

Научная статья

УДК 91:547.6:628.511.134(571.17)

DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-2-21-35

Содержание полициклических ароматических углеводородов в уличной пыли угледобывающего региона Южного Кузбасса

**Нина Александровна Осипова¹, Анна Валерьевна Таловская²,
Егор Григорьевич Язиков³, Светлана Валерьевна Азарова⁴,
Алексей Сергеевич Кутищев⁵, Сергей Автономович Новиков⁶**

^{1,2,3,4,6}Томский политехнический университет, г. Томск, Россия;

⁵Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Россия

¹osipova@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2340-8167>;

²talovskaj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2227-2221>;

³yazikoveg@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7925-6249>;

⁴svetazara@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2092-6479>;

⁵252aleksei@mail.ru;

⁶nsa@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8180-2053>.

Информация о статье

Поступила в редакцию
17.01.2024

Одобрена после
рецензирования 05.06.2024

Принята к публикации
10.06.2024

Ключевые слова:

полициклические
ароматические
углеводороды, уличная
пыль, фракционный состав
пыли, Южный Кузбасс,
угледобыча и угольная
энергетика, токсичность,
индикаторные
соотношения, бенз(а)
пирен, горение ископаемого
топлива, пирогенные
источники

Актуальность вызвана необходимостью определения содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), образующихся при сжигании углей, в природных средах. Объект исследования – уличная пыль как депонирующая среда г. Междуреченска, являющегося одним из угледобывающих центров Кемеровской области. Цель исследования – оценить уровень накопления веществ класса полиаренов. Задача исследования – определить содержание 14 полиаренов различного состава и строения методом хромато-масс-спектрометрии. Методология и методы: пробы отобраны по стандартной методике по площадной сети. Анализ проводили методом хромато-масс-спектрометрии. Согласно результатам исследования, среднее суммарное содержание ПАУ составило 2148 ± 364 мкг/кг при максимальном значении 4011 мкг/кг и при минимальном 401 мкг/кг. При этом сумма тяжёлых ПАУ (1432 ± 163 мкг/кг) в два раза превосходит сумму лёгких (716 ± 202 мкг/кг), а доля бенз(а)пирена составляет $17,0\text{--}33,8\%$, что характерно для территорий, где происходит сжигание топлива. Рассчитанные индикаторные соотношения отражают пирогенное происхождение ПАУ (образование в процессах горения), обнаруженных в уличной пыли на данной территории, что позволяет рассматривать процессы сжигания угля как основной источник их поступления. Анализ распределения ПАУ по гранулометрическим фракциям показал достаточно равномерное накопление ПАУ в мелкой ($50\text{--}20$ мкм) и средней ($100\text{--}50$ мкм) фракциях, а также их преобладание по сравнению с крупной ($1000\text{--}100$ мкм) фракцией – $43,5, 37,22, 19,63\%$ соответственно. Сумма ПАУ, выраженная в эквивалентах наиболее опасного канцерогена – бенз(а)пирена, составила 570 ± 140 мкг/кг, превысив ПДК (20 мкг/кг) в среднем в $28,5$ раза. Вклад бенз(а)пирена в суммарную токсичность составил 91% . Формулируется вывод о том, что наиболее вероятными источниками ПАУ в уличной пыли на рассматриваемой территории являются их эмиссия при сжигании угля, их непосредственное присутствие в углях, добываемых в Кемеровской области, а в меньшей степени – потери нефтепродуктов при работе транспорта.

Благодарности: исследования выполнены в Национальном исследовательском Томском политехническом университете при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта в Национальном исследовании № 20-05-00675, а также в рамках программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета среди ведущих мировых исследовательских центров.

Original article

The Content of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Street Dust of the Coal Mining Region of Southern Kuzbass

Nina A. Osipova¹, Anna V. Talovskaya², Egor G. Yazikov³,
Svetlana V. Azarova⁴, Alexey S. Kutischev⁵, Sergey A. Novikov⁶

^{1,2,3,4,6}Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

⁵Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia

¹osipova@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2340-8167>;

²talovskaj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2227-2221>;

³yazikoveg@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7925-6249>;

⁴svetazara@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2092-6479>;

⁵252aleksei@mail.ru, ⁶nsa@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8180-2053>.

Information about the article

Received January 17 2024

Approved after review
June 05, 2024

Accepted for publication
June 10, 2024

Keywords:

polycyclic aromatic hydrocarbons, street dust, fractional composition of dust, Southern Kuzbass, coal mining and coal energy, toxicity, indicator ratios, benz(a)pyrene, gorenje fossil fuels, pyrogenic sources

The relevance of the research is caused by the need to evaluate the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) formed during coal combustion. The object of the study is street dust of Mezhdurechensk (Kemerovo region). The purpose of the work is to assess the level of accumulation of the polyarenes. The subject is the determination of the 14 polyarenes content. Methodology and methods are as follows: the samples are selected according to the standard methodology of the areal network. The analysis has been carried out by chromatography-mass spectrometry. The following results are obtained: The average total PAH content is $2\,148 \pm 364$ mkg/kg, a maximum value is $4\,011$ mkg/kg and a minimum – 401 mkg/kg. The content of heavy PAHs ($1\,432 \pm 163$ mkg/kg) is twice as high as the content of light PAHs (716 ± 202 mkg/kg) and the percentage of benz(a)pyrene is $17,0\text{--}33,8$ %, which is typical for territories where fuel is burned. The distribution of PAHs by granulometric fractions has showed the fairly uniform accumulation of PAHs in small (50–20 microns) and medium (100–50 microns) fractions and their predominance compared with large (1000–100 microns) fractions: 43,5, 37,22, 19,63 % accordingly. The amount of PAHs expressed in equivalents of the most dangerous carcinogen benz(a)pyrene is 570 ± 140 mkg/kg, and exceeded the MPC (20 mkg/kg) by an average of 28,5 times. The contribution of benz(a)pyrene to the total toxicity is 91 %. The authors conclude that the main sources of PAHs are their emission during coal combustion, their direct presence in coals, and to a lesser extent – the loss of petroleum products during transport.

Acknowledgements: the research was carried out at Tomsk Polytechnic University with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project in a National study No. 20-05-00675, as well as within the framework of the program to increase the competitiveness of Tomsk Polytechnic University among the world's leading research centers.

Введение. Полициклические ароматические углеводороды (полиарены, ПАУ) – одни из основных и наиболее распространённых загрязнителей окружающей среды. ПАУ обладают канцерогенным, мутагенным, тератогенным и другими свойствами, а также способны к накоплению в тканях живых организмов. Многие ПАУ содержатся в выбросах разных промышленных производств, автотранспорта, теплоэлектроцентралей, образуются при добыче и сжигании угля. Кузбасс является уникальным угольным бассейном. Общие геологические запасы угля Кузнецкого бассейна оцениваются в 370,82 млрд т. Доля угля в топливно-энергетическом балансе РФ неизменно возрастает.

Актуальность вызвана необходимостью определения содержания ПАУ в природных средах для обеспечения экологически устойчивого развития Кемеровской области как географического региона. Подавляющее большинство ПАУ не нормируются отечественными санитарно-гигиеническими и экологическими нормативами, но законодательно нормируются во многих других странах мира. В Евросоюзе уровень выбросов полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе ограничен Директивой 2004/107/ЕС. Геолого-минералогические подходы к проблеме ПАУ предполагают выявление как природных, так и техногенных процессов, ведущих к образованию ПАУ в

геологических объектах путём анализа деполирующих сред.

Объект исследования – уличная пыль как деполирующая среда г. Междуреченска, являющегося одним из угледобывающих центров Кемеровской области (рис. 1). Город расположен в центральной части Томусинского каменноугольного месторождения в месте слияния р. Томь и Уса в зоне их выхода из гор Кузнецкого Алатау в Кузнецкую низогорно-холмистую котловину. Угольные предприятия располагаются на правом и левом берегах р. Уса и Томь в непосредственной близости от городской черты.

В геологическом отношении город расположен на сочленении двух крупных орогенных структур – Западно-Сибирской низменности и Алтае-Саянской складчатой области. Отложения Кузнецкого бассейна представляют мощную толщу относительно однородных осадков, подразделение которых основано на литологических и биостратиграфических данных. В пределах палеозойских отложений выделяются две мощные серии осадков – балахонская и кольчугинская, каждая из которых начинается безугольными отложениями, а затем появляются мощные пласты угля.



Рис. 1. Карта расположения г. Междуреченска на территории Кемеровской области / **Fig. 1.** Map of Mezhdurechensk location in the Kemerovo Region

Предмет исследования – содержание полиаренов различного состава и строения методом хромато-масс-спектрометрии.

Цель исследования – оценить содержание ПАУ в уличной пыли. Междуреченск является небольшим промышленным городом, расположенным на Юге Кузбасса. Регион испытывает комплексное воздействие ряда факторов антропогенного характера (тепло-энергетика, автотранспорт, развитая угледобывающая промышленность). Ландшафтно-климатические особенности местности препятствуют активному рассеянию загрязняющих веществ.

Задачи исследования:

- 1) систематизация сведений о накоплении ПАУ в пыли и почвах других регионов;
- 2) оценка токсичности отдельных ПАУ в эквивалентах бенз(а)пирена;
- 3) выявление источников загрязнения на основе анализа содержаний ПАУ различного строения.

Разработанность темы. Природными источниками ПАУ могут быть размыв и перетолжение древних осадочных пород, тектонические процессы, гидротермальные разгрузки [6]. Некоторые углеводородные структуры обнаружены в древних и современных отложениях как результат естественных геохимических процессов [3]. ПАУ найдены в литологическом комплексе и почвах на территории импактного кратера Сильян (Скандинавский щит в Центральной Швеции) в суммарных концентрациях 20–890 мкг/кг, на участке газопроявлений на глубинах 267–485 м в магматическом комплексе горных пород. Концентрации ПАУ в два раза выше на участке нефтепроявлений [8].

Битуминовые вещества, содержащие ПАУ, обнаружены во всех изученных пробах докембрийских осадочных и кристаллических пород Южно-Татарского свода, а содержание ПАУ в некоторых скважинах достигает высоких значений – 948 мкг на кг породы [11]. Что же касается сущности процессов, приводящих к образованию ПАУ, то они происходят в зоне высоких (порядка 1000 °С) и средних (около 400–500 °С) температур без участия биомассы либо при более низких температурах (100–150 °С) или ещё ниже с участием биомассы [3].

Изучением накопления ПАУ в уличной пыли занимаются исследователи по всему миру (Ирак, Китай, Корея, США, Германия, Россия [14; 15; 18; 20; 21–26]). Общие концентрации 16 ПАУ в пробах городской улич-

ной пыли на трёх участках землепользования (Ирак) составляли 555,9, 1388, 1221,8 мкг/кг для жилой, промышленной и коммерческой зон соответственно при среднем значении 1055 мкг/кг [18]. Концентрации ПАУ в городской приземной пыли в Южном Китае составляли 840–12300 мкг/кг при среднем значении 4800 мкг/кг [21], в Северном Китае – 696–7229 мкг/кг при среднем 2673±1313 мкг/кг [25]. В университетском городке центрального Китая средняя концентрация $\Sigma 16$ ПАУ составила 2060±1290 мкг/кг [26]. Уровни $\Sigma 16$ ПАУ в уличной пыли в районе Чанг-Жу-Тан (Китай) находились в диапазоне 3515–24488 мкг/кг при среднем значении 8760 мкг/кг [22]. На участках в г. Ульсан (Корея) общие концентрации ПАУ составляли 65–12000 мкг/кг [15]. Для проб двух крупных городов Флориды – Орlando и Тампа (США) – средние содержания $\Sigma 16$ ПАУ в почвах составили 3224 и 4562 мкг/кг соответственно [23]. В уличной пыли городского района Карадж (северный Иран) концентрации $\Sigma 16$ ПАУ составляли 16,2–1236,2 со средним значением 624 мкг/кг [14]. Результаты изучения ПАУ в уличной пыли в г. Тегеране (Иран) по сравнению в г. Тюбингеном (Германия) показывают, что концентрации ПАУ в 5–10 раз ниже в г. Тегеране (в среднем 500 мкг/кг), чем в г. Тюбингене (в среднем 5000 мкг/кг) [20]. Изучение содержания и состава ПАУ в твёрдой фракции снежного покрова проводилось на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, на севере Западной Сибири (суммарное содержание 10 трех- и шестиядерных ПАУ). Общее содержание ПАУ колеблется от самых низких 300 мкг/кг на острове Белый, увеличиваясь до ~ 5000 мкг/кг в районах новых месторождений газа и до высоких 15000 мкг/кг в городах [24].

Анализируя современные данные по содержанию ПАУ, можно сделать вывод о том, что концентрации ПАУ в образцах уличной пыли различаются по всему миру, что может быть связано с различиями в уровне движения и интенсивности человеческой деятельности, используемых технологиях, частоте уборки городских улиц и местных метеорологических условиях, таких как дожди, которые могут удалять загрязняющие вещества из уличной пыли. В связи с широким распространением ПАУ, высокой канцерогенной опасностью ряда ПАУ, а также вследствие токсического действия большинства из них необходимо получение надёжных данных о содержании ПАУ в депонирующих средах урбанизированных территорий.

Методология и методы исследования. Пробы пылевого материала отобраны в пределах городской черты г. Междуреченска согласно схеме пробоотбора (рис. 2) по равномерной площадной сети (масштаб: 1:25 000).

Всего отобрано 30 проб. Подробная эколого-геохимическая характеристика изученной территории, включая элементный состав проб, приведена в наших исследованиях [7], в которых подробно описана и методика пробоотбора, подготовки проб к анализу. ПАУ определялись не во всех пробах, а по разреженной сети, в 11 точках, перечисленных на рис. 3, 4, местоположение которых указано на рис. 2. Пробы были разделены на гранулометрические фракции методом просеивания с использованием стандартного набора сит для получения фракций 1000–100, 100–50, 50–20 мкм. Для выделения мелкодисперсной фракции 20–4,5 мкм выполнялось диспер-

гирование пробы с фракцией менее 20 мкм в дистиллированной воде с последующим фильтрованием полученного раствора с мелкой взвесью через мембранные фильтры с диаметром пор 4,5 мкм.

Анализ проводился методом хромато-масс спектрометрии в Западно-Сибирском испытательном центре (АО «ЗСИЦентр») г. Новокузнецка по методу ГОСТ Р ИСО 12884-2007¹, нашедшему широкое применение при определении приведённой группы соединений [12]. Использовался хромато-масс-спектрометр SCION SQ Select № GSQC1312F14 (свидетельство № НФ 50280-2020 до 7 июля 2022 г.). Известно, что определение ПАУ в сложных органических матрицах, таких как уличная пыль, может быть затруднено в связи с большим содержанием органических включений (например, нефтепродуктов). Данный метод позволяет избежать мешающего влияния нефтепродуктов.

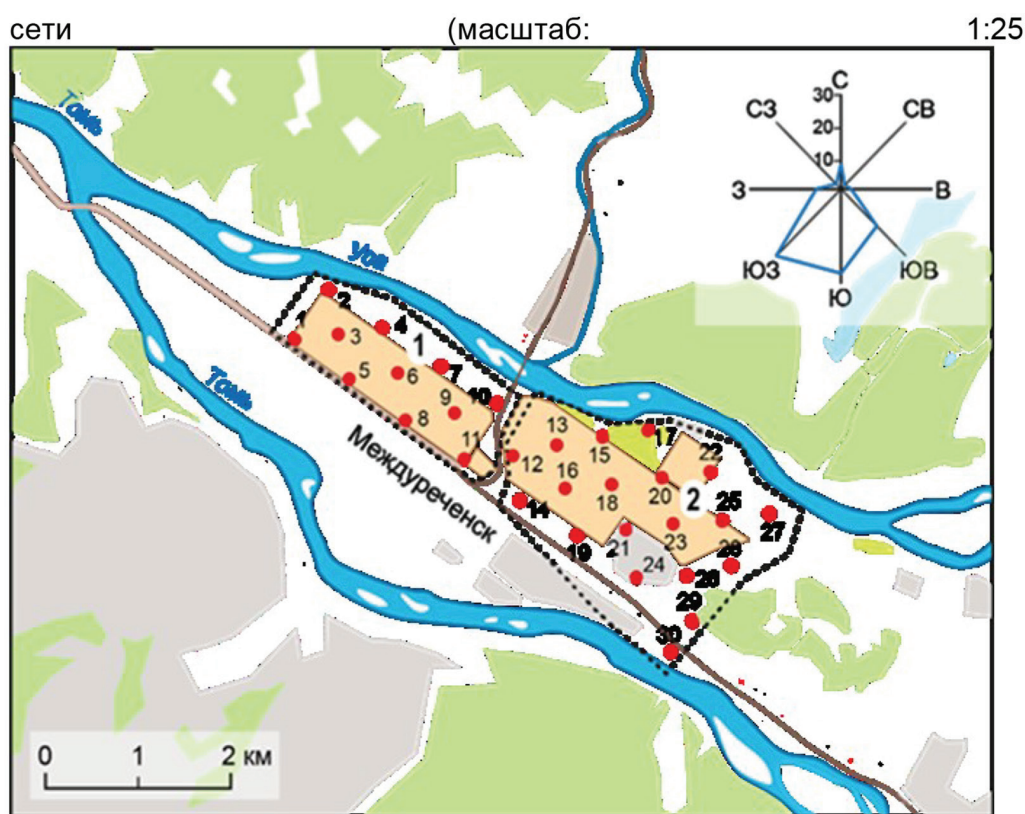


Рис. 2. Карта-схема отбора проб на территории г. Междуреченска / **Fig. 2.** Sampling map on the Mezhdurechensk territory

• sampling points; ●●●● boundaries of the studied territories

¹ ГОСТ Р ИСО 12884-2007. Национальный стандарт РФ. Воздух атмосферный. Определение общего содержания полициклических ароматических углеводородов, ИСО 6879:1995. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062122> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.

Результаты исследования. Результаты определения содержания ПАУ в 11 пробах уличной пыли приведены на рис. 3. В пробах определены содержания 14 полиароматических углеводородов, которые по уменьшению среднего содержания индивидуальных ПАУ, в мкг/кг, образуют следующий ряд: Бензо(а)пирен (519±112)>Бензо(к)флуорантен (296±1)>Фенантрен (278±48)>Флуорантен (232±37)>Нафталин(190±110)>Бензо(г,н,и)перилен(183±55)>Пирен(157±35)>Бенз(а)антрацен(138±22)>Хризен(101±0,02)>Аценафтен (31±7)>Антрацен(13±7)>Бензо(в)флуорантен (4±1) >Дибенз(а,н)антрацен (3±1)>Флуорен(3±1).

Среднее суммарное содержание полиароматических углеводородов ПАУ составило 2148±364 мкг/кг при максимальном значении 4011 мкг/кг и при минимальном 401 мкг/кг. При этом сумма тяжёлых ПАУ (1432±163 мкг/кг) в два раза превосходит сумму лёгких (716±202 мкг/кг), а доля бенз(а)пирена составляет 17,0–33,8 % что характерно для территорий, где происходит сжигание топлива. Тяжёлые ПАУ, включающие четыре и более бензольных кольца, как правило образуются там, где сжигается топливо, а лёгкие, содержащиеся в своей структуре не более трёх бензольных колец, могут присутствовать в исходном ископаемом сырье [1; 2]. Действительно, тяжёлые ПАУ более устойчивы при нагревании и в окислительных условиях, накапливаются в саже и органических коллоидах. В то же время низкомолекулярные ПАУ легко растворяются, разлагаются на свету, при нагревании и микроорганизмами.

Приведённые значения ниже средних значений по суммарному содержанию ПАУ в дорожной пыли территории Юго-Восточного административного округа г. Москвы (32 500 мкг/кг при диапазоне изменений 8 400–80 000 мкг/кг [5; 17]).

Техногенные источники ПАУ связываются с эмиссией ПАУ при сжигании угля, непосредственным присутствием ПАУ в углях, влиянием промышленных, энергетических, транспортных объектов. Эмиссия ПАУ в окружающую среду возможна на этапах добычи, складирования и транспортировки угля, в процессах высокотемпературной обработки угля. Известно, что ПАУ попадают в депонирующие среды в результате глобального переноса выбросов из антропогенных источников и природных поступлений в атмосферу [19].

Согласно некоторым исследователям [4], ПАУ фенантрен, бенз(а)антрацен, бенз(в)флуорантен, пирен, хризен содержатся в пробах угля Кузнецкого угольного бассейна разной степени

метаморфизма, причём максимальное суммарное содержание ПАУ для углей марок К, КС составляет 363–432 мкг/кг, что в 5,9–5,0 раза ниже содержаний ПАУ в изучаемых пылевых пробах, по нашим данным (2 148±364 мкг/кг). Бенз(а)пирен обнаружен в углях, по данным тех же авторов, в диапазоне 3,6–47,6 мкг/кг, а доля фенантрена в углях составляет 50 % от суммы всех ПАУ. Для сравнения: диапазон содержаний бенз(а)пирена в пыли составляет 68–1 355 мкг/кг при среднем значении 519±112 мкг/кг, а доля фенантрена в пыли – 12 % суммы ПАУ.

Для разных источников антропогенного загрязнения существуют свойственные им характерные соотношения индивидуальных полиаренов, по которым можно выявить их вклад в загрязнение [9; 10]. Индикаторные соотношения, рассчитанные по содержаниям ПАУ в уличной пыли г. Междуреченска, приведены в табл. 1.

Большинство рассчитанных индикаторных соотношений, кроме антрацен/антрацен+фенантрен, отражают пирогенное происхождение ПАУ (образование в процессах горения), обнаруженных в уличной пыли на данной территории, и сжигание угля как основной источник их поступления. Что же касается первого индикаторного соотношения, то, согласно некоторым исследователям [9; 10], пирогенный источник предполагается в случае соотношения больше 0,1. В целом, конечно, данный критерий не выполняется для доказательства пирогенного происхождения ПАУ, однако в трёх пробах действительно приведённое соотношение составляет более 0,1 (имеет значения 0,24, 0,26, 0,11) что соответствует выбранному критериальному признаку. Нельзя исключить влияние нефтепродуктов, выбросов ближайших промышленных предприятий, которые могут увеличивать содержание петрогенных соединений в остальных точках опробования.

Распределение индивидуальных ПАУ по фракциям показало, что 19,63 % ПАУ в среднем накапливается в крупной фракции размером 1 000–100 мкм, 43,5 % – во фракции размером 100–50 мкм, 37,22 % – во фракции размером 50–22 мкм (рис. 4, 5), что говорит о достаточно равномерном накоплении ПАУ в мелкой и средней фракции и об их преобладании по сравнению с крупной фракцией. В тех пробах, где масса гранулометрической фракции, выделенной на мембранных фильтрах (4,5–20 мкм), оказалась достаточной для определения в ней ПАУ, их доля составила порядка 1,47 % при таком же соотношении ПАУ в более крупнозернистых фракциях.

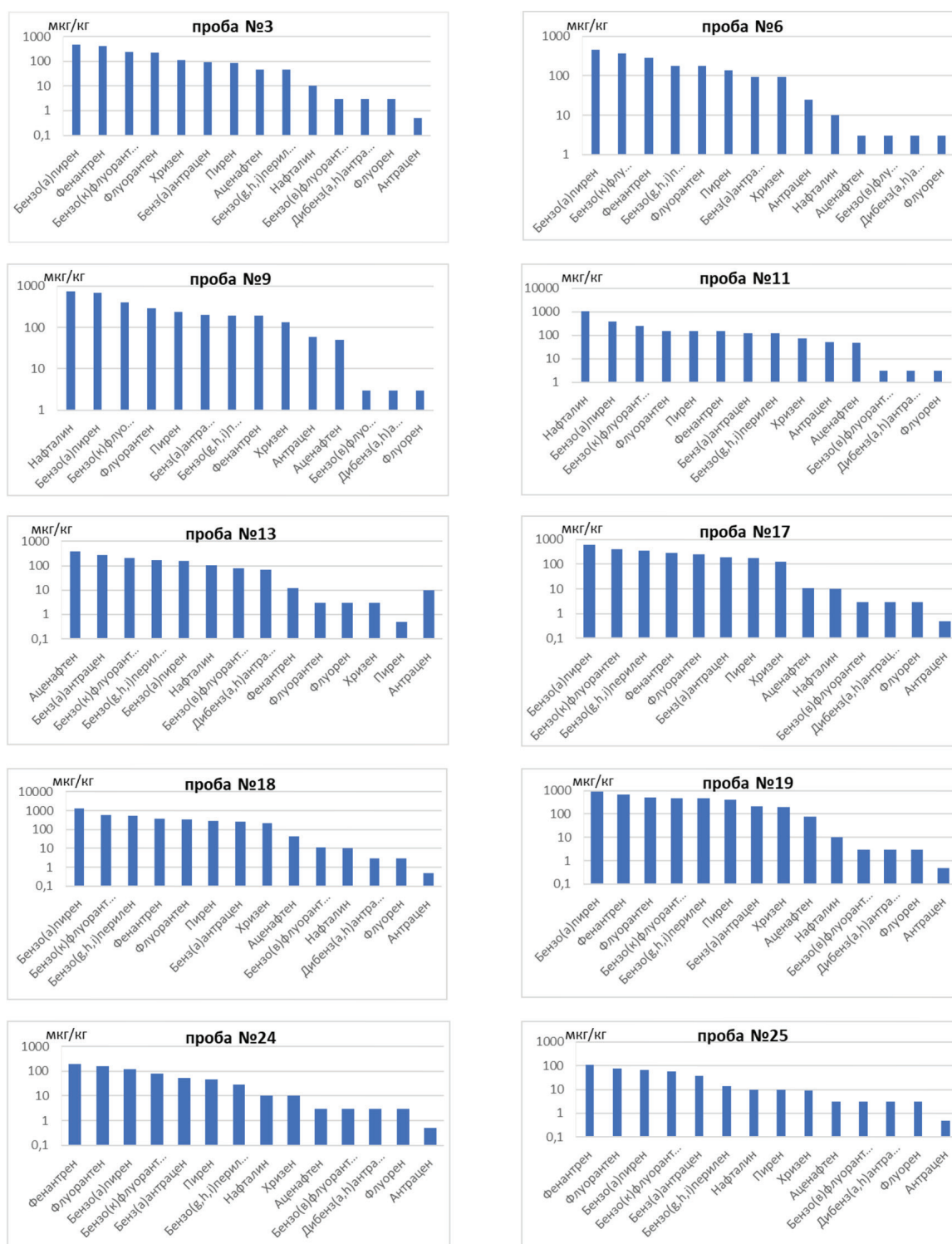


Рис. 3. Содержание ПАУ в пробах уличной пыли, мкг/кг / **Fig. 3.** PAH content in street dust samples, mkg/kg

Таблица 1 / Table 1

Индикаторные соотношения, рассчитанные по содержаниям ПАУ в уличной пыли г. Междуреченска и идентификация источников загрязнения на их основе /
Indicator ratios calculated by the PAH content in Mezhdurechensk street dust and identification of pollution sources based on them

Индикатор / indicator	Значение индикатора / value of the indicator	Предполагаемый источник ПАУ / Expected source of PAHs	Критерий, на основании которого делается соотношение [9; 10] / Criterion on the basis of which the correlation is made
Антрацен/антрацен+фенантрен anthracene/anthracene+phenanthrene	0,043 (<0,1)	петрогенный / petrogenic	<0,1 петрогенный / petrogenic / >0,1 пирогенный / pyrogenic
Флуорантен / флуорантен+пирен Fluoranthene / fluoranthene+perene	0,597 (>0,5)	сжигание древесины и угля / burning of wood and coal	<0,4 петрогенный / petrogenic 0,4–0,5 сжигание жидкого топлива / burning of liquid fuel >0,5 сжигание древесины и угля / burning of wood and coal
Флуорантен+пирен/ фенантрен+хризен fluoranthene+pyrene/phenanthrene+chrysene	1,03 (>0,5)	пирогенный / pyrogenic	<0,5 петрогенный / petrogenic >0,5 пирогенный pyrogenic
Бенз(а)антрацен/бенз(а)антрацен+хризен benz(a)anthracene/benz(a)anthracene+chrysene	0,58 (>0,35)	пирогенный / pyrogenic	<0,2 петрогенный / petrogenic >0,35 пирогенный pyrogenic
Бенз(а)пирен/бенз(а)пирен+хризен benz(a)pyrene/benz(a)pyrene+chrysene	0,84 (>0,35)	сжигание древесины и угля / burning of wood and coal	<0,2 петрогенный petrogenic 0,2–0,35 выбросы транспорта / transport emissions >0,35 сжигание древесины и угля / burning of wood and coal
Бензо(а)пирен /бензо(г,и,і)перилен benzo(a)pyrene/benzo(g,h,i)perylene	2,8 (0,9–6,6)	сжигание угля / burning of coal	0,3–0,8 выбросы транспорта / transport emissions 0,9–6,6 сжигание угля / burning of coal

Кратность превышения средних содержаний бен(а)пирена относительно гигиенических нормативов, принятых для почв¹ (СанПиН 1.2.3685-21), составила 26,0 при минимальном значении 3,4 и при максимальном 67,8. Для учёта экологической опасности других полиароматических углеводородов, ПДК для которых в РФ не установлены, использовались коэффициенты [5; 16], показывающие токсичность ПАУ по сравнению с бенз(а)пиреном. Экологическая опасность всех изученных полиаренов в городских почвах определялась

как приведённая токсичность, которая равна сумме содержаний ПАУ, умноженных на соответствующие коэффициенты, и последующего сравнения суммы с ПДК для бенз(а)пирена.

Расчет показал, что сумма ПАУ, выраженная через эквивалентное количество бенз(а)пирена, составила 570 ± 140 мкг/кг, что, следовательно, превысило ПДК для этого самого опасного канцерогена (20 мкг/кг) в среднем в 28,5 раза (табл. 2). При этом вклад бенз(а)пирена в суммарную токсичность составляет 91 %.

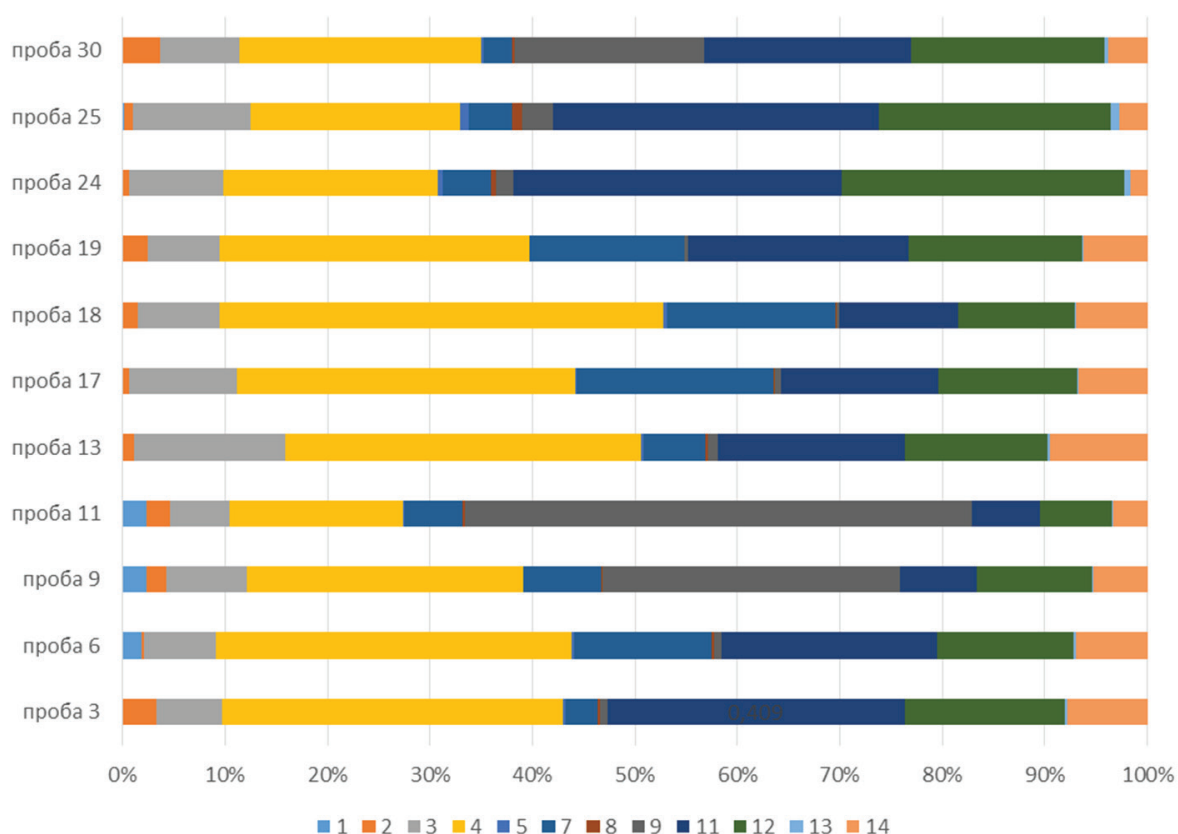


Рис. 4. Состав проб пыли по содержанию полиароматических углеводородов, %: 1 – антрацен; 2 – аценафтен; 3 – бенз(а)антрацен; 4 – бензо(а)пирен; 5 – бензо(в)флуорантен; 6 – бензо(к)флуорантен; 7 – бензо(г,и,п)перилен; 8 – дибенз(а,и)антрацен; 9 – нафталин; 10 – пирен; 11 – фенантрен; 12 – флуорантен; 13 – флуорен; 14 – хризен /

Fig. 4. Composition of dust samples according to the content of polycyclic aromatic hydrocarbons, %: 1 – anthracene; 2 – acenaphthene; 3 – benz(a)anthracene; 4 – benzo(a)pyrene; 5 – benzo(b)fluoranthene; 6 – benzo(k)fluoranthene; 7 – benzo(g,h,i)perylene; 8 – dibenz(a,h)anthracene; 9 – naphthalene; 10 – pyrene; 11 – phenanthrene; 12 – fluoranthene; 13 – fluorene; 14 – chrysene¹

¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 28 января 2021 г. № 2. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 16.12.2023). – Текст: электронный.

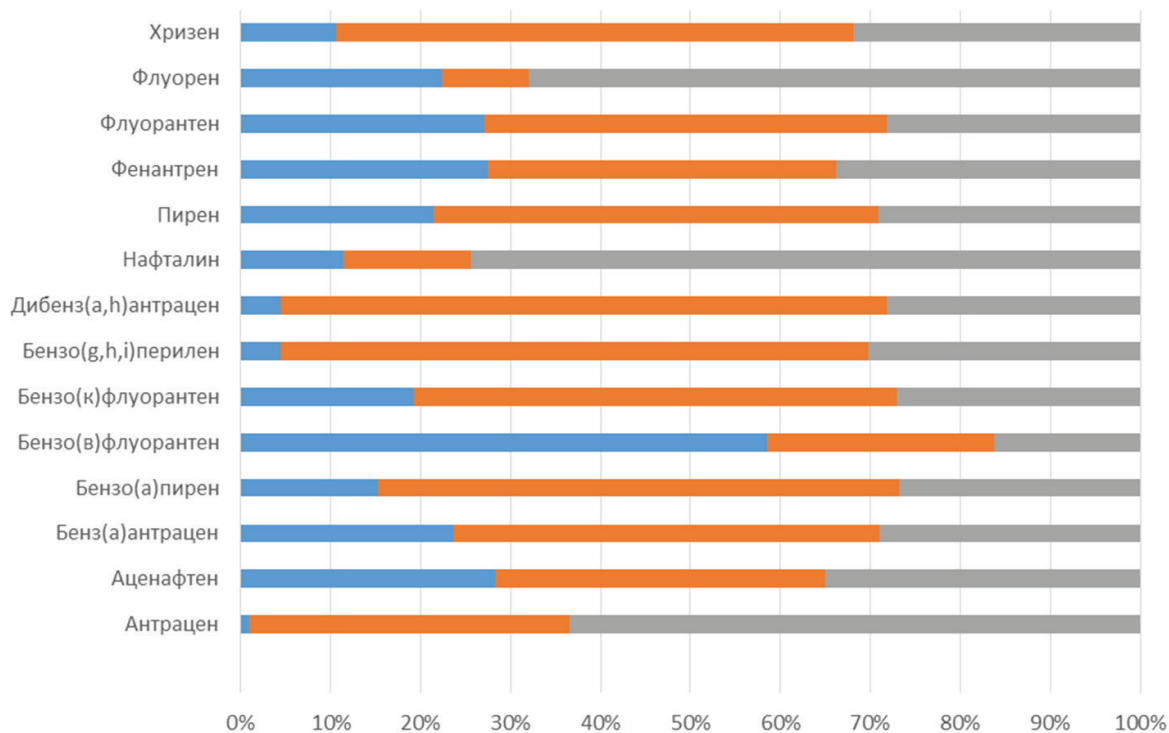


Рис. 5. Распределение ПАУ по фракциям уличной пыли территории г. Междуреченска, %: 1 – доля ПАУ во фракции 1000–100; 2 – доля ПАУ во фракции 100–50; 3 – доля ПАУ во фракции 50–20 / **Fig. 5.** Distribution of PAHs by fractions of street dust in the Mezhdurechensk territory, %: 1 – PAH proportion in fractions 1000–100; 2 – PAH proportion in fractions 100–50; 3 – PAH proportion in fractions 50–20

Таблица 2 / Table 2

Средние содержания полиароматических углеводородов в уличной пыли г. Междуреченска, выраженные в эквивалентах бенз(а)пирена / Average contents of polyaromatic hydrocarbons in Mezhdurechensk street dust, expressed in benz(a)pyrene equivalents

ПАУ / PAH	Антрацен / Anthracene	Аценафтен / Acenaphthene	Бенз(а)антрацен / Benz(a)anthracene	Бенз(а)пирен / бенз(а)пирен; дибенз(а)антрацен / Dibenzene(a)anthracene	Бензо(е)флуорантен / benzo(b)fluoranthene бензо(к)флуорантен / Benzo(k)fluoranthene	Бензо(g,h,i)перилен / Benzo(ghi)perylene
$C_{\text{ср.ПАУ}} \pm \text{ст. ошибка, мкг/кг} / C_{\text{PAH}} \pm \text{SD, mkg/kg}$	13±7	31±7	138±22	519±112; 3±0	4±1 296±50	183±55
Токсичность ПАУ относительно бенз(а)пирена / PAH toxicity relative to бенз(а)пирен	0,01	0,001	0,1	1	0,1	0,01
Приведённая токсичность, мкг/кг / Reduced toxicity, mkg/kg	0,126–±0,07	0,031±0,007	14±2	519±112; 3±0,0	0,4±0,1 29,6±5	1,83±0,55
ПАУ PAH	нафталин / aaphthalene	пирен / pyrene	фенантрен / phenanthrene	флуорантен / fluoranthene	флуорен / fluorene	хризен / chrysene
$C_{\text{ср.ПАУ}} \pm \text{ст. ошибка, мкг/кг} / C_{\text{PAH}} \pm \text{SD, mkg/kg}$	190±110	157±35	278±48	232±37	3±0	101±20

Окончание табл. 2 / End of the table 2

ПАУ / PAH	Антрацен / Anthracene	Аценафтен / Acenaphthene	Бенз(а)антрацен / Benz (a)anthracene	Бенз(а)пирен / benz (a)pyrene; дибенз(а)антрацен / Dibenzene(a)anthracene	Бензо(е)флуорантен / benzo (b)fluoranthene бензо(к)флуорантен / Benzo (k)fluoranthene	Бензо(г, h, i)перилен / Benzo(ghi)perylene
Токсичность ПАУ относительно бенз(а)пирена / PAH toxicity relative to бенз(а)пирен	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01
Приведённая токсичность, мкг/кг / Reduced toxicity, mkg/kg	0,19±0,11	0,157±0,035	0,278±0,048	0,232±0,037	0,003±0,0	1,01±0,22
Сумма ПАУ в эквивалентах бенз(а)пирена, мкг/кг / The amount of PAHs in benz(a)pyrene equivalents,						570±140

Выводы. Наряду с прочими экологическими проблемами, возникающими при сгорании угля, такими, например, как техногенные выбросы в атмосферу и твёрдые золошлаковые отходы [13], проблема эмиссии ПАУ остаётся в числе самых злободневных. Среди большого числа разнообразных источников ПАУ, упоминаемых в цитированных работах, для данной исследуемой территории наиболее вероятно поступление ПАУ в дорожную пыль с частицами самого угля при пылении и с продуктами сгорания. На это указывают доля фенантрена в уличной пыли – 12 %, более низкая в сравнении с его содержанием в ископаемых углях Кузнецкого бассейна – 50 %, более низкая доля ПАУ в углях, чем в пыли (в 5,9–5,0 раза), а также индикаторные соотношения, говорящие в пользу пирогенного происхождения ПАУ. В единичных пробах проявляется влияние петрогенных источников в виде выбросов нефтепродуктов и производственных процессов на промышленных объектах. ПАУ

достаточно равномерно накапливаются в мелкой (50–20 мкм) и средней (100–50 мкм) фракциях – 43,5 и 37,22 %, а их содержание преобладает по сравнению с крупной (1000–100 мкм) фракцией – 19,63 %. С точки зрения опасности ПАУ для здоровья важен факт незначительного количества ПАУ (1,47 %) в мелкозернистой фракции 4,5–20 мкм, которая более легко проникает в организм, но её удельный вес невелик по сравнению с другими фракциями. Токсичность дорожной пыли определяется прежде всего содержанием бенз(а)пирена, которое составляет 17,0–33,8 %, а его содержание в эквивалентных единицах, пересчитанное с учётом токсичности разных ПАУ в зависимости от их строения, имеет более высокие значения (83,6–93,4 %). Закономерно, что изучению экологических последствий от влияния ПАУ на урбанизированных территориях, в том числе с преобладанием угольной энергетики, уже уделяется и впредь будет уделяться самое пристальное внимание.

Список литературы

1. Абакумов Е. В., Лодыгин Е. Д., Габов Д. А., Крыленков В. А. Содержание полициклических ароматических углеводородов в почвах Антарктиды на примере Российских полярных станций // Гигиена и санитария. 2014. № 1. С. 31–36.
2. Габов Д. Н., Безносиков В. А., Кондратенко Б. М. Полициклические ароматические углеводороды в залежных и торфяно-подзолисто-глеевых почвах природных ландшафтов // Почвоведение. 2007. № 3. С. 282–291.
3. Дучко М. А., Гулая Е. В., Серебренникова О. В., Стрельникова Е. Б., Прейс Ю. И. Распределение n-алканов, стероидов и тритерпеноидов в торфе и растениях болота Тёмное // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323, № 1. С. 40–44.
4. Журавлева Н. В. Методы оценки влияния процессов добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды. Текст: электронный // Научно-технический журнал «Вестник». 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-vliyaniya-protseessov-dobychi-i-pererabotki-ugley-kuznetskogo-ugolnogo-basseyna-na-ekologicheskoe-sostoyanie-prirodnoy> (дата обращения: 13.01.2024).

5. Кошелева Н. Е., Власов Д. В., Шопина О. В. Определение уровней содержания и источников ПАУ в дорожной пыли Юго-Восточного административного округа Москвы // Сборник трудов конференции «Проблемы экоинформатики». М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020. С. 69–74.
6. Литвиненко И. В., Петрова В. И., Батова Г. И., Куршева А. В. Особенности распределения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в донных осадках моря Лаптевых и Восточно-Сибирского. URL: https://pureportal.spbu.ru/files/105209573/_042.pdf?ysclid=lwys6vucq79604067384 (дата обращения: 11.01.2024). Текст: электронный.
7. Осипова Н. А., Осипов К. Ю., Таловская А. В., Язиков Е. Г. Содержание токсичных элементов в уличной пыли и оценка риска для здоровья человека (Междуреченск, Южный Кузбасс) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг госресурсов. 2023. Т. 334, № 3. С. 229–244.
8. Пиковский Ю. И., Хлынина Н. И., Кучеров В. Г. Полициклические ароматические углеводороды в горных породах и почвах импактного кратера Сильян (Швеция) // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 3. С. 243–256. DOI: 10.31857/S0024497X2103006X.
9. Халиков И. С. Идентификация источников загрязнения объектов природной среды полициклическими ароматическими углеводородами с использованием молекулярных соотношений // Экологическая химия. 2018. Т. 27, № 2. С. 76–85.
10. Хаустов А. П., Редина М. М. Полициклические ароматические углеводороды как геохимические маркеры нефтяного загрязнения окружающей среды. Текст: электронный // Экспозиция. Нефть. Газ. 2014. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/politsiklicheskie-aromaticheskie-uglevodorody-kak-geohimicheskie-markery-neftyanogo-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy> (дата обращения: 13.01.2024).
11. Хисамов Р. С., Гатиятуллин Н. С., Баранов В. В. Полициклические ароматические углеводороды в битуминозном веществе докембрия. Текст: электронный // Недра. 2011. № 2. С. 40–45. URL: <https://nedra21.ru/archive/140/2387/?ysclid=lwytb3ajea380431700> (дата обращения: 11.01.2024).
12. Цымбалюк К. К., Деньга Ю. М., Антонович В. П. Методы и объекты химического анализа. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Моса_2013_8_2_3 (дата обращения: 11.01.2024). Текст: электронный.
13. Шумилова Л. В., Хатькова А. Н., Размахнин К. К., Номоконова Т. Г. Применение наилучших доступных технологий для повышения экологической безопасности при утилизации золошлаковых отходов // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 8. С. 23–34. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-8-23-34.
14. Afshin Qishlaqi, Fahimeh Beiramali. Potential sources and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dusts of Karaj urban area, northern Iran. Текст: электронный // Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2019. Vol. 17. DOI: 10.1007/s40201-019-00417-3.
15. Hye-OkKwon, Sung-DeukChoi. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils from a multi-industrial city, South Korea. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.031> (дата обращения: 10.09.2023). Текст: электронный
16. Ian C. T. Nisbet, Peter K. Lagoy. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). URL: [https://doi.org/10.1016/0273-2300\(92\)90009-x](https://doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-x) (дата обращения: 13.01.2024). Текст: электронный.
17. Nikiforova E., Kosheleva N., Kasimov N. Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sealed Soils and Their Environmental Hazard for Eastern Moscow. URL: <https://doi.org/10.1080/10406638.2019.1696380> (дата обращения: 16.01.2024). Текст: электронный.
18. Ruqayah Ali Grmasha, Osamah J. Al-sareji, Jasim M. Salman, Khalid S. Hashimcd. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban street dust within three land-uses of Babylon governorate, Iraq: Distribution, sources, and health risk assessment. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.11.002> (дата обращения: 10.09.2023). Текст: электронный.
19. Shabbaj I. I., Alghamdi M. A., Khoder M. I. Street Dust – Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Saudi Coastal City: Status, Profile, Sources, and Human Health Risk Assessment. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph15112397> (дата обращения: 16.01.2024). Текст: электронный.
20. Touraj Nasrabadi, Hermann Ruegner, Marc Schwientek, Ali Ghadiri, Seyed Hossein, Hashemi, Peter Grathwohl Dilution of PAHs loadings of particulate matter in air, dust and rivers in urban areas: A comparative study (Tehran megacity, Iran and Tübingen, SW-Germany). URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151268> (дата обращения: 21.10.2023). Текст: электронный.
21. Wei Wang, Min-juan Huang, Yuan Kang, Hong-sheng Wang, Anna O. W. Leung, Kwai Chung Cheung, Ming HungWonga. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban surface dust of Guangzhou. China: Status, sources and human health risk assessment. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.030> (дата обращения: 10.09.2023). Текст: электронный.
22. Yongzhen Long, Tagen Dai, Qianhong Wu. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust from the Chang-Zhu-Tan Region, Hunan, China. URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2639-4> (дата обращения: 21.10.2023). Текст: электронный.
23. Yungen Liu, Peng Gao, Jing Suc, Evandro B. da Silva, Letúzia M. de Oliveira, Timothy Townsend, Ping Xiang, Lena Q. Ma. PAHs in urban soils of two Florida cities: Background concentrations, distribution,

and sources. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.119> (дата обращения: 21.10.2023). Текст: электронный.

24. Zavgorodnyaya Y. A., Chikidova A. L., Biryukov M. V., Demin V. V. Polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate depositions and urban soils of Moscow, Russia. URL: <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-261-279> (дата обращения: 21.10.2023). Текст: электронный.

25. Zhineng Wu, Chang He, Honghong Lyu, Xiaodong Ma, Xinyu Dou, Quanli Man, Gengbo Ren, Yuanyuan Liu, YadiZhang. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polybrominated diphenyl ethers in urban road dust from Tianjin, China: pollution characteristics, sources and health risk assessment. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103847> (дата обращения: 10.09.2023). Текст: электронный.

26. Zhineng Wu, Honghong Lyu, Ying Guo, Quanli Man, Hanyu Niu, Junyi Li, Xiaohua Jing, Gengbo Ren, Xiaodong Ma. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polybrominated diphenyl ethers inside university campus: Indoor dust-bound pollution characteristics and health risks to university student. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109312> (дата обращения: 10.09.2023). Текст: электронный.

References

1. Abakumov E. V., Lodygin E. D., Gabov D. N., Krylenkov V. A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Antarctic soils on example of Russian polar stations. *Gigiena i sanitariya*, no. 93, pp. 31–36, 2014. (in Rus.)

2. Gabov D. N., Beznosikov V. A., Kondratenok B. M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in podzol and peat-podzol-gley soils of natural landscapes. *Pochvovedenie*, no 3, pp. 282–291, 2007. (in Rus.)

3. Luchko M. A., Gulaya E. V., Serebrennikova O. V., Strelnikova E. B., Preis Yu. I. Distribution of n-alkanes, steroids and triterpenoids in peat and plants of the Dark swamp. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, vol. 323, no. 1, pp. 40–44, 2013. (in Rus.)

4. Zhuravleva N. V. Methods for assessing the impact of coal mining and processing processes in the Kuznetsk coal basin on the ecological state of the natural environment. *Scientific and technical journal "Vestnik"*, no. 4, 2016. Web. 13.01.2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-vliyaniya-protssessov-dobychi-i-pererabotki-uglev-kuznetskogo-ugolnogo-basseyna-na-ekologicheskoe-sostoyanie-prirodnoy>. (In Rus.)

5. Kosheleva N. E., Vlasov D. V., Shopina O. V. Determination of levels of PAH content and sources in road dust of the Southeastern Administrative District of Moscow. *Proceedings of the conference "Problems of ecoinformatics"*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2020. Pp. 69–74. (In Rus.)

6. Litvinenko I. V., Petrova V. I., Batova G. I., Kursheva A. V. Features of the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Laptev and East Siberian seas. Web. 11.01.2024. https://pureportal.spbu.ru/files/105209573/_042.pdf?ysclid=lwys6vuq79604067384. (In Rus.)

7. Osipova N. A., Osipov K. Yu., Talovskaya A. V., Yazikov E. G. Content of toxic elements in street dust and risk assessment for human health (Mezhdurechensk, Southern Kuzbass). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, vol. 334, no. 3, pp. 229–244, 2023. (In Rus.)

8. Pikovsky Yu. I., Khlynina N. I., Kucherov V. G. Polycyclic aromatic hydrocarbons in rocks and soils of the Silyan impact crater (Sweden). *Lithology and minerals*, no. 3, pp. 243–256, 2021. DOI: 10.31857/S0024497X2103006X. (In Rus.)

9. Khalikov I. S. Identification of sources of pollution of environmental objects with polycyclic aromatic hydrocarbons using molecular ratios. *Environmental chemistry*, vol. 27, no. 2, pp. 76–85, 2018. (In Rus.)

10. Khaustov A. P., Redina M. M. Polycyclic aromatic hydrocarbons as geochemical markers of oil pollution of the environment. *Exhibition Oil and Gas*, no. 4, 2014. Web. 13.01.2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/politsiklicheskie-aromaticheskie-uglevodorody-kak-geohimicheskie-markery-neftyanogo-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy>. (In Rus.)

11. Khisamov R. S., Gatiyatullin N. S., Baranov V. V. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Precambrian bituminous matter. *NEDRA*, no. 2, pp. 40–45, 2011. Web. 11.01.2024. <https://nedra21.ru/archive/140/2387/?ysclid=lwytb3ajea380431700>. (In Rus.)

12. Tsybalyuk K. K., Denga Yu. M., Antonovich V. P. Methods and objects of chemical analysis. Web. 16.01.2024. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Moca_2013_8_2_3. (In Rus.)

13. Shumilova L., Khatkova A., Razmakhnin K., Nomokonova T. Application of the best available technologies to improve environmental safety in the disposal of ash and slag waste. *Transbaikal State University Journal*, vol. 28, no. 8, pp. 23–34, 2021. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-8-23-34. (In Rus.)

14. Afshin Qishlaqi, Fahimeh Beiramali. Potential sources and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dusts of Karaj urban area, northern Iran. Web. 21.10.2023. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00417-3>. (In Eng.)

15. Hye-Ok Kwon, Sung-Deuk Choi. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils from a multi-industrial city, South Korea. Web. 10.09.2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.031>. (In Eng.)

16. Ian C. T. Nisbet, Peter K. Lagoy. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Web. 13.01.2024. [https://doi.org/10.1016/0273-2300\(92\)90009-x](https://doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-x). (In Eng.)

17. Nikiforova E., Kosheleva N., Kasimov N. Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sealed Soils and Their Environmental Hazard for Eastern Moscow. Web. 16.01.2024. <https://doi.org/10.1080/10406638.2019.1696380>. (In Eng.)

18. Ruqayah Ali Grmasha, Osamah J. Al-sareji, Jasim M. Salman, Khalid S. Hashimcd. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban street dust within three land-uses of Babylon governorate, Iraq: Distribution, sources, and health risk assessment. Web. 10.09.2023. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.11.002>. (In Eng.)
19. Shabbaj I. I., Alghamdi M. A., Khoder M. I. Street Dust - Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Saudi Coastal City: Status, Profile, Sources, and Human Health Risk Assessment. Web. 11.01.2024. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112397>. (In Eng.)
20. Touraj Nasrabadi, Hermann Ruegner, Marc Schwientek, Ali Ghadiri, Seyed Hossein, Hashemi, Peter Grathwohl Dilution of PAHs loadings of particulate matter in air, dust and rivers in urban areas: A comparative study (Tehran megacity, Iran and Tübingen, SW-Germany). Web. 21.10.2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151268>. (In Eng.)
21. Wei Wang, Min-juan Huang, Yuan Kang, Hong-sheng Wang, Anna O. W. Leung, Kwai Chung Cheung, Ming Hung Wonga. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban surface dust of Guangzhou, China: Status, sources and human health risk assessment. Web. 10.09.2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.030>. (In Eng.)
22. Yongzhen Long, Tagen Dai, Qianhong Wu. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust from the Chang-Zhu-Tan Region, Hunan, China. Web. 21.10.2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2639-4>. (In Eng.)
23. Yungen Liu, Peng Gao, Jing Suc, Evandro B. da Silva, Letúzia M. de Oliveira, Timothy Townsend, Ping Xiang, Lena Q. Ma. PAHs in urban soils of two Florida cities: Background concentrations, distribution, and sources. Web. 21.10.2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.119>. (In Eng.)
24. Zavgorodnyaya Y. A., Chikidova A. L., Biryukov M. V., Demin V. V. Polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate depositions and urban soils of Moscow, Russia. Web. 21.10.2023. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-261-279>. (In Eng.)
25. Zhineng Wu, Chang He, HonghongLyu, Xiaodong Ma, Xinyu Dou, Quanli Man, Gengbo Ren, Yuanyuan Liu, Yadi Zhang. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polybrominated diphenyl ethers in urban road dust from Tianjin, China: pollution characteristics, sources and health risk assessment. Web. 10.09.2023. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103847>. (In Eng.)
26. Zhineng Wu, HonghongLyu, Ying Guo, Quanli Man, HanyuNiu, Junyi Li, Xiaohua Jing, Gengbo Ren, Xiaodong Ma. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polybrominated diphenyl ethers inside university campus: Indoor dust-bound pollution characteristics and health risks to university student. Web. 10.09.2023. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109312>. (In Eng.)

Информация об авторах

Осипова Нина Александровна, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, доцент Инженерной школы природных ресурсов, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; osipova@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2340-8167>. Область научных интересов: химия окружающей среды, оценка экологических рисков.

Таловская Анна Валерьевна, д-р геол.-минерал. наук, доцент, профессор Инженерной школы природных ресурсов, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; talovskaj@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2227-2221>. Область научных интересов: геоэкология, геохимия аэрозолей снегового покрова, экогеохимия.

Язиков Егор Григорьевич, д-р геол.-минерал. наук, профессор, профессор Инженерной школы природных ресурсов, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; yazikoveg@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7925-6249>. Область научных интересов: геология, эколого-геохимическая оценка урбанизированных территорий.

Азарова Светлана Валерьевна, канд. геол.-минерал. наук, доцент Инженерной школы природных ресурсов, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; svetazara@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2092-6479>. Область научных интересов: геоэкология, оценка экологической опасности отходов методами биотестирования.

Кутищев Алексей Сергеевич, аспирант, Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Россия; 252aleksei@mail.ru. Область научных интересов: физико-химические методы анализа объектов окружающей среды.

Новиков Сергей Автономович, д-р физ.-мат. наук, профессор отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы электроэнергетики, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; nsa@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8180-2053>. Область научных интересов: моделирование распространения электромагнитных волн и случайных процессов, статистические методы обработки данных.

Information about the authors

Osipova Nina A., Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor, School of Earth Sciences and Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; osipova@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2340-8167>. Research interests: environmental chemistry, ecological risk assessment.

Talovskaya Anna V., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Professor, School of Earth Sciences and Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; talovskaj@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-2227-2221>. Research interests: geoecology, geochemistry of aerosols, snow cover, ecogeochemistry.

Yazikov Egor G., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of the School of Earth Sciences and Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; yazikoveg@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7925-6249>. Research interests: geology, ecological and geochemical assessment of urban areas.

Azarova Svetlana V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, School of Earth Sciences and Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; svetazara@tpu.ru. Research interests: geoecology, assessment of the environmental hazard of waste using biotesting methods.

Kutishchev Alexey S., Postgraduate, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia; 252aleksei@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-4668-5824>. Research interests: physical and chemical methods of analysis of environmental objects.

Novikov Sergey A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Electrical Power and Electrical Engineering Department, School of Electrical Power Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; nsa@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8180-2053>. Research interests: modeling the propagation of electromagnetic waves and random processes, statistical methods of data processing.

Вклад авторов в статью

Осипова Н. А. – разработка концепции статьи, разработка методологии исследования, написание текста.

Таловская А. В. – составление схемы отбора проб, анализ результатов исследования, сбор материалов.

Язиков Е. Г. – разработка концепции статьи, методологии исследования, анализ результатов исследования.

Азарова С. В. – обзор отечественной и иностранной литературы, оформление рисунков и текста статьи.

Кутищев А. В. – анализ проб на лабораторном оборудовании.

Новиков С. А. – расчёты показателей, статистическая обработка результатов.

Authors' contribution to the article

Osipova N. A. – conceptualization of the article, development of the research methodology, writing the text.

Talovskaya A. V. – elaboration of the sampling scheme, analysis of the research results, collection of materials.

Yazikov E. G. – development of the article concept, research methodology, analysis of the results.

Azarova S. V. – review of domestic and foreign literature, design of the figures and the text.

Kutischev A. V. – sample analysis on laboratory equipment.

Novikov S. A. – calculations of indicators, statistical processing of the results.

Для цитирования

Осипова Н. А., Таловская А. В., Язиков Е. Г., Азарова С. В., Кутищев А. С., Новиков С. А. Содержание полициклических ароматических углеводородов в уличной пыли угледобывающего региона Южного Кузбасса // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 2. С. 21–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-2-21-35.

For citation

Osipova N. A., Talovskaya A. V., Yazikov E. G., Azarova S. V., Kutischev A. S., Novikov S. A. The Content of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Street Dust of the Coal Mining Region of Southern Kuzbass // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 2. P. 21–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-2-21-35.