



Экологическая химия 2019, 28(4); 216–223.

СОДЕРЖАНИЕ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО ФУТБОЛУ В 2018 ГОДУ

И. С. Халиков*, А. О. Корунов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение “Научно-производственное объединение “Тайфун”,
ул. Победы 4г, Обнинск, 249038 Россия
e-mail: Khalikov@rpatyphoon.ru

Поступило в редакцию 8 апреля 2019 г.

Представлены результаты анализа проб атмосферного воздуха по содержанию бенз(а)пирена и других высокомолекулярных полициклических ароматических углеводородов на аэрозольных частицах, отобранных в июне-июле 2018 г. в городах европейской части России, на государственной наблюдательной сети во время чемпионата мира по футболу (ЧМ-2018).

Среднемесячные концентрации нормируемого бенз(а)пирена в атмосферном воздухе в июне-июле 2018 года не превышали ПДК на всех постах наблюдений загрязнений в 10 обследованных городах ЧМ-2018. Максимальное среднемесячное содержание бенз(а)пирена за период наблюдений с июня по июль 2018 г. было обнаружено в г. Казани (ПНЗ № 8, июль – 0.83 нг/м³).

Средние концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе за два месяца (июнь и июль) убывали в ряду г. Казань (0.45 нг/м³), г. Калининград (0.38 нг/м³), г. Москва (0.35 нг/м³), г. Саранск (0.32 нг/м³), г. Нижний Новгород (0.31 нг/м³), г. Самара (0.31 нг/м³), г. Ростов-на-Дону (0.26 нг/м³), г. Санкт-Петербург (0.22 нг/м³), г. Волгоград (0.16 нг/м³), г. Сочи (0.01 нг/м³).

Ключевые слова: ПАУ, воздух, город, чемпионат мира, футбол, ВЭЖХ

ВВЕДЕНИЕ

Качество атмосферного воздуха является важнейшим фактором, определяющим состояние живой природы и здоровья населения.

В настоящее время проблема загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах является очень актуальной. Уровень загрязнения атмосферного воздуха создается в результате поступления выбросов вредных веществ от всех

источников на территории города и атмосферных процессов, влияющих на перенос, рассеивание и трансформацию этих веществ [1].

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха городов, проводимые как составная часть государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды, осуществляется территориальными подразделениями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета).

Анализ качества атмосферного воздуха в Российской Федерации показывает, что бенз(а)пирен является одним из главных загрязняющих веществ в городской атмосфере [2]. Бенз(а)пирен, единственный из приоритетных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), подлежит в России обязательному контролю (ПДК_{с.с.} в воздухе – 1 нг/м³), включен в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых для атмосферного воздуха применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды [3, 4]. Очевидно, что со временем перечень ПАУ, подлежащих контролю в Российской Федерации будет расширяться.

К высокомолекулярным полициклическим ароматическим углеводородам (ВМПАУ) обычно относят вещества с довольно высокой молекулярной массой ($M > 200$), с давлением насыщенного пара менее 10^{-8} кПа и температурой кипения выше 435°C , содержащим от 4 и более конденсированных ароматических колец. В атмосферном воздухе они преимущественно сорбируются на твердых аэрозольных частицах, которые могут транспортироваться воздушными массами, и, в отличие от ПАУ с меньшим числом циклов (от 2 до 3), меньше подвержены разложению и обладают наибольшей канцерогенной и мутагенной активностью и другими токсичными свойствами [5–8].

С 14 июня по 15 июля 2018 г. в 11 российских городах проходил 21-й чемпионат мира по футболу (ЧМ-2018). Во всех городах ЧМ-2018, за исключением Сочи, Калининграда и Саранска, проживает более 1 млн людей, все они являются крупными промышленными, административно-территориальными центрами и транспортными узлами. Крупные города играют важную роль в формировании глобального фона ПАУ в атмосферном воздухе.

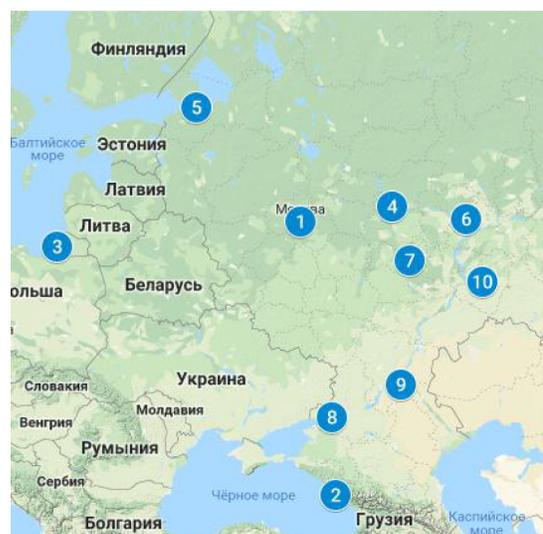


Рис. 1. Картограмма расположения отбора проб атмосферного воздуха в городах ЧМ-2018 по футболу; (1) Москва, (2) Сочи, (3) Калининград, (4) Нижний Новгород, (5) Санкт-Петербург, (6) Казань, (7) Саранск, (8) Ростов-на-Дону, (9) Волгоград, (10) Самара.

В перечень основных источников загрязнения атмосферного воздуха городов полициклическими ароматическими углеводородами входят объекты топливно-энергетического, металлургического, нефтехимического, машиностроительного комплексов и автомобильный транспорт [5, 7, 9, 10]. В крупных городах в летний сезон автотранспорт может занимать лидирующее место среди источников загрязнения атмосферного воздуха ПАУ [11, 12].

В годовом ходе концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе России обычно возрастают в зимний период при максимальном режиме работы объектов теплоэнергетики и наибольших выбросов, а также при снижении переноса атмосферного воздуха [2].

С учетом важности определения ПАУ в объектах природной среды, в том числе атмосферном воздухе, привлекаются современные методы анализа с высокой селективностью и чувствительностью, такие как газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием, или высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектированием [5, 13, 14].

Целью настоящей работы являлась оценка уровней содержания ВМПАУ в атмосферном воздухе городов при проведении ЧМ-2018 с использованием метода ВЭЖХ.

Таблица 1. Отбор проб атмосферного воздуха для определения ПАУ на станциях государственной системы наблюдений в ходе ЧМ-2018

Город	Номер ПНЗ	Ответственная организация за отбор
Москва	№ 1, № 2, № 18, № 20, № 21, № 23, № 34	ФГБУ “Центральное УГМС”
Сочи	№ 4	ФГБУ “Северо-Кавказское УГМС”
Калининград	№ 1, № 2, № 4	Калининградский ЦГМС
Нижний Новгород	№ 3, № 7, № 11	ФГБУ “Верхне-Волжское УГМС”
Санкт-Петербург	№ 1, № 2, № 4, № 6, № 7, № 8, № 10, № 12, № 27	ФГБУ “Северо-Западное УГМС”
Казань	№ 4, № 5, № 6, № 7, № 8	ФГБУ “УГМС Республики Татарстан”
Саранск	№ 3, № 5	ФГБУ “Верхне-Волжское УГМС”
Ростов-на-Дону	№ 51, № 52, № 55	ФГБУ “Северо-Кавказское УГМС”
Волгоград	№ 3, № 35, № 36	ФГБУ “Северо-Кавказское УГМС”
Самара	№ 7, № 8, № 11	ФГБУ “Приволжское УГМС”

ЭКСПЕРИМЕНТ

Отбор проб атмосферного воздуха для определения ВМПАУ в городах ЧМ-2018 (рис. 1), за исключением г. Екатеринбурга, проводили на 39 государственных постах наблюдения загрязнений (ПНЗ) лаборатории управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) Росгидромета (табл. 1) в соответствии с требованиями РД.52.04.186.89 [15].

Посты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха были расположены в разных районах городов. ПНЗ подразделяются на “городские фоновые” в жилых районах, “промышленные” вблизи предприятий и “авто” вблизи автомагистралей в районах с интенсивным движением транспорта. Однако, это деление на категории является условным, так как практически все жилые районы городов расположены в зоне влияния выбросов промышленных предприятий и автотранспорта.

Отбор проб на содержание ВМПАУ проводили в июне-июле 2018 г. путем прокачки атмосферного воздуха через аэрозольные фильтры марки АФА-ВП-20 с помощью аспираторов разных типов со скоростью примерно 100 дм³/мин в течение 20–30 мин согласно программам отбора, установленных в УГМС, полной (4 раза в сутки) и неполной (3 раза в сутки). При дискретных наблюдениях в разных городах, аэрозольные частицы отбирали по полной программе ежедневно с периодичностью 6 дней в

неделю через равные промежутки времени в сроки 01, 07, 13 и 19 ч; по неполной программе – в 07, 13 и 19 ч. При отборе проб фиксировались метеорологические параметры (направление и скорость ветра, температура и влажность воздуха, атмосферное давление) и фактический объем пропущенного через фильтр воздуха. В конце каждого месяца все отобранные фильтры вместе с сопроводительным письмом, где указывалась информация о количестве фильтров и суммарном объеме прокаченного за период отбора воздуха, отправлялись из УГМС в лабораторию № 3 Института проблем мониторинга ФГБУ “НПО “Тайфун” для определения бенз(а)пирена и других высокомолекулярных ПАУ.

Затем фильтры с аэрозольными частицами, отобранные в течение месяца в соответствии с планом, объединяли, помещали в стеклянную колонку объемом 150–250 см³ и экстрагировали гексаном (объемом до 200 мл). Экстракт упаривали, добавляли 1.8 мл ацетонитрила, перемешивали, переносили в вialу и анализировали аликвоту методом ВЭЖХ.

Для идентификации и количественного определения ВМПАУ использовали метод ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием (детектор “RF-20A”). Измерения проводили на хроматографе “LC-20 Prominence” (Shimadzu), состоящего из вакуумного дегазатора DGU-20A₃, насоса LC-20AD, автосамплера SIL-20A и термостата СТО-20A, с колонкой SUPELCOSIL LC-PAH (150 x 4.6 мм, 5 мкм) и защитным картриджом C18 (4 x 2 мм)

Таблица 2. Минимальные и максимальные концентрации высокомолекулярных ПАУ в атмосферном воздухе в ПНЗ городов во время проведения ЧМ-2018 по футболу, нг/м³

Город, количество (n) ПНЗ, min и max концентрации ПАУ		BaA	CHR	BeP	BbF	BkF	BaP	DBahA	BPL	INP	Сумма ВМ ПАУ
Москва, <i>n</i> = 13	min	0.40	0.21	0.11	0.06	0.09	0.11	0.003	0.19	0.14	1.32
	max	1.3	1.4	1.3	0.49	0.61	0.68	0.04	1.2	0.77	7.68
Сочи. <i>n</i> = 2	min	0.01	0.02	0.01	0.005	0.005	0.007	< 0.001	0.01	0.01	0.09
	max	0.02	0.02	0.02	0.02	0.007	0.013	< 0.001	0.03	0.02	0.14
Калининград. <i>n</i> = 6	min	0.37	0.35	0.21	0.21	0.15	0.23	0.01	0.28	0.29	2.10
	max	0.77	0.87	0.46	0.43	0.48	0.54	0.03	0.70	0.65	4.88
Нижний Новгород. <i>n</i> = 5	min	0.64	0.52	0.41	0.09	0.22	0.19	0.01	0.34	0.23	2.81
	max	0.91	0.91	0.70	0.27	0.35	0.42	0.025	0.66	0.52	4.74
Санкт- Петербург. <i>n</i> = 14	min	0.34	0.21	0.37	0.05	0.12	0.03	0.002	0.10	0.05	1.71
	max	1.4	1.3	1.1	0.57	0.68	0.57	0.02	0.71	0.59	6.30
Казань. <i>n</i> = 10	min	0.48	0.47	0.28	0.21	0.34	0.19	0.01	0.52	0.29	2.95
	max	1.5	1.7	1.3	0.82	0.82	0.83	0.05	1.4	1.2	9.61
Саранск. <i>n</i> = 4	min	0.41	0.42	0.34	0.11	0.13	0.19	0.01	0.31	0.21	2.15
	max	1.0	1.4	1.3	0.32	0.47	0.60	0.04	0.90	0.75	6.78
Ростов-на- Дону. <i>n</i> = 6	min	0.40	0.07	0.25	0.16	0.14	0.13	0.004	0.23	0.19	1.77
	max	1.5	1.7	1.1	0.62	0.57	0.46	0.04	1.0	0.94	7.93
Волгоград. <i>n</i> = 5	min	0.17	0.19	0.26	0.01	0.05	0.03	0.006	0.08	0.06	1.08
	max	0.56	0.48	0.57	0.19	0.20	0.24	0.02	0.43	0.35	2.67
Самара. <i>n</i> = 6	min	0.32	0.15	0.17	0.07	0.08	0.10	0.006	0.12	0.12	1.14
	max	1.0	1.1	0.81	0.41	0.44	0.53	0.03	0.65	0.60	5.45

от фирмы Phenomenex в условиях градиентного элюирования смесью ацетонитрила и воды от 55% до 100%, при скорости потока 1.0 мл/мин и температуре колонки 40°C. Объем ввода аликвоты – 10 мкл. С помощью программного обеспечения “LC Solution” устанавливали оптимальные длины волн возбуждения и эмиссии. В качестве градуировочных стандартов использовали стандартные растворы индивидуальных ПАУ и их смесей производства фирмы “Supelco” и “Dr. Ehrenstorfer GmbH”. В качестве аналитического сигнала использовали площадь пика. Степень извлечения ПАУ по методу “введено-найденно” составляла от 80 до 90%, значительных матричных эффектов не наблюдалось. Методика обеспечивала выполнение измерений с погрешностью, не превышающей 25%, при доверительной вероятности 0.95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование уровней загрязнения ПАУ атмосферного воздуха городов определяется объемами и составом выбросов из антропогенных источников, а также особенностями ландшафта и метеорологических условий распространения загрязняющих веществ.

В пробах атмосферного воздуха городов в ходе ЧМ-2018 были идентифицированы и количественно определены в порядке выхода на хроматограммах следующие ВМПАУ: бенз(а)антрацен (BaA), хризен (CHR), бенз(е)пирен (BeP), бенз(б)флуорантен (BbF), бенз(к)флуорантен (BkF), бенз(а)пирен (BaP), дибенз-(а,һ)антрацен (DBahA), бенз(ɡ,һ,і)перилен (BPL) и инден[1,2,3-с, d]пирен (INP). Суммарная

Таблица 3. Среднее содержание высокомолекулярных ПАУ в атмосферном воздухе городов во время проведения ЧМ-2018 по футболу, нг/м^3

Город, месяц отбора, количество (n) ПНЗ		VaA	CHR	BeP	BbF	BkF	BaP	DBahA	BPL	INP	Сумма ВМПАУ
Москва	июнь, $n = 6$	0.57	0.51	0.31	0.15	0.19	0.25	0.01	0.35	0.31	2.56
	июль, $n = 7$	0.95	0.92	0.91	0.30	0.40	0.44	0.03	0.76	0.51	5.23
Сочи	июнь, $n = 1$	0.02	0.02	0.01	0.005	0.005	0.007	< 0.001	0.01	0.01	0.09
	июль, $n = 1$	0.01	0.02	0.02	0.02	0.007	0.013	< 0.001	0.03	0.02	0.14
Калининград	июнь, $n = 3$	0.52	0.44	0.29	0.29	0.20	0.28	0.02	0.39	0.38	2.80
	июль, $n = 3$	0.72	0.74	0.43	0.38	0.40	0.49	0.02	0.63	0.60	4.42
Нижний Новгород	июнь, $n = 3$	0.78	0.74	0.53	0.23	0.28	0.38	0.02	0.55	0.46	3.98
	июль, $n = 2$	0.66	0.55	0.59	0.11	0.28	0.20	0.01	0.34	0.25	2.99
Санкт-Петербург	июнь, $n = 8$	0.44	0.35	0.62	0.44	0.29	0.12	0.007	0.18	0.07	2.52
	июль, $n = 6$	0.97	0.92	0.84	0.15	0.35	0.35	0.01	0.43	0.37	4.40
Казань	июнь, $n = 5$	0.59	0.54	0.36	0.26	0.39	0.42	0.02	0.61	0.47	3.66
	июль, $n = 5$	0.87	1.04	0.78	0.42	0.59	0.49	0.02	0.81	0.61	5.64
Саранск	июнь, $n = 2$	0.42	0.45	0.35	0.12	0.15	0.23	0.01	0.31	0.26	2.31
	июль, $n = 2$	0.77	1.02	1.1	0.19	0.32	0.41	0.03	0.62	0.48	4.92
Ростов-на-Дону	июнь, $n = 3$	0.98	1.02	0.64	0.50	0.37	0.33	0.03	0.70	0.66	5.22
	июль, $n = 3$	0.47	0.14	0.46	0.16	0.16	0.18	0.008	0.34	0.23	2.16
Волгоград	июнь, $n = 3$	0.43	0.46	0.33	0.17	0.19	0.22	0.01	0.41	0.32	2.54
	июль, $n = 2$	0.20	0.28	0.53	0.03	0.06	0.06	0.007	0.10	0.07	1.32
Самара	июнь, $n = 3$	0.41	0.24	0.23	0.12	0.12	0.16	0.01	0.23	0.20	1.71

концентрация ПАУ в работе представлена как сумма 9 полиаренов (от 4 до 6 конденсированных колец).

Результаты по минимальным (min) и максимальным (max) концентрациям ВМПАУ в июне-июле 2018 года, а также среднемесячному содержанию в городах ЧМ-2018 в атмосферном воздухе приведены в табл. 2 и 3.

Степень загрязнения атмосферного воздуха городов оценивали путем сравнения фактических концентраций бенз(а)пирена с его санитарно-гигиеническим нормативом ($\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 1 \text{ нг/м}^3$). Содержание других ВМПАУ в настоящее время в атмосферном воздухе российскими нормативными документами не регламентируется.

В обследованных городах ЧМ-2018 не зафиксировано высокого и экстремально высокого загрязнения бенз(а)пиреном атмосферного воздуха.

Максимальные концентрации бенз(а)пирена (0.83 нг/м^3) и суммы ВМ ПАУ (9.61 нг/м^3) за период наблюдений с июня по июль были выявлены в воздухе г. Казани (ПНЗ № 8, Вахитовский район, июль). Среднее содержание бенз(а)пирена за два летних месяца в атмосферном воздухе городов не превышало ПДК (табл. 4). Полученные данные показали, что на всех ПНЗ обследуемых городов наблюдаются низкие концентрации ПАУ в это время года, сопоставимые по нормируемому бенз(а)пирену с результатами предыдущих лет (табл. 4). Следует отметить увеличение средней концентрации ВаР примерно в два раза в атмосферном воздухе крупных городов Москвы и Санкт-Петербурга в период проведения ЧМ-2018, по-видимому, это может быть связано с ростом и влиянием транспортного потока.

Таблица 4. Среднее содержание бенз(а)пирена в атмосферном воздухе городов за 2 месяца (июнь, июль) в 2016–2018 гг., $\text{нг}/\text{м}^3$

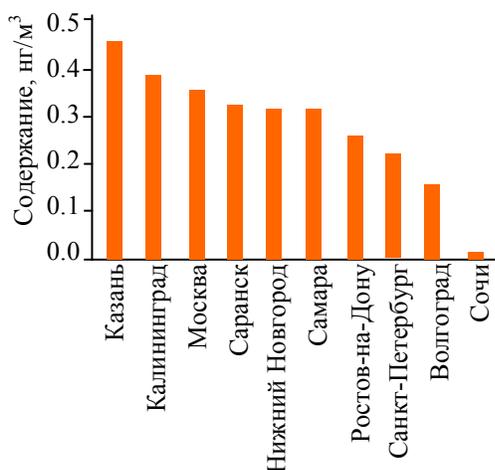
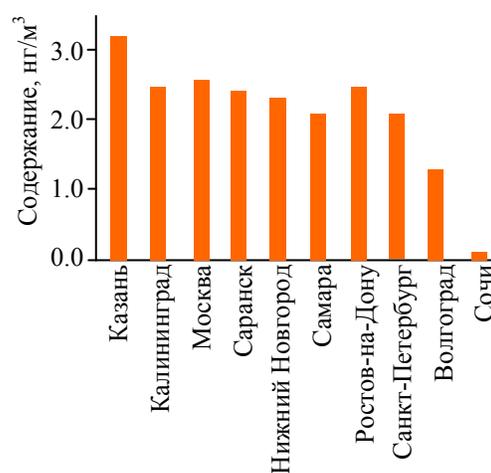
Город, количество (n) ПНЗ	Средняя концентрация бенз(а)пирена (интервал значений), $\text{нг}/\text{м}^3$		
	2016	2017	2018
Москва, n = 14	0.14 (0.10–0.30)	0.18 (0.01–0.40)	0.35 (0.11–0.68)
Сочи, n = 2	0.008 (0.006–0.010)	0.01 (0.006–0.015)	0.01 (0.007–0.013)
Калининград, n = 6	0.25 (0.10–0.30)	0.11 (0.04–0.19)	0.38 (0.23–0.54)
Нижний Новгород, n = 6	0.51 (0.30–1.10)	0.13 (0.10–0.16)	0.31 (0.19–0.42)
Санкт-Петербург, n = 14	0.10 (0.02–0.20)	0.12 (0.03–0.30)	0.22 (0.03–0.57)
Казань, n = 10	0.34 (0.04–0.80)	0.26 (0.07–1.10)	0.45 (0.19–0.83)
Саранск, n = 4	0.37 (0.20–0.50)	0.28 (0.17–0.35)	0.32 (0.19–0.60)
Ростов-на-Дону, n = 6	0.32 (0.20–0.50)	0.26 (0.12–0.38)	0.26 (0.13–0.46)
Волгоград, n = 6	0.38 (0.19–0.51)	0.03 (0.01–0.06)	0.16 (0.03–0.24)
Самара, n = 6	0.25 (0.10–0.30)	0.22 (0.08–0.54)	0.31 (0.10–0.53)

Средние концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе за два месяца (июнь и июль) составляли (рис. 2) в г. Казани ($0.45 \text{ нг}/\text{м}^3$) – г. Сочи ($0.01 \text{ нг}/\text{м}^3$). Уровень загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пиреном в городах во время проведения ЧМ-2018 характеризуется как “низкий”. Такая же примерно тенденция снижения концентраций в этом ряду городов характерна и для других ВМПАУ (рис. 3).

Минимальные концентрации бенз(а)пирена ($0.007 \text{ нг}/\text{м}^3$) и суммы ВМПАУ ($0.09 \text{ нг}/\text{м}^3$) определены в атмосферном воздухе г. Сочи (ПНЗ № 4, июнь). Низкие концентрации бенз(а)пирена и

других ВМПАУ в г. Сочи, по-видимому, связаны с меньшим объемом использования различных видов топлив, более благоприятных метеорологических условий для рассеивания и удаления загрязняющих веществ, увеличения трансформации ПАУ за счет роста активности фотохимических процессов и скорости реакций с газовыми компонентами.

Исследование особенностей профилей среднего содержания разных ПАУ в атмосферном воздухе городов ЧМ-2018 (табл. 3, рис. 2–3) показало, что, за исключением г. Сочи, значения сопоставимы, варьируют в определенных пределах, оставаясь примерно на одном уровне.

**Рис. 2.** Среднее содержание бенз(а)пирена в атмосферном воздухе городов ЧМ-2018.**Рис. 3.** Среднее содержание ВМПАУ в атмосферном воздухе городов ЧМ-2018.

Доля среднего содержания за 2 месяца ВаР от суммы ВМПАУ в атмосферном воздухе находилась в диапазоне от 6.6% в г. Санкт-Петербурге до 10.5% в г. Калининграде. Коэффициент корреляции между содержанием бенз(а)пирена и суммы ВМПАУ во всех городах составлял более 0.9.

Анализ происхождения ПАУ представляет довольно сложную задачу. В основном этот анализ сводится к идентификации источников загрязнения пирогенной или петрогенной природы с использованием молекулярных соотношений ПАУ [10, 16–19]. Для оценки источников поступления ВМПАУ в атмосферный воздух городов ЧМ-2018 использовали профили содержания полиаренов и средние значения молекулярных соотношений ВаА/(ВаА+СНР), ВаР/(ВаР+СНР), ІНР/(ІНР+ВРЛ).

Среднее значение соотношения ВаА/(ВаА+СНР) в атмосферном воздухе за 2 месяца на сетевых постах наблюдений изменялось от 0.41 (г. Сочи) до 0.63 (г. Ростов-на-Дону), для ВаР/(ВаР+СНР) – от 0.25 (г. Волгоград) до 0.40 (г. Ростов-на-Дону). Средние значения молекулярного соотношения ІНР/(ІНР+ВРЛ) находились в интервале 0.36 (г. Санкт-Петербург) – 0.49 (г. Калининград). Полученные результаты указывают на пирогенную природу ВМПАУ в атмосферном воздухе городов. Основным источником поступления ПАУ в окружающую среду в крупных городах в летний сезон, по-видимому, является автотранспорт.

ВЫВОДЫ

(а) Проведен отбор в июне-июле 2018 года 71 среднемесячной пробы атмосферного воздуха на 39 постах государственной наблюдательной сети Росгидромета в 10 городах европейской части России и осуществлен количественный анализ 9 ВМПАУ методом ВЭЖХ.

(б) Среднемесячные концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе в июне-июле 2018 года не превышали ПДК_{сс} на всех ПНЗ обследованных городов ЧМ-2018. Максимальное среднемесячное содержание бенз(а)пирена за период наблюдений с июня по июль 2018 г. было обнаружено в г. Казани (ПНЗ № 8, июль – 0.83 нг/м³), г. Москве (ПНЗ № 20, июль – 0.68 нг/м³).

(в) Средние концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе за два месяца (июнь и июль) составляли в г. Казани (0.45 нг/м³),

г. Калининграде (0.38 нг/м³), г. Москве (0.35 нг/м³), г. Саранске (0.32 нг/м³), г. Нижнем Новгороде (0.31 нг/м³), г. Самаре (0.31 нг/м³), г. Ростове-на-Дону (0.26 нг/м³), г. Санкт-Петербурге (0.22 нг/м³), г. Волгограде (0.16 нг/м³), г. Сочи (0.01 нг/м³). Такая же примерно тенденция снижения концентраций в этом ряду городов характерна и для других ВМПАУ.

(г) Уровень загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пиреном в городах во время проведения ЧМ-2018 характеризуется как “низкий”.

(д) Анализ диагностических молекулярных соотношений ПАУ в атмосферном воздухе городов во время проведения ЧМ-2018 указывает на их пирогенную природу. Автотранспорт, вероятно, является основным источником поступления ПАУ в окружающую среду в крупных городах в летний сезон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безуглая, Э.Ю., Смирнова, И.В., *Воздух городов и его изменения*, СПб.: Астерион, 2008, 254 с.
2. Ануфриева, А.Ф., Загайнова, М.С., Ивлева, Т.П., Любушкина, Т.М., Смирнова, И.В., *Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2016 г.*, ФГБУ “Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова”, Санкт-Петербург, 2017, 228 С.
3. ГН 2.1.6.1338-03. “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», Москва, 2003.
4. *Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 года N 1316-р “Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды”.*
5. *Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, U.S. Department of Health and Human Services, 1995, 457 P.
6. Ровинский, Ф.Я., Теплицкая, Т.А., Алексеева, Т.А. *Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов*, Ленинград: Гидрометеоздат, 1988, 224 С.
7. *IARC (International agency for Research on Cancer). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposure*, Lyon, France, 2010, vol. 92, 853 P.

8. EPA (Environmental Protection Agency U.S.). *Development of a relative potency factor (RPF) approach for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) mixtures*, Washington, DC, 2010, 622 P.
9. Суздорф, А.Р., Морозов, С.В., Кузубова, Л.И., Аншиц, Н.Н., Аншиц, А.Г., *Химия в интересах устойчивого развития*, 1994, № 2, сс. 511–540.
10. Халиков, И.С., *Экологическая химия*, 2018, Т. 27, № 2, сс. 76–85.
11. Егорова, О.С., Буркеева, Д.Р., Гоголь, Э.В., Тунакова, Ю.А., *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, Т. 17, № 16, сс. 141–142.
12. Пшенин, В.Н., *Транспорт как источник полициклических ароматических углеводородов в окружающей среде*, Москва: ВИНТИ, 1995, 19 С.
13. Pandey, S.K., Kim, K.H., Brown, R.J.C., *Trends in Analytical Chemistry*, 2011, vol. 30, № 11, pp. 1716–1739.
14. Басова, Е.М., Иванов В.М., *Вестник Моск. Ун-та. Сер.2. Химия*, 2011, Т. 52, № 3, сс. 163–174.
15. РД 52.04.186-89. *Руководство по контролю загрязнения атмосферы*. Москва, 1989, 615 С.
16. Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., *Organic Geochemistry*, 2002, vol. 33, pp. 489–515.
17. Ravindra, K., Sokhi, R., Grieken, R.V., *Atmospheric Environment*, 2008, vol. 42, pp. 2895–2921.
18. Tobiszewski, M., Namiesnik, J., *Environmental Pollution*, 2012, vol. 162, pp. 110–119.
19. Dvorska, A., Lammel, G., Klanova, J., *Atmospheric Environment*, 2011, vol. 45, pp. 420–427.

The Content of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air During the World Cup in 2018

I. S. Khalikov* and A. O. Korunov

Research and Production Association “Typhoon”, ul. Pobedy 4, Obninsk, 249038 Russia

**e-mail: Khalikov@rpatyphoon.ru*

Abstract—During the 2018 world Cup (June–July 2018) polycyclic aromatic hydrocarbons including benzo(a)pyrene were analyzed on aerosol particles in several cities of the European part of Russia sampled on atmospheric air stations of the state observation network. The average monthly concentrations of benzo(a)pyrene (BaP) in atmospheric air in June–July 2018 did not exceed the maximum allowable concentration at all pollution observation stations in 10 surveyed cities of the 2018 World Cup. During the observation period the maximum average monthly concentration of BaP was found in Kazan (station no 8, July – 0.83 ng/m³). The average concentrations of BaP in atmospheric air during June and July decreased in cities of the European part of Russia in the following row: Kazan (0.45 ng/m³), Kaliningrad (0.38 ng/m³), Moscow (0.35 ng/m³), Saransk (0.32 ng/m³), Nizhny Novgorod (0.31 ng/m³), Samara (0.31 ng/m³), Rostov-on-Don (0.26 ng/m³), St. Petersburg (0.22 ng/m³), Volgograd (0.16 ng/m³), Sochi (0.01 ng/m³).

Keywords: PAH, air, city, world Cup, football, HPLC