

УДК 628.511+504.3

*П. А. Бармин,  
И. С. Клеин,  
В. Н. Азаров*

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ  
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ  
МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ  
ПЫЛЬЮ ОТ ФАКЕЛЬНЫХ  
ВЫБРОСОВ**

В статье рассматривается вопрос наличия мелкодисперсных выбросов, образовавшихся в результате сгорания попутного нефтяного газа в факельных установках, возможность их вредного воздействия на населенные пункты и актуальность их исследования на территории РФ.

**Ключевые слова:**

мелкодисперсная пыль,  
PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>,  
сажа,  
факельные выбросы,  
загрязнение атмосферного  
воздуха.

*P. A. Barmin,  
I. S. Klenin,  
V. N. Azarov*

**AIR POLLUTION  
OF SETTLEMENTS  
WITH FINE DUST FROM  
FLARE EMISSIONS**

The article deals with the issue of the presence of fine-dispersed emissions formed as a result of the combustion of associated petroleum gas in flare installations, the possibility of their harmful effects on human settlements and the relevance of their research on the territory of the Russian Federation.

**Введение**

В настоящее время факельные установки, утилизирующие попутный нефтяной газ (ПНГ), — неотъемлемая часть технологического пейзажа нефтяного месторождения или НПЗ по всему миру (рис. 1). Ежегодно доля сжигаемого газа от общемировой добычи составляет примерно 3,5 %, что в эквивалентно примерно 100—150 млрд м<sup>3</sup> [1, 2].

Факельные выбросы могут влиять на загрязнение воздушной среды близлежащих населенных пунктов. Примерами расположения таких технологических объектов вблизи городов являются: НПЗ «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» — г. Волгоград [3], «Комплекс хранения, подготовки и отгрузки сжиженных углеводородов» — г. Усть-Кут, «УПН Ичѣдинское нефтяное месторождение» — с. Токма и т. д. На рис. 2 представлен спутниковый снимок [1, 2] распространения шлейфа факельных выбросов в непосредственной близости от жилых территорий.

**Проблема утилизации ПНГ**

Методы, позволяющие преобразовать (тепловые электростанции), переработать (сеть трубопроводов до заводов по переработке ПНГ) или утилизировать попутный газ (использование компрессорных станций по закачке газа в пласт) являются очень дорогостоящими и зачастую не оправдывают капитальных вложений, поэтому «нежелательный» газ приходится сжигать [4].

Одной из причин применения такой относительно тривиальной технологии утилизации являются недостаточные государственные и прочие стимулы для сбора, переработки или преобразования данного вида сырья. Несмотря на то, что 1 января 2012 г. в действие вступило постановление правительства РФ о снижении объема сжигаемого газа до 5 %<sup>1</sup>, большая часть факельных установок продолжает действовать, и ряд компании все также утилизируют ПНГ в объемах, значительно превышающих ограничение, установленное государством.

Эта проблема является актуальной не только для России, но и для многих стран мира (рис. 3) [4, 5].

<sup>1</sup>Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 года № 1148 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках». URL: <http://static.government.ru/media/files/YOaA71NIBV9VKXTPkTNmWyzca0dFWQg3.pdf>.

**Key words:**

fine dust,  
PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>,  
soot,  
flare emission,  
atmospheric air pollution.

**Об авторах:**

**Бармин Павел Александрович** —  
аспирант,  
Волгоградский государственный  
технический университет  
(ВолГТУ),  
Российская Федерация, 400074,  
г. Волгоград,  
ул. Академическая, 1;

**Barmin Pavel Aleksandrovich** —  
Post Graduate student,  
Volgograd State Technical University  
(VSTU),  
1, Akademicheskaya St., 400074,  
Volgograd, Russian Federation

**Кленин Иван Сергеевич** —  
студент,  
Волгоградский государственный  
технический университет  
(ВолГТУ),  
Российская Федерация, 400074,  
г. Волгоград,  
ул. Академическая, 1

**Klenin Ivan Sergeevich** —  
Student,  
Volgograd State Technical University  
(VSTU),  
1, Akademicheskaya St., 400074,  
Volgograd, Russian Federation

**Азаров Валерий Николаевич** —  
д-р техн. наук, профессор,  
Волгоградский государственный  
технический университет  
(ВолГТУ),  
Российская Федерация, 400074,  
г. Волгоград,  
ул. Академическая, 1

**Azarov Valerii Nikolaevich** —  
Doctor of Engineering Sciences,  
Professor,  
Volgograd State Technical University  
(VSTU),  
1, Akademicheskaya St., 400074,  
Volgograd, Russian Federation;  
ptb2006@mail.ru

## Негативное воздействие от сжигания ПНГ

Окисление газа может предотвратить выбросы метана (сильнодействующего парникового газа), сероводород перевести в сернистый газ, оксид углерода — в диоксид углерода, поможет избежать загрязненностей, взрывов и т. д. Но, несмотря на это, эксплуатация факельных установок имеет множество негативных факторов [6], которые в меньшей степени влияют на окружающую среду, чем сброс в атмосферу несожженного газа, например:

- загрязнение атмосферы;
- шумовое загрязнение;
- световое загрязнение;
- вибрационное воздействие;
- тепловое воздействие;
- наличие теплового шлейфа.

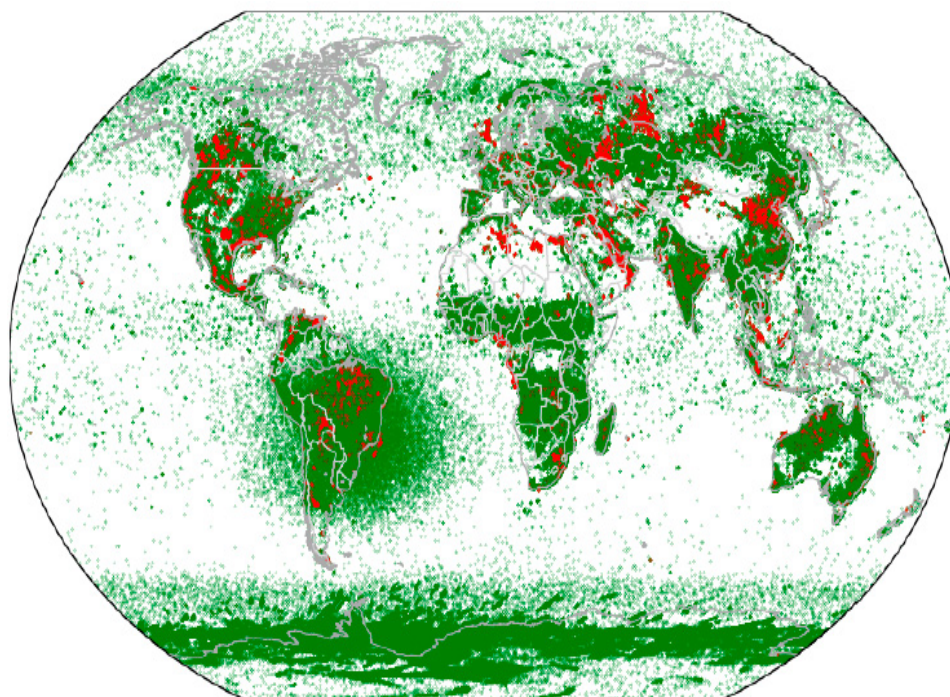
Большое внимание стоит уделить первой, самой глобальной из представленных проблем — загрязнению атмосферы. При сжигании попутного газа системы очистки воздуха предусмотреть невозможно, так как процесс сгорания происходит на открытом воздухе. Исходя из этого факельные установки, действующие рядом с населенными пунктами или временными жилыми комплексами, могут являться причиной возникновения загрязнений на территории жилых объектов [1, 2].

Содержащийся в факельных выбросах черный углерод сильно воздействует на здоровье человека и может являться причиной многих болезней. Наибольший вред он наносит слизистым оболочкам, дыхательной и сердечно-сосудистой системам. Постоянное вдыхание загрязненного воздуха с превышением предельно допустимых концентраций снижает иммунитет и нарушает физическое развитие организма, приводит к хроническим заболеваниям (бронхиальной астме, хроническим бронхитам, авитаминозам), так как частицы менее 5 мкм в диаметре не отфильтровываются в верхних дыхательных путях. Примеси сажи в пыли не имеют мгновенного негативного воздействия на организм, а угнетающе действуют по мере постепенного накопления в теле человека, попадая через желудочно-кишечный тракт, кожу или в результате вдыхания повторно взвешенных частиц пыли [7]. Поэтому длительное нахождение в среде с превышением уровня ПДК в 10 раз увеличивает заболеваемость среди детей и взрослых [8]. Влияние черного углерода на здоровье чело-

века в настоящее время широко освещается, несмотря на малое количество данных о компонентах выбросов сжигаемого газа на нефтяных установках и ограниченный доступ к большинству технологических объектов (рис. 1).

Высокие концентрации загрязняющих веществ могут влиять на жилые зоны даже визуально. Например, высокий уровень содержания сажи вызывает угнетение растительности, поэтому в районах исследования часто можно наблюдать деревья и кустарники с меньшим лиственным покровом [7].

Изучение данной темы и оценка рисков дают понять серьезность вреда для человека и биосферы, который может возникнуть в результате воздействия черного углерода, присутствующего в факельных выбросах. Основные исследования, касающиеся данной проблемы, произведены за рубежом, в большей степени в Нигерии, США и Мексике. На территории РФ вопрос влияния тонкодисперсных частиц и черного углерода, образовавшихся в процессе горения ПНГ, на данный момент подробно не рассматривался или его касались только косвенно, а научные труды малочисленны или отсутствуют.

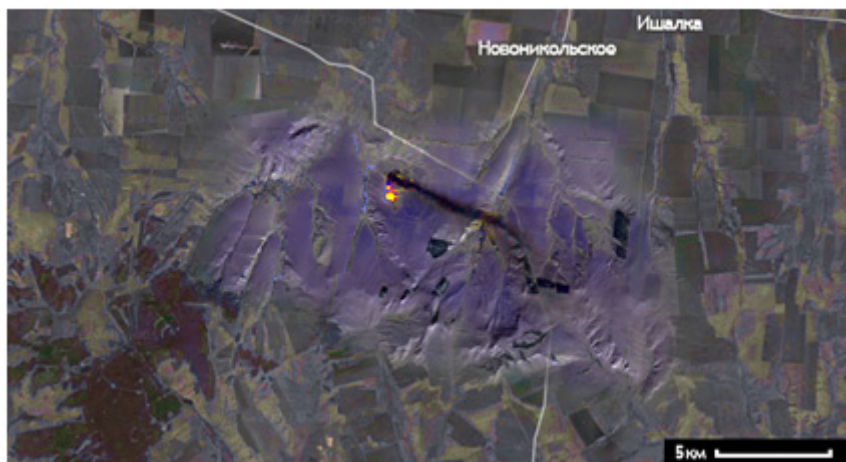


**Рис. 1.** Расположение факельных систем 6232 точки (отмечены красным), обнаруженные благодаря использованию алгоритма Nightfire [1, 2]

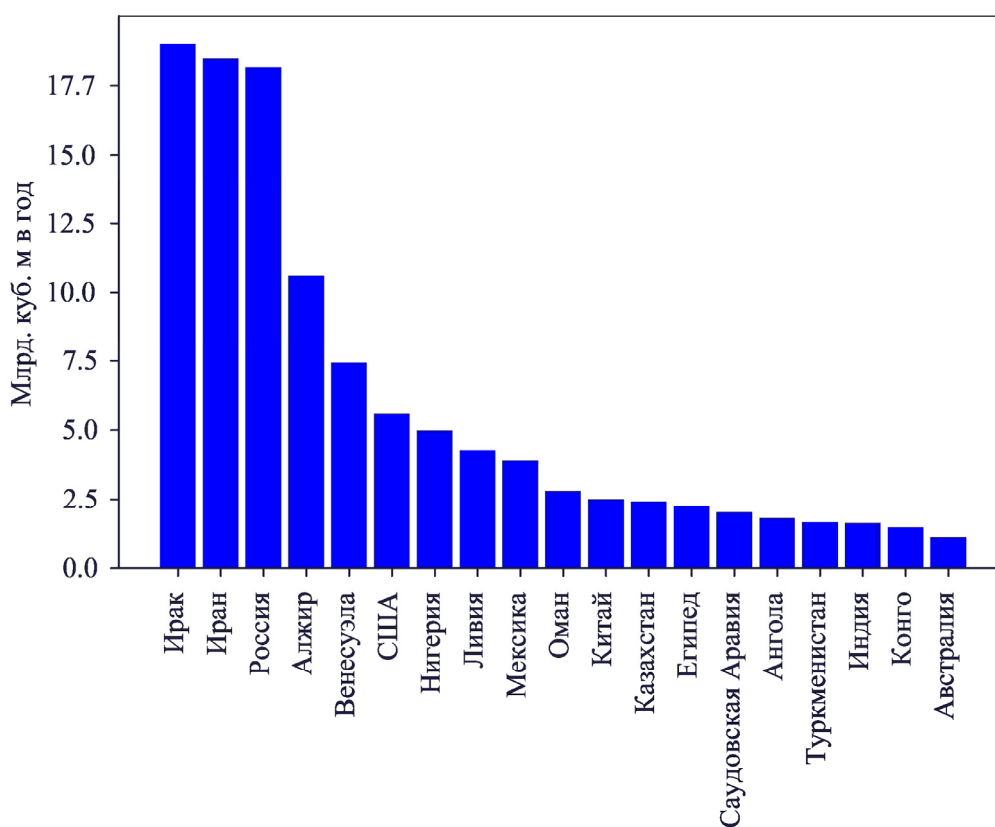
#### **Частицы $PM_{2,5}$ , $PM_{10}$ от сжигания ПНГ**

В процессе горения ПНГ образуется множество загрязнителей, одни из которых — тонкодисперсные частицы в форме сажи или черного углерода (рис. 2, 3). В год в атмосферу поступает примерно 0,5 млн т сажи, которая является сильным канцерогеном и как дисперсионная пыль разносится ветрами на тысячи километров [9, 10]. Особую опасность для среды обитания человека представляют частицы с размерами менее 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ) и не более 10 мкм

(PM<sub>10</sub>), относящиеся к мелкодисперсным и обладающие высокой проникающей, адсорбционной способностью с возможностью поглощения вредных примесей, содержащихся в утилизируемом газе [7, 11].



**Рис. 2.** Газовый шлейф одного из факелов Покровского нефтяного месторождения вблизи с. Новоникольское и пос. Ишалка, Оренбургская область



**Рис. 3.** Объем сжигания ПНГ по состоянию на 2017 г. [4]

В результате нарушения режимов горения ПНГ (низкая температура, недостаток кислорода, низкая степень сепарации примесей при подготовке газа, турбулентные режимы пламени) образуется сажа (рис. 4). Сажа — продукт неполного сгорания или термического разложения углеводородов, известная как надежный индикатор загрязнения воздуха продуктами горения. Сажа относится к 3-му классу опасности химических веществ и входит в категорию частиц, опасных для легких [8]. Сферические частицы сажи не взаимодействуют с кислородом воздуха и поэтому удаляются в основном за счет коагуляции (увеличение, сгущение) и осаждения на землю.



*Рис. 4. Копчение факела на НПЗ, вызванное нарушением режима горения*

Поскольку сажа обладает высокими адсорбционными свойствами, помимо углерода в ее частицах возможно присутствие примесей тяжелых металлов, оксидов и солей, сохранившихся в результате неполного окисления ПНГ [12]. Кроме того, вместе с нагретыми воздушными массами в разряженный воздушный поток затягиваются мелкодисперсные частицы из выбросов строительного и прочего промышленного производства [8]. Поэтому важно знать дисперсный состав пыли, долю в ней частиц  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , а также химический состав.

#### **Анализ пыли вблизи факельных установок**

Исследования проводились на технологическом объекте, на севере Иркутской области. В радиусе 50 м от действующего факела были взяты 3 группы проб осевшей пыли (по 10 образцов в каждой).

Элементный анализ проб (рис. 5), выполненный электронно-ионным микроскопом VERSA 3D, выявил высокий уровень содержания оксидов и углерода, что указывает на влияние сжигания ПНГ на состав воздушного аэрозоля и, как следствие, осевшей пыли. В результате было установлено, что порядка

55 % массы изученной пробы (табл.) приходится на соединения углерода и продукты окисления. Содержание в осевшей пыли сторонних примесей — Si — обусловлено проведением пескоструйных работ, Zn — покрасочных (краски с содержанием цинка). На наличие Al, Mg, Fe, K повлияли сварочные операции, проводимые на исследуемой территории в момент сбора проб.

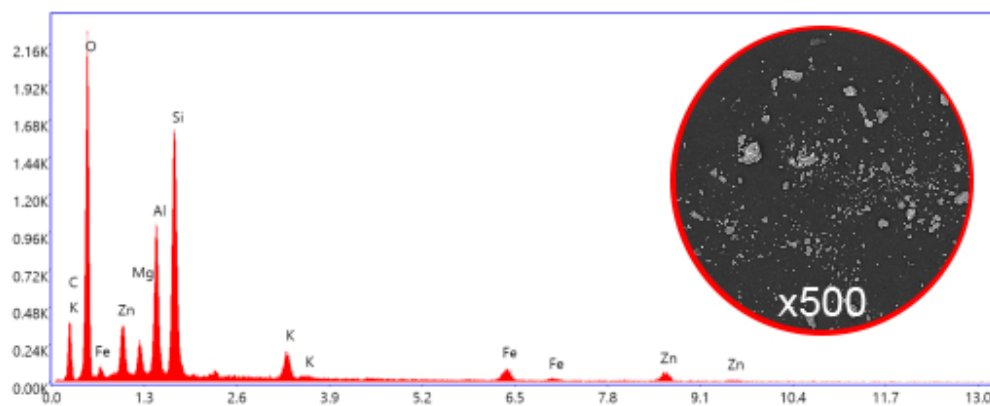


Рис. 5. Элементарный состав пробы (проба отображена в пятисоткратном увеличении)

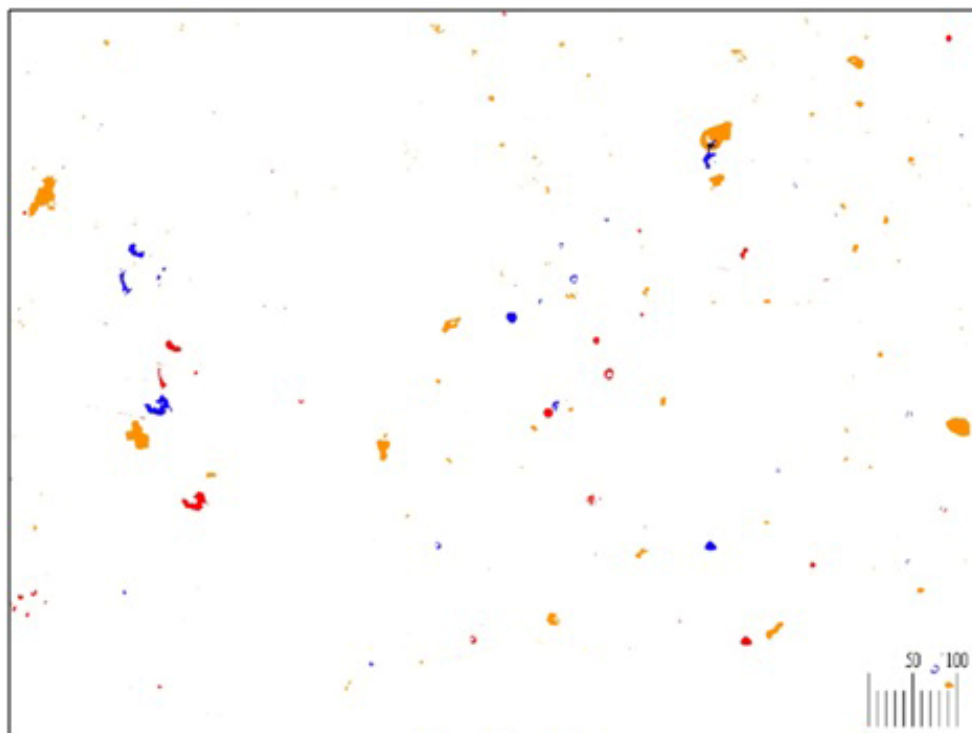
Соотношение химических соединений в пробе

| Элемент (химсоединение) | Массовая доля, % | Атомная доля, % |
|-------------------------|------------------|-----------------|
| C                       | 16,4—16,5        | 26,3—26,5       |
| O                       | 38,6—38,8        | 46,7—46,9       |
| Mg                      | 2,0—2,1          | 1,6—1,7         |
| Al                      | 10,4—10,5        | 7,4—7,5         |
| Si                      | 18,0—18,6        | 12,4—12,8       |
| K                       | 3,4—3,5          | 1,7—1,8         |
| Fe                      | 4,3—4,4          | 1,4—1,5         |
| Zn                      | 6,2—6,3          | 1,8—2,0         |

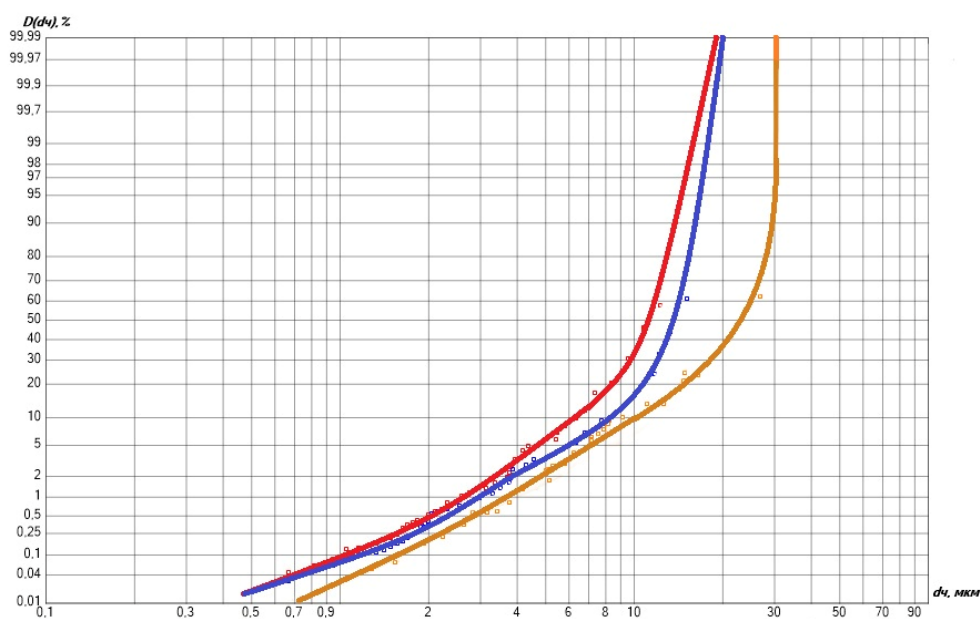
Дисперсный состав трех групп проб осевшей пыли был изучен с использованием методики микроскопического анализа [13—16]. На рис. 6 объединены 3 микрофотографии образцов пыли. Обработка результатов микроскопического анализа была осуществлена с использованием программы обработки изображений частиц DUST 1, разработанной в ВолгГАСУ<sup>2</sup>. В результате были построены средние для каждой из трех групп интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке (рис. 7).

Исходя из полученных результатов (рис. 6, 7), можно сделать вывод о том, что максимальный диаметр пылевых частиц, осевших на расстоянии 50 м, не превышает 30 мкм. Доля частиц PM<sub>10</sub> в общей массе проб составляет от 10 до 30 %, половина которой, как отмечалось ранее, является сажой (см. табл.). Доля частиц PM<sub>2,5</sub> в общей массе пыли колеблется в пределах 0,4—1,2 %.

<sup>2</sup>Программа обработки изображений частиц DUST1: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ DUST 1 № 2014618468 от 24.08.2014.



**Рис. 6.** Микрофотография пыли в пробах: красный – № 1, синий – № 2, оранжевый – № 3



**Рис. 7.** Средние интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам для осевшей пыли от факельных выбросов для групп проб: красный – № 1, синий – № 2, оранжевый – № 3

### Заключение

Проведенные натурные исследования позволили оценить дисперсный и элементный состав осевшей пыли вблизи факельных установок. Микроскопический анализ проб показал, что доля частиц  $PM_{10}$  в общей массе проб составляет менее 30 %. Элементный анализ указал на высокий уровень содержания оксидов и углерода, наличие которых нехарактерно для районов, где отсутствуют факельные установки. В результате можно сделать вывод, что факельные выбросы влияют на дисперсный и химический состав осевшей пыли в близлежащих районах.

Освещение и изучение проблемы наличия тонкодисперсных частиц и оценки возможного риска загрязнения воздушной среды жилых территорий при сжигании вблизи них ПНГ в настоящее время являются актуальными. Исследование факельных выбросов в этом направлении поможет предпринять меры по их анализу и мониторингу, что, в свою очередь, принесет практические выгоды, например позволит контролировать качество воздуха, разработать и ввести ряд защитных мероприятий в нефтедобывающих районах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка мощности факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа на основе обработки космоснимков MODIS 2013 / К. С. Алсынбаев, В. М. Брыксин, А. В. Евтюшкин, Г. Н. Ерохин, А. В. Козлов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 10. URL: <https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/077/Alsymbaev%20K.,%20Bryksin%20V.,%20Yevtyshkin%20A.,%20Erokhin%20G.,%20Kozlov%20A. 131-137.pdf>.
2. Грибанов К. Г., Захаров В. И., Алсынбаев К. С., Суляев Я. С. Метод определения расхода попутного газа на факелах по данным спутникового зондирования сенсорами типа MODIS в ИК-каналах // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 01. URL: <https://ao.iao.ru/content/text?vol=20&issue=01&num=11>.
3. Экологическое состояние санитарно-защитных зон нефтеперерабатывающих предприятий современных промышленных городов (на примере Волгограда) / В. Ф. Желтобрюхов, Г. К. Лобачева, А. В. Карпов, О. А. Макаров, И. А. Полозова, В. М. Осипов, Н. В. Колодницкая // Социология города. 2012. № 2. С. 20—29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20229491>.
4. Gas flaring activity and black carbon emissions in 2017 derived from Sentinel-3A and land surface temperature radiometer / A. Caseiro, B. Gehrke, G. Rücker, D. Leimbach, J. W. Kaiser // Earth System Science Data. 2017. Vol. 12. Pp. 2137—2155. doi: 10.5194/essd-12-2137-2020.
5. Black carbon emissions in Russia: A critical review / M. Evans, N. Kholod, T. Kuklinskib, A. Denysenkoc, S. J. Smith, A. Staniszevskia et al. // Atmospheric Environment. 2017. Vol. 263. Pp. 9—21. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317073492\\_Black\\_carbon\\_emissions\\_in\\_Russia\\_A\\_critical\\_review](https://www.researchgate.net/publication/317073492_Black_carbon_emissions_in_Russia_A_critical_review).
6. Стрижевский И. И., Эльнатанов А. И. Факельные установки. М.: Химия, 1979. URL: <http://www.fakels.ru/wp-includes/Docs/Strizhevskij-I-I-Fakelnye-ustanovki.pdf>.
7. Nwaogazie I. L. Assessment of standard pollutants in a gas flaring region: A case of Ogba, Egbema, Ndoni local Government area in Rivers State of Nigeria // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2016. Vol. 7. Iss. 3. Pp. 7—17. URL: [https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET\\_07\\_03\\_002/IJCIET\\_07\\_03\\_002.pdf](https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_07_03_002/IJCIET_07_03_002.pdf).
8. Odagwe U., Boisa N. Indoor Dust-Based Pollution Status and Risk Assessment for a Rural Town, Ebedei in Nigeria Hosting Gas Flare Facility // Journal of Environmental Protection. 2019. Vol. 10. No. 2. doi: 10.4236/jep.2019.102012.



9. Азаров В. Н., Гориков Е. В. Мелкодисперсная пыль как фактор загрязнения атмосферного воздуха // Социология города. 2018. № 4. С. 5—14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36654926/>

10. Азаров В. Н., Ажгиревич А. И., Гутенев В. В. Промышленная экология: учебник. 2-е изд., доп. Волгоград: ПринТерра-Дизайн, 2013.

11. Жижин М. Н., Элвидж К., Пойда А. А. Мультиспектральное дистанционное зондирование ночной поверхности Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 9—26.

12. Фуллереновые микрокристаллы как адсорбенты органических соединений / В. И. Березкин, И. В. Викторовский, А. Я. Вуль, Л. В. Голубев, В. Н. Петрова, Л.О. Хорошко // Физика и техника полупроводников. 2003. Т. 37. Вып. 7. С. 802—810. URL: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/5312>.

13. Азаров В. Н., Богуславский Е. И. Оценка концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 2. С. 46—47. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32625002/>

14. Menzelintseva N. V., Azarov V. N., Karapuzova N. Yu., Redvan A. M. Main trends of dust conditions normalizing at cement manufacturing plants // International Review of Civil Engineering. 2015. Vol. 5. No. 5. Pp. 145—150. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27533325>.

15. Kozlovseva E. Yu., Loboyko V. F., Nikolenko D. A. Monitoring of Fine Dust Pollution of Multistory Buildings Air Environment as an Adoption Factor of Town-planning Decisions // Procedia Engineering. 2016. Pp. 1954—1959. doi: [10.1016/j.proeng.2016.07.197](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.197).

16. Азаров В. Н., Тертишников И. В., Калюжина Е. А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub>) в воздушной среде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25. С. 402—406. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18000293>.

#### REFERENCES

1. Alsynbaev K. S., Bryksin V. M., Evtuyshkin A.V., Erokhin G. N., Kozlov A.V. [Estimation of the capacity of associated petroleum gas flaring plants based on the processing of satellite images of MODIS 2013]. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta* [IKBFU's Vestnik], 2013, no. 10. URL: <https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/077/Alsynbaev%20K.,%20Bryksin%20V.,%20Yevtyshkin%20A.,%20Erokhin%20G.,%20Kozlov%20A. 131-137.pdf>.

2. Griбанov K. G., Zakharov V. I., Alsynbaev K. S., Sulyaev Ya. S. Method of determination of oil-gas consumption in flares using satellite sounding in IR channels by sensors of MODIS type. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics Journal], 2007, vol. 20, no. 01. URL: <https://ao.iao.ru/ru/content/text?vol=20&issue=01&num=11>.

3. Zheltobryukhov V. F., Lobacheva G. K., Karpov A. V., Makarov O. A., Polozova I. A., Osipov V. M., Kolodnitskaya N. V. [Ecological condition of the buffer area of oil-refining enterprises in modern industrial cities (by the example of Volgograd)] *Sotsiologiya goroda* [Sociology of City], 2012, no. 2, pp. 20—29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20229491>.

4. Caseiro A., Gehrke B., Rucker G., Leimbach D., Kaiser J.W. Gas flaring activity and black carbon emissions in 2017 derived from Sentinel-3A and land surface temperature radiometer. *Earth System Science Data*. 2017, vol. 12, pp. 2137—2155. doi: 10.5194/essd-12-2137-2020.

5. Evans M., Kholod N., Kuklinskib T., Denysenkoc A., Smith S. J., Staniszevskia A. et al. Black carbon emissions in Russia: A critical review. *Atmospheric Environment*, 2017, vol. 263, pp. 9—21. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/317073492\\_Black\\_carbon\\_emissions\\_in\\_Russia\\_A\\_critical\\_review](https://www.researchgate.net/publication/317073492_Black_carbon_emissions_in_Russia_A_critical_review).

6. Strizhevsky I. I., Elnatanov A. I. *Fakel'nye ustanovki* [Flare systems]. Moscow, Himiya Publ., 1979. URL: <http://www.fakels.ru/wp-includes/Docs/Strizhevskij-I-I-Fakelnye-ustanovki.pdf>.

7. Nwaogazie I. L. Assessment of standard pollutants in a gas flaring region: A case of Ogba, Egbema, Ndoni local Government area in Rivers State of Nigeria. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2016, vol. 7, no. 3, pp. 7—17. URL: [https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET\\_07\\_03\\_002/IJCIET\\_07\\_03\\_002.pdf](https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_07_03_002/IJCIET_07_03_002.pdf).

8. Odagwe U., Boisa N. Indoor Dust-Based Pollution Status and Risk Assessment for a Rural Town, Ebedei in Nigeria Hosting Gas Flare Facility. *Journal of Environmental Protection*, 2019, vol. 10, no. 2. doi: [10.4236/jep.2019.102012](https://doi.org/10.4236/jep.2019.102012).

9. Azarov V. N., Gorshkov E. V. [Fine dust as a factor of atmospheric air pollution]. *Sotsiologiya goroda* [Sociology of City], 2018, no. 4, pp. 5—14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36654926/>

10. Azarov V. N., Azhgirevich A. I., Gutenev V. V. *Promyshlennaya ekologiya. 2-e izd.* [Industrial ecology. 2nd ed.]. Volgograd, PrinTerra-Dizain, 2013.

11. Zhizhin M. N., Elvidge C. D., Baugh K. E., Hsu F. C., Ghosh T. Multispectral nighttime remote sensing of the Earth. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the earth from space]. 2017, vol. 14, no. 3, pp. 9—26. URL: [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/sb2017t3/9-26.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2017t3/9-26.pdf).

12. Berezkin V. I., Viktorovskii I. V., Vul' A. Ya., Golubev L. V., Petrova V. N., Khoroshko L. O. Fullerene microcrystals as adsorbents of organic compounds. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov* [Semiconductors or Physics of the Solid State]. 2003, vol. 37, no. 7, pp. 802—810. URL: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/5312>.

13. Azarov V. N., Boguslavsky E. I. [Assessment of the dust concentration and dispersion composition in the air of working and serviced areas]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [LifeSafety]. 2005, no. 2, pp. 46—47. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32625002>.

14. Menzelintseva N. V., Azarov V. N., Karapuzova N. Yu., Redvan A. M. Main trends of dust conditions normalizing at cement manufacturing plants. *International Review of Civil Engineering*, 2015, vol. 5, no. 5, pp. 145—150. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27533325>.

15. Kozlovtsseva E. Yu., Loboyko V. F., Nikolenko D. A. Monitoring of Fine Dust Pollution of Multistory Buildings Air Environment as an Adoption Factor of Town-planning Decisions. *Procedia Engineering*, 2016, pp. 1954—1959. doi: [10.1016/j.proeng.2016.07.197](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.197).

16. Azarov V. N., Tertishnikov I. V., Kalyuzhina Ye. A., Marinin N. A. [About concentration estimation of fine dust (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub>) in air]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2011, iss. 25, pp. 402—406. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18000293>.

© Бармин П. А., Кленин И. С., Азаров В. Н., 2021

Поступила в марте 2021

Received in March 2021

**Ссылка для цитирования:** Бармин П. А., Кленин И. С., Азаров В. Н. Загрязнение воздушной среды населенных пунктов мелкодисперсной пылью от факельных выбросов // Социология города. 2021. № 2. С. 42—51.

**For citation:** Barmin P. A., Klenin I. S., Azarov V. N. [Air pollution of settlements with fine dust from flare emissions]. *Sotsiologiya Goroda* [Sociology of City], 2021, no. 2, pp. 42—51.