

Влияние атмосферных поллютантов на распространение эпифитных лишайников (на примере г. Гомеля)

А. Г. Цуриков, О. М. Храменкова

Введение

О чувствительности лишайников к атмосферному загрязнению было известно еще в середине XIX века. Однако всерьез об этом свойстве заговорили в 50-х гг. XX века во времена сильного загрязнения большинства крупных городов Европы [1]. В XX веке лишайники превратились в наиболее быстро исчезающую группу организмов в Средней Европе. По данным [2] к 1995 г. в Германии из 1691 вида встречающихся лишайников более 61 % были занесены в Красную Книгу, а 11 % видов вымерли и исчезли. К началу 1990-х гг. 29 % видов лишайников Польши оказались занесенными в Красную Книгу (480 из 1700) [3].

Фитоиндикационные свойства лишайников активно изучаются уже более полувека. Флористическое разнообразие (число видов на пробной площади), видовая насыщенность (среднее число видов на стволе), высота поднятия лишайников по стволу, учет проективного покрытия видом субстрата произрастания, а также изменения в генеративной сфере явились количественными показателями эпифитных лишайниковых группировок, применимыми для индикационных целей [4].

Результаты исследования лишайников урбоэкосистем свидетельствуют, что, несмотря на отсутствие или редкость многих лишайников в промышленных районах, представители отдельных видов и родов лучше развиваются, а, порой, бывают приурочены именно к экологически «неблагополучным» территориям [5]. Кроме того, лишайники медленно (по сравнению с другими организмами) реагируют на стабильное или регрессирующее загрязнение воздуха. Поэтому при возрастании загрязненности атмосферы корреляции между реакциями лишайников и уровнями загрязнения среды не всегда четко проявляются [6].

Тем не менее, характеристики лишайниковых группировок могут быть использованы для проведения долгосрочных мониторинговых исследований состояния атмосферы. В настоящее время в Российской Федерации, по данным Росгидромета, за пять лет (с 2000 по 2005) на 61% увеличилось количество городов, в которых уровень загрязнения атмосферы оценивается как высокий и очень высокий. Количество городов, в которых максимальные концентрации какой-либо примеси превышают 10 ПДК, увеличилось за пять лет на 50%. Города, в которых максимальная концентрация какого-либо загрязняющего вещества в атмосферном воздухе в течение года превышала 10 ПДК, есть в большинстве субъектов Российской Федерации.

В Республике Беларусь имеет место обратная ситуация. Во всех крупных городах на протяжении последних 20 лет наблюдается снижение концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в результате снижения объемов выбросов от стационарных источников. Среди всех городов Беларуси по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников лидирующее место занимает Новополоцк.

В настоящее время Гомель по объемам выбросов в атмосферу предприятиями занимает 3-е место в Беларуси, уступая Новополоцку и Минску. На территории города действует более 100 промышленных предприятий различных форм собственности, которые производят выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Также на состояние воздушного бассейна г. Гомеля оказывают большое влияние промышленные предприятия, находящиеся на территории Гомельского района. Всего на территории г. Гомеля и Гомельского района располагается 21 предприятие с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу более 100 т/год. В промышленных районах г. Гомеля вредные примеси концентрируются преимущественно в слое воздуха

выше 1–2 км. Это связано с ухудшением условий турбулентного перемешивания воздушных масс в приземном слое атмосферы, характерным для всех городов и происходящим за счет образования «острова тепла» из-за уменьшения альбеда городской застройки [7].

Лидирующее положение по объемам выбросов загрязняющих веществ в атмосферу среди предприятий города и ближайшего пригорода занимает ОАО «Гомельстекло», располагающееся на территории р.п. Костюковка Гомельского района. Основными компонентами эмиссий являются NO_2 (1980 т/год), CO (672 т/год), NO (308 т/год), твердые частицы (198 т/год), SO_2 (181 т/год) и др. Несмотря на некоторое удаление предприятия от городской черты, высокие трубы обеспечивают достижение факелом рассеивания территории г. Гомеля.

Гомельская ТЭЦ-2 является самой крупной теплоэлектроцентралью региона. Располагаясь у городской черты, она обеспечивает приток в атмосферу таких веществ, как NO_2 (1637 т/год), SO_2 (1102 т/год), NO (266 т/год), CO (199 т/год) и др.

Гомельский химический завод – одно из крупнейших химических предприятий в Республике. В составе загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу, присутствуют SO_2 (797 т/год), аммофос (216 т/год), H_2SO_4 (167 т/год), аммиак (175 т/год), пылевые частицы (143 т/год), фтористые соединения (80 т/год), CO (55 т/год), NO_2 (51 т/год) и т.д.

В ходе полевых исследований 2003 – 2007 гг. нами были описаны видовой состав эпифитных листоватых и кустистых лишайников г. Гомеля, распределение этих организмов по территории города, приуроченность видов лишайников к породе и диаметру ствола форофита.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы была оценка связи распространения форофитных лишайников с уровнями содержания основных поллютантов в атмосфере г. Гомеля.

Материалы и методы

Изучение городских лишайников проводилось маршрутным методом в сочетании с методом сеточного картирования в 2007 г. на всей территории г. Гомеля в пределах административных границ за исключением новостроек, где отсутствуют деревья, и территории промышленных объектов, закрытых для осмотра. Территория, пригодная для изучения, была разделена на 140 площадок исследования около $0,33 \text{ км}^2$ каждая. В пределах каждого квадрата исследования осматривали разновозрастные деревья различных пород. К описанию принимали 10 деревьев с наиболее развитым покровом лишайников, для каждого из которых устанавливали видовой состав и проективное покрытие листоватых и кустистых лишайников, породу и диаметр ствола форофита.

Определение лишайников проводили в лабораториях кафедры ботаники и физиологии растений биологического факультета Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины с использованием морфологического, анатомического и биохимического методов с помощью микроскопов МБС-1 и Nikon Eclipse 80i. Видовая принадлежность некоторых сомнительных образцов была уточнена в лабораториях Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской Академии Наук (БИН РАН).

Для выполнения настоящего исследования был выполнен сбор данных об объемах и структуре атмосферных выбросов промышленных предприятий г. Гомеля и ближайшего пригорода, составе и концентрациях основных воздушных поллютантов по постам наблюдений, расположении стационарных постов наблюдений. Информация была предоставлена Гомельским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды, ГУ «Гомельский областной центр по гидрометеорологии», а также Гомельской горрайинспекцией природных ресурсов и охраны окружающей среды. Объем собранной информации превысил 18 000 значений.

Концентрации веществ приводятся как в $\text{мкг}/\text{м}^3$, так и в виде значений предельно допустимых концентраций (таблица 1)

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации для основных загрязнителей воздушного бассейна г. Гомеля (мкг/м³)

Загрязнитель	Среднесуточная ПДК	Максимальная разовая ПДК
Аммиак	40	200
Диоксид азота	100	250
Диоксид серы	200	500
Оксид азота	60	400
Оксид углерода	3000	5000
Твердые частицы	150	300
Фторид водорода	5	20

При анализе состояния воздушного бассейна г. Гомеля использовались данные 6 стационарных постов наблюдения Гомельского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (рисунок 1). На этих постах контролируются содержание до 10 различных веществ: SO₂, CO, NO₂, NO, HF, фенола, аммиака, формальдегида, твердых частиц, серной кислоты.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты исследований

Флора кустистых и листоватых эпифитных лишайников г. Гомеля довольно разнообразна и представлена 47 видами. Однако распределение лишайников на территории города неравномерно. На рисунке 1 представлена карта распространения эпифитных лишайников, полученная на основании собственных исследований. Отмечено увеличение видового разнообразия лишайников в районе городских парков и скверов.

Такое распределение лишайников указывает на влияние фактора наличия субстрата произрастания, а также, вероятно, на влияние зависящих от этого показателя значений влажности и, вероятно, иных микроклиматических характеристик местообитаний.

Загрязнение среды в роли главенствующего фактора угнетения развития лишайников рассматривают многие исследователи лишенофлоры городов [8, 9]. Развитие инструментальных средств мониторинга приземных слоев воздушного бассейна позволило выделять факторы, лимитирующие развитие лишайников.

В настоящее время признается, что наиболее отрицательное воздействие на лишайники оказывает диоксид серы (SO₂) [10 – 14].

Концентрации SO₂ в воздухе, приводимые в качестве летальных доз для лишайников, разнятся в зависимости от региона исследований. Так, для Тарнобжеского серного бассейна указывается величина более 6000 мкг/м³ [15], для региона действия угольного разреза «Осинниковский» (юг Западной Сибири) – 500 мкг/м³ [16], для г. Москвы – более 180 мкг/м³ [17], для г. Сегед – 150 мкг/м³ [18], для Саарбрюкена (Германия) – 60 – 90 мкг/м³ [19], для Копенгагена – 40 – 110 мкг/м³ [20], для Великобритании – 30 – 170 мкг/м³ [21], для южной Германии и восточной Франции – 30 мкг/м³ [22].

Среднесуточные концентрации SO₂ в г. Гомеле в течение 1996 – 2006 гг. находятся в диапазоне 10,6 мкг/м³ – 3,3 мкг/м³ (рисунок 2А). Указанные концентрации явно ниже значений, приводимых в литературе как потенциально опасные для жизни лишайников.

Данные динамики среднесуточных концентраций SO₂ в г. Гомеле в период 1996 – 2006 гг. свидетельствуют о снижении содержания этого поллютанта в атмосфере города (линия тренда на рисунке 2А). Однако значительное снижение содержания SO₂ в атмосфере произошло в период 1985 – 1995 гг. (рисунок 3).

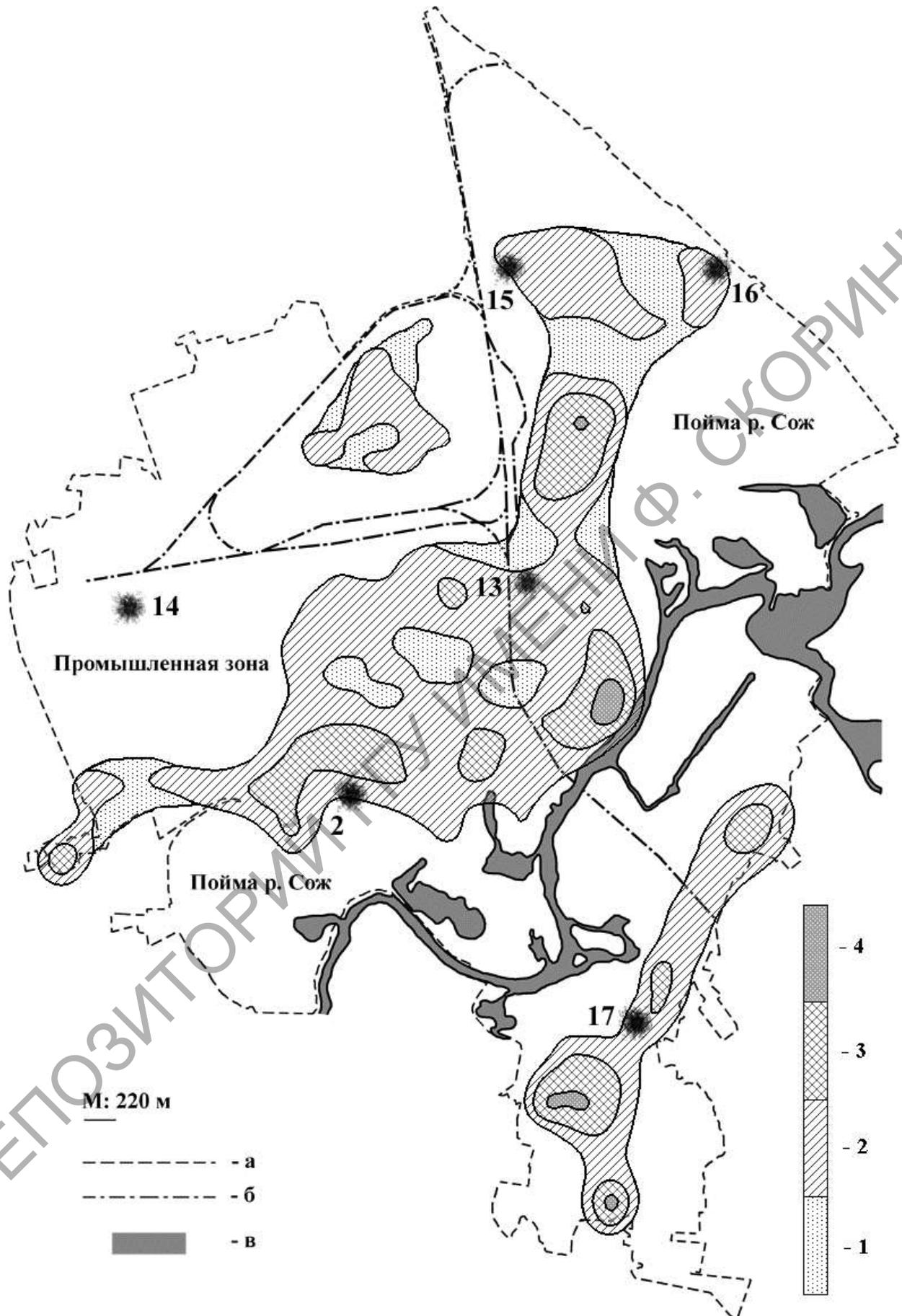


Рисунок 1 – Карта распространения лишайников и расположения стационарных постов наблюдения г. Гомеля (а – административная граница г. Гомеля, б – железная дорога, в– р. Сож; число видов лишайников: 1 – 11–14, 2 – 15–17, 3 – 18–20, 4 – > 21)

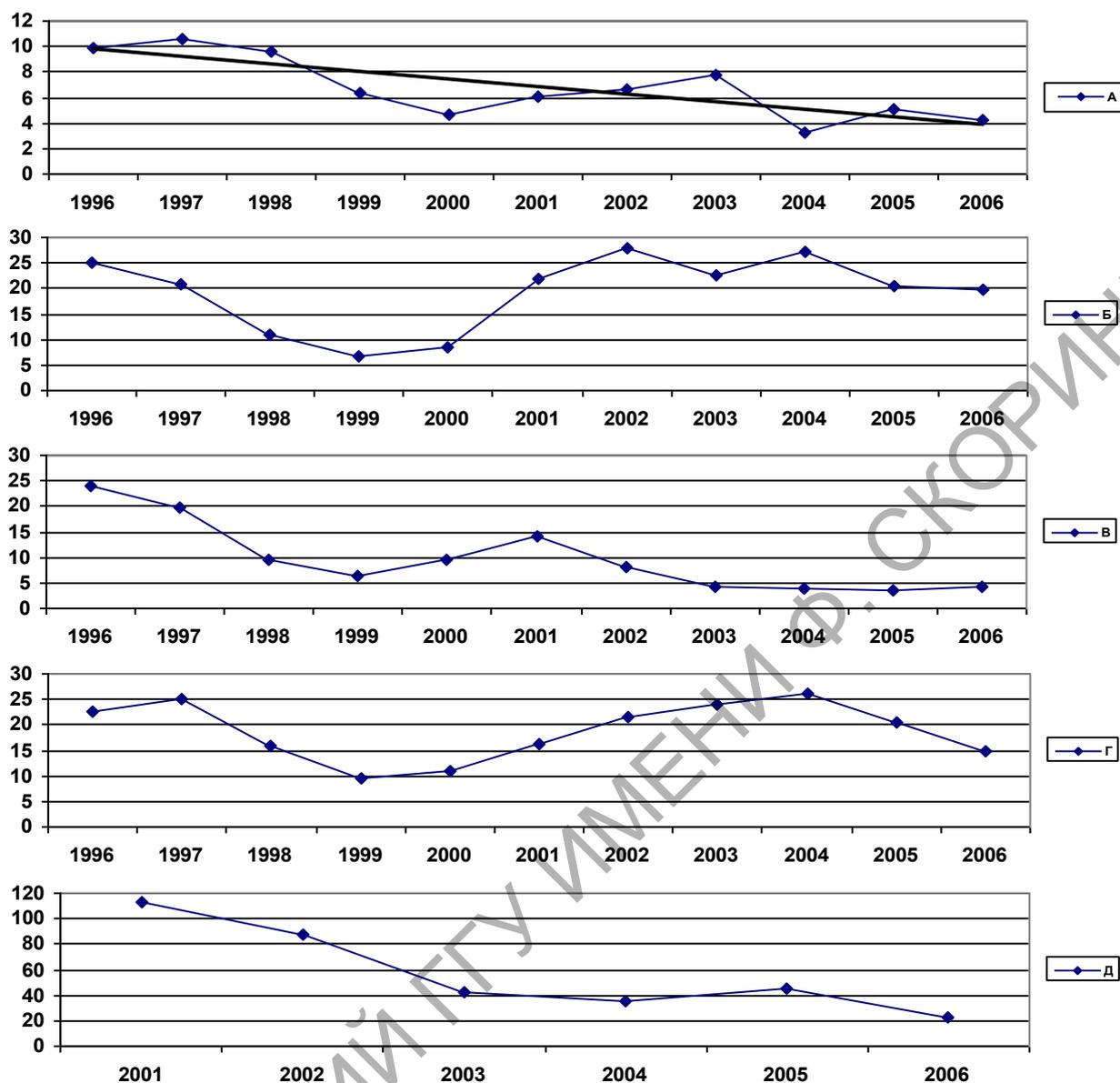


Рисунок 2 – Динамика среднесуточных концентраций SO₂ (А), NO₂ (Б), NO (В), NH₃ (Г) в период 1996 – 2006 гг., а также пылевых частиц в период 2001 – 2006 гг. (в мкг/м³) в атмосфере г. Гомеля

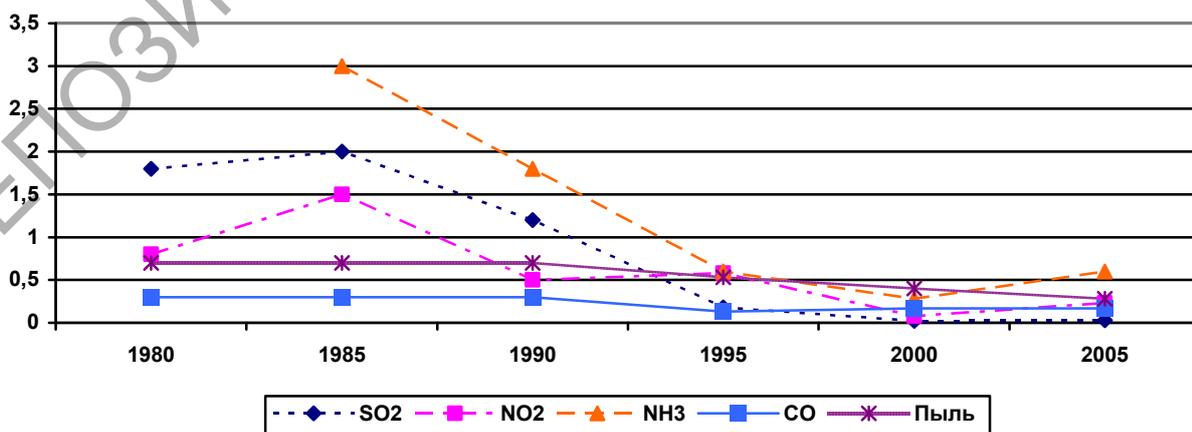


Рисунок 3 – Динамика содержания основных неорганических загрязнителей в атмосфере г. Гомеля в период 1980 – 2005 гг. (в ПДК)

Вероятно, именно снижение содержания SO_2 в период 1985 – 1995 гг. (разница более 11 раз) явилось толчком развития лишайнофлоры в конце 1990-х – начале 2000-х гг. Предпосылками этому служит большое число ювенильных слоевищ лишайников (по результатам собственных полевых наблюдений) и отсутствие корреляции между количеством видов лишайников на дереве и его диаметром (в зависимости от породы форофита $r=0,45 \sim 0 \sim -0,48$). Также можно утверждать, что значение среднесуточной концентрации SO_2 равной 2 ПДК (400 мкг/м^3), отмеченной для 1985 года, является крайне опасным для роста и развития практически всех видов лишайников.

Несмотря на то, что из всех предприятий Гомельщины 73,5% выбросов в атмосферу SO_2 приходится на ТЭЦ-2 и Гомельский химический завод (по данным на 2000 г.), находящихся у западной границы г. Гомеля, распределение SO_2 на территории города относительно равномерно (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение среднесуточных концентраций SO_2 , NO_2 и NH_3 в различных частях г. Гомеля по данным пяти стационарных постов за период 05.2005 – 02.2006 гг. (результаты дисперсионного анализа)

	2	13	14	16	17
SO_2					
2	–	F=0,23; p=0,64	F=1,94; p=0,19	F=11,39; p<0,01	F=0,71; p=0,41
13	F=0,23; p=0,64	–	F=0,31; p=0,59	F=4,26; p=0,06	F=0,52; p=0,48
14	F=1,94; p=0,19	F=0,31; p=0,59	–	F=3,18; p=0,10	F=0,34; p=0,57
16	F=11,39; p<0,01	F=4,26; p=0,06	F=3,18; p=0,10	–	F=0,03; p=0,87
17	F=0,71; p=0,41	F=0,52; p=0,48	F=0,34; p=0,57	F=0,03; p=0,87	–
NO_2					
2	–	F=15,52; p<0,01	F=10,39; p<0,01	F=19,09; p<0,01	F=2,61; p=0,13
13	F=15,52; p<0,01	–	F=8,65; p=0,01	F=6,97; p=0,02	F=8,96; p=0,01
14	F=10,39; p<0,01	F=8,65; p=0,01	–	F=0,77; p=0,40	F=0,24; p=0,64
16	F=19,09; p<0,01	F=6,97; p=0,02	F=0,77; p=0,40	–	F=1,21; p=0,29
17	F=2,61; p=0,13	F=8,96; p=0,01	F=0,24; p=0,64	F=1,21; p=0,29	–
NH_3					
2	–	F=0,71; p=0,42	F=0,09; p=0,77	F=0,13; p=0,72	F=0,89; p=0,36
13	F=0,71; p=0,42	–	F=2,11; p=0,17	F=2,01; p=0,18	F=0,00; p=0,98
14	F=0,09; p=0,77	F=2,11; p=0,17	–	F=0,01; p=0,93	F=2,98; p=0,11
16	F=0,13; p=0,72	F=2,01; p=0,18	F=0,01; p=0,93	–	F=2,72; p=0,12
17	F=0,89; p=0,36	F=0,00; p=0,98	F=2,98; p=0,11	F=2,72; p=0,12	–

Несмотря на достоверно большие среднесуточные концентрации SO_2 в районе стационарного поста № 16 (северо-восток города) по сравнению с районами постов № 2 (юго-запад) и № 13 (центр города), среднегодовые концентрации диоксида серы на этом посту не превышают $8,3 \text{ мкг/м}^3$ (рисунок 4А).

О равномерном распределении диоксида серы на территории города свидетельствуют результаты измерения максимальных разовых концентраций SO_2 стационарными постами (таблица 3).

Такое распределение SO_2 , вероятно, свидетельствует об отсутствии или минимизации влияния диоксида серы на количественное и качественное распределение лишайников на территории города.

Наряду с прямым воздействием диоксида серы атмосферы на талломы лишайников существует и косвенное его воздействие. Ряд авторов указывает на то, что после окисления или в присутствии влаги SO_2 превращается в серную кислоту, которая, в свою очередь, вы-

зывает общее окисление биологических субстратов, на которых растут лишайники [23, 24]. В данном случае решающую роль в распределении видов лишайников играет уже **кислотность**

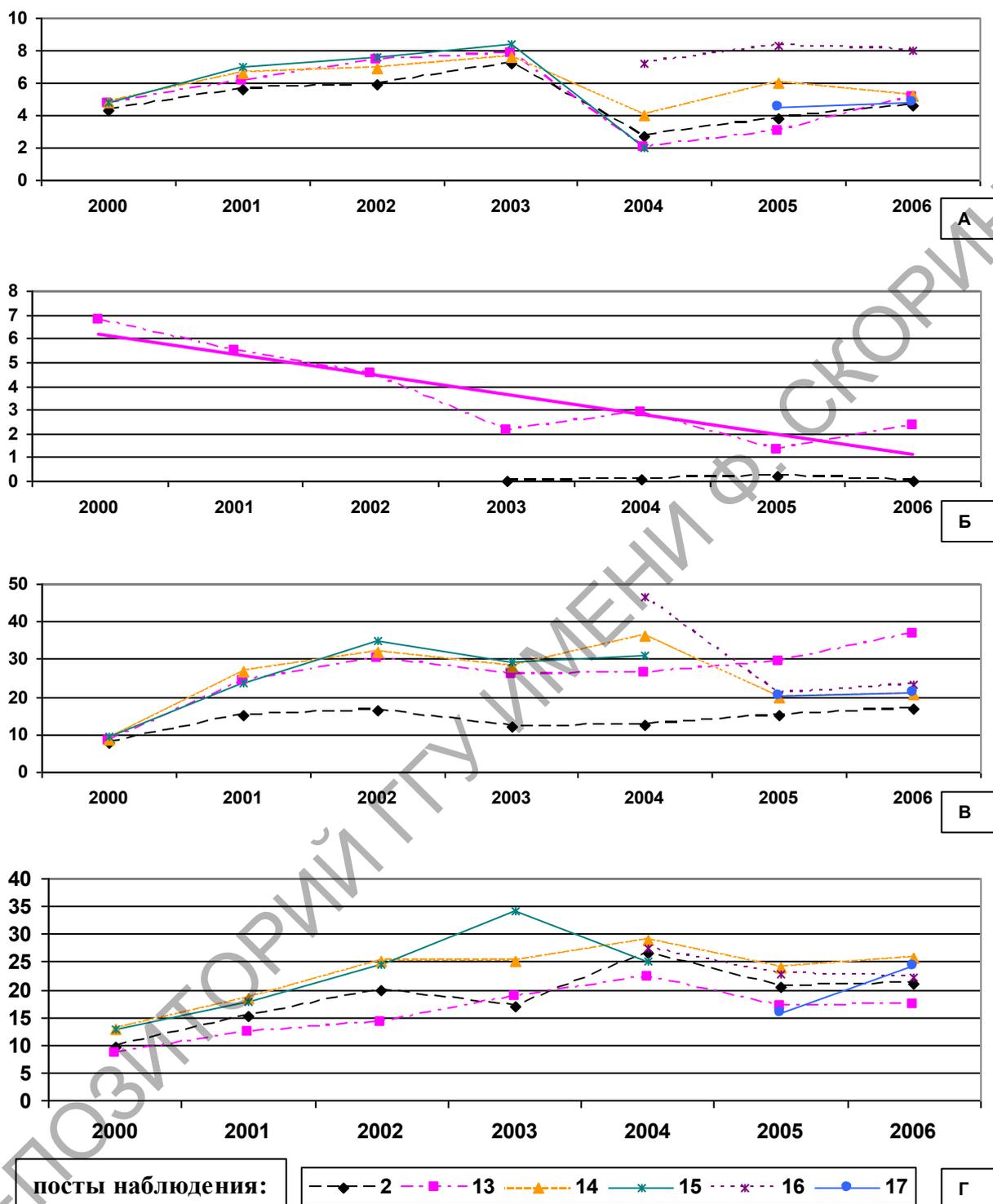


Рисунок 4 – Динамика среднесуточных концентраций SO_2 (А), HF (Б), NO_2 (В), NH_3 (Г) в атмосфере г. Гомеля по данным 6 стационарных постов в период 2000 – 2006 гг. (в $\text{мкг}/\text{м}^3$)

субстрата, которая определяется не только концентрацией SO_2 в воздухе. Во многих работах упоминают о кислотных дождях как о важном факторе антропогенных местообитаний [25 – 28]. Несмотря на то, что сущность действия кислотных осадков на лишайники к настоящему времени недостаточно изучена, отмечается, что частые «кислые» дожди заметно угнетают лишенофлору и приводят к исчезновению многих видов лишайников. В зависимости от местообитания и вида лишайника в качестве порогового значения кислотности, влияющего на

метаболическую активность, приводятся значения $pH = 5,0 - 3,5$. При этом указывается, что осадки с $pH = 2$ полностью ингибируют деятельность ферментов [1].

Таблица 3 – Сравнение максимальных разовых концентраций SO_2 , NO_2 и NH_3 в различных частях г. Гомеля по данным пяти стационарных постов за период 05.2005 – 02.2006 гг. (результаты дисперсионного анализа)

	2	13	14	16	17
SO_2					
2	–	F=0,20; p=0,66	F=0,88; p=0,37	F=0,03; p=0,87	F=1,26; p=0,28
13	F=0,20; p=0,66	–	F=0,10; p=0,75	F=0,32; p=0,58	F=0,55; p=0,47
14	F=0,88; p=0,37	F=0,10; p=0,75	–	F=1,14; p=0,31	F=0,32; p=0,58
16	F=0,03; p=0,87	F=0,32; p=0,58	F=1,14; p=0,31	–	F=1,45; p=0,25
17	F=1,26; p=0,28	F=0,55; p=0,47	F=0,32; p=0,58	F=1,45; p=0,25	–
NO_2					
2	–	F=5,50; p=0,04	F=0,28; p=0,61	F=0,00; p=1,00	F=0,10; p=0,75
13	F=5,50; p=0,04	–	F=2,15; p=0,15	F=4,68; p=0,05	F=3,35; p=0,09
14	F=0,28; p=0,61	F=2,15; p=0,15	–	F=0,23; F=0,64	F=0,05; p=0,82
16	F=0,00; p=1,00	F=4,68; p=0,05	F=0,23; F=0,64	–	F=0,08; p=0,79
17	F=0,10; p=0,75	F=3,35; p=0,09	F=0,05; p=0,82	F=0,08; p=0,79	–
NH_3					
2	–	F=1,20; p=0,29	F=1,04; p=0,33	F=0,50; p=0,49	F=1,76; p=0,21
13	F=1,20; p=0,29	–	F=0,07; p=0,80	F=0,95; p=0,35	F=0,22; p=0,65
14	F=1,04; p=0,33	F=0,07; p=0,80	–	F=0,77; p=0,40	F=1,03; p=0,33
16	F=0,50; p=0,49	F=0,95; p=0,35	F=0,77; p=0,40	–	F=3,96; p=0,07
17	F=1,76; p=0,21	F=0,22; p=0,65	F=1,03; p=0,33	F=3,96; p=0,07	–

Фактор кислотных дождей в районе Гомельской городской агломерации хорошо изучен в рамках отдельного исследования [29, 30]. По данным [31] не обнаружено существенных отличий величин pH снега как в зависимости от удаленности точек отбора от города, так и от направлений розы ветров (рисунок 5).

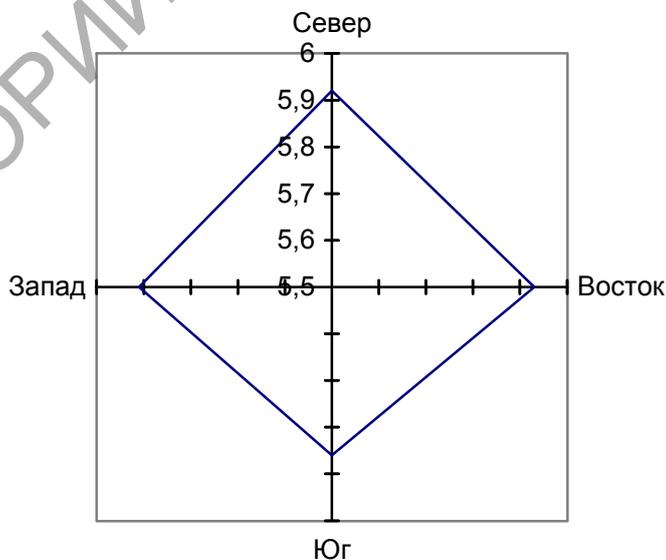


Рисунок 5 – Значения pH снеговых вод Гомельского района по направлениям отбора проб согласно данным 2001 г. (по [31])

Отмечается, что с течением времени имеет место тенденция возрастания кислотности осадков. Однако, несмотря на возрастание количества проб с кислыми значениями pH в 2003

году по сравнению с данными за 2001 год, указывается, что интерквартильный размах выборок по всем направлениям отбора укладывается в значения рН, соответствующие чистым и условно щелочным [31]. Осадки с указанным значением кислотности не способны оказывать резкое угнетающее воздействие на лишенобиоту. Равномерность значений рН атмосферных выпадений в Гомельском регионе, очевидно, не способствует изменению существующих параметров распределения лишайников на городской территории.

Нередко в литературных источниках указывается, что в случаях, когда эмиссии диоксида серы на исследуемой территории невелики, может иметь место загрязнение другими атмосферными поллютантами и зачастую именно вид загрязнения определяет развитие лишайника. Основными антропогенными поллютантами атмосферы являются соединения серы, азота и углерода [18].

Установлено, что негативное влияние на лишенофлору могут оказывать только высокие значения концентраций **азотистых соединений** в атмосфере и, как следствие, в атмосферных осадках, в то время как небольшие концентрации азотистых веществ активно поглощаются лишайниками и используются в метаболических реакциях. Основные ингибирующие воздействия солей азота проявляются в подавлении нитрогеназной активности, что сказывается на росте и развитии в основном цианобионтных лишайников (например, представителей рода *Peltigera*). Для эпифитных лишайников соли азота, по-видимому, не очень вредны [1].

Содержание NO_2 в атмосфере г. Гомеля превышало 1 ПДК только в 1985 г. (рисунок 3). С течением времени наблюдалось заметное снижение концентрации этого поллютанта в атмосфере города. В период 1996 – 2006 гг. (рисунок 2Б) среднесуточная концентрация NO_2 не превышала 30 мкг/м^3 (0,4 ПДК). Следует отметить, что около 65% выбросов в атмосферу диоксида азота приходится на Гомельскую ТЭЦ-2.

Среднесуточная концентрация NO_2 ниже в районе стационарного поста № 2 (юго-запад города), чем в остальных частях города, и несколько выше с 2005 года в районе поста № 13 (центральная часть) (рисунок 4В, таблица 2).

При сравнении максимальных разовых концентраций NO_2 в атмосфере г. Гомеля (таблица 3) наблюдается относительная равная концентрация диоксида азота на территории города. При этом сохраняется тенденция увеличения его содержания в районе поста № 13 (центральная часть города) при снижении в районе стационарного поста № 2 (юго-западная часть).

Среднесуточные концентрации NO в г. Гомеле низки и на протяжении 1997 – 2006 не превышают 0,2 ПДК. В 1996 среднесуточное содержание оксида азота составило 0,3 ПДК (рисунок 2В). Столь низкие концентрации NO в воздухе города могут объясняться тем, что 81% выбросов этого поллютанта в атмосферу в Гомельском регионе приходится на ОАО «Гомельстекло», находящееся на некотором удалении от границ города. Вместе с ТЭЦ-2 эти 2 предприятия осуществляют более 98% выбросов оксида азота в атмосферу Гомельщины.

Концентрации оксида азота измеряют только на стационарном посту № 13 (центр города), поэтому изучить характер распространения этого вещества на территории Гомеля не представляется возможным.

Доказано, что высокое содержание оксидов азота в атмосфере усиливает отрицательное воздействие SO_2 на лишайники [32]. При указанных концентрациях SO_2 , NO_2 и NO в атмосфере г. Гомеля данный эффект, вероятнее всего, отсутствует. Имеющиеся количества NO_2 и NO в воздухе города могут использоваться фотобионтами лишайников в метаболических реакциях, что подтверждается отсутствием нитрит- и нитрат-анионов в водных вытяжках лишайников, отобранных в Гомеле [33]. Также в литературе имеются сведения о том, что в некоторых условиях действие сульфатов, наоборот, компенсируется увеличением концентраций нитратов [34]. Все эти сведения указывают на крайне слабое влияние оксидов азота на характеристики распределения лишайников на территории г. Гомеля.

Среднесуточные концентрации **аммиака** в атмосфере г. Гомеля в настоящее время относительно низки и не превышают значение 1 ПДК (рисунок 2Г). Как и в случае с диоксидом серы, концентрация NH_3 заметно снизилась в период 1985 – 1995 гг. (рисунок 3).

Распределение аммиака на территории города равномерно. Не обнаружено статистически значимых отличий как среднесуточных, так и разовых максимальных концентраций NH_3 в атмосфере в различных районах г. Гомеля (рисунок 5Г, таблицы 2, 3).

Такое распределение NH_3 , вероятно, свидетельствует об отсутствии его влияния на количественное и качественное распределение лишайнофлоры на территории города. Небольшие количества аммиака могут, как и оксиды азота, усваиваться фотобионтами лишайников.

Среди оксидов углерода отрицательное влияние на живые организмы оказывает **СО**. Являясь обязательным компонентом автомобильных выхлопов, оксид углерода может являться доминирующим поллютантом в районе автострад.

Содержание **СО** в атмосфере г. Гомеля невысоко (рисунок 3). В период с 1995 по 2005 год его концентрации не превысили значения 0,2 ПДК.

Влияние **СО** на рост и развитие лишайников невелико. Указанные концентрации, вероятно, не способны сильно угнетать лишайнофлору. Возле автомагистралей, где влияние **СО** максимально, лишайники находятся под воздействием более вредных и агрессивных поллютантов: пыли, сажи, сернистых составляющих выхлопных газов.

Наряду с соединениями серы соединения **фтора** являются наиболее опасными для лишайников [35, 36]. Причем летальными для лишайников оказываются относительно малые концентрации фторидов в воздушной среде: 10 – 20 мкг/м³ [37]. Также имеет значение вид соединений фтора [38].

В г. Гомеле **F** представлен в виде **HF** и распределен неравномерно. На это указывают данные измерения его концентраций двумя стационарными постами (рисунок 5Б).

Максимальные концентрации **HF** наблюдаются в районе стационарного поста №14 (западная часть города). Вероятно, это связано с присутствием этого вещества в выбросах гомельского химического завода (суммарный объем фтористых выбросов 80 т/год). Стоит отметить тенденцию снижения концентрации фторида водорода в последний период времени (линия тренда на рисунке 5Б). В районе стационарного поста №2 (юго-западная часть города) фтористые соединения в атмосфере практически отсутствуют.

Таким образом, складываются неравные условия для произрастания лишайников на территории города в целом. Ввиду отсутствия измерений фтористых соединений другими стационарными постами сложно провести комплексную оценку содержания **HF** в Гомеле. Можно предположить, что воздействие **HF** Гомельского химического завода ограничивается территориями не сильно удаленными от его границ (пост №14), поскольку на заметном удалении от него фтористые соединения практически отсутствуют (пост №2).

Современные концентрации фтора могут угнетать лишайнофлору, тем не менее, не оказывая летального эффекта.

Важными факторами, ограничивающими развитие лишайников, являются дым, пыль и копоть [27, 38 – 41]. **Пыль**, в больших количествах оседающая на слоевища, может приводить к гибели лишайника [42]. Твердые частицы могут задерживать развитие лишайников, тормозя прорастание спор [43].

Пылевые частицы улавливаются на двух стационарных постах № 2 (юго-восток города) и № 16 (северо-запад города), введенным в эксплуатацию в 2004 году. В связи с этим не представляется возможным оценить полную картину распределения пылевых частиц на всей территории г. Гомеля.

Содержание пыли в городском воздухе с 1980 года является стабильным и относительно невысоким (не превышает значения 120 мкг/м³, рисунок 3). Только с 2001 года наблюдается снижение ее концентраций (рисунок 2Д). Учитывая, что посты наблюдения, улавливающие пылевые частицы, находятся вблизи автомагистралей можно предположить, что в хорошо озелененных участках города эти показатели будут еще ниже.

Вероятно, влияние пылевых частиц на лишайнофлору в г. Гомеле невелико и имеет место в основном вблизи крупных автомагистралей. Однако лишайники, растущие поблизости дорог, очевидно, испытывают более агрессивное воздействие других поллютантов. Пыль, в свою очередь, как негативный фактор доминирует в районах влияния цементно-известковой [44, 45] и азотной [42] промышленности.

Заключение

Лишенофлора г. Гомеля находится под воздействием различных атмосферных загрязнителей, концентрации которых существенно менялись на протяжении последних 20 лет. Это связано, по-видимому, с изменениями объемов и состава выбросов промышленных предприятий. Несмотря на то, что не выявлено четкой зависимости характера распределения лишайников на территории города и действием какого-либо неорганического загрязняющего атмосферу вещества имеет место воздействие целого комплекса химических веществ на слоевища. Поллютанты, взаимодействуя друг с другом, могут как подавлять, так и усиливать действие друг друга.

Концентрации SO_2 на территории г. Гомеля ниже значений, приводимых в литературе как потенциально опасные для жизни лишайников. Снижение содержания SO_2 в период 1985 – 1995 гг., вероятно, явилось толчком развития лишенофлоры в конце 1990-х – начале 2000-х гг., что подтверждается большим числом ювенильных слоевищ лишайников и отсутствием корреляции между количеством видов лишайников на дереве и его диаметром. Равномерное распределение SO_2 , вероятно, свидетельствует об отсутствии или минимизации влияния диоксида серы на количественное и качественное распределение лишайников на территории города.

Кислотность осадков в Гомельском регионе не способна оказывать резкое угнетающее воздействие на лишенобиоту. Равномерность значений pH атмосферных выпадений в Гомельском регионе, очевидно, не способствует изменению существующих параметров распределения лишайников на городской территории.

Имеющиеся количества соединений азота в воздухе города не способны оказывать угнетающее воздействие на рост и развитие лишайников. Наоборот, они могут использоваться фотобионтами лишайников в метаболических реакциях, что подтверждается отсутствием нитрит- и нитрат-анионов в водных вытяжках лишайников, отобранных в Гомеле.

Влияние CO на рост и развитие лишайников невелико. Обнаруженные на территории г. Гомеля концентрации, вероятно, не способны сильно угнетать лишенофлору. Возле автомагистралей, где влияние CO максимально, лишайники находятся под воздействием более вредных и агрессивных поллютантов: пыли, сажи, сернистых составляющих выхлопных газов.

Учитывая содержание F в городском воздухе, можно предположить, что на территории Гомеля складываются неравные условия для произрастания лишайников. Современные концентрации фтора могут угнетать лишенофлору, тем не менее, не оказывая летального эффекта.

Вероятно, влияние пылевых частиц на лишенофлору в г. Гомеле невелико и имеет место в основном вблизи крупных автомагистралей. Однако лишайники, растущие поблизости дорог, очевидно, испытывают более агрессивное воздействие других поллютантов.

Можно предположить, что имеет действие других более существенных факторов, определяющих расселение лишайников. Вероятно, при уровне загрязненности атмосферы г. Гомеля, доминирующими факторами в распределении лишенобиоты являются влажность местообитаний, наличие субстрата произрастания, а также физические и химические его характеристики.

Настоящее исследование является основой для проведения дальнейшего мониторинга экологического состояния окружающей среды г. Гомеля с использованием лишайников.

Abstract. Lichens are being under the influence of different atmospheric pollutants in Gomel. The estimation of connection of foliose and fruticose epiphytic lichens distribution with the levels of the main non-organic pollutants contents in the atmosphere of Gomel was conducted. It was established that the concentrations of non-organic toxic substances in the territory of the city are uniform and do not coincide with detected lichens development. The decrease in the contents of SO_2 during 1985–1995 was the start of lichens growth in 1990–2000.

Литература

1. Шапиро, И.А. Физиолого-биохимические изменения у лишайников под влиянием атмосферного загрязнения / И.А. Шапиро // Успехи соврем. биол. – 1996. – Т. 116, № 2. – С. 158 – 171.

2. Schöller, H. Flechten (lichenes) als Indikatoren zur Bewertung von Ökosystemen und ihre Bedeutung für den Naturschutz / H. Schöller, H. Thüs, M. Bottner // *Kleine Senckenberg-R.* – 1999. – № 32. – S. 121 – 134.
3. Cieśliński, S. Threatened lichens in Poland and their conservation / S. Cieśliński, K. Czyżewska // *Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rubel Zürich.* – 1991. – № 106. – P. 133 – 149.
4. Deruelle, S. Les lichens et la pollution atmosphérique / S. Deruelle // *Bull. écol.* – 1978. – Vol. 9, № 2. – P. 87 – 128.
5. Rogers, R.W. The «city-effect» on lichens in the Brisbane area / R.W. Rogers // *Search.* – 1977. – Vol. 8, № 3. – P. 75 – 77.
6. Beguinot, J. Hysteresis de reponse de la vegetation lichenique a l'evolution de la pollution: analyse en terme de dynamique des populations / J. Beguinot // *Bull. inf. Assoc. fr. lichénol.* – 1988. – Vol. 13, № 1. – P. 30 – 43.
7. Экология города / Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт экологии города; редкол.: Н.С. Касимов [и др.]. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
8. Галанин, А.В. Структура покрова лишайников г. Благовещенска и его окрестностей в связи с загрязнением среды обитания / А.В. Галанин, В.В. Щекина // *Комаров. чтения.* – 2004. – № 50. – С. 60 – 121, 172 – 173, 175 – 176.
9. Vokou, D. Lichens as bioindicators of temporal variations in air quality around Thessaloniki, northern Greece / D. Vokou, S.A. Pirintsos, S. Loppi // *Ecol. Res.* – 1999. – Vol. 14, № 2. – P. 89 – 96.
10. LeBlanc, F. Réaction de quelques lichens et mousses épiphytiques à l'anhydride sulfureux dans la région de Sudbury, Ontario / F. LeBlanc, D.N. Rao // *Bryologist.* – 1966. – Vol. 69, № 3. – P. 338 – 346.
11. Nash, T.H. Sensitivity of lichens to sulfur dioxide / T.H. Nash // *Bryologist.* – 1973. – Vol. 76, № 3. – P. 333 – 339.
12. Lerond, M. Les lichens epiphytes du Parc naturel régional de Brotonne. Intérêt pratique pour la mise en évidence des zones de pollution atmosphérique / M. Lerond // *Rev. Soc. savantes Haute Normandie.* – 1975. – № 78. – P. 5 – 32.
13. Burkhardt, F.-W. Lufthygienische Schwellenwerte und Bioindikation durch Flechten / F.-W. Burkhardt // *VDI-Ber.* – 1987. – № 609. – S. 715 – 728.
14. Hawksworth, D.L. Lichen recolonization in London under conditions of rapidly falling sulfur dioxide levels, and the concept of zone skipping / D.L. Hawksworth // *Bot. J. Linnean Soc.* – 1989. – Vol. 100, № 2. – P. 99 – 109.
15. Rydzak, J. Stan flory porostów w okolicach tarnobrzeskiego zagębia siarkowego / J. Rydzak, J. Piórecki // *Ann. UMCS.* – 1971. – № 26. – P. 343 – 352.
16. Баумгертнер, М.В. Лишайники – биоиндикаторы загрязнения окружающей среды юга Кемеровской области / М.В. Баумгертнер // *Сибирский экологический журнал.* – 1998. – Т. 5, № 2. – С. 191 – 196.
17. Бязров, Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л.Г. Бязров. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.
18. Gallé, L. Wirkung der Luftverunreinigung auf die Verarmung der Flechtenvegetation der Stadt Szeged und ihrer Umgebung / L. Gallé // *Acta biol. szeged.* – 1979. – Bd. 25, № 1-2. – S. 3 – 15.
19. Seitz, W. Flechtenwuchs und Luftverunreinigung im Grossraum von Saarbrücken / W. Seitz // *Ber. Dtsch. bot. Ges.* – 1972. – Bd. 85, № 5-6. – S. 239 – 247.
20. Johnsen, I. Influence of air pollution on the epiphytic lichen vegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area / I. Johnsen, U. Søchting // *Oikos.* – 1973. – Vol. 24, № 3. – P. 344 – 351.
21. Красногорская, Н.Н. Лихеноиндикационные шкалы оценки качества атмосферного воздуха / Н.Н. Красногорская, С.Е. Журавлева, Г.Р. Миннуллина // *Фундам. исслед.* – 2004. – № 5. – С. 38 – 42.

22. Seitz, W. Studien an Rindenflechten und ihrer ökologischen Korrelation zur Luftverunreinigung in einigen Städten Süd (west) Deutschlands und Ostfrankreichs / W. Seitz // Beitr. Biol. Pflanz. – 1983. – Bd. 58, № 1. – S. 1 – 45.
23. Rao, D.N. Influence of an iron-sintering plant on corticolous epiphytes in Wawa, Ontario / D.N. Rao, F. LeBlanc // Bryologist. – 1967. – Vol. 70, № 2. – P. 141 – 157.
24. Skye, E. Continued investigations of epiphytic lichen flora around Kvarntorp in Närke / E. Skye // Acta phytogeogr. suec. – 1980. – № 68. – P. 141 – 152.
25. Batič, F. Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji / F. Batič, A. Kralj // Zb. gozd. in les. – 1995. – № 47. – P. 5 – 56.
26. Jacobsen, P. Flechten in Schleswig-Holstein: Bestand, Gefährdung und Bedeutung als Bioindikatoren / P. Jacobsen // Mitt. Arbeitsgemeinschaft. Geobot. Schleswig-Holstein und Hamburg. – 1992. – № 42. – S. 1 – 234.
27. Бязров, Л.Г. Оценка изменения качества воздушного бассейна Подмосковья с помощью эпифитных лесных лишайников / Л.Г. Бязров // Лес. х-во. – 1992. – № 10. – С. 13.
28. Scott, M.G. Contrasting responses of lichens and *Vaccinium angustifolium* to long-term acidification of boreal forest ecosystem / M.G. Scott, T.C. Hutchinson, M.J. Feth // Can. J. Bot. – 1989. – Vol. 67 № 2. – P. 579 – 588.
29. Храмченкова, О.М. Кислотность и анионный состав атмосферных осадков в г. Гомеле / О.М. Храмченкова, А.М. Будов // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2002. – № 4. – С. 3 – 11.
30. Храмченкова, О.М. Содержание анионов в снежном покрове Гомельской городской агломерации в 2001–2003 гг. / О.М. Храмченкова, А.М. Будов // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2003. – № 5. – С. 67 – 76.
31. Храмченкова, О.М. Химический состав снежного покрова Гомельского района в 2001 – 2003 гг. / О.М. Храмченкова, А.М. Будов, А.А. Горнасталев // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2004. – № 3. – С. 93 – 102.
32. Balaguer, L. Interaction between sulfur dioxide and nitrate in some lichens / L. Balaguer, E. Manrique // Environ. and Exp. Bot. – 1991. – Vol. 31, № 2. – P. 223 – 227.
33. Храмченкова, О.М. Накопление лишайником ионов атмосферного происхождения / О.М. Храмченкова, А.Г. Цуриков // Наука и инновации. – 2006 – № 11 (45) – С. 31–34.
34. Lechowicz, M.J. Resistance of the caribou lichen *Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo to growth reduction by simulated acidic rain / M.J. Lechowicz // Water, Air, and Soil Pollut. – 1987. – Vol. 34, № 1. – P. 71 – 77.
35. Swieboda, M. Porosty biologicznym wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego / M. Swieboda, A. Kalemba // Wiad. ekol. – 1978. – Vol. 24, № 3. – P. 209 – 224.
36. Martin, J.-F. Influence des fumées d'usines sur la distribution des lichens dans la vallée de la Romanche (Isère) / J.-F. Martin, F. Jacquard // Pollut. atmosph. – 1968. – Vol. 10, № 38. – P. 95 – 99.
37. Horntvedt, R. Epiphytic macrolichens on Scots pine related to air pollution from industry in Odda, Western Norway / R. Horntvedt // Medd. Norsk inst. skogforsk. – 1975. – Vol. 31, № 12. – P. 584 – 604.
38. Takala, K. Fluorine content of two lichen species in the vicinity of a fertilizer factory / K. Takala, P. Kauranen, H. Olkkonen // Ann. bot. fenn. – 1978. – Vol. 15, № 3. – P. 158 – 166.
39. Bortenschlager, S. Untersuchung über die Epixyle Flechtenvegetation im Grossraum Linz / S. Bortenschlager, H. Schmidt // Naturkundl. Jahrb. Stadt Linz. – 1963. – S. 19 – 35.
40. Wilkon-Michalska, J. Porosty rezerwatu lesnego «Las Piwnicki» kolo Torunia / J. Wilkon-Michalska, N. Glazik // Acta. Univ. N. Copernici: Biol. – 1983. – № 25. – P. 57 – 67.
41. Moore, C.C. Factors affecting the distribution of saxicolous lichens within a four kilometer distance of Dublin City centre / C.C. Moore // Proc. Roy. Irish Acad. Sect. B. – 1976. – Vol. 76, № 18. – P. 263 – 283.
42. Ryzak, J. Badania nad stanem flory porostów w krejonie przemysłu azotowego w Puławach / J. Ryzak, H. Stasiak // Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska. Sect. C. – 1971. – № 26. – P. 329 – 342.

43. Kofler, L. Influence de fumées d'usines sur la germination des spores de certains lichens / L. Kofler, F. Jacguard, J.F. Martin // *Mém. Soc. bot. France.* – 1968 (1969). – P. 219 – 230.

44. Cieśliński, S. Zmiany we florze porostów sosny (*Pinus sylvestris* L.) pod wpływem emisji zakładów przemysłu cementowo-wapienniczego i wydobywczego / S. Cieśliński, E. Jaworska // *Acta mycol.* – 1986. – Vol. 22, № 1. – P. 3 – 13.

45. Recchia, F. Osservazioni sui liceni nelle vicinanze di un cementificio / F. Recchia, F. Polidoro // *Arch. bot. ital.* – 1988. – Vol. 64, № 1 – 2. – P. 8 – 18.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 28.02.08

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ