Витебске понизилось на 14–22%, в Гродно – на 39%, в Светлогорске и Бобруйске – на 43–45%. Вместе с тем, уровень загрязнения воздуха диоксидом азота в Гомеле, Минске, Пинске, Речице и Жлобине увеличился на 11–22%, в Бресте и Новополоцке – на 27%. Тенденция изменения среднегодовых концентраций диоксида азота в воздухе в Полоцке неустойчива.

Загрязнение атмосферного воздуха в городах Беларуси наиболее распространенными специфическими веществами представлено в таблице 3.10.

Сероводород (H_2S) определяли в атмосферном воздухе в городах с предприятиями химической и нефтехимической промышленности – Могилеве, Мозыре, Новополоцке, Полоцке и Свет-

логорске. Среднегодовая концентрация H_2S в воздухе в Мозыре составила $0,3 \text{ мкг/м}^3$, в Полоцке и Новополоцке – $1,1 \text{ мкг/м}^3$, в Могилеве – $1,8 \text{ мкг/м}^3$. Содержание сероводорода в атмосферном воздухе в Светлогорске было ниже инструментального предела обнаружения.

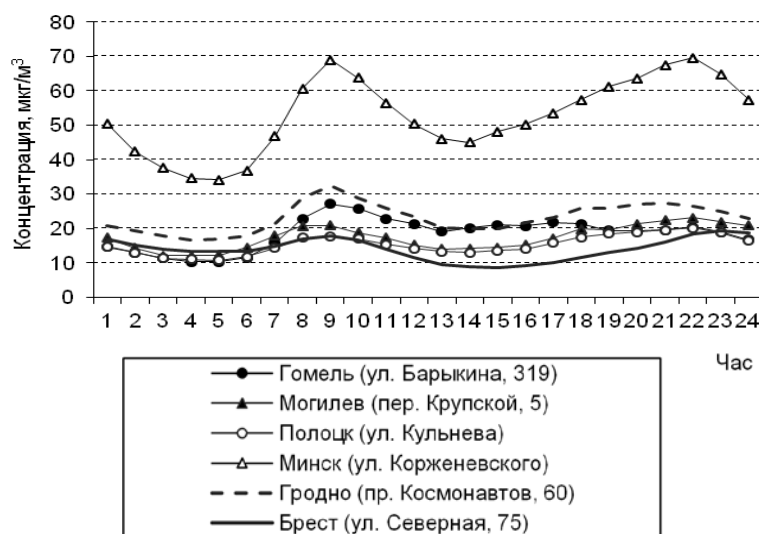


Рис. 3.9. Суточный ход концентрации диоксида азота в городах Беларуси в 2012 г.

Максимальные из максимально разовых концентраций H_2S в воздухе в Полоцке, Новополоцке и Могилеве превышали установленный норматив в 1,6–2,0 раза.

По сравнению с 2008 г. содержание сероводорода в воздухе в Полоцке и Новополоцке понизилось на 31–35%. Динамика среднегодовых концентраций в Могилеве и Мозыре неустойчива, однако в последние два года уровень загрязнения воздуха сероводородом в этих городах возрос.

Сероуглерод (CS_2) на протяжении многих лет определяют в воздухе в Могилеве и Светлогорске.

В 2012 г. среднегодовая концентрация сероуглерода в воздухе в Могилеве составила 0,4 ПДК. Некоторое увеличение уровня загрязнения воздуха CS_2 отмечено в июле, который характеризовался преобладанием неблагоприятных для рассеивания загрязняющих веществ метеорологических условий.

Таблица 3.10

Среднегодовые и максимально разовые концентрации специфических загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Беларуси в 2012 г., мкг/м³ (данные станций с дискретным отбором проб)

Город	Сероводород		Фенол		Аммиак		Формальдегид		Свинец	
	q _{ср.} *	q _{м.} **	q _{ср.}	q _{м.}	q _{ср.}	q _{м.}	q _{ср.}	q _{м.}	q _{ср.}	q _{м.}
Бобруйск	***—	—	1,1	5,0	—	—	5,4	132,0	0,011	0,016
Брест	—	—	—	—	—	—	13,0	138,0	0,018	0,043
Витебск	—	—	1,2	5,0	23	106	9,1	41,0	0,016	0,049
Гомель	—	—	1,7	10,0	15	100	6,6	63,0	0,046	0,215
Гродно	—	—	—	—	19	192	4,7	42,0	0,022	0,099
Жлобин	—	—	—	—	—	—	2,2	86,0	0,071	0,286
Лида	—	—	—	—	—	—	5,7	12,0	0,014	0,054
Минск	—	—	0,4	10,0	14	182	5,1	102,0	0,098	0,289
Могилев	1,8	15,0	1,6	30,0	20	259	7,3	93,0	0,005	0,010
Мозырь	0,3	8,0	—	—	—	—	5,1	70,0	0,016	0,037
Новогрудок	—	—	—	—	—	—	1,6	7,0	0,014	0,037
Новополоцк	1,1	16,0	1,0	15,0	10	228	2,9	54,0	0,030	0,072
Орша	—	—	—	—	—	—	11,4	72,0	0,014	0,039
Пинск	—	—	—	—	—	—	12,6	57,0	0,019	0,062
Полоцк	1,1	13,0	1,0	17,0	20	52	3,1	16,0	0,021	0,041
Речица	—	—	2,2	10,0	13	43	6,9	93,0	0,032	0,214
Светлогорск	****<п/о	—	—	—	—	—	7,9	24,0	0,026	0,057
ПДК	—	8,0	7,0	10,0	—	200	12,0	30,0	0,300	—

*Среднегодовая концентрация загрязняющего вещества. **Максимально разовая концентрация загрязняющего вещества. ***Загрязняющее вещество не определялось. ****Ниже предела обнаружения.

В Светлогорске в большинстве отобранных и проанализированных проб воздуха сероуглерод не обнаружен. Некоторое увеличение концентраций (до 0,1–0,4 ПДК) зафиксировано в июле и ноябре, когда преобладали ветры юго-восточного и южного направления, обуславливающие перенос CS₂ от ПО «Химволокно».

Динамика среднегодовых концентраций сероуглерода в воздухе в Могилеве очень неустойчива. Вместе с тем, по сравнению с 2008 г. уровень загрязнения воздуха повысился на 20%. Содержание сероуглерода в воздухе в Светлогорске сохраняется стабильно низким.

Фенол (C₆H₅OH). Среднегодовые концентрации фенола в воздухе в Могилеве, Гомеле и Речице в 2012 г. находились в пределах 0,2–0,3 ПДК, в других городах не превышали 0,2 ПДК.

Превышения максимально разовой ПДК отмечены только в трех городах: максимальные концентрации фенола в воздухе в

Новополоцке и Полоцке достигали 1,5–1,7 ПДК, в трех районах Могилева при неблагоприятных метеорологических условиях зарегистрированы концентрации в 2,8–3,0 раза выше установленного норматива. По данным эпизодических наблюдений Минского городского центра гигиены, эпидемиологии и охраны общественного здоровья, максимальные из максимально разовых концентраций фенола превышали ПДК в 1,2–1,3 раза.

Пространственное распределение концентраций фенола в воздухе городов достаточно однородно. Сезонные изменения уровня загрязнения воздуха фенолом незначительны.

За пятилетний период содержание фенола в воздухе в Минске понизилось на 20%, в Бобруйске – на 50%. Вместе с тем, по сравнению с 2008 г. уровень загрязнения воздуха фенолом в Речице повысился на 29%, в Новополоцке – на 43, в Полоцке – на 67%. Незначительное увеличение среднегодовых концентраций отмечено в Могилеве. Динамика среднегодовых концентраций фенола в воздухе в Гомеле неустойчива.

Аммиак (NH_3). В 2012 г. среднегодовые концентрации аммиака в воздухе в подавляющем большинстве городов (в 7 из 8) находились в пределах 10–20 мкг/м³ и были заметно ниже, чем в предыдущем году.

Сезонные изменения концентраций аммиака имели ярко выраженный характер: летний уровень загрязнения воздуха был в 2–3 раза выше зимнего (рис. 3.10).

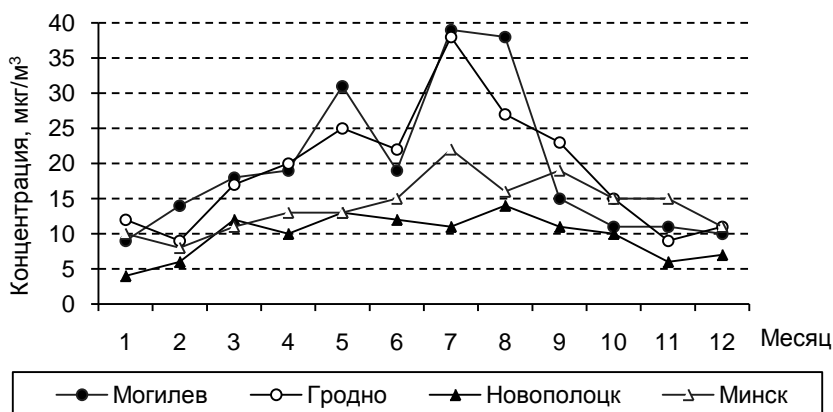


Рис. 3.10. Внутригодовые изменения концентрации аммиака в воздухе городов Беларуси в 2012 г.

«Пик» загрязнения воздуха аммиаком зарегистрирован в июле–первой декаде августа, которые характеризовались большой повторяемостью штилей и дефицитом атмосферных осадков. Однако незначительные превышения максимально разовой ПДК (в 1,1–1,3 раза) отмечены только в единичных пробах воздуха, отобранных на стационарных станциях в Могилеве и Новополоцке.

По сравнению с 2008 г. уровень загрязнения воздуха аммиаком в Могилеве и Речице понизился на 26–38%, в Минске – на 64%. В Витебске концентрация аммиака за этот период повысилась на 10%, в Гродно – на 58%. В последние годы наметилась устойчивая тенденция к увеличению содержания аммиака в воздухе в Полоцке и Новополоцке.

Формальдегид (НСОН). Концентрации формальдегида определяли в 18 городах на всех станциях с дискретным отбором проб. Среднегодовая концентрация в воздухе в Витебске составила 0,8 ПДК, в Орше – 0,9 ПДК, в Бресте и Пинске – 1,1 ПДК. Минимальный уровень загрязнения воздуха формальдегидом (менее 0,2 ПДК) по-прежнему характерен для Новогрудка и Жлобина. Существенное снижение содержания формальдегида (до 0,2–0,3 ПДК) отмечено в Новополоцке и Полоцке. В остальных городах среднегодовые концентрации находились в пределах 0,4–0,7 ПДК.

Сезонные изменения содержания в воздухе формальдегида, как и в предыдущие годы, имели ярко выраженный характер: увеличение концентраций, как правило, наблюдалось с ростом температуры воздуха (рис. 3.11).

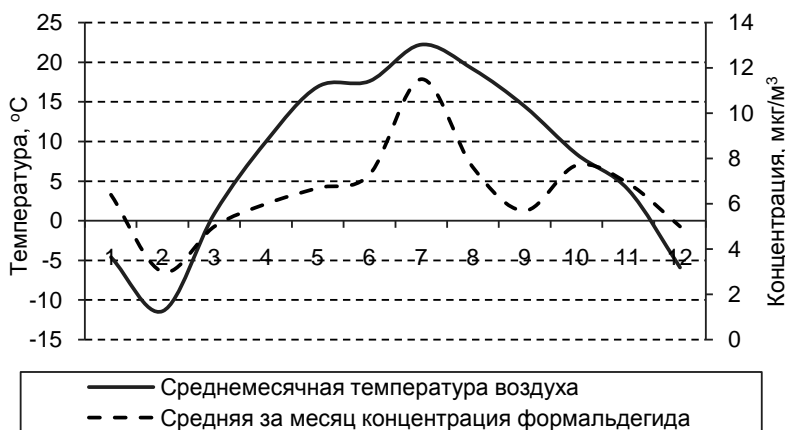


Рис. 3.11. Зависимость среднемесячных концентраций формальдегида от температурного режима в г. Гомеле в 2012 г.

В большинстве городов «пик» загрязнения воздуха формальдегидом зафиксирован в июле (см. рис. 3.5). Повторяемость проб с концентрациями выше максимально разовой ПДК в некоторых районах Витебска, Орши и Бобруйска составила 12%, Могилева – 23 и Борисова – 28%. В Бресте повышенный уровень загрязнения воздуха сохранялся почти до середины ноября. Максимальные из максимально разовых концентраций формальдегида в воздухе в Гомеле, Мозыре и Орше превышали установленный норматив в 2,1–2,4 раза, в Жлобине, Могилеве и Минске – в 2,9–3,4 раза. В Бобруйске зарегистрирована концентрация 4,4 ПДК, в Бресте – 4,6 ПДК.

По данным Минского городского Центра гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья, в районах автодорог с интенсивным движением транспорта в теплый период года максимальные концентрации формальдегида достигали 2,0–2,5 ПДК.

В последние годы прослеживается устойчивая тенденция к снижению уровня загрязнения воздуха формальдегидом. В Речице, Витебске и Орше концентрации понизились на 18–22%, в Бобруйске и Минске – на 29, в Новогрудке и Мозыре – на 36–38, в Полоцке и Новополоцке – на 50%. В Гродно и Гомеле содержание в воздухе формальдегида сохраняется на уровне 2008 г. Увеличение среднегодовых концентраций на 14–18% отмечено в Жлобине, Могилеве, Пинске и Бресте, на 33% – в Светлогорске.

Приземный озон (O_3). Мониторинг приземного озона проводили в 8 городах и в районе Мозырского промышленного узла. Среднегодовые концентрации в большинстве городов находились в пределах 50–62 мкг/м³ и были несколько выше, чем в предыдущем году.

В Гомеле, Полоцке, Новополоцке, Солигорске, отдельных районах Минска, Могилева и в районе Мозырского промышленного узла зафиксировано от 10 до 18 дней со среднесуточными концентрациями приземного озона выше ПДК, в Гродно – 30 дней, в Бресте – 59 дней. Максимальная среднесуточная концентрация (1,7 ПДК) зарегистрирована 6 августа в Бресте – в день, когда температура воздуха достигала +35°C.

Суточная динамика приземного озона в воздухе во всех городах одинакова, различаются лишь сами уровни концентраций. Максимум загрязнения отмечен в послеполуденное время (рис. 3.12).

Во внутригодовой динамике содержания приземного озона в атмосферном воздухе «пик» загрязнения зафиксирован весной и в июле–первой декаде августа. Весенний максимум загрязнения воздуха связан с перестройкой атмосферы и, как следствие, с притоком озона из стратосферы, июльский – с преобладанием сухой, безоблачной и жаркой погоды, способствующей образованию озона в тропосфере.

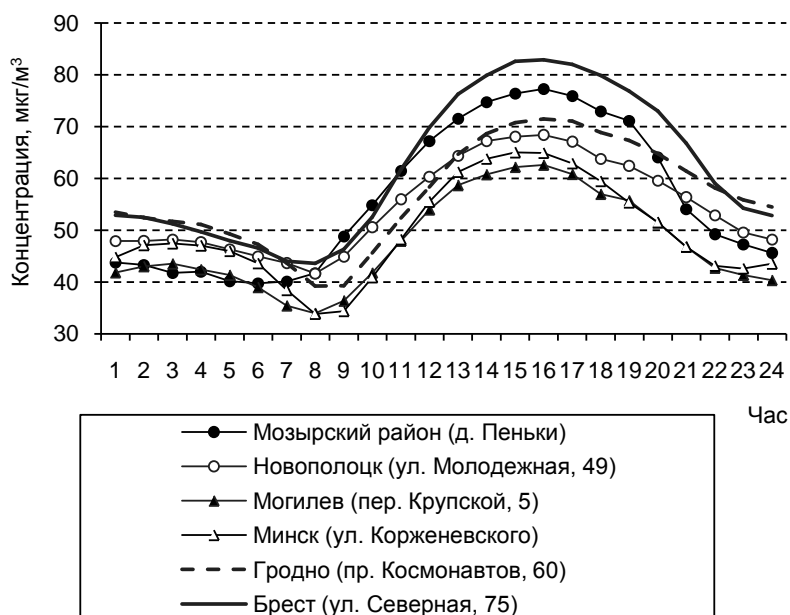


Рис. 3.12. Суточный ход концентрации приземного озона в городах Беларуси в 2012 г.

Приземный озон представляет собой вторичное загрязняющее вещество, образующееся в результате фотохимических реакций, происходящих в атмосфере под воздействием интенсивной солнечной радиации. В этом процессе участвуют оксиды азота, оксид углерода, летучие органические соединения и другие вещества. Сходным приземному озону по процессу образования является формальдегид. Увеличение концентраций приземного озона и формальдегида наблюдается с ростом температуры воздуха (рис. 3.13).

Летучие органические соединения (ЛОС). В 2012 г. содержание в воздухе ЛОС (в том числе бензола) измеряли во всех областных центрах, Полоцке, Новополоцке, Мозыре, Солигорске и в районе Мозырского промышленного узла. По данным непрерывных измерений, содержание в воздухе бензола, ксилола и толуола было по-прежнему существенно ниже установленных нормативов. Превышений максимально разовых ПДК не зарегистрировано.

Тяжелые металлы. Содержание в воздухе соединений тяжелых металлов определялось на 50% стационарных станций. Среднегодовые концентрации свинца в воздухе в Жлобине и Мин-

ске находились в пределах 0,2–0,3 ПДК, а в остальных городах были ниже 0,2 ПДК. Превышений установленного норматива не зафиксировано. Максимальные среднемесячные концентрации свинца в воздухе в Гомеле и Речице составили 0,7 ПДК, в Минске (районы улиц Судмалиса и Бобруйская) и Жлобине (микрорайон № 3) – были почти на уровне ПДК. Как и в предыдущие годы, содержание в воздухе кадмия было существенно ниже ПДК.

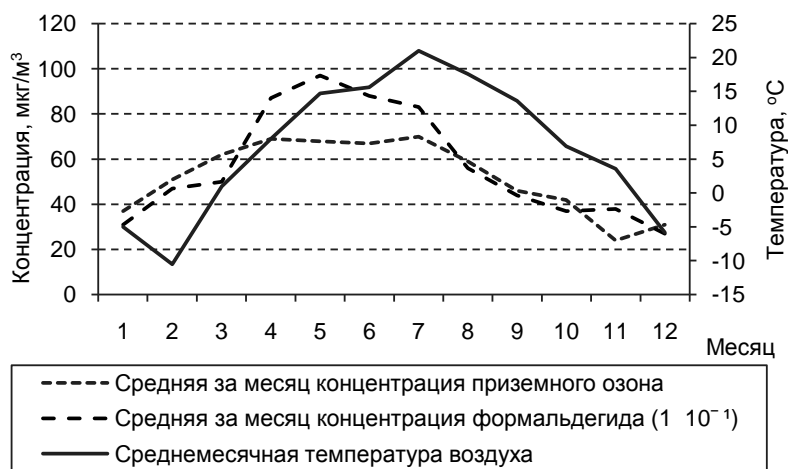


Рис. 3.13. Внутригодовая динамика среднемесячной температуры воздуха и среднемесячных концентраций приземного озона и формальдегида в г. Минске (район пр. Независимости, 110) в 2012 г.

В последние годы наблюдается тенденция к снижению уровня загрязнения воздуха свинцом в подавляющем большинстве контролируемых городов Беларуси. В Гомеле, Речице, Светлогорске, Пинске, Могилеве, Мозыре, Новогрудке, Орше, Бресте, Витебске, Гродно и Бобруйске по сравнению с 2008 г. содержание в воздухе свинца понизилось на 63–88%. Увеличение концентраций свинца в воздухе отмечено только в Минске.

Бенз(а)пирен. Содержание в воздухе бенз(а)пирена определяли только во время отопительного сезона. По результатам измерений, существенное увеличение уровня загрязнения воздуха бенз(а)пиреном зарегистрировано в аномально холодном феврале. Среднемесячные концентрации в Гродно и Жлобине в этот период достигали уровня ПДК, в Бресте – 1,1 ПДК, в Гомеле – 1,3 ПДК, в Полоцке – 2,3 ПДК. Основной причиной увеличения со-

держания в воздухе бенз(а)пирена, по всей вероятности, явилось использование предприятиями теплоэнергетики мазута в качестве резервного топлива. В другие месяцы отопительного сезона средние концентрации бенз(а)пирена были значительно ниже.

Таким образом, результаты стационарных наблюдений на сети мониторинга атмосферного воздуха в 2012 г. позволяют сделать вывод, что общая картина состояния атмосферного воздуха промышленных центров Беларуси по-прежнему достаточно благополучна. И хотя проблемы загрязнения воздуха в отдельных районах некоторых промышленных центров существуют, они не являются столь масштабными, какими были в предыдущее десятилетие.

Качество воздуха на станции фоновое мониторинга (СФМ) Березинский заповедник

Мониторинг атмосферного воздуха на станции «Березинский заповедник» организован с целью получения информации о региональном фоновом состоянии атмосферного воздуха.

По данным непрерывных наблюдений, в 2012 г. содержание в воздухе большинства измеряемых веществ несколько повысилось. Сезонные изменения концентраций некоторых загрязняющих веществ имели ярко выраженный характер. Неблагоприятное влияние метеоусловий проявилось в феврале, что было связано с пониженным температурным режимом, в мае – с дефицитом атмосферных осадков, в декабре – с преобладанием неблагоприятных направлений ветра, обуславливающих перенос загрязняющих веществ от крупного источника выбросов – Новолукомльской ГРЭС. В остальное время года основная роль в формировании уровня загрязнения воздуха принадлежала глобальному переносу.

Диоксид серы. Среднегодовая концентрация диоксида серы в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. составила $0,27 \text{ мкг/м}^3$. Значения выше этого уровня зафиксированы в 56% измерений, причем подавляющее большинство из них – в отопительный сезон. Повышенное содержание в воздухе диоксида серы отмечено в первой и второй декадах февраля, которые характеризовались аномально холодной погодой (минимальная температура достигала -33°C). Рост концентраций зафиксирован также в конце декабря и, по всей вероятности, был связан с региональным переносом загрязняющих веществ. Максимальная из среднесуточных концентраций диоксида серы ($6,69 \text{ мкг/м}^3$) зафиксирована 5 февраля.

Сезонные изменения содержания в воздухе диоксида серы имели ярко выраженный характер: зимний уровень загрязнения

был в 4 раза выше летнего (рис. 3.14). Зимний максимум концентраций однозначно связан с ростом потребления серосодержащих видов топлива не только внутри страны, но и в дальнем зарубежье (трансграничный перенос). В июне–августе – в период с минимальным антропогенным воздействием – содержание диоксида серы в воздухе составляло $0,2 \text{ мкг/м}^3$. Пониженный уровень загрязнения воздуха диоксидом серы сохранялся и в сентябре–октябре.

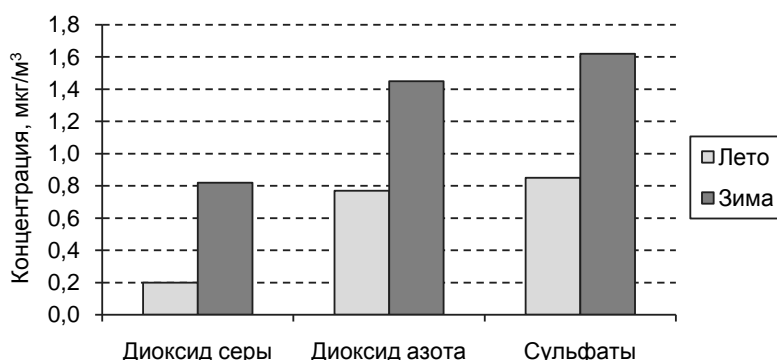


Рис. 3.14. Сезонные изменения концентраций загрязняющих веществ в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г.

За последние 10 лет концентрация диоксида серы в воздухе в Березинском заповеднике понизилась на 36% и находится на стабильно низком уровне (рис. 3.15).

Диоксид азота. Среднегодовая концентрация диоксида азота в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. составила $0,90 \text{ мкг/м}^3$. По сравнению с предыдущим годом содержание в воздухе NO_2 несколько повысилось, однако было заметно ниже, чем в период 2004–2010 гг. (см. рис. 3.15).

Сезонные изменения содержания в воздухе диоксида азота менее контрастны, чем диоксида серы. Вместе с тем, в 2012 г. рост его концентраций также отмечен в феврале и в конце декабря. В остальное время года среднемесячные концентрации варьировали в диапазоне от $0,68$ до $0,97 \text{ мкг/м}^3$. Максимальная из среднесуточных концентраций ($7,17 \text{ мкг/м}^3$) зафиксирована 2 февраля. Минимальный уровень загрязнения воздуха диоксидом азота отмечен в октябре, который характеризовался низкой повторяемостью метеорологических условий, неблагоприятных для рассеивания примесей.

Сульфаты. Среднегодовая концентрация сульфатов в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. сохранялась на уровне

предыдущего года ($1,2 \text{ мкг/м}^3$). В целом, относительно повышенные концентрации сульфатов были характерны для холодного периода года. Максимальная из среднесуточных концентраций ($6,3 \text{ мкг/м}^3$) зафиксирована в середине февраля. Минимальное содержание сульфатов в воздухе отмечено в период май–июль: среднемесячные концентрации варьировали в диапазоне $0,7\text{--}0,9 \text{ мкг/м}^3$.

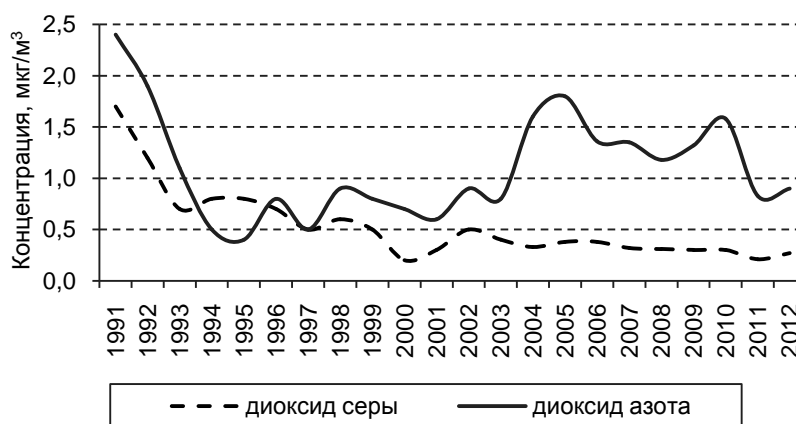


Рис. 3.15. Изменение средних концентраций диоксида серы и диоксида азота в воздухе в Березинском заповеднике в 1991–2012 гг.

Значительные межгодовые колебания средней концентрации сульфатов в воздухе не позволяют однозначно охарактеризовать тренды ее изменения, хотя можно проследить стабилизацию и снижение содержания сульфатов, начиная с 2004 г.

Суммарные твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль). Среднегодовая концентрация суммарных твердых частиц в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. составила 10 мкг/м^3 . Как и в предыдущие годы, выделяется заметное увеличение содержания суммарных твердых частиц в воздухе в апреле–мае, по составу преимущественно терригенного происхождения, что очевидно связано с проведением весенних сельскохозяйственных работ в регионе. Кроме того, в конце апреля–начале мая в составе суммарных твердых частиц резко возрастает массовая доля пыли цветущих растений. Максимальная из среднесуточных концентраций суммарных твердых частиц (103 мкг/м^3) отмечена 27 апреля.

Фоновый уровень концентрации суммарных твердых частиц в приземном слое атмосферы региона обусловлен в основном трансграничным переносом. Незначительное повышение содержания суммарных твердых частиц в теплый период определяется местными природными и антропогенными факторами.

Твердые частицы фракции размером до 10 микрон (ТЧ10). По данным непрерывных измерений, среднегодовая концентрация ТЧ10 в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. составила $8,2 \text{ мкг/м}^3$. Концентрации ниже этого уровня отмечены в 44% дней. Количество дней со среднесуточными концентрациями выше 25 мкг/м^3 (0,5 ПДК) составило 4,2%. Во внутригодовой динамике содержания ТЧ10 рост их концентраций (как и диоксида серы и диоксида азота) зафиксирован в первой половине февраля: в отдельные дни среднесуточные концентрации достигали 0,9 ПДК. Увеличение концентраций ТЧ10 в мае и июле было связано с дефицитом атмосферных осадков. Максимальная из среднесуточных концентраций ТЧ10, отмеченная в конце второй декады марта, составила 48 мкг/м^3 и была почти на уровне ПДК.

Тяжелые металлы. Среднегодовые концентрации свинца и кадмия в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. сохранялись на уровне предыдущего года и составили соответственно 1,95 и $0,10 \text{ нг/м}^3$. Сезонные изменения содержания в воздухе тяжелых металлов не имели ярко выраженного характера. В 2012 г. максимальные из среднемесячных концентраций кадмия отмечены в марте, свинца – в декабре. Максимальные из среднесуточных концентраций кадмия ($1,00 \text{ нг/м}^3$) и свинца ($10,80 \text{ нг/м}^3$) зафиксированы во второй половине июля.

По сравнению с 2005 г. среднегодовые концентрации свинца понизились на 55%, кадмия – на 64%.

Летучие органические соединения. Среднегодовые концентрации бензола и толуола в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. составили $0,1 \text{ мкг/м}^3$. Содержание в воздухе ксилола было существенно ниже. Кратковременные увеличения (до $0,2 \text{ мкг/м}^3$) концентраций бензола, ксилола и толуола зарегистрированы только в единичных измерениях.

Приземный озон. Концентрации приземного озона в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. измеряли только в ноябре–декабре. Среднемесячные концентрации в этот период находились в диапазоне $40\text{--}47 \text{ мкг/м}^3$. Максимальная из среднесуточных концентраций (0,8 ПДК) отмечена 29 декабря.

Диоксид углерода. Среднегодовая концентрация диоксида углерода в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г. составила

807 мг/м^3 и была выше, чем в 2010–2011 гг. В течение года среднесуточные концентрации варьировали в довольно широком диапазоне: от 656 до 934 мг/м^3 . В отдельные дни мая и июля концентрации диоксида углерода в ночные часы повышались до 1092–1223 мг/м^3 .

Амплитуда значений суточного хода концентраций диоксида углерода в летний период была по-прежнему существенно выше, чем в зимний (рис. 3.16).

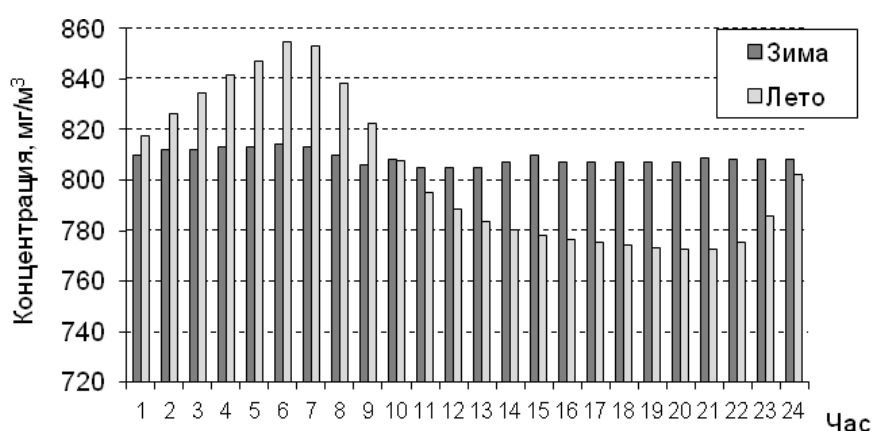


Рис. 3.16. Суточный ход концентрации диоксида углерода в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г.

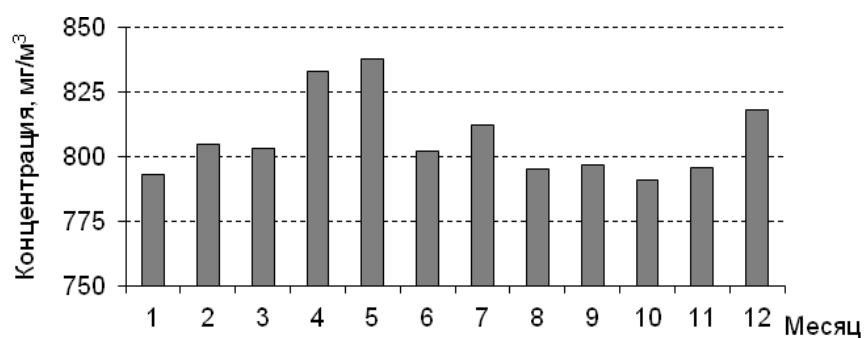


Рис. 3.17. Среднемесячные концентрации диоксида углерода в воздухе в Березинском заповеднике в 2012 г.

Сезонные изменения содержания диоксида углерода в воздухе в Березинском заповеднике были незначительны: отклонения среднемесячных концентраций от среднегодовой не превышали $\pm 4\%$ (рис. 3.17).

По данным непрерывных измерений, среднегодовые концентрации диоксида углерода в воздухе в Березинском заповеднике варьируют в диапазоне 789–807 мг/м³ и согласуются с данными зарубежных станций фоновоего мониторинга.

3.3. Химический состав атмосферных осадков

Мониторинг атмосферных осадков проводили в 19 пунктах. В пробах осадков, отобранных в течение месяца, определяли кислотность, содержание компонентов основного солевого состава и удельную электропроводность.

В 2012 г. в Беларуси выпало 765 мм осадков или 117% годовой климатической нормы. В течение года осадки выпадали неравномерно. Сухими были май, июль и сентябрь. В марте и ноябре количество осадков было близким к климатической норме, остальные месяцы года были влажными. Наибольшая аномалия по количеству осадков зарегистрирована в апреле (166% от климатической нормы). Наиболее значительный недобор осадков отмечен в июле (63% от климатической нормы).

Общая минерализация. В 2012 г. величина общей минерализации атмосферных осадков (сумма ионов) варьировала в диапазоне от 4,61 (Мозырь) до 31,91 мг/дм³ (Барановичи). Осадки с малой минерализацией (не более 15 мг/дм³) отмечены в 10 пунктах, с повышенной (более 30 мг/дм³) – только в Барановичах (рис. 3.18, табл. 3.11).

По сравнению с предыдущим годом в подавляющем (15) большинстве пунктов отмечено снижение общей минерализации атмосферных осадков: на 10–20% в Барановичах и Жлобине, на 21–30% в Березино, Гродно, Лиде, Мозыре и Гомеле, на 31–40% в Борисове, Минске, Пинске и Нарочи, на 43–45% в Бобруйске и Бресте. В Новогрудке и Полоцке минерализация осадков существенно не изменилась. Некоторый рост (на 14%) суммы ионов зафиксирован в Пружанах. Вместе с тем, в Орше и Могилеве общая минерализация атмосферных осадков повысилась в 1,5–2,0 раза.

В половине пунктов мониторинга максимальные значения общей минерализации атмосферных осадков отмечены в марте–апреле, в Березино, Борисове и на Нарочи – в мае, в Новогрудке –

в сентябре, что было связано с дефицитом атмосферных осадков. В Гродно и Бобруйске повышенная минерализация зафиксирована в июле. Абсолютные максимальные значения минерализации в Гродно и Пружанах достигали 44,16–49,53 мг/дм³, в Могилеве – 62,25 мг/дм³, в Барановичах – 80,21 мг/дм³, однако были в 1,5 раза ниже, чем в предыдущем году.

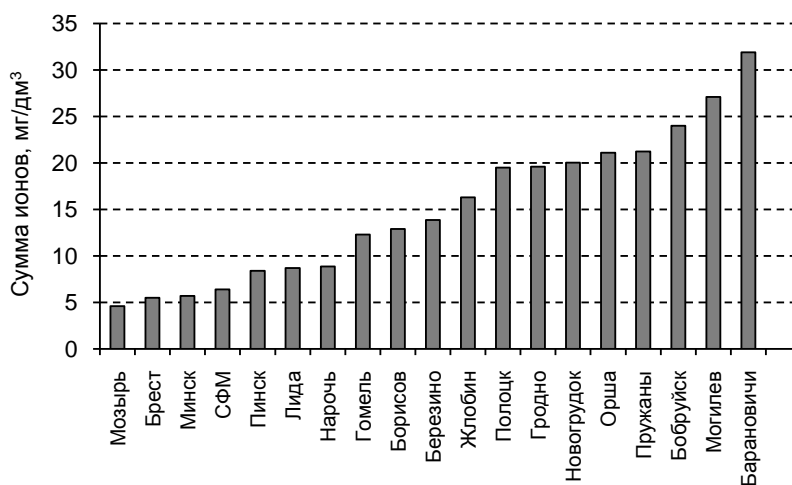


Рис. 3.18. Общая минерализация атмосферных осадков в городах Беларуси в 2012 г.

В большинстве пунктов мониторинга существенное снижение суммы ионов отмечено в июне, который характеризовался избыточным количеством атмосферных осадков (выпало свыше 100 мм), в некоторых пунктах – в дождливом августе, октябре и ноябре. Абсолютные минимальные значения минерализации (2,14–2,99 мг/дм³) зарегистрированы в Минске, Мозыре и Пинске. В 2011 г. они были в 1,5 раза выше. Годовой ход минерализации в большинстве пунктов по-прежнему одинаков (рис. 3.19).

В Березинском заповеднике средняя за год общая минерализация атмосферных осадков составила 6,39 мг/дм³ и была примерно на 20% ниже, чем в предыдущие годы. Увеличение суммы ионов в 2 раза (до 11,95–15,33 мг/дм³) зарегистрировано в марте и мае. Минимальные значения минерализации (3,49–4,01 мг/дм³) отмечены в августе и октябре–ноябре. В остальное время содержание ионов варьировало в очень узком диапазоне – от 5,73 до 7,73 мг/дм³.

Таблица 3.11

Химический состав атмосферных осадков на территории Беларуси в 2012 г.

Город	Количество осадков, мм	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	Удельная электропроводность, мкСм/см	Сумма ионов, мг/дм ³
		мг/дм ³											
Барановичи	748,0	5,00	2,78	2,77	13,20	1,77	2,13	1,39	2,45	0,41	6,11	50,12	31,91
Березино	840,0	2,32	1,21	3,30	3,19	0,32	1,05	0,99	1,19	0,28	5,77	23,23	13,86
Березинский заповедник	686,9	0,93	0,46	1,50	1,97	0,40	0,24	0,17	0,60	0,12	5,65	10,82	6,39
Бобруйск	776,2	3,32	2,52	1,90	9,79	0,79	0,88	0,56	3,36	0,89	6,56	38,31	24,00
Борисов	719,0	1,78	1,22	1,96	4,39	0,88	0,70	0,73	0,96	0,30	5,97	21,44	12,91
Брест	585,0	1,32	0,51	1,54	0,78	0,50	0,14	0,23	0,40	0,08	5,30	11,26	5,49
Гомель	834,4	2,39	0,73	1,67	4,46	0,50	0,52	0,38	1,41	0,24	5,45	20,00	12,29
Гродно	487,2	2,60	1,24	3,76	6,78	0,79	0,90	1,36	1,79	0,39	5,48	31,01	19,61
Жлобин	733,2	2,05	1,36	1,43	7,22	0,95	0,55	0,43	2,06	0,24	5,96	25,74	16,31
Лида	709,4	1,18	0,45	2,13	3,14	0,77	0,21	0,18	0,49	0,16	5,25	15,11	8,71
Минск	839,1	0,91	0,59	1,03	1,78	0,60	0,20	0,11	0,36	0,11	5,71	10,54	5,69
Могилев	830,4	5,50	3,09	2,04	8,75	0,64	1,71	0,71	3,69	0,97	6,49	46,00	27,09
Мозырь	889,4	1,33	0,30	1,25	0,87	0,50	0,08	0,06	0,16	0,06	5,14	9,75	4,61
Нарочь	771,5	1,18	0,61	3,36	1,56	0,36	0,48	0,28	0,82	0,19	5,36	15,15	8,85
Новогрудок	817,0	4,14	0,99	4,44	5,68	1,67	0,62	0,57	1,60	0,34	5,14	33,14	20,04
Орша	800,1	3,12	1,93	1,34	9,15	0,98	1,17	0,51	2,23	0,68	6,50	32,98	21,09
Пинск	693,7	1,71	0,43	1,65	2,39	0,68	0,33	0,24	0,85	0,11	5,84	14,09	8,40
Полоцк	783,9	3,34	1,80	1,26	7,87	0,49	1,10	0,59	2,48	0,55	6,52	30,90	19,49
Пружаны	595,5	3,60	1,16	2,15	9,02	1,61	0,76	0,93	1,79	0,21	5,92	33,32	21,22

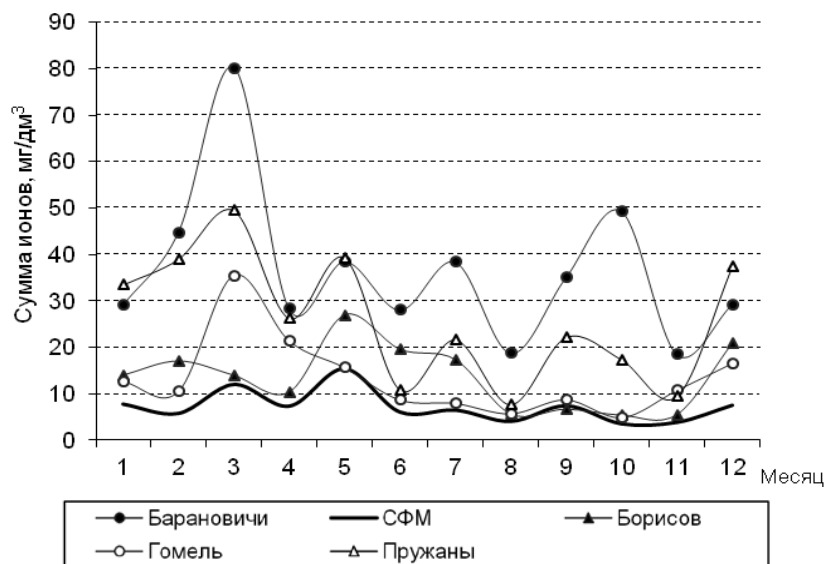


Рис. 3.19. Внутригодовая динамика минерализации атмосферных осадков на метеостанциях Барановичи, Борисов, Гомель, Пружаны и в Березинском заповеднике (СФМ)

Основные компоненты. В 2012 г. качественный состав атмосферных осадков, как и в предыдущие годы, характеризовался существенным разнообразием (см. табл. 3.11 и 3.12). При анализе химического состава атмосферных осадков интерес представляет прежде всего соотношение ионов в них, так как именно оно является отражением характера антропогенной нагрузки на окружающую среду.

В 2012 г. в большинстве пунктов мониторинга в анионном составе атмосферных осадков преобладали гидрокарбонаты. При этом в Барановичах, Бобруйске, Борисове, Гродно, Жлобине, Минске и Орше по содержанию анионов осадки относились к гидрокарбонатному классу – содержание иона HCO_3^- составляло в них 36–53 %-экв, а содержание других анионов было менее 25 %-экв.

В Гомеле, Могилеве, Пинске, Полоцке и Пружанах кроме гидрокарбонатов (34–51 %-экв) в составе осадков было также велико содержание сульфатов (26–31 %-экв), осадки относились к сульфатно-гидрокарбонатному классу. В Лиде атмосферные осадки содержали много нитратов – 28 %-экв при 42 %-экв гидрокарбонатов (нитратно-гидрокарбонатный класс), а в Новогрудке – нитратов (26 %-экв) и сульфатов (31 %-экв) при 33 %-экв гидрокарбонатов (нитратно-сульфатно-гидрокарбонатный класс).

Таблица 3.12

Ионный состав и тип воды атмосферных осадков на территории Беларуси в 2012 г.

Наименование пункта	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Тип воды атмосферных осадков*
	% - экв									
Барановичи	23	18	10	49	26	24	9	32	9	Гидрокарбонатный аммонийно-кальциевый
Березино	26	18	29	28	10	27	15	35	13	Сульфатно-гидрокарбонатно-нитратный натриево-кальциевый
Березинский заповедник	22	15	28	36	29	14	6	39	13	Нитратно-гидрокарбонатный аммонийно-кальциевый
Бобруйск	21	21	9	48	13	11	4	50	22	Гидрокарбонатный кальциевый
Борисов	21	20	18	41	29	18	11	28	14	Гидрокарбонатный кальциево-аммонийный
Брест	34	18	32	16	42	9	9	30	10	Нитратно-сульфатный кальциево-аммонийный
Гомель	29	12	16	43	18	15	6	47	13	Сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый
Гродно	21	13	24	42	18	16	15	37	13	Гидрокарбонатный кальциевый
Жлобин	19	17	11	53	25	11	5	49	9	Гидрокарбонатный аммонийно-кальциевый
Лида	20	10	28	42	45	10	5	26	14	Нитратно-гидрокарбонатный кальциево-аммонийный
Минск	23	20	21	36	46	12	4	25	13	Гидрокарбонатный кальциево-аммонийный
Могилев	30	23	9	38	9	19	5	47	20	Сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый
Мозырь	39	12	29	20	61	8	3	18	11	Нитратно-сульфатный аммонийный
Нарочь	20	14	45	21	19	20	7	39	15	Нитратный кальциевый
Новогрудок	31	10	26	33	38	11	6	33	12	Нитратно-сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-аммонийный
Орша	22	19	8	52	19	18	5	39	20	Гидрокарбонатный кальциевый
Пинск	31	11	24	34	34	13	6	39	8	Сульфатно-гидрокарбонатный аммонийно-кальциевый
Полоцк	26	19	8	48	10	18	6	48	17	Сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый
Пружаны	26	11	12	51	35	13	9	35	7	Сульфатно-гидрокарбонатный аммонийно-кальциевый

*Согласно классификации О.А. Алекина.

В двух городах – Бресте и Мозыре – как и в предыдущем году, в составе атмосферных осадков преобладали сульфаты (соответственно 34 и 39 %-экв). При этом вторым по значимости анионом были нитраты (соответственно 32 и 29 %-экв), а содержание гидрокарбонатов было менее 25 %-экв и не оказывало влияние на класс воды атмосферных осадков (нитратно-сульфатный).

Существенный рост содержания в атмосферных осадках сульфатов отмечался в отдельные месяцы отопительного сезона: в Барановичах, Полоцке и Пружанах – концентрации SO_4^{2-} достигали 10,11–17,00 мг/дм³. Увеличение концентраций сульфатов до 18,20–19,40 мг/дм³ зафиксированы также весной в Могилеве.

Нитраты преобладали в ионном составе атмосферных осадков в Березино (29 %-экв) и Нарочи (45 %-экв). При этом в осадках, выпадавших на Нарочи, содержание других анионов было менее 25 %-экв и класс воды определялся как нитратный. В Березино в атмосферных осадках было также велико содержание сульфатов (26 %-экв) и гидрокарбонатов (28 %-экв) и класс воды определялся как сульфатно-гидрокарбонатно-нитратный.

Содержание хлоридов в атмосферных осадках в 2012 г. во всех пунктах наблюдений было менее 25 %-экв. Максимальные значения (20–23 %-экв) были характерны для Бобруйска, Борисова, Минска и Могилева.

Среди катионов в атмосферных осадках во всех пунктах наблюдений в 2012 г. традиционно преобладали ионы аммония и кальция. Содержание кальция ниже 25 %-экв отмечено только в атмосферных осадках в Мозыре (18 %-экв), а иона аммония – в Березино, Бобруйске, Гомеле, Гродно, Могилеве, Нарочи, Орше и Полоцке (9–19 %-экв). В остальных городах содержание иона аммония в осадках изменялось от 25 до 61 %-экв, а кальция – от 25 до 50 %-экв. По содержанию катионов класс воды атмосферных осадков в большинстве пунктов мониторинга определялся как аммонийно-кальциевый, кальциево-аммонийный либо кальциевый. Исключение составили Мозырь – аммонийный класс (61 %-экв ионов аммония) и Березино, где было велико содержание натрия (27 %-экв) и класс воды определялся как натриево-кальциевый.

Содержание калия и магния в атмосферных осадках во всех городах в 2012 г. не превышало 25 %-экв и изменялось для калия от 3 (Мозырь) до 15 %-экв (Березино, Гродно), для магния – от 7 (Пружаны) до 22 %-экв (Бобруйск).

В Березинском биосферном заповеднике доминирующее положение среди анионов занимали гидрокарбонаты и нитраты (соответственно 36 и 28 %-экв). Велико было также содержание

сульфатов (22 %-экв). Максимальное содержание гидрокарбонатов ($5,68 \text{ мг/дм}^3$) отмечено в мае, который характеризовался дефицитом атмосферных осадков (выпало всего 23% от нормы). Среди катионов преобладали кальций (39 %-экв) и ион аммония (29 %-экв). Осадки относились к нитратно-гидрокарбонатному аммонийно-кальциевому типу.

Кислотность осадков. Кислотность осадков обусловлена распределением вклада основных кислотообразующих ионов (SO_4^{2-} и NO_3^-) и ионов HCO_3^- .

Среднегодовые величины pH атмосферных осадков в Новогрудке и Мозыре в 2012 г. составили 5,1. В Лиде, Бресте и на Нарочи среднегодовые величины pH находились в пределах 5,3–5,4, в Гомеле, Гродно, Минске и Березинском заповеднике – 5,5–5,7, в Пинске, Березино и Пружанах – 5,8–5,9, в Жлобине, Борисове и Барановичах – 6,0–6,1, в Могилеве, Полоцке и Бобруйске – 6,5–6,6.

Выпадения кислых осадков ($\text{pH} < 5,0$) зафиксированы в Бресте, Жлобине, Минске и Мозыре, подавляющее большинство из них – в отопительный сезон. В 2012 г. минимальное значение pH (3,7) зарегистрировано 23–24 января в Минске.

Как и в предыдущие годы, для большинства пунктов мониторинга характерны слабощелочные атмосферные осадки. В Барановичах, Бобруйске, Гомеле, Лиде, Могилеве, Орше, Пинске и Полоцке их повторяемость в 2012 г. составила более 50%. В течение года в Бобруйске, Гомеле, Могилеве, Пинске и Полоцке эпизодически отмечали выпадения щелочных осадков ($\text{pH} > 7,0$). Чаще всего щелочные осадки наблюдались в Бобруйске и Полоцке, где их повторяемость составила 43–45%. Максимальное значение pH (7,8) зафиксировано в Могилеве.

В Березинском заповеднике выпадения слабощелочных осадков отмечали почти ежемесячно. Однако, в январе и ноябре–декабре осадки были преимущественно слабокислыми и кислыми. По сравнению с предыдущим годом повторяемость выпадений осадков с $\text{pH} < 5,0$ увеличилась. Минимальное значение pH (4,1) зафиксировано 22 января.

Таким образом, результаты исследований химического состава атмосферных осадков в 2012 г. позволили сделать следующие выводы:

– в Мозыре, Бресте, Минске, Березинском заповеднике, Пинске, Лиде, Гомеле, Борисове, Березино и на Нарочи выпадали осадки с малой минерализацией (не более $15,00 \text{ мг/дм}^3$). Повышенная минерализация осадков ($31,91 \text{ мг/дм}^3$) отмечена только в

Барановичах. В остальных пунктах мониторинга среднегодовая минерализация осадков составляла от 16,31 до 27,09 мг/дм³;

– в подавляющем большинстве пунктов мониторинга общая минерализация атмосферных осадков понизилась на 20–45%. Увеличение минерализации (в 1,5–2,0 раза) отмечено только в Орше и Могилеве;

– в осадках, выпавших в Барановичах, Бобруйске, Борисове, Гродно, Жлобине, Минске и Орше, доминировали гидрокарбонаты; в Гомеле, Могилеве, Пинске, Полоцке и Пружанх – гидрокарбонаты и сульфаты; в Березинском заповеднике и Лиде – гидрокарбонаты и нитраты; в Бресте и Мозыре – сульфаты и нитраты; в Березино и Новогрудке – нитраты, сульфаты и гидрокарбонаты; в Нарочи – нитраты;

– в большинстве пунктов мониторинга выпадения кислых осадков отмечены в отопительный сезон. Наибольшая повторяемость кислых осадков характерна для Жлобина, Бреста, Мозыря и Минска, щелочных осадков – для Бобруйска и Полоцка.

Химический состав атмосферных осадков на станциях Высокое, Браслав и Мстиславль

В 2012 г. в рамках «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязняющих воздух веществ на большие расстояния в Европе» (Программы ЕМЕП) на станции Высокое (западная граница Беларуси) продолжались работы по мониторингу атмосферных осадков. Дополнительно в рамках данной программы проводились наблюдения за суточными выпадениями атмосферных осадков на станциях Мстиславль (восточная граница страны) и Браслав (северная граница). Характеристика основных компонентов химического состава атмосферных осадков на станциях Высокое, Браслав и Мстиславль представлена в таблице 3.13.

На станции Высокое значения pH атмосферных осадков в 2012 г. варьировали от 5,3 до 7,0 при среднегодовом 6,3. Минимальное значение pH отмечено в середине января.

На станции Мстиславль диапазон значений pH был более широкий – от 4,3 до 7,7 при среднегодовом 5,9. Подавляющее большинство выпадений кислых осадков (pH<5,0) зафиксировано в январе и первой половине февраля. В теплый период года преобладали слабощелочные осадки. Единичные выпадения осадков с pH>7,0 зарегистрированы в июне–июле и сентябре–октябре.

Таблица 3.13

**Содержание соединений серы и азота в атмосферных осадках
на станциях Высокое, Браслав и Мстиславль в 2012 г.***

Месяц	Высокое					Браслав					Мстиславль				
	Количе- ство осадков, мм	pH	SO ²⁻ мгS/дм ³	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Количе- ство осадков, мм	pH	SO ²⁻ мгS/дм ³	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Количе- ство осадков, мм	pH	SO ²⁻ мгS/дм ³	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
				мгN/дм ³					мгN/дм ³					мгN/дм ³	
Январь	56,8	5,64	0,95	0,53	0,51	48,6	—	3,32	0,28	—	69,7	4,93	1,54	0,20	—
Февраль	23,5	5,95	0,83	0,76	0,79	32,5	—	1,02	0,25	—	48,3	5,02	2,53	0,29	—
Март	19,0	6,22	0,93	0,38	1,07	38,5	—	0,97	0,22	—	61,0	5,69	1,35	0,41	—
Апрель	33,2	6,08	1,04	0,59	1,46	47,4	—	0,86	0,21	0,28	99,4	5,63	2,17	0,29	—
Май	35,3	6,59	0,49	0,34	0,42	45,0	—	1,17	0,39	0,31	57,9	6,26	3,02	0,38	0,29
Июнь	122,3	6,73	0,58	0,26	0,37	113,6	—	0,54	0,15	0,56	157,1	6,20	1,10	0,17	0,70
Июль	64,0	6,00	1,00	0,71	0,99	47,7	—	0,96	0,17	0,38	24,2	6,17	1,07	0,18	0,39
Август	72,4	6,16	0,80	0,26	0,35	75,7	5,07	1,23	0,19	0,50	92,2	5,96	1,49	0,23	0,48
Сентябрь	14,4	6,00	—	—	—	48,6	5,72	0,84	0,27	0,39	50,2	7,15	1,66	0,35	0,37
Октябрь	68,4	6,10	0,32	0,16	0,20	70,3	5,59	0,51	0,21	0,19	93,5	6,05	1,37	0,22	0,38
Ноябрь	26,1	6,02	0,81	0,22	0,41	84,0	5,15	1,30	0,18	0,20	57,8	6,11	1,04	0,28	0,46
Декабрь	51,3	6,16	0,79	0,29	0,14	52,1	5,61	0,66	0,18	0,23	44,7	5,71	1,10	0,18	0,29
Среднее за год	586,7	6,28	0,71	0,35	0,50	704,0	—	0,97	0,20	0,37	856,0	5,92	1,57	0,26	0,45

*При оценке содержания соединений серы и азота в атмосферных осадках в рамках Программы ЕМЕП все величины концентраций даются в пересчете на серу и азот.

На станции Браслав pH атмосферных осадков измеряли в августе–декабре. Среднемесячные величины pH в этот период варьировали в диапазоне от 5,1 до 5,7. Большинство выпадений осадков с pH<5,0 отмечено в отопительный сезон. Минимальное значение pH (4,1) зафиксировано 27–28 ноября. В единичных выпадениях осадков значения pH составляли 6,8–7,1.

Анализ данных показал, что в районе станции Высокое содержание в атмосферных осадках сульфатной серы в 2012 г. сохранялось на прежнем уровне. В районах станций Браслав и Мстиславль содержание сульфатной серы повысилось. В 2012 г. отмечено снижение концентраций нитратного (окисленного) и аммонийного (восстановленного) азота: на 8–20% в районах станций Браслав и Мстиславль и на 33–40% в районе станции Высокое.

Диапазон минимальных и максимальных концентраций соединений серы и азота по-прежнему весьма значителен (табл. 3.14). По некоторым компонентам максимальные концентрации на несколько порядков выше минимальных.

Таблица 3.14

Минимальные и максимальные концентрации соединений серы и азота на трансграничных станциях Высокое, Мстиславль и Браслав в 2012 г.*

Станция	SO ₄ ²⁻ , мгS/дм ³		NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³		NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	
	min	max	min	max	min	max
Высокое	0,11	2,29	0,04	1,35	0,04	3,93
Мстиславль	0,21	11,50	0,08	0,85	0,14	1,79
Браслав	0,12	4,00	0,09	1,38	0,07	1,11

*При оценке содержания соединений серы и азота в атмосферных осадках в рамках Программы ЕМЕП все величины концентраций даются в пересчете на серу и азот.

Максимальные концентрации сульфатной серы и нитратного азота в суточных выпадениях осадков на станции Высокое зафиксированы во второй декаде февраля, аммонийного азота – 11 марта. Максимальные концентрации соединений серы и азота в районе станции Браслав отмечены в январе и июне, на станции Мстиславль – в апреле и октябре.

Динамика среднегодовых концентраций соединений серы и азота на станции Высокое неустойчива, однако, по сравнению с 2003 г. содержание в осадках сульфатной серы понизилось на 59%, нитратного азота – на 53%, аммонийного азота – на 26% (табл. 3.15).

Таблица 3.15

Динамика среднегодовых концентраций соединений серы и азота* и величины pH в атмосферных осадках на ст. Высокое в 2003–2012 гг.

Год	pH	SO ₄ ²⁻ , мгS/дм ³	NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³
2003	6,30	1,75	0,74	0,68
2004	6,63	1,79	0,40	1,01
2005	5,55	1,87	0,38	0,94
2006	6,70	0,94	0,38	0,70
2007	6,50	1,03	0,72	0,69
2008	6,75	1,53	0,50	0,94
2009	6,45	0,82	0,47	0,98
2010	–	0,72	0,43	0,75
2011	–	0,73	0,52	0,83
2012	6,28	0,71	0,35	0,50

*При оценке содержания соединений серы и азота в атмосферных осадках в рамках Программы ЕМЕП все величины концентраций даются в пересчете на серу и азот.

Состояние снежного покрова

В зимнем сезоне 2011–2012 гг. в 16 пунктах Беларуси проведена снегомерная съемка. Пробы отобраны в конце февраля – период максимального накопления влагозапаса в снеге.

Сульфаты. Пространственное распределение концентраций сульфатов в снежном покрове в 2012 г. было достаточно однородным. В подавляющем большинстве пунктов (в 13 из 16) концентрации сульфатов находились в пределах 0,4–1,8 мг/дм³, что характерно для слабого уровня загрязнения территории (табл. 3.16).

В пробах снега, отобранных в районах станций Славгород и Езерище, концентрации сульфатов были ниже инструментального предела обнаружения. Максимальная концентрация сульфатов в снеге (2,8 мг/дм³) зафиксирована в районе метеостанции Бобруйск. Следует отметить, что в предыдущий зимний сезон (2010–2011 гг.) максимальные концентрации сульфатов в снежном покрове были в несколько раз выше.

Нитраты и ион аммония. Концентрации нитратов в снежном покрове в 12 пунктах наблюдений варьировали в диапазоне 0,7–2,0 мг/дм³. Минимальное содержание нитратов (0,2–0,4 мг/дм³) отмечено в районах метеостанций Костюковичи и Гомель, максимальное (2,2 мг/дм³) – в районах метеостанций Пинск и Колодищи (Минск).

Таблица 3.16

Химический состав снежного покрова на территории Беларуси в зимний сезон 2011–2012 гг.

Город	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	N ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	Удельная электропровод- ность, мкСм/с
	мг/дм ³										
Березинский заповедник	0,47	0,59	2,00	2,44	0,07	0,55	0,22	0,79	0,27	5,93	12,02
Бобруйск	2,80	2,50	1,09	6,00	0,23	0,80	0,20	2,20	0,50	6,51	27,40
Витебск	1,60	3,00	0,89	6,40	0,19	2,40	0,30	2,20	0,50	7,16	29,50
Ганцевичи	0,44	0,59	1,44	10,16	0,15	0,48	0,22	2,76	0,37	6,60	22,90
Гомель	0,63	0,43	0,43	2,75	0,07	0,40	0,14	0,64	0,23	5,40	9,32
Горки	1,20	3,20	1,17	4,10	0,25	1,30	0,20	1,50	0,50	6,66	21,80
Езерище	0,00	1,10	0,94	7,40	0,44	1,00	0,60	1,50	0,50	6,55	19,40
Житковичи	0,82	1,38	1,19	3,19	0,48	1,52	0,34	0,56	0,18	5,77	16,24
Костюковичи	0,90	10,00	0,20	2,00	0,30	1,60	0,50	2,20	0,90	6,75	38,20
Минск	1,82	1,11	2,18	3,19	0,53	0,67	0,47	1,11	0,34	5,86	18,59
Мозырь	0,44	0,59	0,67	5,88	0,05	0,75	0,24	1,77	0,28	6,38	16,10
Нарочь	1,14	0,69	1,74	2,07	0,15	0,57	0,54	0,46	0,25	5,34	12,97
Октябрь	1,34	2,59	1,81	13,10	1,43	2,65	1,82	2,19	0,49	6,53	42,00
Пинск	1,76	0,49	2,22	6,75	0,43	1,08	0,60	2,30	0,25	6,32	24,70
Полоцк	1,40	2,10	1,35	10,60	0,39	2,00	0,60	2,20	0,90	6,84	31,80
Славгород	0,00	0,70	1,09	11,80	0,20	0,80	0,30	2,20	0,50	6,73	20,90

Для большинства пунктов наблюдений характерны концентрации ионов аммония $0,5 \text{ мг/дм}^3$ и менее. Максимальная концентрация ($1,4 \text{ мг/дм}^3$) зафиксирована в районе метеостанции Октябрь.

Кислотность. Основным экологическим последствием сульфатного и нитратного загрязнения воздуха является закисление атмосферных осадков, в том числе снежного покрова. Кислотность снежного покрова является интегральной величиной и зависит не только от концентраций кислот, но и от наличия соединений, их нейтрализующих.

По данным измерений, минимальные значения pH (5,3–5,4) отмечены в районах метеостанций Нарочь и Гомель, максимальные (7,2) – в районе Витебска. В остальных пунктах значения pH варьировали в диапазоне от 5,8 до 6,8.

Как и в предыдущие годы, связь между концентрациями сульфатов и нитратов и значениями pH неоднозначна. Прямой корреляции – увеличения кислых свойств снежного покрова с увеличением концентраций сульфатов и нитратов – не отмечено.

3.4. Трансграничный перенос и атмосферные выпадения загрязняющих веществ

Состояние воздушной среды на территории Беларуси во многом определяется поступлением загрязняющих веществ с трансграничным переносом. Величины трансграничных потоков загрязняющих веществ оцениваются Метеорологическими синтезирующими центрами (МСЦ) «Запад» (Норвегия) и «Восток» (Россия) в рамках Программы ЕМЕП. По последним расчетам МСЦ «Запад», годовой поток выпадений серы на территорию Беларуси в 2010 г. составил 113,9 тыс.т, нитратного (окисленного) азота – 69,9 и аммонийного (восстановленного) азота – 95,9 тыс.т. По сравнению с 2009 г. выпадения серы и нитратного азота увеличились соответственно на 2 и 4%, аммонийного азота – уменьшились на 3%.

Расчетные фоновые концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе на западе и юге Беларуси в 2010 г. составили $0,5\text{--}1,0 \text{ мкгS/м}^3$, на севере и востоке – $0,3\text{--}0,5 \text{ мкгS/м}^3$, максимальные расчетные концентрации были характерны для района г.Мозыря.

Расчетные фоновые концентрации диоксида азота в 2010 г. находились преимущественно в диапазоне $1,0\text{--}1,3 \text{ мкгN/м}^3$ в западной части страны и $0,8\text{--}1,1 \text{ мкгN/м}^3$ в восточной; максимальные уровни концентраций ($3,6 \text{ мкгN/м}^3$) были получены для г.Минска.

Преобладающие среднегодовые расчетные концентрации ТЧ10 от антропогенных источников варьировали по территории Беларуси от 9 до 11 мкг/м³ (среднее – 10 мкг/м³, максимальное – 13 мкг/м³).

Среднесуточные концентрации приземного озона составляли 32–34 ppb; максимальная из среднесуточных концентраций достигала 41 ppb. Величина показателя содержания приземного озона АОТ40f (суммарное аккумулированное за год содержание приземного озона выше 40 ppb) составила в среднем 18189 ppb-ч. Величина показателя содержания озона SOMO35 (сумма за год максимальных за сутки 8-часовых скользящих средних концентраций озона, превышающих 35 ppb) составила в среднем 2529 ppb-дней.

Основной пространственный тренд содержания большинства компонентов в атмосферном воздухе – возрастание с северо-северо-востока на запад–юго-запад (рис. 3.20 и 3.21).

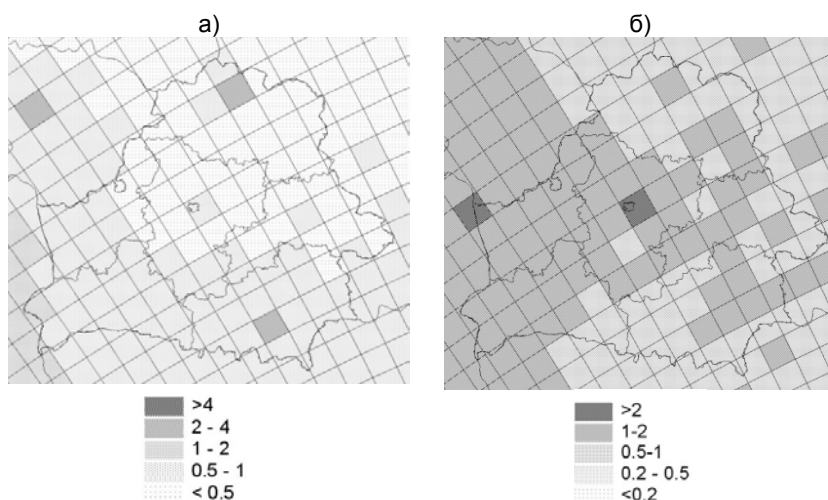


Рис. 3.20. Среднее содержание диоксида серы (а) (мкгS/м³) и диоксида азота (б) (мкгN/м³) в атмосферном воздухе на территории Беларуси в 2010 г. (по данным Программы ЕМЕП)

По оценкам МСЦ «Восток», годовой поток выпадений свинца на территорию Беларуси в 2010 г. составил 67,6 т, кадмия – 3,68 т, ртути – 0,68 т, бензо(а)пирена – 6,88 т, диоксинов/фуранов – 374,7 гЭТ. По сравнению с 2009 г., в 2010 г. выпадения свинца уменьшились на 24%, кадмия – на 11, ртути – на 5 и выпадения бензо(а)пирена – увеличились на 9%.

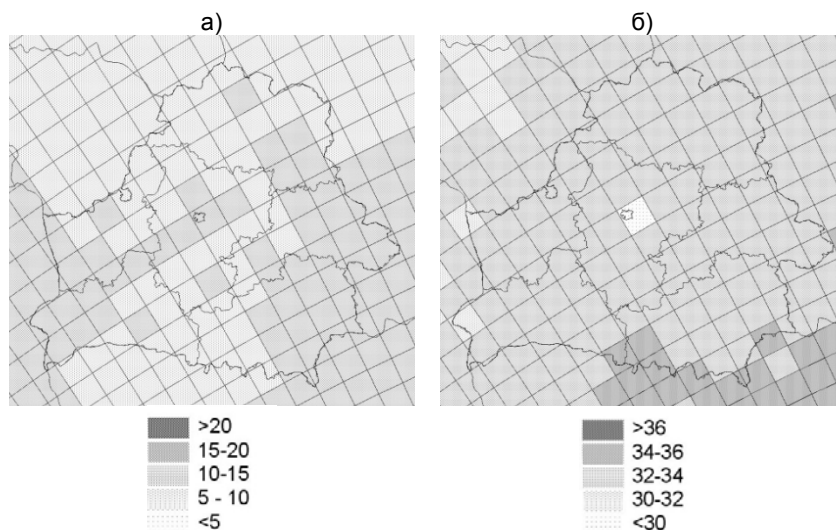


Рис. 3.21. Среднее содержание ТЧ10 (а) (мкг/м^3) и приземного озона (б) (ppb) в атмосферном воздухе на территории Беларуси в 2010 г. (по данным Программы ЕМЕП)

По оценкам метеорологических синтезирующих центров ЕМЕП, доля трансграничной серы в выпадениях на территорию Беларуси в 2010 г. составила 88%, нитратного азота – 91 и аммонийного азота – 43%. 72% свинца, 71 – кадмия, 77 – ртути, 51 – бензо(а)пирена и 72% – диоксинов/фуранов, выпадающих на территорию Беларуси, также имели внешнее происхождение.

В поступлении на территорию Беларуси серы и нитратного азота, тяжелых металлов и бензо(а)пирена основной вклад принадлежит странам-соседям (рис. 3.22):

- Польше: 17% серы, 16% нитратного азота, 10% аммонийного азота, 27% свинца, 44% кадмия, 29% ртути, 9% бензо(а)пирена, 13% диоксинов/фуранов;

- Украине: 22% серы, 13% нитратного азота, 1% аммонийного азота, 11% свинца, 3% кадмия, 15% ртути, 34% бензо(а)пирена, 36% диоксинов/фуранов;

- России: 7% серы, 16% нитратного азота, 10% аммонийного азота (от Европейской территории России), 7% кадмия, 8% ртути, 2% бензо(а)пирена, 11% диоксинов/фуранов;

- Румынии: 4% серы, 3 – нитратного азота, 3 – аммонийного азота, 1 – свинца, 1 – кадмия, 4 – ртути, 3 – бензо(а)пирена, 2% – диоксинов/фуранов;

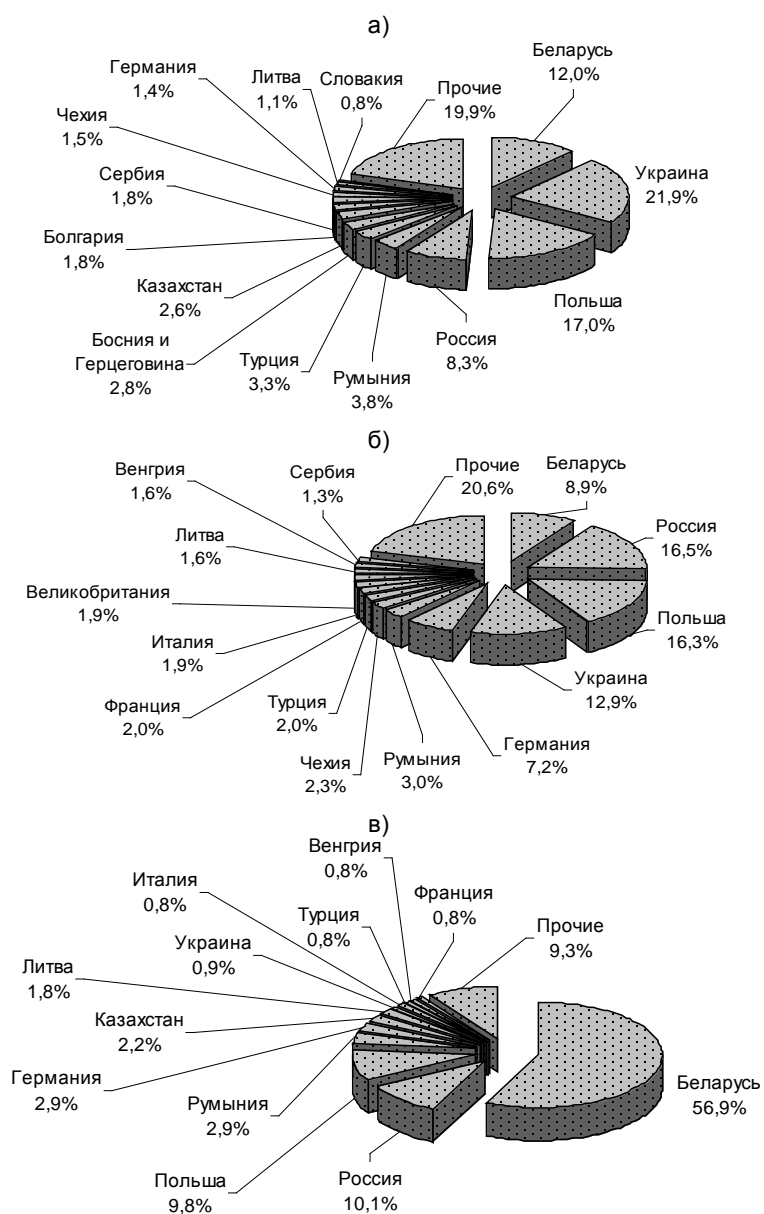


Рис. 3.22. Источники выпадения серы (а), нитратного (б) и аммонийного (в) азота на территорию Беларуси в 2010 г. (по данным Программы ЕМЕП)

– Германии: 1% серы, 7 – нитратного азота, 3 – аммонийного азота, 2 – свинца, 1 – кадмия и 3% ртути.

Аммонийный азот имеет в основном местное происхождение. Соседние страны являются также источниками выбросов оксидов азота и НМЛОС, служащих предшественниками приземного озона, внося основной вклад в АОТ40f и SOMO35 на территории Беларуси.

В свою очередь, 53% серы, 85% нитратного азота и 55% аммонийного азота от источников на территории Беларуси в 2010 г. выпало за ее пределами.

Кроме модельных расчетов переноса и осаждения загрязняющих веществ в рамках Программы ЕМЕП, информацию о выпадениях серы и азота на территории Беларуси позволяют получить данные сети мониторинга химического состава атмосферных осадков в рамках НСМОС. Интенсивность атмосферных выпадений серы и азота рассчитывалась по станциям как функция средней годовой концентрации компонента и годового количества осадков.

Интенсивность выпадений серы, рассчитанная таким образом, в 2012 г. варьировала от 212,9 (Березинский заповедник) до 1522,4 кг/км²/год (Могилев) при среднем значении 664,9 кг/км²/год (рис. 3.23).

Интенсивность выпадений нитратного азота изменялась от 141,5 (Браслав) до 819,1 кг/км²/год (Новогрудок) при среднем значении 338,0 кг/км²/год.

Интенсивность выпадений аммонийного азота составляла от 209,1 (Березино) до 1061,2 кг/км²/год (Новогрудок) при среднем уровне 444,5 кг/км²/год. В 2012 г. по сравнению с 2011 г. выпадения серы увеличились в среднем на 18%, нитратного азота – на 8%, аммонийного азота – уменьшились на 4% (рис. 3.24).

Для оценки потенциального экологического эффекта атмосферных выпадений на фоновые территории по данным СФМ Березинский заповедник рассчитаны выпадения основных закисляющих соединений (серы и азота) и физиологически активных основных катионов (кальция, магния и калия) в эквивалентной форме (рис. 3.25). Разность поступления этих групп соединений характеризует потенциал закисления окружающей среды.

Как показывает рисунок 3.25, для первой половины 1990-х годов хорошо выражен нисходящий тренд потенциала закисления, что связано, в первую очередь, с сокращением поступления основных закисляющих соединений в окружающую среду. В последующие годы (до 2009 г.) потенциал закисления не имел выраженного тренда, однако в 2010 г. наблюдается его резкое снижение

вследствие роста выпадений основных катионов при сокращении поступления закисляющих соединений. В 2010 г. потенциал закисления впервые за период наблюдения принял отрицательное значение.

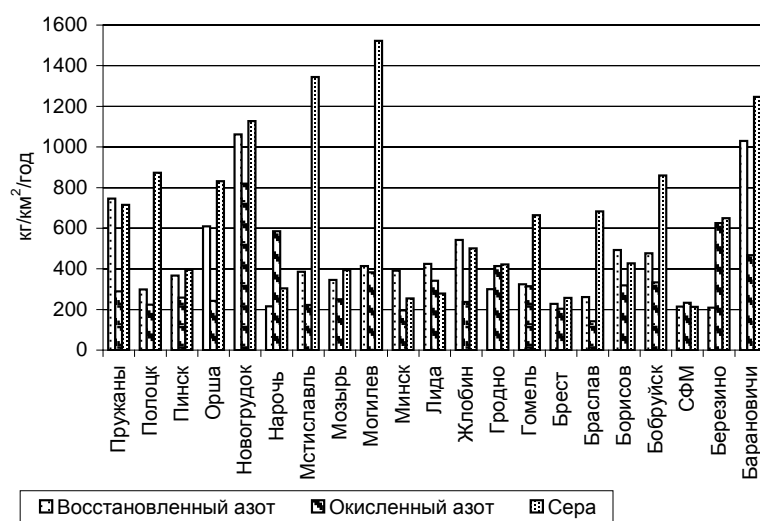


Рис. 3.23. Средняя интенсивность атмосферных выпадений соединений серы и азота на территории Беларуси в 2012 г. (по данным НСМОС)

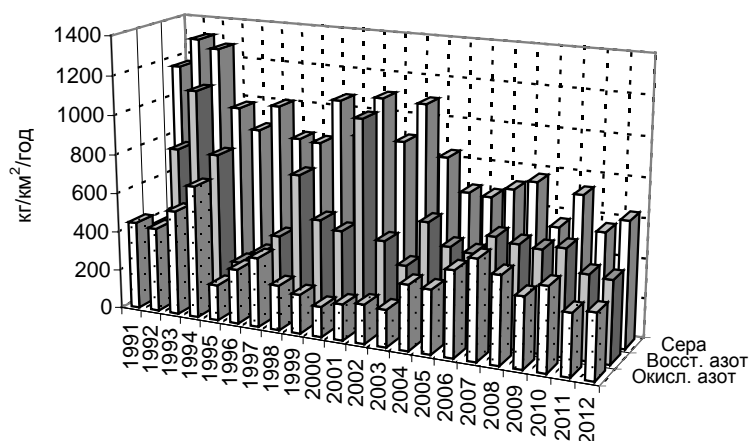


Рис. 3.24. Динамика средней интенсивности атмосферных выпадений соединений серы и азота на территории Беларуси в 1991–2013 гг.



Рис. 3.25. Динамика потенциала закисления природной среды, обусловленного атмосферными осадками, в 1981–2012 гг. (по данным СФМ Березинский заповедник)

Тенденция к снижению закисления подтверждается и увеличением в последние годы pH атмосферных осадков на СФМ Березинский заповедник. Так, среднее значение pH осадков в 2010 г. достигло 6,0. В 2011 г. потенциал закисления вновь повысился и составил 226,2 г-экв/га/год, а средний показатель pH атмосферных осадков уменьшился до 5,8. В 2012 г. потенциал закисления составил 148,4 г-экв/га/год, а средний показатель pH атмосферных осадков – 5,7.

3.5. Годовой режим атмосферного озона и уровня приземного ультрафиолетового излучения

В 2012 г. на Минской озонометрической станции Национального научно-исследовательского центра мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета (ННИЦ МО БГУ) проводились регулярные измерения общего содержания озона (ОСО) в столбе атмосферы, концентраций приземного (тропосферного) озона и уровней приземного ультрафиолетового солнечного излучения.

Общее содержание озона (ОСО)

В последние годы общее содержание озона в атмосфере рассматривается в мировом научном сообществе не только как климатический параметр, отвечающий за приземное ультрафиолетовое излучение, но и как фактор, влияющий на погодные условия в тропосфере. Наличие стратосферного озонового слоя радикальным образом влияет на температурную стратификацию атмосферы и, тем самым, оказывает существенное воздействие на динамические процессы в стратосфере и тропосфере. Поэтому, мониторингу и анализу динамики содержания озона в атмосфере в глобальных и региональных масштабах уделяется большое внимание.

Результаты мониторинга ОСО на Минской озонометрической станции и данные системы орбитального базирования OMI представлены на рисунке 3.26.

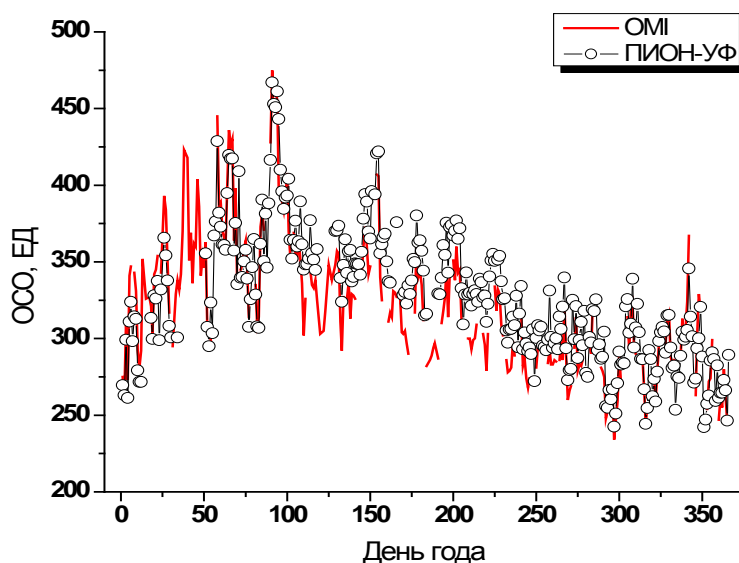


Рис. 3.26. Сопоставление результатов спутниковых (OMI) и наземных (ПИОН-УФ) измерений ОСО в атмосфере над г. Минском в 2012 г.

Согласно оценке Всемирной метеорологической организации (ВМО), снижение содержания озона в атмосфере в глобальных масштабах значительно замедлилось в середине 1990-х годов и практически остановилось после 2000 г. В настоящее время общее

содержание озона в атмосфере высоких и средних широт на 2,5–3,5% ниже уровня 1980-х годов.

В северном полушарии в отдельных регионах отмечается некоторое увеличение содержания озона на высотах 35–40 км и в нижней стратосфере (12–15 км), в других регионах данные озонозондов свидетельствуют о наличии небольшого отрицательного тренда стратосферного озона.

Отмечается, что в период, в течение которого наблюдался отрицательный тренд стратосферного озона, стратосфера стала в среднем холоднее, особенно в полярных районах обоих полушарий. Снижение температуры стратосферы может повлиять на сроки восстановления озонового слоя, так как низкие температуры в полярной стратосфере могут создавать условия для разрушения молекул озона.

Ежегодно, начиная с 1980-х годов, значительные потери озона происходят весной в Южном полушарии над Антарктидой (явление, получившее название Антарктической озоновой дыры). Причиной разрушения озона над Антарктидой считают химические реакции озона и озоноразрушающих веществ на частицах стратосферных полярных облаков, которые формируются при низких температурах в стратосфере. Разрушение озона за счет химических реакций возможно и в области Северного полюса, однако в силу циркуляционных особенностей, существующих в Северном полушарии, условия для разрушения озона по «антарктическому» сценарию не носят регулярного характера. Такие ситуации с «химической» потерей озона в Арктике возникали в марте 2000 г., марте 2007 г. и феврале–апреле 2011 г.

Для Северного полушария более характерно возникновение так называемых озоновых «мини-дыр» (отрицательных озоновых аномалий – пространственных областей с дефицитом ОСО), формирование которых обусловлено циркуляционными процессами в верхней тропосфере и стратосфере. Дефицит озона в таких областях возникает по динамическим причинам, химического разрушения озона не происходит. Озоновые «мини-дыры» особенно часто возникают в зимне-весенний период над Атлантикой, частота их появления испытывает значительные межгодовые вариации. Сформировавшиеся области вместе с воздушными массами переносятся на территорию Европы и часто проходят над территорией Беларуси.

По данным наблюдений, в 2012 г. годовой ход общего содержания озона над территорией Беларуси был близок к многолетнему среднему, в отличие от 2011 г., когда отсутствовал харак-

терный весенний максимум из-за значительных «химических» потерь озона в арктической стратосфере весной.

В 2012 г. над территорией Беларуси в течение почти всего года наблюдался небольшой дефицит озона, в то время как на других долготах в средних и высоких широтах, напротив, наблюдался избыток ОСО. Среднемесячные значения общего содержания озона над территорией Беларуси были на 2–6% ниже многолетних средних среднемесячных значений (рис. 3.27).

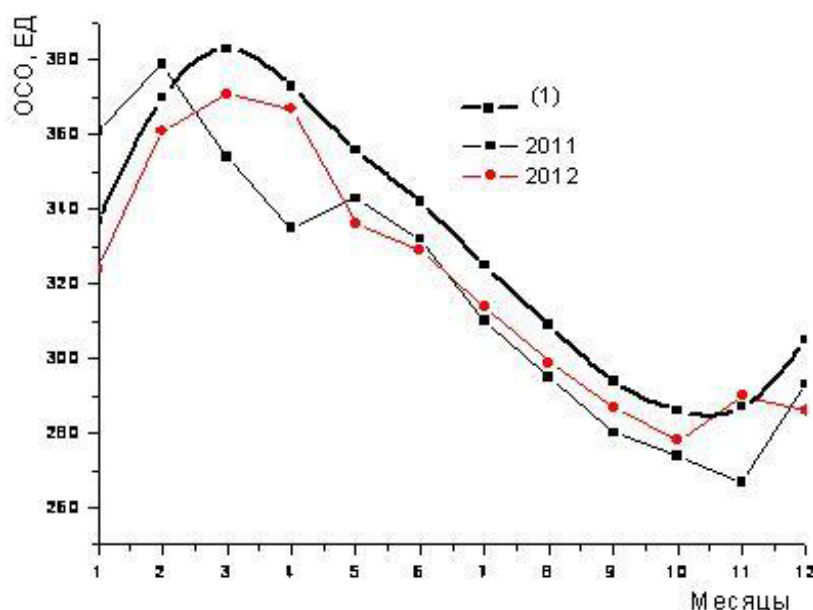


Рис. 3.27. Среднемесячные значения общего содержания озона в 2011 и 2012 г., зарегистрированные над территорией Беларуси. (1) – многолетние средние среднемесячных значений ОСО

Годовой максимум и минимум наблюдались в обычное время – соответственно в марте и в октябре. Максимальное значение ОСО составило 475 ЕД (31.03.2012, +30%), минимальное – 234 ЕД (23.10.2012, –18%). Среднегодовое значение составило 321 ЕД, что на 7 ЕД меньше средних многолетних значений.

В 2012 г. над Европой наблюдалось 17 глубоких (с дефицитом более 25%) отрицательных озоновых аномалий. Некоторые из них затронули и Беларусь. Всего над территорией Беларуси наблюдалось 7 отрицательных аномалий, вызвавших снижение

ОСО в отдельные периоды более чем на 20%. Большая часть отрицательных аномалий наблюдалась зимой и ранней весной, одна из глубоких аномалий наблюдалась в мае (рис. 3.28).

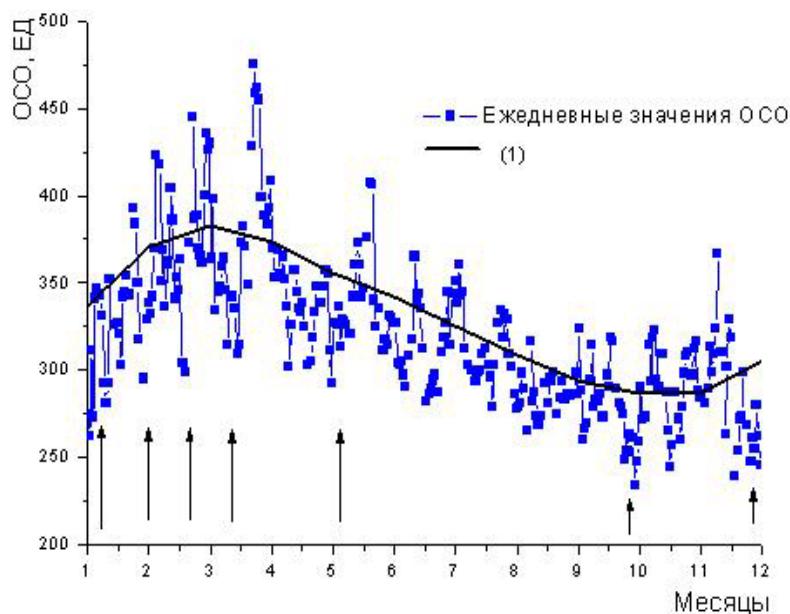


Рис. 3.28. Ежедневные (средние за день) значения ОСО для г.Минска. (1) – многолетние средние среднемесячные значения ОСО; стрелками отмечены отрицательные озоновые аномалии

Дефицит ОСО над территорией Беларуси 11–12 мая составил 20–21% по сравнению с многолетними средними значениями. Следует отметить, что отрицательным озоновым аномалиям сопутствует повышение уровня биологически активного приземного ультрафиолетового излучения, которое особенно опасно в теплое время года при малых значениях солнечного зенитного угла (SZA ~30÷40°).

Спектры и дозы биологически активного солнечного ультрафиолетового излучения

В 2012 г. измерения спектров плотности энергетической освещенности (СПЭО) земной поверхности солнечным излучением в спектральном диапазоне 285–450 нм производились в автомати-

ческом режиме с восхода до захода солнца. По измеренным спектрам в соответствии с требованиями ВМО рассчитывались значения суточных доз различных биоэффектов (эритемы, повреждения ДНК и т.п.), а также значения УФ-индекса.

Результаты обработки данных мониторинга за 2012 г. представлены на рисунке 3.29. На рисунке 3.29а показано распределение суточных доз биоэффекта «эритема», полученное обработкой спектров, измеренных на Минской озонометрической станции.

Аналогичные измерения мощностей и доз биологического эффекта «эритема» проводились на биостанции оз.Нарочь с помощью фильтрового фотометра ПИОН-Ф, разработанного в ННИЦ МО БГУ. Данные измерений представлены на рисунке 3.29б, из которого очевидно, что в весенне-летний период 2012 г. значения УФ индекса в районе оз.Нарочь достаточно часто превышали «биологически безопасный» предел в 6 единиц. Это свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга УФ излучения в зоне отдыха и своевременного информирования населения данного региона.

Приземные концентрации озона

В результате антропогенной деятельности происходит увеличение концентрации приземного озона. В отличие от стратосферного озона, защищающего живые организмы на Земле от разрушающего действия солнечного ультрафиолетового излучения, приземный озон является загрязняющим веществом, отрицательно влияющим на здоровье человека и животных, леса и сельскохозяйственные культуры. Озон относится к загрязнителям атмосферы первого класса опасности. Концентрация озона в крупных городах в условиях сильно загрязненной атмосферы может в десятки раз превышать естественные концентрации и ощутимо влиять на живые организмы.

На рисунке 3.30 представлены результаты измерений концентрации приземного озона в местный полдень на Минской озонометрической станции ННИЦ МО за весь период наблюдений. Цветами выделены случаи превышения суточного и 8-часового ПДК. Значительное количество превышений ПДК показывает актуальность мониторинга приземного озона в Беларуси.

Результаты ежедневных измерений концентрации приземного озона и среднемесячные значения для периода 2011–2012 гг. приведены на рисунке 3.31. В 2012 г. весенний максимум концентрации приземного озона проявился нечетко, что обусловлено ранним сходом снежного покрова и повторным его появлением в конце марта.

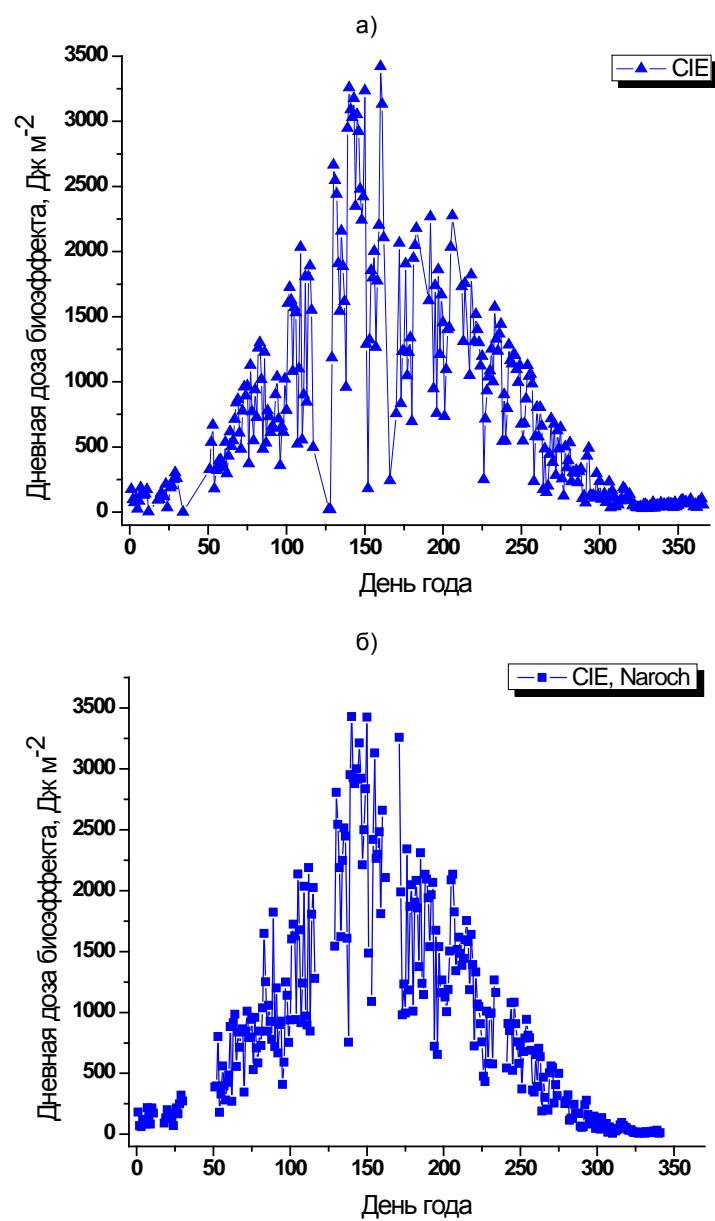


Рис. 3.29. Экспериментальные значения суточных доз биоэффекта «эритема» в 2012 г.: а) г.Минск; б) оз.Нарочь

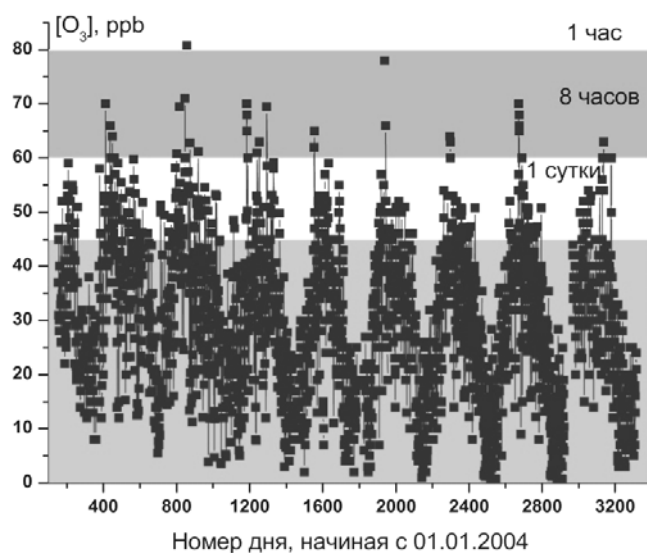


Рис. 3.30. Результаты измерений концентрации приземного озона в г.Минске в 2004–2012 гг. Значения в верхней закрашенной полосе превышают 8-ми часовую ПДК

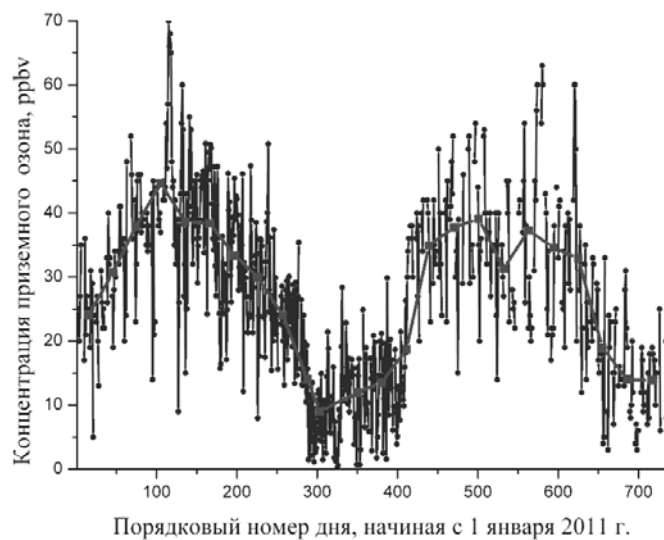


Рис. 3.31. Результаты измерений концентрации приземного озона на станции ННИЦ МО в 2011–2012 гг. Показаны также среднемесячные значения концентрации приземного озона

Концентрация озона у поверхности земли определяется не только эффективностью его переноса из верхних слоев тропосферы, процессами фотохимической генерации озона или его разрушения, но также и эффективностью осаждения на подстилающую поверхность. Скорость разрушения озона на подстилающей поверхности существенно зависит от наличия или отсутствия снега. В первом случае она заметно меньше, чем во втором. Поэтому при прочих равных условиях следует ожидать более высоких концентраций приземного озона при наличии снега.

Являясь сильнейшим окислителем, озон вступает в реакции со многими загрязнителями атмосферы и, разрушаясь в таких реакциях, приводит к образованию вторичных загрязнителей. С другой стороны, в сильно загрязненном воздухе при определенных условиях возможна генерация озона. Данные параллельных измерений концентраций озона и других загрязняющих веществ в различных районах г.Минска позволяют оценить характер их взаимодействия. Косвенно о результатах такого взаимодействия можно судить по коэффициентам корреляции наблюдаемых концентраций озона и других загрязняющих веществ. Корреляционный анализ свидетельствует, что в подавляющем большинстве случаев повышение уровня загрязнения атмосферы оксидами азота, оксидом углерода и летучими органическими соединениями в г.Минске приводит к уменьшению концентрации приземного озона. При этом концентрации названных загрязняющих веществ хорошо коррелируют друг с другом, что указывает на, возможно, общие источники их выбросов.

3.6. Радиационный мониторинг атмосферного воздуха

В 2012 г. на территории Беларуси функционировало 55 пунктов радиационного мониторинга по измерению мощности дозы гамма-излучения (МД). На 27 пунктах наблюдений, расположенных на всей территории страны, контролировались радиоактивные выпадения из приземного слоя атмосферы (отбор проб производился с помощью горизонтальных планшетов). Из них на 21 пункте наблюдений пробы для определения суммарной бета-активности естественных атмосферных выпадений отбирались ежедневно, 6 пунктов работали в дежурном режиме – отбор проб на них производился один раз в 10 дней.

В семи городах (Браслав, Гомель, Минск, Могилев, Мозырь, Мстиславль, Пинск) производился отбор проб радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферы с использованием фильтровентиляционных установок (далее – ФВУ). В Могилеве и Минске отбор проб проводился в дежурном режиме (один раз в 10 дней), на остальных пунктах, расположенных в зонах влияния атомных электростанций сопредельных государств – ежедневно.

Радиационная обстановка на территории страны оставалась стабильной: измерения мощности дозы гамма-излучения, проведенные в 2012 г., не выявили ни одного случая превышения над установленными многолетними значениями.

Уровни мощности дозы гамма-излучения, превышающие значения, наблюдавшиеся в период до аварии на Чернобыльской АЭС, зарегистрированы в контролируемых городах, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения: Брагине, Наровле, Хойниках и Чечерске.

Среднегодовые значения мощности дозы гамма-излучения в 2012 г. составили: в Брагине – 0,55 мкЗв/ч, Наровле – 0,45 мкЗв/ч, Хойниках – 0,24 мкЗв/ч, Чечерске – 0,21 мкЗв/ч.

В остальных контролируемых населенных пунктах мощность дозы гамма-излучения не превышала уровень естественного гамма-фона (до 0,20 мкЗв/ч).

Среднегодовые значения суммарной бета-активности проб радиоактивных выпадений из атмосферы составили: в Могилеве – 1,5 Бк/м²·сут., Наровле – 0,9 Бк/м²·сут., Хойниках – 0,8 Бк/м²·сут., Брагине – 0,9 Бк/м²·сут., Чечерске – 0,8 Бк/м²·сут., Горках – 1,6 Бк/м²·сут., Мозыре – 0,8 Бк/м²·сут. Наибольшие среднемесячные уровни суммарной бета-активности зарегистрированы в декабре 2012 г. в городах Могилеве (2,7 Бк/м²·сут.), Славгороде (2,4 Бк/м²·сут.), Горках (2,3 Бк/м²·сут.); в январе в Мстиславле (2,9 Бк/м²·сут.); в октябре в Костюковичах (3,8 Бк/м²·сут.).

Анализ результатов измерений суммарной бета-активности атмосферных аэрозолей в 2012 г. показывает, что наибольшие ее среднемесячные уровни наблюдались в феврале в Могилеве – $43,7 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, Гомеле – $44,3 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ и Мстиславле – $30,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, в декабре в Минске – $38,7 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

В таблице 3.17 представлены среднемесячные значения суммарной бета-активности и содержания цезия-137 в пробах радиоактивных аэрозолей приземного слоя атмосферы за 2012 г.

Таблица 3.17

Среднемесячные значения суммарной бета-активности ($\sum\beta$) и содержания цезия-137 (^{137}Cs) в радиоактивных аэрозолях приземного слоя атмосферы в 2012 г.*

Ме- сяц	Мозырь		Браслав		Гомель		Минск		Могилев		Мстиславль		Пинск	
	$1 \cdot 10^{-5} \text{Бк/м}^3$													
	$\sum \beta$	^{137}Cs	$\sum \beta$	^{137}Cs	$\sum \beta$	^{137}Cs	$\sum \beta$	^{137}Cs	$\sum \beta$	^{137}Cs	$\sum \beta$	^{137}Cs	$\sum \beta$	^{137}Cs
01	–	–	11,9	0,08	24	0,46	12	0,97	35,3	0,28	23,1	0,5	11,5	1,04
02	–	–	24,2	0,13	44,3	1,01	37,5	1,37	43,7	1,79	30,0	0,91	17,3	2,35
03	–	–	12,6	–	15,3	1,21	19,7	1,31	12,0	–	17,7	–	11,5	0,95
04	–	–	10,1	0,13	27,0	9,72	16,0	2,52	15,7	1,14	11,1	0,98	10,6	1,08
05	23	5,22	11,8	0,01	17,7	1,99	17,0	2,42	14,3	0,34	10,8	0,41	14,4	1,05
06	12,8	0,74	8,6	0,01	10,4	0,45	17,3	1,03	–	0,04	7,9	0,41	10,7	0,61
07	17,7	1,01	12,3	0,2	13,7	0,9	19,3	0,75	15,0	0,29	10,9	0,17	13,3	0,68
08	13,6	0,39	8,8	0,13	11,7	0,56	18,7	2,44	15,0	0,13	11,3	0,18	11,0	0,85
09	18,1	1,41	8,5	0,09	10,6	0,53	17,3	1,5	8,7	0,42	9,6	0,26	10,0	0,61
10	18,8	2,01	8,0	0,05	7,9	0,55	17,7	1,32	17,7	0,74	8,9	0,51	12,3	0,76
11	28,2	1,96	11,8	0,004	9,0	0,39	29,3	1,28	31,7	0,38	13,3	0,59	12,4	0,95
12	21,4	1,71	16,2	0,05	19,2	0,66	38,7	2,54	25,0	0,55	23,5	0,51	17,9	1,28
Сред- него- довое	19,2	1,81	12,1	0,08	17,6	1,52	21,7	1,62	21,3	0,55	14,8	0,49	12,7	1,02

*Контрольные уровни суммарной бета-активности, при превышении которых проводятся защитные мероприятия, составляют: для радиоактивных выпадений из атмосферы – $110 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{сут.}$; для радиоактивных аэрозолей – $3700 \cdot 10^{-5} \text{Бк/м}^3$.