

11. Русаленко, А. И. Глубина залегания и амплитуда колебания уровня грунтовых вод в лесных фитоценозах / А. И. Русаленко, Д. И. Филон // Труды БГТУ. Серия I, Лесное хозяйство. – Минск : БГТУ, 2008. – Вып. XVI. – С. 243–247.
12. Серикова, Е. Н. Математическое моделирование изменения уровней грунтовых вод в городах с учетом ведущих режимообразующих факторов / Е. Н. Серикова, Е. А. Стрельникова, В. В. Яковлев // Вестник ХНТУ. – 2014. – № 4(51). – С. 186–194.
13. Чендев, Ю. Г. Реакция почв и других компонентов природной среды на климатические изменения разной периодичности на юге Среднерусской возвышенности / Ю. Г. Чендев, А. А. Тишков, В. И. Савин, М. Г. Лебедева, А. Б. Соловьев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2020. – № 84(3). – С. 427–440. DOI: 31857/S258755662003005X.
14. Шестаков, В. М. Геогидрология / В. М. Шестаков, С. П. Поздняков. – М. : Академкнига, 2003. – 173 с.
15. Brunner, P. Hydrogeologic controls on disconnection between surface water and groundwater / P. Brunner, C. T. Simmons, P. G. Cook // Water Resour. – 2009. – Vol. 45. – W01422. DOI: 10.1029/2008WR006953.

УДК 504.3.064-034

## **УРОВНИ И ТРЕНДЫ СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА И ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

*Ю. Г. Кокош, О. Ю. Круковская*

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
*y-kokosh@mail.ru*

### **Аннотация**

В статье представлены результаты анализа многолетних рядов (2006–2016 гг.) среднемесячного содержания в атмосферном воздухе в Беларуси формальдегида и диоксида азота по данным измерений спектрометра OMI, размещённого на спутнике Aura. Изучены пространственное распределение, межгодовые и внутригодовые тренды. Представлены результаты совместного анализа данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений на постах сети мониторинга в городах, выполнен корреляционный и регрессионный анализ.

**Ключевые слова:** диоксид азота, формальдегид, загрязнение воздуха, дистанционное зондирование, содержание загрязняющих веществ.

## **FORMALDEHYDE AND NITROGEN DIOXIDE LEVELS AND TRENDS IN ATMOSPHERIC AIR IN BELARUS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA**

*Y. G. Kokosh, O. Y. Krukowskaya*

### **Abstract**

The article presents the results of the analysis of long-term series (2006–2016) of the average monthly content of formaldehyde and nitrogen dioxide in the atmospheric

air in Belarus according to the data of the OMI spectrometer located on the Aura satellite. Spatial distribution, inter-annual and intra-annual trends are studied. The results of a joint analysis of remote sensing data and ground-based observations at monitoring network posts in cities are presented, a correlation and regression analysis is performed.

**Keywords:** nitrogen dioxide, formaldehyde, air pollution, remote sensing, pollutant content.

**Введение.** В настоящее время мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) является основным источником информации о состоянии воздушного бассейна в городах и других населенных пунктах. Однако редкая сеть наблюдений существенно осложняет выявление пространственной структуры загрязнения атмосферного воздуха, в особенности на территориях вне городов – а это большая часть Беларуси. В то же время существует значительная потребность в такой информации.

Существенно дополнить результаты наземного мониторинга атмосферного воздуха позволяют дистанционные методы, в первую очередь, измерения с помощью приборов, установленных на космических аппаратах. Используются спектрометры, работающие в ультрафиолетовом и видимом диапазоне, и позволяющие получить глобальные карты содержания диоксида азота, формальдегида, метана, озона, оксида углерода, диоксида серы и некоторых других веществ в тропосфере различного осреднения (суточные, месячные, годовые).

В настоящее время спутниковая информация в Беларуси практически не используется в регулярной практике для характеристики загрязнения атмосферного воздуха, не разработана для этого нормативная и методическая база. Исследования позволят создать научную основу для последующей разработки нормативных технических актов, позволяющих использовать данные спутникового зондирования для целей мониторинга воздушной среды.

В качестве анализируемых загрязняющих веществ взяты диоксид азота и формальдегид, как одни из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха городов Беларуси. Данные соединения характеризуются высокой активностью и влияют на физико-химические процессы в атмосфере и, как следствие, на содержание других загрязняющих веществ. Они играют немалую роль в образовании фотохимического смога [1].

Диоксид азота характеризуется продолжительным сроком жизни в атмосфере, в значительной степени непосредственно переносится на большие расстояния. Вещество участвует в процессах образования вторичных загрязнителей, закисляющих и эвтрофирующих соединений, которые осаждающихся на значительных расстояниях от источников выбросов.

Годовое поступление диоксида азота в атмосферный воздух в Беларуси оценивается в 142,1 тыс. т (2015 г.). Из общего количества 59 % приходится на передвижные источники (в том числе 30 % – на дорожный автомобильный транспорт), 32 % – на стационарные источники в обрабатывающей промышленности и централизованной энергетике [2].

Формальдегид является промежуточным продуктом окисления многих классов летучих органических соединений, данное загрязняющее вещество может служить индикатором интенсивности фотохимических процессов и загрязнения атмосферы летучими органическими соединениями.

В течение года в атмосферный воздух Беларуси поступает около 3,5 тыс. т (2015 г.) формальдегида от первичных антропогенных источников. Наибольшие антропогенные выбросы формальдегида связаны с передвижными источниками (87 %) и стационарным сжиганием топлива (11 %). Фотохимическое образование данного соединения значительно превышает выбросы от первичных источников и достигает ориентировочно 29-30 тыс. тонн в год [3].

**Материалы и методы.** В данном исследовании для анализа содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе в Беларуси по данным дистанционного зондирования использованы среднемесячные данные о содержании формальдегида и диоксида азота за 2006-2016 гг. в атмосферной колонне по данным спектрометра OMI. Пространственное разрешение анализируемых данных для формальдегида составило 0,25x0,25 град, для диоксида азота – 0,125x0,125 град [4, 5]. Для получения средних значений данных дистанционного зондирования в Беларуси выполнено арифметическое осреднение значений для ячеек сектор исходных данных хотя бы частично покрывающих территорию страны.

Для сопоставления с данными наземных наблюдений использованы показатели среднемесячных и среднегодовых концентраций диоксида азота и формальдегида, полученных на станциях с ручным пробоотбором для 18 городов Беларуси (Бобруйск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Минск, Могилев, Мозырь, Новогрудок, Новополоцк, Орша, Пинск, Полоцк, Речица, Светлогорск) [6]. Сопоставление содержания загрязняющих веществ в тропосфере над городами принято по среднему значению ячеек, покрывающих территорию изучаемых населённых пунктов.

Данные о среднемесячном содержании рассматриваемых загрязняющих веществ характеризуются различным покрытием в зависимости от сезона. В теплый период года исходных данных достаточно для получения среднемесячных значений в среднем для всей территории страны как для формальдегида, так и для диоксида азота. В зимний период высокая частота облачности во время выполнения зондирования приводит к высокому числу пропусков, что не позволяет получать данные для формальдегида, достаточные для вычисления обоснованных среднемесячных. Покрытие территории Беларуси в зимний период для диоксида азота также не сплошное, однако, как правило, достаточное для выполнения осреднений. В анализ включены все доступные среднемесячные значения.

**Результаты и обсуждение.** Среднемесячное содержание диоксида азота в Беларуси по данным дистанционного зондирования варьирует в диапазоне от 0,01 до  $44,87 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ . Максимальные годовые значения концентраций в рассмотренный период варьируют в широком диапазоне от  $9,81 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$  в 2013 г. до  $44,87 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$  в 2009 г. При этом среднее и медианное значение по территории изменяется слабо, максимумы формируются

под действием сверхвысоких значений на отдельных участках в отдельные периоды. Среднее содержание варьирует в диапазоне  $1,38-1,91 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ , медианное –  $1,20-1,37 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ .

Годовое содержание  $\text{NO}_2$  в тропосфере (осредненное по всей территории) по всей территории в рассматриваемом периоде характеризуется неустойчивым сокращением. В 2006 г. значение данного показателя составило  $1,75 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ , в 2016 г. – на  $0,05 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$  или 2,9% меньше. В отдельные годы в течение этого периода средняя концентрация возрастала до  $1,90-1,91 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$  (2010 и 2014 г.). Медианное содержание характеризуется более однородным рядом в этот период: значения варьировали в диапазоне  $1,22-1,37 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ . В отношении медианного содержания также отмечено более низкое содержание в 2016 г. по сравнению с 2006 г, однако статистически достоверного снижения данного показателя не отмечается.

В территориальной структуре, как правило, вне зависимости от сезона наблюдается поле повышенных концентраций над крупными городами (особенно в Минском районе). Кроме того, более высокие концентрации наблюдаются в юго-западной части страны. Максимальные среднемесячные значения содержания диоксида азота в тропосфере в Беларуси в рассматриваемый период достигали  $44,87 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ , что более чем в 20 раз выше предельного медианного значения.

Среднегодовое содержание формальдегида в тропосфере (осредненное по всей территории) характеризуется, наоборот, неустойчивым ростом за рассматриваемый период исследования. Среднегодовые концентрации формальдегида для домена за этот период варьировали в диапазоне от  $5,55 \times 10^{15}$  мол./ $\text{см}^2$  в 2013 г. до  $7,62 \times 10^{15}$  мол./ $\text{см}^2$  в 2007 г. В 2016 г. среднегодовое содержание формальдегида над территорией Беларуси составляло  $7,22 \times 10^{15}$  мол./ $\text{см}^2$ , что на  $0,79 \times 10^{15}$  мол./ $\text{см}^2$  или 12,3% выше значений 2006 г.

Среднемесячные концентрации формальдегида в Беларуси по данным дистанционного зондирования варьировали от 2,45 (в марте 2013 г.) до  $12,17 \times 10^{15}$  мол./ $\text{см}^2$  (в августе 2014 г.). В территориальном распределении присутствует выраженная сезонность содержания НСНО в тропосфере.

За указанный период наиболее высокие концентрации формальдегида наблюдались чаще всего в юго-западной части Беларуси. Зафиксированный локальный максимум за период исследования составил  $30,8 \times 10^{15}$  мол./ $\text{см}^2$  и зафиксированы в августе 2014 г. на юго-западе страны.

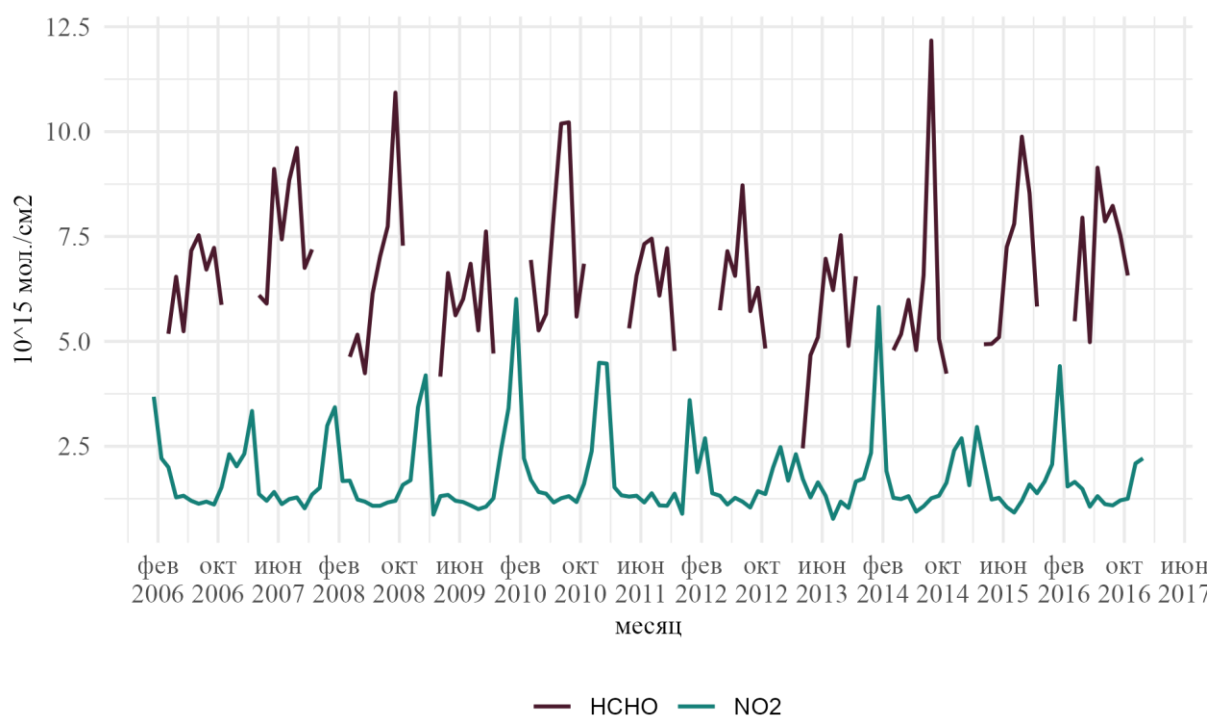
В годовом ходе содержания формальдегида наблюдается устойчивая тенденция к росту среднего содержания формальдегида в теплый период года и сокращению в холодный. Наиболее высокие среднемесячные концентрации чаще всего фиксируются в июле и августе. В отдельные годы минимальные и максимальные средние значения зафиксированы в другие месяцы.

Годовой ход среднего содержания  $\text{NO}_2$  характеризуется устойчивой тенденцией к сокращению среднего содержания в теплый период года (обычно май-август) и повышению в холодный (декабрь-февраль). В отдельные годы минимальные и максимальные годовые средние значения наблюдаются в другие

месяцы. Как правило, увеличение максимального содержания сопровождается увеличением также и минимальных наблюдаемых значений.

В период с 2007 по 2010 г. отмечался рост максимальных среднемесячных концентраций, в последующие годы (исключая 2014 г.) максимальное среднемесячное содержание  $\text{NO}_2$  в тропосфере не превышало на территории Беларуси  $17,0 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ . Минимальное содержание в течение всего рассмотренного периода не превышало  $1,0 \times 10^{15}$  мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$  (рисунок 1).

Среднее содержание диоксида азота и формальдегида на территории страны в течение месяцев, для которых присутствуют результаты для каждого из параметров, не имеет между собой статистически значимой корреляции. При этом годовые экстремумы для рассматриваемых соединений наблюдаются в противоположные сезоны. Наиболее высоким значениям среднего содержания формальдегида в летние месяцы соответствует «плато» содержания диоксида азота. В свою очередь, в зимний период, когда наблюдаются наиболее высокие концентрации диоксида азота в толще атмосферы, результаты измерений содержания формальдегида, как правило, недостаточны для среднемесячных осреднений (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Временные ряды средних месячных значений содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе по данным дистанционного зондирования

Из наблюдаемых сходств динамики можно отметить сезонные пики относительно (по сравнению с другими годами) низкой интенсивности, наблюдаемые в 2013 г. Сходство динамики противоположного направления наблюдалось в 2010 и 2014 гг., когда зимой наблюдались одни из наиболее высоких средних концентраций диоксида азота, а через полгода – формальдегида. Разнонаправленность

годового хода может быть объяснена различием соотношения категорий источников выбросов и их внутригодовой динамики, а также различным поведением рассматриваемых соединений в атмосферном воздухе.

Анализ зависимостей среднемесячного содержания в атмосферном воздухе на станциях мониторинга и по данным дистанционного зондирования по городам Беларуси, выполненный для формальдегида и диоксида азота для 2006–2013 гг. показал, что статистически достоверно с использованием линейной модели могут быть аппроксимированы концентрации для отдельных разных для рассматриваемых соединений городов.

Для формальдегида установлена преимущественно положительная связь между концентрациями в городах, измеренными на постах сети НСМОС и в толще атмосферы над ними. Статистически значимые корреляции получены для 8 из 18 рассматриваемых городов: Бреста ( $R^2=0,293$ ), Витебска ( $R^2=0,104$ ), Гомеля ( $R^2=0,161$ ), Минска ( $R^2=0,088$ ), Новогрудка ( $R^2=0,189$ ), Орши ( $R^2=0,303$ ), Пинска ( $R^2=0,094$ ) и Речицы ( $R^2=0,212$ ) (таблица 1). Статистически достоверные коэффициенты угла наклона и интерсепты положительные и находятся в диапазонах 2,481–4,622 и 0,184–1,976, соответственно.

При рассмотрении отдельных лет периода получены более тесные коэффициенты корреляции, в частности для Речицы в 2010 г. ( $R^2=0,95$ ), Орши в 2011 и 2013 гг. ( $R^2=0,87$ ,  $R^2=0,83$ ), Гомеля в 2013 г. ( $R^2=0,87$ ) и Гродно в 2013 г. ( $R^2=0,88$ ). В 2013 г. наблюдалась наиболее тесная связь среднемесячного содержания формальдегида в атмосферном воздухе на станциях мониторинга и по данным дистанционного зондирования по городам Беларуси: в 13 из 14 рассмотренных городов коэффициент корреляции ( $R$ ) составил от 0,34 до 0,94.

**Таблица 1** – Параметры корреляции среднемесячного содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе на станциях мониторинга и по данным дистанционного зондирования по городам Беларуси в 2006–2013 гг.

Город	Диоксид азота				Формальдегид			
	Уровень значимости корреляции p-value	Коэффициент корреляции, $R^2$	Коэффициенты уравнения линейной регрессии		Уровень значимости корреляции p-value	Коэффициент корреляции, $R^2$	Коэффициенты уравнения линейной регрессии	
			Угол наклона	Интерсепт			Угол наклона	Интерсепт
Брест	0,5822				<b>0,00001</b>	<b>0,293</b>	1,615	<b>0,441</b>
Витебск	0,6976				<b>0,0138</b>	<b>0,104</b>	<b>4,597</b>	<b>0,184</b>
Гомель	0,3652				<b>0,0018</b>	<b>0,161</b>	<b>4,622</b>	<b>0,217</b>
Минск	<b>0,0365*</b>	<b>0,045</b>	<b>3,941</b>	<b>-0,039</b>	<b>0,0236</b>	<b>0,088</b>	<b>4,325</b>	<b>0,296</b>
Могилев	<b>0,0485</b>	<b>0,042</b>	<b>1,947</b>	<b>-0,009</b>	0,1182			
Новогрудок	0,9591				<b>0,0007</b>	<b>0,189</b>	<b>2,481</b>	<b>1,976</b>
Орша	0,6983				<b>0,00001</b>	<b>0,303</b>	-0,747	<b>0,575</b>
Пинск	0,8776				<b>0,0181</b>	<b>0,094</b>	2,775	<b>0,352</b>
Речица	0,5906				<b>0,0003</b>	<b>0,212</b>	1,578	<b>0,634</b>
Светлогорск	<b>0,0021</b>	<b>0,093</b>	<b>2,971</b>	<b>-0,027</b>	0,3861			

\*полужирным шрифтом выделены статистически значимые значения

Коэффициенты корреляции для городов со статистически достоверной связью приземных и тропосферных концентраций формальдегида возрастают в ряду Минск (0,29) – Пинск (0,31) – Витебск (0,32) – Гомель (0,40) – Новогрудок (0,44) – Речица (0,46) – Брест (0,54) – Орша (0,55).

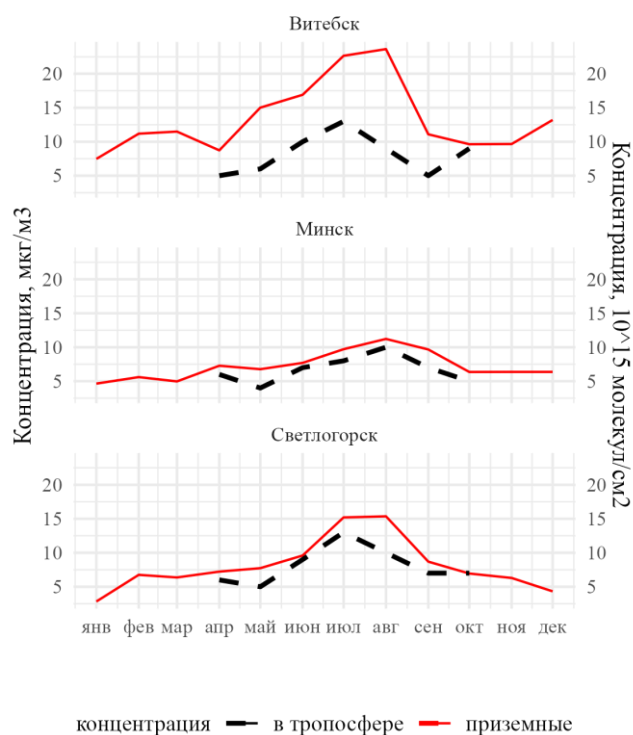
Для диоксида азота статистически достоверная корреляция между среднемесячными значениями содержания в приземном слое, измеренном на постах сети мониторинга и по данным дистанционного зондирования выявлена для еще меньшего числа городов: Минска ( $R^2=0,045$ ), Могилева ( $R^2=0,042$ ) и Светлогорска ( $R^2=0,093$ ). Все коэффициенты линейных моделей для диоксида азота статистически достоверны. Коэффициенты угла наклона положительные (1,947–3,941), интерсепты - отрицательные -0,039–0,009, соответственно.

Статистически достоверная линейная регрессия для всех рассматриваемых лет отмечена для городов Могилева, Мозыря, Новополоцка и Светлогорска, в отдельные годы – для Витебска (2008, 2011 гг.), Гомеля (2006, 2008-2009 гг.), Гродно (2007 г.), Минска (2014 г.), Могилева (2006 г.), Мозыря (2006 гг.), Новополоцка (2007-2008 гг., 2012 г.), Полоцка (2008, 2011 гг.), Речицы (2014 г.), Светлогорска (2006, 2009, 2010, 2011 и 2014 гг.), Солигорска (2009, 2010 гг.).

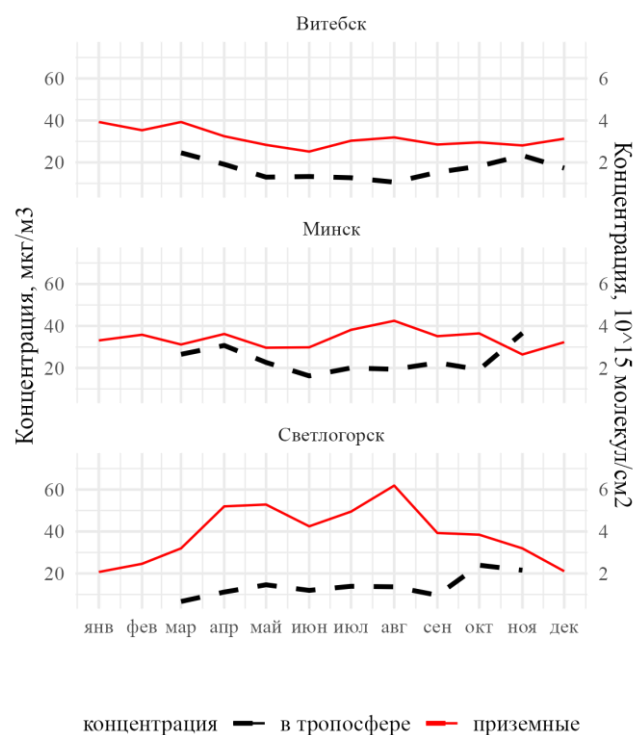
Согласно результатам корреляционного анализа, для городов со статистически достоверной связью приземных и тропосферных концентраций диоксида азота, наблюдается отрицательная связь между этими показателями. Коэффициенты корреляции составляют -0,213 для Минска, -0,205 и -0,304 для Могилева.

Выявленные корреляции подтверждаются годовым ходом среднемесячных концентраций в отдельных городах. В частности, для формальдегида в 2010 г. сходство динамики концентраций в приземном слое и тропосфере в Витебске, Минске и Светлогорске показано на рисунке 2.

формальдегид



диоксид азота



**Рисунок 2** – Динамика среднемесячного содержания формальдегида и диоксида азота по данным мониторинга и дистанционного зондирования в гг. Витебске, Минске и Светлогорске в 2010 г.

Содержание формальдегида в Витебске в 2010 г., для которого установлена статистически достоверная корреляция между содержанием в приземном слое и тропосфере, в приземном слое находилось в диапазоне 7,5-23,6 мкг/м<sup>3</sup>, с максимумом в летний период (июль-август). В этот период наблюдались и наиболее высокие концентрации в тропосфере – до  $13 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>. В других представленных городах также наблюдалось сходство сезонной динамики как по данным наземных, так и по данным дистанционных наблюдений. Максимум в Минске также пришелся на август и в приземном слое составил 11,2 мкг/м<sup>3</sup>, в тропосфере –  $10 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>. В Светлогорске, для которого не установлена статистически достоверная корреляция между содержанием в приземном слое и тропосфере, наиболее высокое значение в приземном слое отмечено в августе (15,4 мкг/м<sup>3</sup>), тропосфере – в июле ( $13 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>).

Содержание диоксида азота в Витебске, для которого не установлена статистически достоверная корреляция между содержанием этого вещества в приземном слое и тропосфере, максимум в приземном слое отмечен в январе и марте (36,3 мкг/м<sup>3</sup>), в тропосфере – также в марте ( $2,46 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>), минимум в приземном слое – в июне (25,2 мкг/м<sup>3</sup>), в тропосфере – в августе ( $1,06 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>). Для других городов (Минска и Светлогорска) несмотря на наличие выявленной ранее отрицательной статистически достоверной корреляции, для 2010 г. общие тенденции выражены слабо. В Минске минимум приземной концентрации (26,4 мкг/м<sup>3</sup>) отмечен в ноябре, максимум – в августе (42,5 мкг/м<sup>3</sup>), минимум содержания в тропосфере – в июне ( $1,62 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>), максимум – в ноябре ( $3,66 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>), данные за январь, февраль и декабрь – отсутствуют. В Светлогорске минимум приземной концентрации (20,71 мкг/м<sup>3</sup>) отмечен в январе, максимум – в августе (61,88 мкг/м<sup>3</sup>), минимум содержания в тропосфере – в марте ( $0,66 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>), максимум (в отсутствие данных в декабре и феврале) – в январе ( $7,40 \times 10^{15}$  мол./см<sup>2</sup>).

**Заключение.** Анализ динамики среднемесячных концентраций оксида азота и формальдегида в приземном слое и толще атмосферы показал различие для этих соединений. Для формальдегида характерна неустойчивая межгодовая тенденция к росту, максимумы в теплый летний период. Диоксид азота характеризуется слабовыраженной межгодовой тенденцией к сокращению содержания в тропосфере, с интенсивными максимумами в зимний период на фоне низкого уровня, наблюдаемого в другие сезоны. Соединения характеризуются различной по направлению корреляцией содержания в приземном слое и толще атмосферы: формальдегид – положительной, диоксид азота – отрицательной. Для диоксида азота статистически достоверная линейная регрессия приземных и тропосферных концентраций выявлена для 3 городов, для формальдегида – для 8 городов.

Выявленные различия отражают различные для рассматриваемых соединений хемокинетику в атмосфере и структуру поступления в атмосферный воздух.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природопользование и экология», подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность»; № госрегистрации 20160130 (2016-2018); № госрегистрации 20192480 (2019-2020).



### Список цитированных источников

1. Безуглая, Э. Ю. Воздух городов и его изменения / Э. Ю. Безуглая, Н. В. Смирнова. – СПб. : Астерион, 2008. – 254 с.
2. Какарека, С. В. Отчетность о выбросах загрязняющих веществ в рамках обязательств по конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния: методология и результаты / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская, А. В. Мальчихина // Материалы научно-практической конференции «Природопользование и экологические риски» (5 июня 2019 г.). – Минск, 2019. – С. 246–251.
3. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в городах Беларуси: дис. ... канд.геогр. наук : 25.03.13 / Ю. Г. Кокош. – Минск, 2017. – 248 л.
4. OMI Algorithm Theoretical – Basis Document – Volume IV: OMI Trace Gas Algorithms. – 2002. – 78 с.
5. TEMIS - Tropospheric Emission Monitoring Internet Service [Electronic source]. – Mode of Access: <http://www.temis.nl/index.php>. – Date of Access: 20.04.2018.
6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Мониторинг атмосферного воздуха. Архив результатов наблюдений за 2005–2015 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/173.html>. – Дата доступа: 24.06.2022.

УДК 574.4; 631.45; 632.8

### БИОТЕСТИРОВАНИЕ СМЕСЕЙ ЗОЛЫ С ПОЧВЕННЫМИ ДОБАВКАМИ НА МОДЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*А. П. Колбас<sup>1</sup>, И. В. Бульская<sup>1</sup>, И. Н. Яковук<sup>1</sup>, В. С. Нестерук<sup>1</sup>,  
О. Н. Франчук<sup>1</sup>, М. М. Дашкевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина», Брест, Беларусь, kolbas77@mail.ru

<sup>2</sup>Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Брест, Беларусь

#### Аннотация

Физико-химический анализ золы и лизиметрических вытяжек свидетельствует о повышенном содержании как биофильных, так и технофильных элементов. Причем значительное присутствие первых (Zn, Cu, Mo, Co, Mn, B, P, K) позволяет использовать данную золу в качестве минеральной добавки к почве. Проведенный анализ эффективности совместного применения золы и почвенных добавок методами биотестирования с использованием двух культур (кукуруза и подсолнечник) выявил видоспецифичность. При использовании золы (10 %) максимальный улучшающий эффект выявлен для массы надземных и подземных частей кукурузы при добавлении торфа (прирост на 271 % и 97 % соответственно). Для стеблей подсолнечника максимальный прирост биомассы наблюдался при совместном использовании торфа и комплексных удобрений (25 %).