

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.20.31.013

УДК 502/504

© Е.С. Кулакова, 2022

**Е.С. КУЛАКОВА**

канд. техн. наук,  
доцент кафедры  
Институт химических технологий  
и инжиниринга ФГБОУ ВО УГНТУ,  
г. Стерлитамак



## БЕНЗОЛ И ЕГО ГОМОЛОГИ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА БЕЛЬСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

*В статье проведено исследование влияния комплекса параметров на изменение концентрации органических загрязняющих веществ в атмосферном воздухе жилой части города. Объектами исследования являются массивы ежечасных значений концентрации бензола, толуола, оксилола, м, п-ксилолы города, зарегистрированные автоматизированной станцией контроля воздуха. Проведено исследование влияния ветрового режима (направления и скорости ветра) и рельефа местности на изменение концентрации бензола и его гомологов в воздухе. Построены диаграммы среднего содержания веществ при изменении направления ветра от 0° до 360°. Выявлено, что на моментное значение концентрации органических веществ в воздухе оказывает влияние ветровой режим, расположение источника организованного выброса, ландшафт местности.*

Ключевые слова: АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ, БЕНЗОЛ, ТОЛУОЛ, КСИЛОЛ, РЕЛЬЕФ, ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема влияния предприятий топливно-энергетического комплекса на мировые экологические проблемы и проблемы качества жизни населения в планетарном масштабе не теряет своей актуальности в настоящее время. Главной экологической проблемой является изменение экосистем под влиянием тенденции повышения глобальной температуры атмосферного воздуха [1]. Население планеты сталкивается с целым рядом проблем мирового масштаба. В первую очередь, это высыхание огромных территорий, что делает их невозможными для проживания людей. Жизнеобеспечивающими причинами являются отсутствие питьевой воды и воды для орошения полей сельскохозяйственного назначения. Так, деятельность Всемирной ме-

теорологической организации направлена на замедление роста температуры воздуха. Одной из главных точек опоры ВМО является проведение мероприятий каждой страной мира в направлении снижения выброса углеродов в атмосферный воздух.

Содержание органических веществ в городах определяется расстоянием до источника выброса, а именно до предприятия нефтепереработки / нефтехимии, ландшафтом местности, климатическими параметрами.

Последствием глобального потребления является увеличение предприятий нефтехимии, что проявляется в повышении нагрузки на компоненты окружающей среды. Во всем мире нефтехимическая продукция используется в упаковке (28 % производства), электронике (19 %), строительстве (14 %), автомо-

билестроении (12 %) и ряде других смежных отраслей (27 %). Спрос на нефтехимическую продукцию обычно растет в 1–2 раза быстрее, чем общие темпы роста экономики.

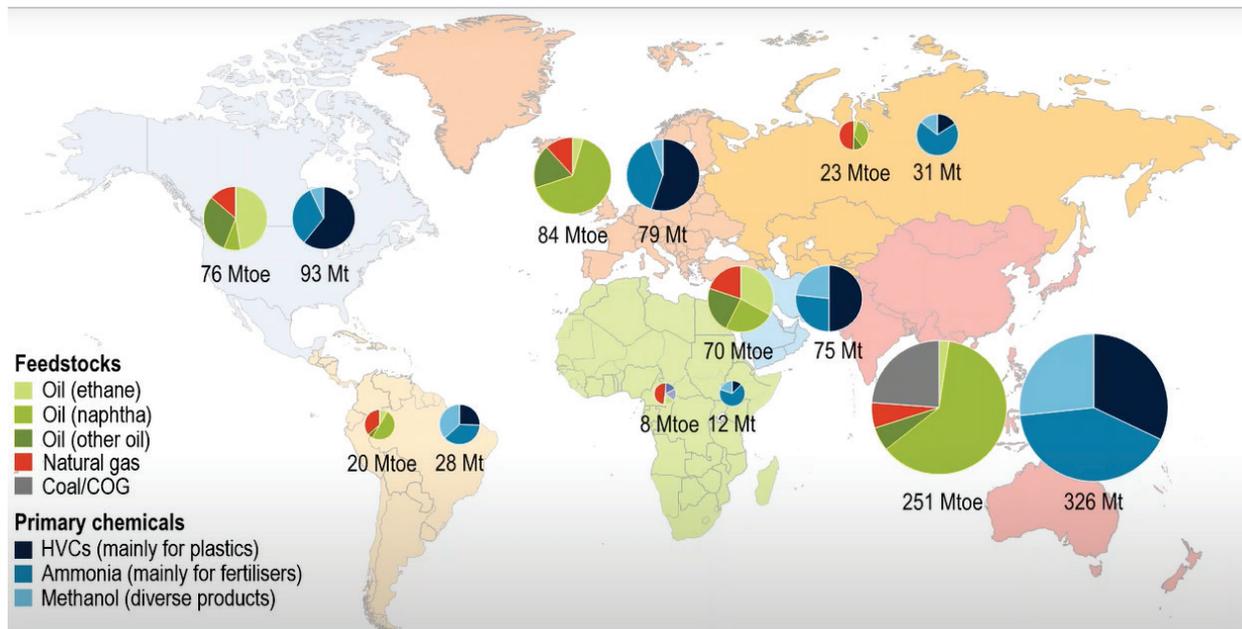


Рис. 1. Объемы производства нефтехимических предприятий стран (регионов) мира, согласно данным International Energy Agency, 2022 (MT — Metric Tonne, MTOE, MTOE — Million Tonnes of Oil Equivalent)

Согласно данным IEA (International Energy Agency), мировыми лидерами по нефтехимическому производству являются страны Восточной Азии и Западной Европы. При этом основными технологическими процессами являются производство пластика, аммиака, метанола (рис. 2).

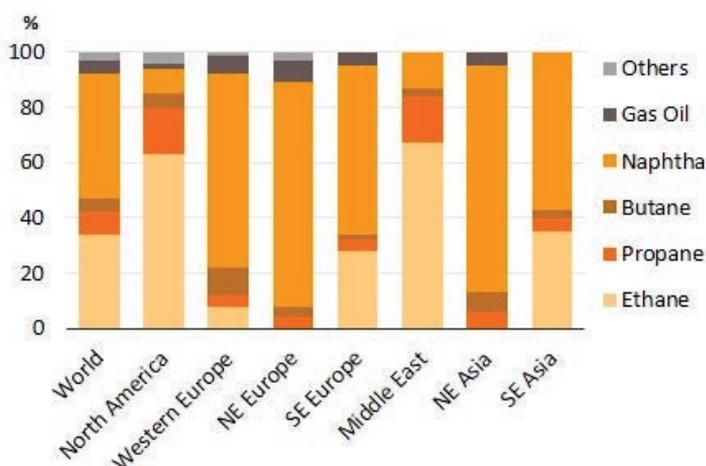


Рис. 2. Диаграмма мирового потребления нефтехимического сырья по регионам

Расположение предприятий нефтехимии в пределах городского массива ведет к изменению гигиенического состояния компонентов окружающей среды [2–3]. Одним из важных параметров, оказывающих влияние на содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, является ветровой режим [4]. Токсиканты, поступая в атмосферный воздух из источника организованного выброса, распределяются в пространстве в зависимости от характеристик местности, источника загрязнения, физико-химических свойств вещества.

При сильном ветре токсиканты переносятся на большие расстояния, не создавая опасных гигиенических ситуаций в жилой местности [5]. Малые скорости ветра и штилевые погодные условия способствуют накоплению примесей в приземном пространстве. При этом отмечается увеличение концентрации загрязняющих веществ и повышение риска вредного влияния на здоровье населения [6]. Однако, еще одним фактором, оказывающим влияние на перемещение токсикантов в воздухе, является ландшафт местности. В зависимости от городской застройки, географического расположения местности, особенностей его рельефа, траектории движения воздушных масс изменяются.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В республике Башкортостан в г. Стерлитамаке [7–8] действует предприятие, осуществляющее выброс в атмосферный воздух бензола и его гомологов (м,п,о-ксилолы, толуол).

Территория Стерлитамакского района находится на пологоувалистой части Прибельской равнины с эрозионно-аккумулятивным характером рельефа, средняя абсолютная высота земной поверхности достигает 150–200 м. На территории Стерлитамакского района

встречаются такие формы рельефа, как увалы, останцевые возвышенности и отдельные сопки, которые резко выделяются. Рельеф территории г. Стерлитамака связан с тектоническим образованием Русской платформы. В районе г. Стерлитамака (стерлитамакские шиханы) получил полное развитие депрессионный тип разреза Бельской мегавпадины в ассельско-сакмарских отложениях. Стерлитамакские Шиханы вытянуты цепью с севера на юг на протяжении 18 км: Юрак-Тау, Куш-Тау, Шах-Тау, Новый Шихан, Тра-Тау, Малый Шихан.

Метеорологические характеристики региона связаны с расположением территории в умеренных широтах (53°38'00" с. ш. 55°57'00" в. д.), в глубине материка. Климат является континентальным. Город находится в области влияния разнообразных воздушных масс.

Среднее значение температуры воздуха за 2005–2022 гг. составляет 4,8 °С.

Согласно данным наблюдений за 2005–2022 гг., в г. Стерлитамаке преобладающими являются южное и северное направления ветра. Скорость ветра при различных направлениях примерно одинакова, при северном и северо-западном направлениях имеет более высокое значение по сравнению с остальными (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения скорости ветра в г. Стерлитамаке в зависимости от направления

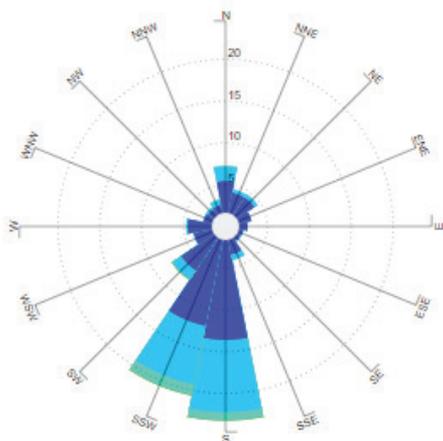
Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Направление ветра	Скорость ветра, м/с
1	2	3	4
Восточное	1,8	Северо-западное	2,4
Западное	2,0	Южное	2,2
Северное	2,3	Юго-восточное	2,1
Северо-восточное	2,2	Юго-западное	2,2

В течение года роза ветров в г. Стерлитамаке различна. В зимний период (декабрь, январь, февраль) наблюдается наибольшее количество безветренных дней. Преобладающим направлением ветра является южное. Весенние месяцы (март, апрель, май) характеризуются наименьшим количеством дней со штилем. В этот период велика повторяемость южного ветра. Сила ветра уменьшается с марта до авгу-

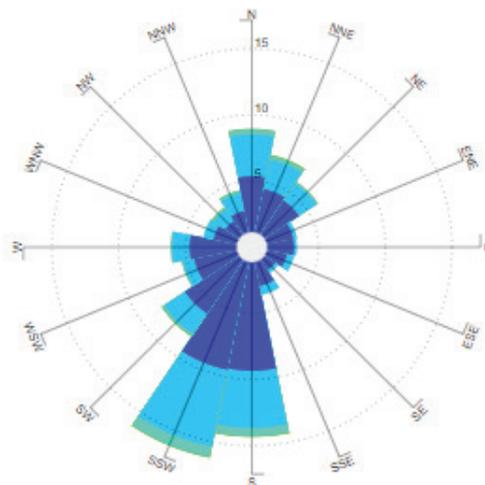
ста. В марте отмечается самое высокое значение средней силы ветра за весь год (табл. 1). С июня по август ни одно из направлений ветра не является доминирующим и количество безветренных дней возрастает к сентябрю. С сентября по ноябрь уменьшается количество дней со штилем и возрастает сила ветра.

Роза ветров региона в различные сезоны года представлены на рис. 3.

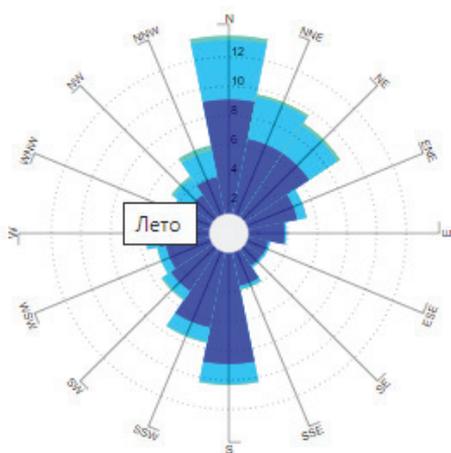
Роза ветров региона за период декабрь–февраль



Роза ветров региона за период март–май



Роза ветров за период июнь–август



Роза ветров региона за период сентябрь–ноябрь

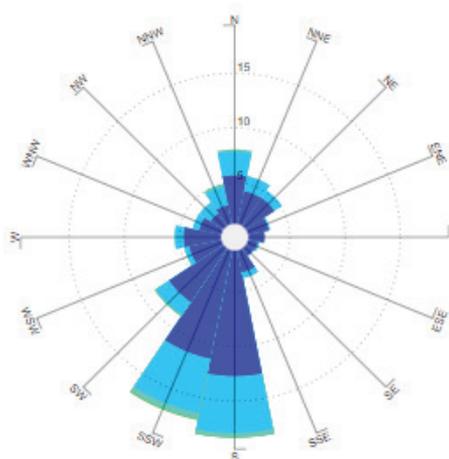


Рис. 3. Диаграммы розы ветров региона в различные сезоны года

В качестве исходных данных использованы массивы ежечасных концентраций бензола, ксилолов, толуола, зарегистрированные хроматографом фирмы Syntech, в воздухе города Стерлитамака. Направление и скорость ветра зарегистрированы метеостанцией фирмы Vaisalla. Источник организованного выброса загрязняющих веществ расположен в северной части города на расстоянии 1,8 км от автоматизированной станции контроля (АСКАВ).

В исследовании проведен отбор значений концентрации токсикантов при различных значениях направления и скорости ветра. Вычислены средние значения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведены исследования по влиянию ландшафта местности на движение различных газообразных веществ в атмосферном воздухе.

Проведен анализ изменения среднего значения концентрации газов в воздухе при различных направлениях ветра в комплексе с ландшафтом местности. Построены лепестковые диаграммы изменения математического ожидания содержания загрязняющих веществ от угла направления ветра на топографической карте местности (рис. 4).

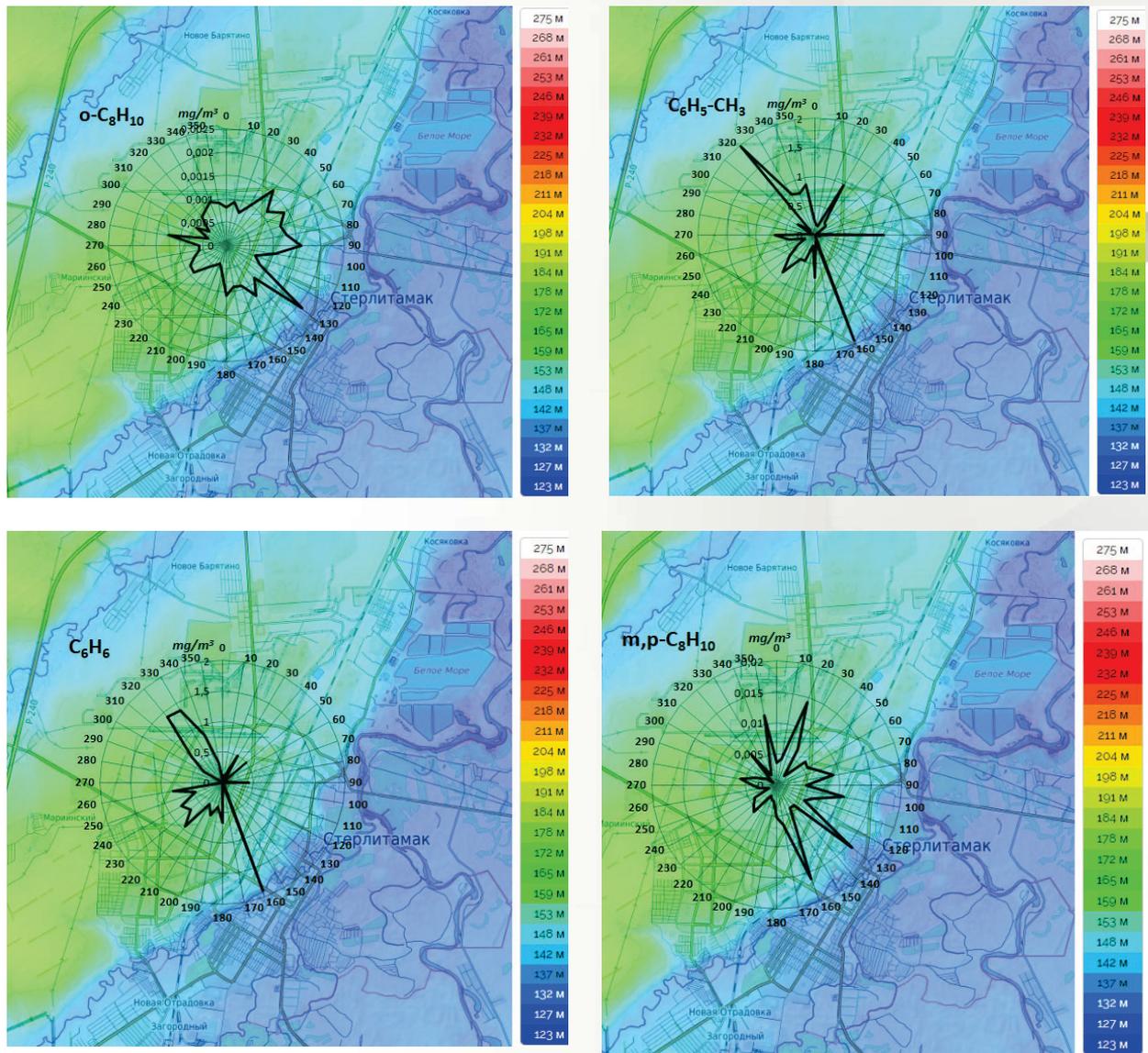


Рис. 4. Среднее значение экспериментальных данных концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при различных значениях угла направления ветра

Среднее значение  $\text{o-C}_8\text{H}_{10}$  увеличивается при направлении ветра  $40\text{--}90^\circ$  и  $130^\circ$ . На станции мониторинга регистрируется концентрации вещества при северо-восточном, восточном и юго-восточном направлениях ветра выше, чем при остальных. Среднее значение вариации средней концентрации по розе ветров составляет  $0,1 \cdot 10^{-8} \text{ mg}/\text{m}^3$ , что составляет 10 % изменения от максимального среднего значения концентрации  $\text{o-C}_8\text{H}_{10}$ .

Среднее значение  $\text{m,p-C}_8\text{H}_{10}$  увеличивается при направлении ветра  $20, 50\text{--}160^\circ$  и  $350^\circ$ . На станции мониторинга регистрируется концентрации вещества при северо-восточном, восточном и юго-восточном на-

правлениях ветра выше, чем при остальных. Среднее значение вариации средней концентрации по розе ветров —  $0,1 \cdot 10^{-8} \text{ mg}/\text{m}^3$ , что составляет 10 % изменения от максимального среднего значения концентрации  $\text{m,p-C}_8\text{H}_{10}$ .

Среднее значение  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$  увеличивается при направлении ветра  $30^\circ, 90^\circ, 160^\circ, 320\text{--}340^\circ$ . На станции мониторинга регистрируется концентрации вещества при северо-восточном, восточном, юго-восточном и северо-западном направлениях ветра выше, чем при остальных. Среднее значение вариации средней концентрации по розе ветров составляет  $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ mg}/\text{m}^3$ , что составляет 0,1 %

изменения от максимального среднего значения концентрации  $C_6H_5-CH_3$ .

Среднее значение  $C_6H_6$  увеличивается при направлении ветра  $160^\circ$ ,  $210-260^\circ$ ,  $320-340^\circ$ . На станции мониторинга регистрируется концентрации вещества при юго-восточном, юго-западном и северо-западном направлениях ветра выше, чем при остальных. Среднее значение вариации средней концентрации по

розе ветров составляет  $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$ , что составляет 0,1 % изменения от максимального среднего значения концентрации  $C_6H_6$ .

Таким образом, среднее значение концентрации загрязняющих веществ при остальных направлениях ветра является постоянным, что свидетельствует о стабильности низкой концентрации вещества.

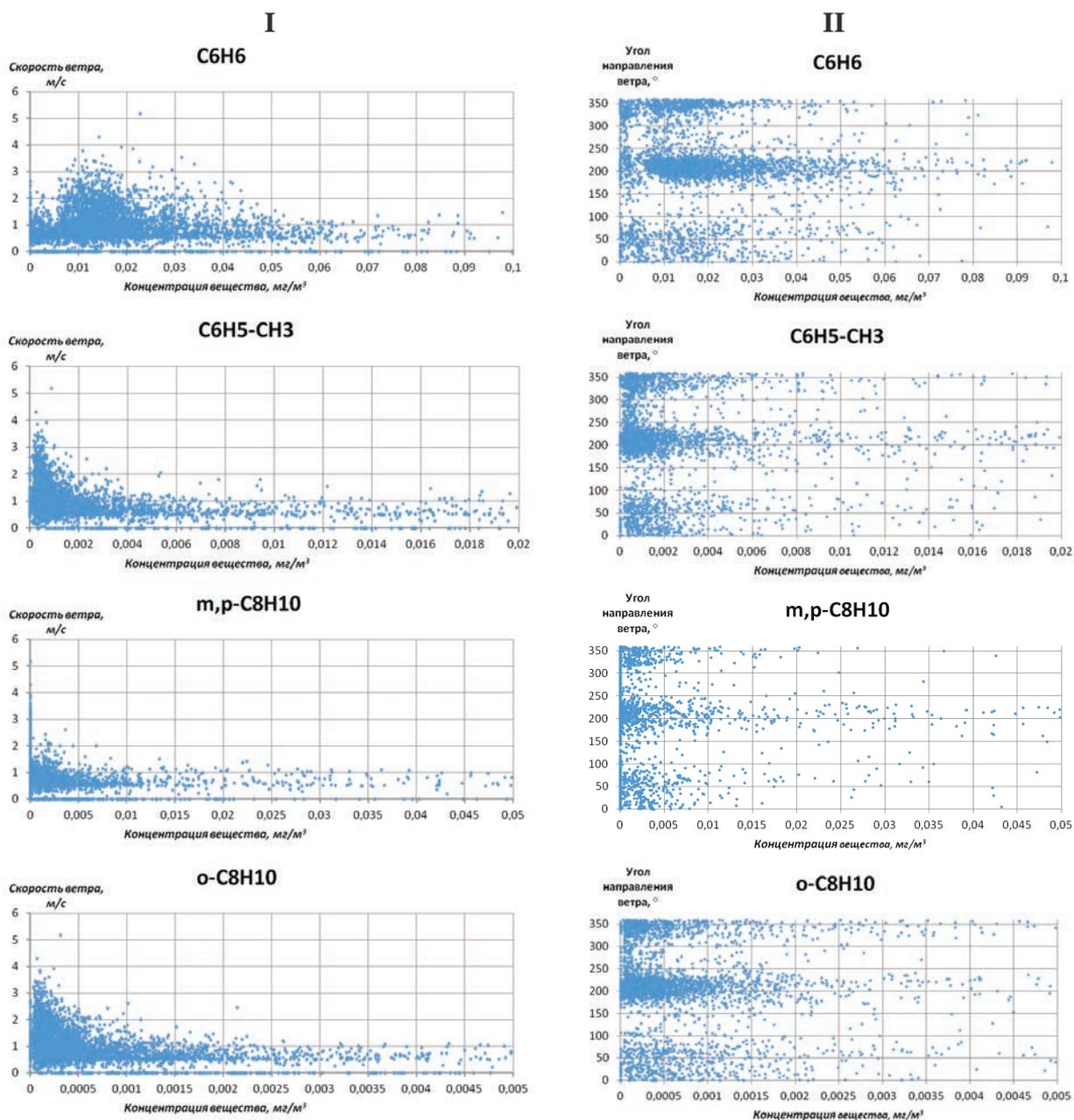


Рис. 5. Диаграммы влияния ветрового режима на содержание токсиканта в воздухе жилой зоны (I — диаграмма зависимости концентрации вещества от скорости ветра, II — диаграмма зависимости концентрации вещества от угла направления ветра)

Диаграмма зависимости содержания  $C_6H_6$  в атмосферном воздухе от скорости ветра показывает большое количество случаев регистрации вещества в воздухе в концентрации  $0...0,03$  мг/м<sup>3</sup> при малой скорости ветра  $0-3$  м/с. График наглядно показывает уменьшение случаев регистрации вещества с усилением ветра. Высокие концентрации газа до  $0,1$  мг/м<sup>3</sup> наблюдаются при скорости ветра  $0...1$  м/с.

Диаграмма зависимости концентрации  $C_6H_6$  в атмосферном воздухе от угла направления ветра показывает большое количество случаев регистрации значений концентрации вещества ( $0...0,003$  мг/м<sup>3</sup>) при значении угла направления ветра  $180...230^\circ$  и  $330...360^\circ$ . Концентрация вещества в диапазоне  $0...0,06$  мг/м<sup>3</sup> регистрируется станцией контроля при различных направлениях ветра, что является следствием аэродинамических особенностей ландшафта.

Диаграмма зависимости содержания  $C_6H_5-CH_3$  в атмосферном воздухе от скорости ветра показывает большое количество случаев регистрации вещества в воздухе в концентрации  $0...0,003$  мг/м<sup>3</sup> при малых скоростях ветра  $0-2$  м/с и высокой до  $3-4$  м/с. График наглядно показывает уменьшение случаев регистрации вещества с усилением ветра. Высокие концентрации газа до  $0,02$  мг/м<sup>3</sup> наблюдаются скорости ветра  $0...1$  м/с.

Диаграмма зависимости концентрации  $C_6H_5-CH_3$  в атмосферном воздухе от угла направления ветра показывает большое количество случаев регистрации значений концентрации вещества ( $0...0,03$  мг/м<sup>3</sup>) при значении угла направления ветра  $180...250^\circ$  и  $300...360^\circ$ . Концентрация вещества в диапазоне  $0...0,006$  мг/м<sup>3</sup> регистрируется станцией контроля при различных направлениях ветра, что является следствием аэродинамических особенностей ландшафта.

Диаграмма зависимости содержания  $m,p-C_8H_{10}$  в атмосферном воздухе от скорости ветра показывает большое количество случаев регистрации вещества в воздухе в концентрации  $0...0,005$  мг/м<sup>3</sup> при малых скоростях ветра  $0-2$  м/с и высокой до  $3-4$  м/с. График

наглядно показывает уменьшение случаев регистрации вещества с усилением ветра. Высокие концентрации газа до  $0,05$  мг/м<sup>3</sup> наблюдаются скорости ветра  $0...1$  м/с.

Диаграмма зависимости концентрации  $m,p-C_8H_{10}$  в атмосферном воздухе от угла направления ветра показывает большое количество случаев регистрации значений концентрации вещества ( $0...0,005$  мг/м<sup>3</sup>) при значении угла направления ветра  $180...250^\circ$  и  $300...360^\circ$ . Концентрация вещества в диапазоне  $0...0,01$  мг/м<sup>3</sup> регистрируется станцией контроля при различных направлениях ветра, что является следствием аэродинамических особенностей ландшафта.

Диаграмма зависимости содержания  $o-C_8H_{10}$  в атмосферном воздухе от скорости ветра показывает большое количество случаев регистрации вещества в воздухе в концентрации  $0...0,001$  мг/м<sup>3</sup> при малых скоростях ветра  $0-2$  м/с и высокой до  $3-4$  м/с. График наглядно показывает уменьшение случаев регистрации вещества с усилением ветра. Высокие концентрации газа до  $0,005$  мг/м<sup>3</sup> наблюдаются скорости ветра  $0...1$  м/с.

Диаграмма зависимости концентрации  $o-C_8H_{10}$  в атмосферном воздухе от угла направления ветра показывает большое количество случаев регистрации значений концентрации вещества ( $0...0,001$  мг/м<sup>3</sup>) при значении угла направления ветра  $180...250^\circ$  и  $300...360^\circ$ . Концентрация вещества в диапазоне  $0...0,002$  мг/м<sup>3</sup> регистрируется станцией контроля при различных направлениях ветра, что является следствием аэродинамических особенностей ландшафта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе данных экологического мониторинга проведено исследование по изучению движения газов на целевой местности. Получены результаты, характеризующие особенности циркуляции различных газов с учетом параметров ландшафта.

В результате исследования выявлено, что высокие концентрации веществ регистрируются при малой скорости северного и южного ветра, что является следствием прямого

влияния промышленных предприятий города и загруженности автомобильных трасс. При этом, концентрация вещества стабильная, дисперсия мала. Однако, наибольшая вариация наблюдается при северо-восточном направлении ветра. Максимальные значения концентрации вещества также регистрируются при угле направления ветра 60–70°. Такое поведение вещества является следствием влияния параметров ландшафта местности. В период штиля происходит «перетекание» загрязненного газового облака в сторону местности пониженного давления (с пониженным уровнем, пойма реки). С востока от города располагается река и водоемы промышленного назначения. Вследствие разности атмосферного давления над сушей и водоемом образуются падающие ветры, дующие в сторону от города. Кроме того, скорость ветра увеличивается при переходе суша – вода в среднем на 30 %. Таким образом, в воздухе

над водоемом происходит накопление загрязняющих веществ, которые переносятся повторно в селитебную зону города при северо-восточном направлении ветра.

Выявлено, что поведение о,п,м-ксилола, толуола, бензола, этилбензола в атмосферном воздухе определяется как взаимным расположением организованного источника выброса и АСКАВ, так и ландшафта местности. Дисперсия и максимальные значения концентрации веществ регистрируются при северном направлении ветра, что обусловлено расположением предприятия-источника севернее АСКАВ. Высокие значения дисперсии и средней концентрации веществ при восточном направлении ветра является следствием накопления загрязняющих веществ в измененной местности. При восточном ветре газовое облако с высоким значением концентрации веществ переносится в жилую зону города.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравьева Е.А., Кулакова Е.С. Обзор приборной базы по контролю парниковых газов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2022. Т. 14. № 1. С. 62–69.
2. Kulakova E.S., Safarov A.M., Malkova M.A. [et al.] Phenol monitoring in the air of the city residential part // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012102.
3. Кулакова Е.С., Сафаров А.М. Математическая оценка содержания диоксида серы в атмосферном воздухе города // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XV Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Киров: Вятский государственный университет, 2020. С. 106–110.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2019619164 Российская Федерация. Прогнозирование концентрации загрязняющих веществ в воздухе / Даминев Р.Р., Кулакова Е.С., Сафаров А.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» — № 2019617959: заявл. 28.06.2019: опубл. 11.07.2019. Бюл. № 7.
5. Кулакова Е.С., Сафаров А.М., Насырова Л.А., Мизгирев Д.С. Получение и использование данных оперативного мониторинга атмосферного воздуха // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27. № 4. С. 337–352.
6. Сафаров А.М., Шайдулина Г.Ф., Афанасьева Е.С. Построение моделей изменения концентрации веществ в атмосферном воздухе (на примере г. Стерлитамака) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2018. № 1(21). С. 54–65.
7. Афанасьева Е.С. Практическое применение моделей изменения концентрации 1,2-дихлорэтана в атмосферном воздухе города // Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность: Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. Стерлитамак, 2018. С. 293–294.
8. Афанасьева Е.С., Сафаров А.М., Сафарова В.И., Шайдулина Г.Ф. Математическая оценка

изменения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в условиях влияния нефтехимических предприятий // Экология урбанизированных территорий. 2014. № 4. С. 40–45.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.20.31.013

UDC 502/504

© E.S. Kulakova, 2022

**E.S. KULAKOVA**

Candidate of Engineering Sciences,

Associate Professor of the Department

Institute of Chemical Technologies and Engineering of the USNTU, Sterlitamak

e-mail: kulakova87@list.ru

### **BENZENE AND ITS HOMOLOGS IN THE ATMOSPHERIC AIR OF THE CITY OF BELSKOY MEGAVPADINA OF THE PRE-URAL TROUGH OF THE EAST EUROPEAN PLAIN**

*The article conducted a study of the influence of a set of parameters on the change in the concentration of organic pollutants in the atmospheric air of the residential part of the city. The objects of the study are arrays of hourly concentrations of benzene, toluene, o-xylene, m, p-xylenes of the city, registered by an automated air control station. The influence of the wind regime (wind direction and speed) and terrain on the change in the concentration of benzene and its homologs in the air was studied. Diagrams of the average content of substances were built when the wind direction changed from 0° to 360°. It was revealed that the moment value of the concentration of organic substances in the air is influenced by the wind regime, the location of the source of organized emission, the landscape of the area.*

Keywords: ATMOSPHERIC AIR, BENZENE, TOLUENE, XYLENE, RELIEF, WIND MODE.

#### **REFERENCES**

1. Muravyeva E.A., Kulakova E.S. Review of the instrument base for greenhouse gas control // Nanotechnology in construction: scientific online journal [Nanotekhnologii v stroitelstve: nauchnyj internet-zhurnal]. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 62–69. [In Russ.].
2. Kulakova E.S., Safarov A.M., Malkova M.A. [et al.] Phenol monitoring in the air of the city residential part // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012102.
3. Kulakova E.S., Safarov A.M. Mathematical estimation of sulfur dioxide content in the atmospheric air of the city // Ecology of the native land: problems and ways to solve them: Materials of the XV All-Russian Scientific and Practical conference with international participation [Ekologiya rodnogo kraja: problemy i puti ih resheniya: Materialy XV Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoj konferencii]. Kirov: Vyatka State University, 2020. P. 106–110. [In Russ.].
4. Certificate of state registration of the computer program RU 2019619164 Russian Federation. Forecasting the concentration of pollutants in the air / Daminev R.R., Kulakova E.S., Safarov A.M.; applicant and patent holder of the Ufa State Petroleum Technical University — No. 2019617959: application 28.06.2019; published 11.07.2019. Bulletin No. 7. [In Russ.].
5. Kulakova E.S., Safarov A.M., Nasyrova L.A., Mizgirev D.S. Obtaining and using data of operational monitoring of atmospheric air // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety [Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti]. 2019. Vol. 27. No. 4. P. 337–352. [In Russ.].
6. Safarov A.M., Shaidullina G.F., Afanasyeva E.S. Construction of models of changes in the concentration of substances in atmospheric air (on the example of Sterlitamak) // News of higher educational institutions. Volga region. Natural sciences [Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij.

Povolzhskij region. Estestvennye nauki]. 2018. No. 1 (21). P. 54–65. [In Russ.].

7. Afanasyeva E.S. Practical application of models of changes in the concentration of 1,2-dichloroethane in the atmospheric air of the city // Low-waste, resource-saving chemical technologies and environmental safety: Collection of materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference [Maloothodnye, resursosberegayushchie himicheskie tekhnologii i ekologicheskaya bezopasnost: Sbornik materialov II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii]. Sterlitamak, 2018. P. 293–294. [In Russ.].

8. Afanasyeva E.S., Safarov A.M., Safarova V.I., Shaidullina G.F. Mathematical assessment of changes in the concentration of pollutants in atmospheric air under the influence of petrochemical enterprises // Ecology of urbanized territories [Ekologiya urbanizirovannyh territorij]. 2014. No. 4. P. 40–45. [In Russ.].