

Анализ химического состава осевшей пыли вблизи источника факельных выбросов

*П.А. Бармин, А.В. Дериченко, Ф.Г. Антонов, Л.С. Панжева,
В.А. Кожникова*

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного
технического университета*

Аннотация: В статье рассматривается вопрос влияния выбросов в атмосферу, образовавшихся в результате сгорания попутного нефтяного газа, на химический состав осевшей пыли вблизи газового факела.

Ключевые слова: сажа, факельные выбросы, загрязнение атмосферного воздуха, черный углерод, осевшая пыль.

Введение

Утилизация попутного нефтяного газа (далее ПНГ) путем окисления является одним из самых сложных вопросов при добыче углеводородов, стоящих сегодня перед нефтяными компаниями, как на региональном, так и на мировом уровне [1,2]. Последствия - многомиллиардные отходы, локальная экологическая катастрофа и глобальная энергетическая и экологическая проблема, которая сохраняется на протяжении десятилетий, начиная с 20-х годов прошлого века.

Задача факела состоит в том, чтобы преобразовать путем окисления вещества нефтяного газа в их максимально безопасную форму. Теоретически, процессы горения при полном окислении создают относительно безобидные соединения, такие как углекислый газ и вода. Но на практике, количество и токсичность образующихся побочных углеводородных выбросов зависит от примесей в «нежелательных» газах, условий и степени его сгорания. На эффективность факельного сжигания влияет скорость ветра, режим потока продукта в трубе, стехиометрические коэффициенты смешивания и теплотворная способность газа, поэтому факельное сжигание в действительности редко приводит к достижению полного окисления [3]. При нарушении режимов работы факела в выбросах

остаются несгоревшие компоненты топлива (например, метана и неметановых летучих органических соединений), а также побочные продукты процесса горения (например, CO, CO₂, NO, SO₂ и сажи) которые постепенно накапливаются и отравляют окружающую среду [4,5].

Одним из наиболее распространенных загрязняющих веществ, связанных с факельными выбросами, является сажа или черный углерод (далее ЧУ). Ввиду своих малых размеров сажа представляет собой форму твердых частиц диаметром менее 2,5-10 мкм [6]. Предполагается, что выбросы черного углерода при сжигании газа на факелах в нефтегазовой промышленности оказывают критическое воздействие на климат и здоровье населения, но фактические показатели выбросов ЧУ остаются слабо охарактеризованными.

В данной работе представлены натурные исследования выбросов факела, действующего вблизи населенного пункта, изучен химический состав частиц в полученных пробах осевшей пыли.

Цель и задачи

Химический состав частиц пыли может быть самым разнообразным и определяется как исходными материалами, так и способами создания этих частиц. От состава пыли зависит её биологическая активность, в частности то или иное действие на организм человека: токсическое, раздражающее и др. Даже маленькая концентрация частиц свинца, хрома, бериллия, серы и др., попадая через легкие в организм человека, может вызвать отравление [7]. Поэтому основная задача исследования заключается в проверке и оценке влияния сжигания ПНГ на элементный состав осевшей пыли.

Район исследования и места отбора проб

Исследование проводилось в центральной части Иркутской области в г. Усть-Кут. Город, протяженностью около 34 км, застроен преимущественно

по левобережью реки Лены у места впадения в неё реки Куты, среди, покрытых тайгой, холмов. Рельеф сильно расчленён, абсолютные высоты колеблются от 270 до 757 м над уровнем моря.

В данном населенном пункте находится крупный Осетрово-Ленский транспортный узел, включающий в себя пересечение железнодорожных, речных, воздушных и автомобильных путей. В городе и непосредственной близости от него ведется активная лесозаготовка и добыча углеводородов.

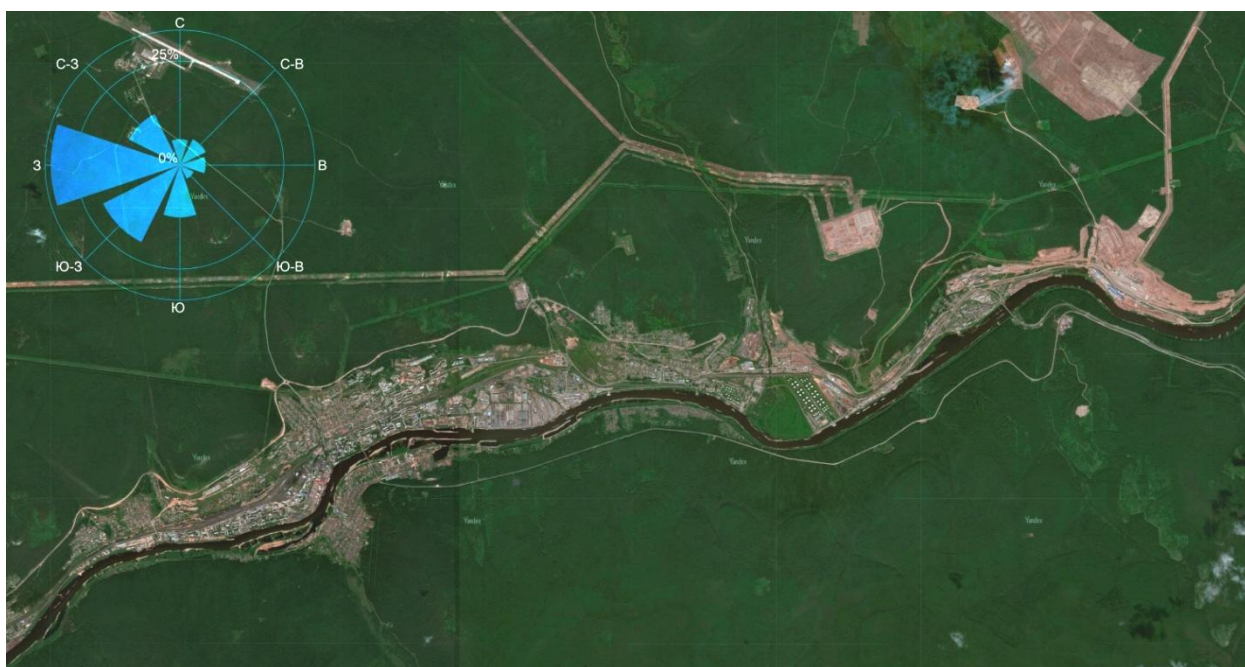


Рис.1. – г.Усть-Кут с указанием преимущественных ветров.

Климат города резко континентальный. Годовое количество осадков достигает 500 мм. В зимний период (с октября по апрель) в виде снега. В данном районе преобладают западные направления ветров (рис.1), поэтому воздушные массы движутся вдоль города, в пределах склонов долины реки.

На расстоянии от действующей вертикальной факельной системы открытого типа было взято 5 проб снега (рис.1). Место отбора первого образца (180 м) - верхний ярус кабельной эстакады, вблизи операторного здания и пожарной части. Второго (60 м) на территории факельного хозяйства, в непосредственной близости от факельного ствола. Образцы 3-5

были отобраны возле административно - бытового корпуса и мобильных вагонов-домов (123 м).



Рис.2. – Места отбора проб снега (условная схема).

Метод отбора проб и проведения исследования

В стерильный контейнер собирался верхний снежный покров глубиной залегания не более 2 см. Полученная проба снега выпаривались до сухого остатка, затем, в этот же контейнер, добавляли новую порцию снега. Суммарный вес всех пяти проб составил ≈ 1 кг. В результате серии таких операций на стенках и дне контейнера образовался осадок – пылевой налёт, который в последующем стал предметом исследования.

Исследование образцов проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа Versa 3D. Элементный состав 3-х образцов пылевого налёта, отобранный со стенок контейнера, был изучен методом сканирующей просвечивающей электронной микроскопии (STEM). Режим высокого вакуума (Hi Vac) с применением различных детекторов:

вторичных, обратно рассеянных и проходящих электронов (ETD, CBS, STEM), позволил получить изображения высокого разрешения (рис.3).

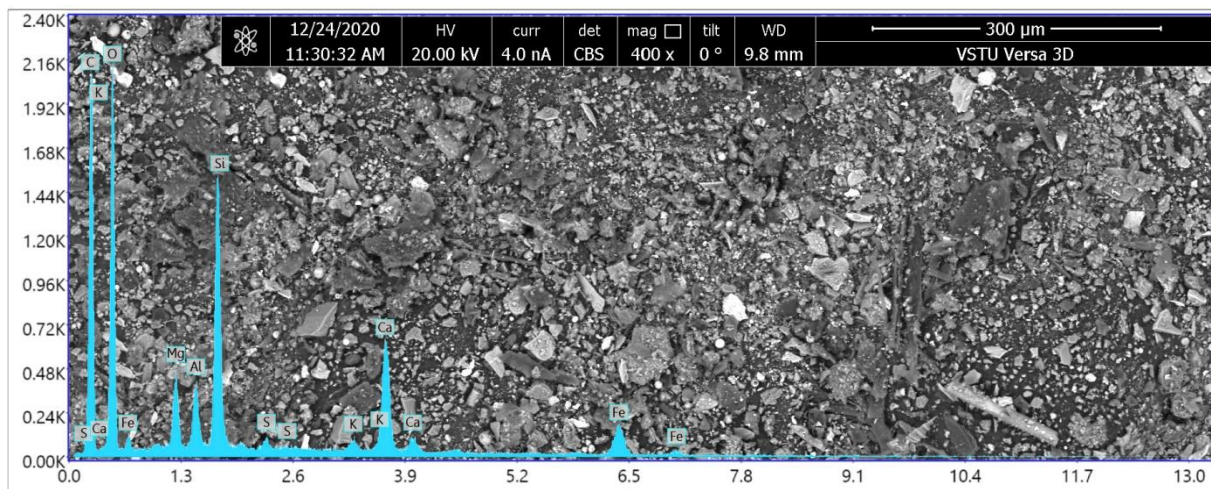


Рис.3. – Спектральный анализ образца пылевого налёта (проба отображена в 400х увеличении).

Полученные результаты и их анализ

Таблица 1. Процентное содержание химических соединений в пробах.

Элемент (хим. соединение)	Массовая доля, %	Атомная доля, %
C -	38.1-38.3	52.8-53.1
O -	30.2-30.3	31.7-31.8
Ca -	10.1-10.2	4.2-4.3
Si -	9.4-9.5	5.5-5.6
Fe -	6.5-6.6	2.0-2.2
Mg -	2.3-2.4	1.4-1.6
Al -	2.0-2.1	1.1-1.2
K -	0.7-0.8	2.6-3.0
S -	0.2-0.3	0.1

В результате элементного анализа было установлено, что порядка 68% массы изученных образцов проб (табл.1) приходится на соединения углерода

или сажу (38%) и продукты окисления (30%). На содержание в пробах Al-, Mg-, Fe-, K- повлияли сварочные операции, проводимые ранее вблизи исследуемой точки 1 (рис.2). Наличие сторонних примесей Si- вызвано выполнением пескоструйных работ в районе 2 (рис.2). Присутствие Са- обусловлено разработкой грунта с высоким содержанием скальных пород, например, известняка, а также пылью с близлежащих грунтовых дорог [8]. Для углеводородов Восточно-Сибирской нефтегазоносной провинции характерно низкое содержание серы (0.1-1.4%) [9], поэтому в образцах был обнаружен незначительный процент S- соединений (от 0.2 до 0.3%) (табл.1).

При сопоставлении полученных результатов с данными других исследований [10] для городских и природных территорий, была получена табл. 2.

Таблица 2. Процентное содержание О- и С- для разных территорий.

Места отбора	Массовая доля, %		Атомная доля, %	
	С-	О -	С-	О -
Природная среда	15.06-21.84	42.41-44.9	24.02-32.79	47.81-53.79
Городская среда	13.11-18.86	48.17-54.64	19.39-27.29	52.89-60.66
Территории, прилежащие к факелу	38.1-38.3	30.2-30.3	52.8-53.1	31.7-31.8

В результате сравнения выявлено, что осевшая пыль вблизи источников факельных выбросов в среднем содержит в 2.07-2,38 раза больше углеродных соединений и в 1.44-1.69 раза меньше оксидов, чем в районах, где факельные установки отсутствуют (табл.2).

Заклучение

Сравнение результатов химических анализов проб, полученных вблизи факела, природной и городской среды, указало на относительно большую разницу в содержании уровня углерода и оксидов в пробах. Исходя из этого, можно сделать вывод, что факельные выбросы оказывают значительное влияние на химический состав осевшей пыли вблизи действующих факельных систем.

Литература

1. Зубков И.Н., Салиев А.Н., Соромотин В.Н., Якуба Э.С., Яковенко Р.Е. Полноцикловой пилотный комплекс переработки природного и попутного нефтяного газов в синтетическую нефть // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3944/
2. Ismail O. S., Umukoro G. E. Global Impact of Gas Flaring // Energy and Power Engineering, Ibadan, 2012. pp. 1-2.
3. Canteenwalla P.M., Thomson K.A., Smallwood G.J., Johnson M.R. Soot emissions from turbulent diffusion flames burning simple alkane fuels // National Research Council of Canada, 2007. pp. 1-2.
4. Полищук Ю.М. Комплексный подход к экологической оценке воздействия сжигания попутного газа на состояние природной среды в нефтедобывающих регионах // Вестник Югорского государственного университета, Ханты-Мансийск, 2005. С. 2.
5. Huang K., Joshua S. F. A global gas flaring black carbon emission rate dataset from 1994 to 2012 // Scientific data, 2016. pp. 2-3.
6. Bradley M. C., Matthew R. J. Field Measurements of Black Carbon Yields from Gas Flaring // Environmental Science & Technology, Ottawa, 2017. p. 3.
7. Wang X., Judith C. C., Kohl S. D., Percy K. E., Legge A. H., Watson J. G. Characterization of PM_{2.5} and PM₁₀ fugitive dust source profiles in the



Athabasca Oil Sands Region // Journal of the Air & Waste Management Association, Philadelphia, 2015. pp. 2-3.

8. Кондратенко Т.О., Сайбель А.В. Оценка воздействия строительного производства на окружающую среду // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298

9. Москвин А.Г. Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция // Большая российская энциклопедия. Том 17, Москва, 2010. С. 1-2.

10. Кузьмичев А.А. Теоретические и экспериментальные исследования влияния городского атмосферного аэрозоля и параметров воздушной среды на загрязнение зданий и сооружений // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ФГБОУ ВО «ВолгГТУ», Волгоград, 2019. С. 60-70.

References

1. Zubkov I.N., Saliev A.N., Soromotin V.N., Yakuba E.S., Yakovenko R.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3944//

2. Ismail O. S., Umukoro G. E. Energy and Power Engineering, Ibadan, 2012. Pp. 1-2.

3. Canteenwalla P.M., Thomson K.A., Smallwood G.J., Johnson M.R. National Research Council of Canada, 2007. Pp. 1-2.

4. Polishchuk YU.M. Vestnik YUgorskogo gosudarstvennogo universiteta, Hanty-Mansijsk, 2005. P. 2.

5. Huang K., Joshua S. F. Scientific data, 2016. Pp. 2-3.

6. Bradley M. C., Matthew R. J. Environmental Science & Technology, Ottawa, 2017. P. 3.

7. Wang X., Judith C. C., Kohl S. D., Percy K. E., Legge A. H., Watson J. G. Journal of the Air & Waste Management Association, Philadelphia, 2015. Pp. 2-3.



8. Kondratenko T.O., Sajbel' A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298

9. Moskvин A.G. Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. Tom 17, Moskva, 2010. Pp. 1-2.

10. Kuz'michev A.A. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya gorodskogo atmosfernogo aerezolya i parametrov vozdushnoj sredy na zagryaznenie zdaniy i sooruzhenij [Theoretical and experimental studies of the influence of urban atmospheric aerosol and air parameters on the pollution of buildings and structures]. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. FGBOU VO «VolgGTU», Volgograd, 2019. Pp. 60-70.