

Гигиена окружающей среды и населённых мест

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ И НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск

Введение. Снеговой покров можно считать надёжным индикатором загрязнения атмосферы, он даёт информацию о пространственном распределении химических соединений и интенсивности воздействия источников выбросов за определённый период. Необходимость проведения исследований снегового покрова связана с тем, что атмосферные осадки не только отражают состояние атмосферного воздуха, но и являются составляющей баланса поверхностных вод, оказывают влияние на состояние почв, растительности, грунтовых вод. К приоритетным загрязнителям, накапливающимся в снеговом покрове, относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и нефтяные углеводороды (НУ), представляющие опасность для здоровья населения на урбанизированной территории.

Материал и методы. Для оценки уровня загрязнённости различных участков снегового покрова в зонах выбраны 9 площадок на разном расстоянии от стационарных источников. Отбор проб проводился в период максимального снегонакопления в виде кернов по всей глубине залегания. Применяли методы газовой хромато-масс-спектрометрии, флуориметрии.

Результаты. Представлены данные о содержании ПАУ и НУ в снеговом покрове г. Шелехов Иркутской области. Установлено, что темпы атмосферных выпадений ПАУ, определённые по их концентрациям в снеговом покрове, на данной территории высоки.

Максимальные содержания суммы ПАУ – 134,7 и 78 мкг/л, нефтяных углеводородов 0,98 и 0,32 мкг/л обнаружены в отметках, наиболее приближённых к стационарным источникам. Суммарное содержание бенз(а)пирена во всех точках превышает фоновое значение в среднем 10,6–29,4 раза.

Заключение. Качественный и количественный состав 13 ПАУ на 52–67% по массе приходится на 3–4-ядерные соединения (пирен, фенантрен, флуорантен, антрацен, бенз(а)антрацен; хризен). Однако по канцерогенной активности наибольший вклад (98%) вносят 5–6-ядерные ПАУ (бенз(а)пирен, дибенз(а_h)антрацен, бенз(г, h, i)перилен, индено(123-сд)пирен), которые в наибольших количествах содержатся в пробах твёрдой фазы. Максимальные концентрации ПАУ и НУ выявлены в точках, наиболее приближённых к промышленной зоне.

Ключевые слова: снеговой покров; полициклические ароматические углеводороды; нефтяные углеводороды; поступление; загрязнение; канцерогенная активность.

Для цитирования: Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В. Исследование полициклических ароматических и нефтяных углеводородов в снеговом покрове на урбанизированной территории. *Гигиена и санитария*. 2019; 98 (10): 1037-1042. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1037-1042>

Для корреспонденции: Журба Ольга Михайловна, кандидат биол. наук, зав. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: zhurba99@gmail.com

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Журба О.М.; сбор, анализ и обработка материала – Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В.; статистическая обработка – Журба О.М., Меринов А.В.; написание текста – Журба О.М.; редактирование – Шаяхметов С.Ф.

Поступила 15.07.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: октябрь 2019

Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V.

STUDY OF POLYCYCLIC AROMATIC AND PETROLEUM HYDROCARBONS IN A SNOW COVER IN A URBANIZED TERRITORY

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

Introduction. Snow cover can be considered a reliable index of air pollution, it provides information on the spatial distribution of chemical compounds and the intensity of exposure to emission sources over a certain period. The need for snow cover studies is connected with the fact that precipitation not only reflects the state of atmospheric air, but also is a component of the balance of surface waters, and affects the state of soils, vegetation, and groundwater. Priority pollutants accumulated in the snow cover include polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and petroleum hydrocarbons (PHs), posing a public health hazard in urban areas.

Materials and methods. To assess the level of contamination of different areas of snow cover in the zones, 9 sites were selected at different distances from stationary sources. Sampling was carried out in the period of maximum snow accumulation in the form of cores over the entire depth. There were used methods of gas chromatography-mass spectrometry, fluorimetry.

Results. The data on the content of PAH and PHs in the snow cover of the city of Shelekhov of the Irkutsk region are presented. The rates of atmospheric deposition of PAHs, determined by their concentrations in the snow cover, were

established to be high in this area. The maximum content of the amount of PAH – 134.7 µg/l and 78.0 µg/l, petroleum hydrocarbons 0.98 µg/l and 0.32 µg/l was found in the levels closest to stationary sources. The total content of benzo(a)pyrene at all points exceeds the background value on average 10.6–29.4 times.

Conclusion. The data on the content of PAH and PH in the snow cover of the town of Shelekhov of the Irkutsk region are presented. Rates of atmospheric deposition of PAHs, determined by their concentrations in the snow cover, were established to be high in this area. The maximum content of the amount of PAH – 134.7 µg/l and 78.0 µg/l, petroleum hydrocarbons 0.98 µg/l and 0.32 µg/l was found in the levels closest to stationary sources. The total content of benzo(a)pyrene at all points exceeds the background value on average by 10.6–29.4 times.

Key words: snow cover; polycyclic aromatic hydrocarbons; petroleum hydrocarbons; intake; pollution; carcinogenic activity.

For citation: Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V. Study of polycyclic aromatic and petroleum hydrocarbons in a snow cover in an urbanized territory. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98 (10): 1037-1042. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1037-1042>

For correspondence: Olga M. Zhurba, MD, Ph.D., head of the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring of the East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: zhurba99@gmail.com

Information about authors:

Zhurba O.M., <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408>; Alekseyenko A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304>; Shayakhmetov S.F., <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>; Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>;

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. Financing of the work was carried out at the expense of funds allocated for the state assignment of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Contribution: The concept and design of the research – Zhurba O.M.; Collection, analysis, and processing of material – Zhurba O.M., Alekseyenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V.; Statistical processing – Zhurba O.M., Merinov A.V.; Writing the text – Zhurba O.M.; Editing – Shayakhmetov S.F.

Received: July 15, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: October 2019

Введение

На сегодняшний день одним из важнейших эколого-гигиенических вопросов оценки риска здоровью населения является выяснение количественно-качественного состава атмосферных выпадений промышленных городов [1, 2]. Исследование снежного покрова – удобный способ получения экспериментальной информации о поступлении загрязняющих веществ из атмосферы и представляет собой один из наиболее удобных объектов исследования. Оценка загрязнения атмосферного воздуха значительных территорий по составу его снежного покрова является одной из самых удобных и достоверных методик, позволяющих анализировать как твёрдую, так и жидкую фазу [3]. Снеговой покров является депонирующим транзитным компонентом окружающей среды и используется как интегральный показатель загрязнённости атмосферы на территориях, характеризующихся наличием устойчивого снежного покрова в течение длительного времени. В отличие от атмосферного воздуха снеговой покров является более объективным предметом анализа, поскольку до весеннего снеготаяния загрязняющие вещества оказываются законсервированными в нём и накапливаются с последующим снегопадом [4, 5]. Изучение химических характеристик снежного покрова даёт важную информацию об интенсивности воздействия, дальности распространения, длительности загрязнения [6–10].

Основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха и снежного покрова вносят антропогенные источники – промышленные предприятия и автотранспорт [10, 11]. В приоритетные загрязнители г. Шелехов входят: азота диоксид, азота оксид, углерод (сажа), метан, серы диоксид, углерода оксид, бенз(а)-пирен, формальдегид, керосин, бензин нефтяной малосернистый [12].

Экологическая обстановка, создаваемая выбросами предприятий, усугубляется неблагоприятными климатическими условиями. Исследуемая территория расположена на юге Иркутской области, в долине рек Иркут и Олха, в 18 км от областного центра и 75 км от озера Байкал. Климат резко континентальный с очень холодной зимой и умеренно влажным летом. Устойчивый снеговой покров сохраняется с ноября по март.

Ведущим источником загрязнения объектов среды обитания г. Шелехов является филиал ПАО «Русал Братск в г. Шелехов», который находится в черте города всего в 1,3 км от основной жилой застройки. Вклад его валовых выбросов в общее количество валовых выбросов в атмосферу от стационарных источников выбросов в атмосферу города стабильно за последние 5 лет составляет 68–69%.

В настоящее время на алюминиевом заводе главное внимание уделяется реконструкции и техническому совершенствованию предприятия на основе внедрения новой техники и технологии, внедряются новые электролизные ванны (300 кА и более) с технологией предварительно обожжённых анодов, автоматизация и механизация технологических процессов, современные системы общеобменной и локальной вентиляции. Для крупного предприятия эти задачи имеют особую актуальность, важнейшее значение среди которых придаётся улучшению условий труда и охране здоровья работающих и населения [13, 14].

Атмосферное загрязнение населённых пунктов – важная государственная проблема, и именно поэтому целью данной работы стала оценка качественного состава снеговых осадков и количественного содержания полиаренов, нефтяных углеводородов вблизи крупных стационарных источников и в черте промышленного города.

Материал и методы

Для оценки уровня загрязнённости различных участков снежного покрова в зонах г. Шелехов были выбраны 9 площадок на разном расстоянии от стационарных источников. Территория исследования относится к равнинной территории. Отбор проб проводился в период максимального снегонакопления по специальному маршруту в начале марта 2018 г. в виде кернов по всей глубине залегания по рекомендациям¹. В качестве фоновой выбрана 9-я отметка – посёлок в лесной зоне Шелеховского района, не подвергающийся техногенному воздействию или испытывающий его в минимальной степени и расположенный за городской чертой с наветренной стороны относительно города.

Талую снеговую воду анализировали как осадок и фильтрат. При определении ПАУ отфильтрованную воду (200 мл) пропустили через картридж ТФЭ Bond Elute C18 (300 мг 3 мл), затем адсорбированные ПАУ с C18 элюировали дихлорметаном, который высушивали над Na₂SO₄, затем упаривали в токе азота до сухого остатка, сухой остаток растворяли в гексане (1 мл). ПАУ в высушенном осадке дважды экстрагировали ацетоном (50 мл) в ультразвуке, экстракты объединяли, ацетон отгоняли на водяной бане при 80 °С до 2–5 мл, затем упаривали в токе азота до сухого остатка, который растворяли в 1 мл гексана. Гексановые экстракты анализировали методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием на базе Agilent

¹ РД 52.04.186–89. Руководство по контролю атмосферы. М.: Госгидромет, МЗ СССР, 1991.

Содержание ПАУ и нефтяных углеводов в снеговом покрове

| Компонент | Относительный коэффициент токсичности, K_{TPAU_i} [15, 16] | Площадка отбора проб | | | | | | | | |
|---|--|----------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|--------------|--------------------|
| | | г. Шелехов | | | | | | | 8 р. Олга | 9 пос. Пионерск |
| | | 1 Привокзальный | 2 микрорайон № 1 за супермаркетом | 3 квартал № 1 | 4 квартал № 3 | 5 квартал № 6 | 6 проспект Металлургов | 7 за заводом «Ирказ» | | |
| Доля индивидуальных полиаренов от Σ ПАУ, % | | | | | | | | | | |
| Флуорен | 0,001 | 1,05 | 0,70 | 0,81 | 0,86 | 0,59 | 1,45 | 0,72 | 0,88 | 1,41 |
| Фенантрен | 0,001 | 10,53 | 11,57 | 12,09 | 8,31 | 6,12 | 14,84 | 13,97 | 16,58 | 9,42 |
| Антрацен | 0,01 | 1,36 | 1,15 | 1,13 | 1,32 | 0,73 | 2,93 | 1,79 | 1,47 | 0,71 |
| Флуорантен | 0,001 | 15,44 | 17,75 | 16,88 | 16,30 | 17,48 | 13,21 | 15,43 | 19,05 | 25,89 |
| Пирен | 0,001 | 10,30 | 9,92 | 10,33 | 9,80 | 10,14 | 8,76 | 10,37 | 11,43 | 14,60 |
| Бенз(а)антрацен* | - | 6,66 | 6,31 | 5,67 | 6,73 | 6,43 | 6,77 | 6,95 | 5,49 | 4,24 |
| Хризен* | 0,01 | 11,30 | 10,34 | 9,77 | 11,02 | 11,39 | 8,81 | 11,75 | 10,25 | 12,24 |
| Бенз(б)флуорантен* | 0,1 | 14,58 | 12,85 | 11,56 | 14,15 | 14,22 | 10,09 | 14,06 | 12,27 | 3,30 |
| Бенз(к)флуорантен* | 0,1 | 8,80 | 7,89 | 10,07 | 7,92 | 8,74 | 13,66 | 5,00 | 4,00 | 7,06 |
| Бенз(а)пирен* | 1 | 4,66 | 5,41 | 7,13 | 5,67 | 6,01 | 3,46 | 4,27 | 4,48 | 7,53 |
| Индено(1,2,3-сd)пирен* | 0,1 | 6,96 | 7,92 | 7,10 | 8,61 | 8,77 | 6,34 | 7,07 | 6,35 | 6,78 |
| Дибенз(а, h)антрацен* | 0,01 | 1,38 | 1,41 | 1,37 | 1,66 | 1,65 | 3,12 | 1,93 | 1,58 | 0,94 |
| Бенз(g, h, i)перилен | - | 6,98 | 6,79 | 6,09 | 7,65 | 7,72 | 6,56 | 6,69 | 6,17 | 5,89 |
| Σ ПАУ, мкг/мл | | 56,0 | 35,5 | 39,7 | 30,3 | 28,6 | 134,7 | 78,0 | 52,5 | 2,1 |
| Суммарная канцерогенная активность, мкг/л | | 5,2 | 3,5 | 4,6 | 3,2 | 3,2 | 13,2 | 7,1 | 4,5 | 0,22 |
| Вклад (%) от массы/от активности: | | | | | | | | | | |
| для 3,4-ядерных ПАУ | | 55,6/1,7 | 57/1,6 | 55,9/1,3 | 53,5/1,5 | 52,3/1,4 | 55,3/1,6 | 60,3/1,9 | 64,3/1,9 | 67,1/1,7 |
| для 5,6-ядерных ПАУ | | 43,4/98,2 | 42,3/98,4 | 43,3/98,7 | 45,7/98,5 | 47,1/98,6 | 43,2/98,4 | 39/98 | 34,9/98 | 31,5/98 |
| бенз(а)антрацена | | 4,7/50,1 | 5,4/54,6 | 7,1/61,6 | 5,7/53,3 | 6,0/54,3 | 3,5/35,2 | 4,3/47,1 | 4,5/52,4 | 7,5/72,2 |
| Нефтяные углеводороды, мкг/мл | | 0,160 | 0,28 | 0,210 | 0,180 | 0,23 | 0,98 | 0,320 | 0,35 | 0,04 |

Примечание. * – канцерогенные ПАУ.

7890А. Количественное определение осуществляли способом абсолютной градуировки по стандартным смесям ПАУ в гексане. В каждом образце пробы определялось 13 наиболее распространённых индивидуальных соединений: флуорен (ФЛ); фенантрен (Ф); антрацен (А); флуорантен (Флу); пирен (П); бенз(а)антрацен (Б(а)А); хризен (Хр); бенз(б)флуорантен (Б(б)флу); бенз(к)флуорантен (Б(к)флу); бенз(а)пирен (Б(а)П); индено(1,2,3-с, d)пирен (ИП); дибенз(а, h)антрацен (Д(а, h)А) и бенз(g, h, i)перилен (Б(g, h, i)П). Анализ на содержание нефтепродуктов проводится в жидкой фазе после экстракции нефтепродуктов, растворённых в воде, гексаном в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.128–98². Использовали анализатор жидкости «Флюорат-02».

Для представления характеристики химической нагрузки на исследуемой территории провели расчёт комплексного показателя по формуле:

$$K = \sum(C_i / C_{\beta}),$$

где C_i – содержание i -го вещества в снеговой пробе (твёрдая и жидкая фазы), C_{β} – содержание i -го вещества в фоновой пробе снега. Качественно-количественная характеристика загрязнения дана в виде формул, включающих величину превышения фонового содержания ингредиентов.

² ПНД Ф 14.1:2:4.128–98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». – М: Издательство стандартов, 1998, 38 с.

На основе полученных данных была рассчитана суммарная канцерогенная активность ПАУ для исследуемых объектов. ТСПАУ рассчитывали по формуле:

$$T \sum K_{TPAU_i} = \sum K_{TPAU_i} \cdot C(ПАУ)_i,$$

где $\sum K_{TPAU_i}$ – коэффициент токсичности i -го ПАУ относительно бенз(а)пирена [15, 16], $C(ПАУ)_i$ – концентрация i -го ПАУ в объекте, мкг/л.

Статистический анализ выполнен с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 6.1 Stat_Soft® Inc., SNPStats. Проверку на нормальность распределения выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка. Сравнение качественных характеристик – по критерию χ^2 . Корреляцию рассчитывали с помощью коэффициентов Пирсона и Спирмана.

Результаты

ПАУ представляют собой высокомолекулярные органические вещества, содержащие два или более бензольных колец [17, 18], обладают канцерогенной активностью [19], являясь повсеместными токсикантами окружающей среды [20–23]. Из-за наличия в структуре полиядерной ароматической системы, очень низкой растворимости, а также замедленной биотрансформации ПАУ обладают повышенной устойчивостью [24]. НУ относятся к числу наиболее распространённых и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды [25, 26]. Отмечено, что в присутствии нефти, бензина и нефтепродуктов растворимость ПАУ в воде возрастает [27]. Результаты содержания ПАУ и НУ в снеговом покрове на территории техногенного воздействия и в фоновой зоне представлены в таблице.

Уровни НУ варьировались от 0,04 до 0,98 мг/л. Наибольшие значения отмечались в точках отбора проб: микрорайон № 1 (0,28 мг/л), за алюминиевым заводом «Ирказ» (0,32 мг/л), р. Олха (0,35 мг/л) и проспект Металлургов (0,98 мг/л). Наименьшие концентрации НУ зарегистрированы в фоновой зоне – 0,04 мг/л (загородный посёлок Пионерск).

Максимальные содержания суммы ПАУ – 134,7 и 78 мкг/дм³ – обнаружены в снеговых пробах, отобранных в т. № 6 (пр-т Металлургов), т. № 7 (за алюминиевым и кремниевым заводом), находящихся под влиянием выбросов данных предприятий, а также «Ново-Иркутской ТЭЦ», расположенных с наветренной стороны.

Определение ПАУ в твёрдой и жидкой фракциях снеговых талых вод представлены на рисунке на 3-й стр. обложки. Показано, что в данных фракциях, а также по их сумме в целом наиболее загрязнённой ПАУ в структуре атмосферных выпадений является точка отбора 6 – пр-т Металлургов, расположенная вблизи промплощадки алюминиевого завода и транспортной магистрали. Сумма всех ПАУ составила 16,198; 118,56 и 134,76 мкг/л в жидкой, твёрдой и сумме фракций соответственно. По жидкой фракции наибольшие значения суммарного содержания всех 13 ПАУ также отмечались в точках отбора: микрорайон 1 (5,14 мкг/л), квартал 1 (5,6 мкг/л) и Олха (10,255 мкг/л). По твёрдой и сумме фракций: Олха (42,17 и 52,43 мкг/л), Привокзальный (53,67 и 55,932 мкг/л) и за алюминиевым заводом (76,02 и 78,155 мкг/л).

Установлено, что в условиях урбанизированной среды составы жидкой и твёрдой фракций ПАУ статистически значимо различались ($\chi^2 = 56,2$ при 99-процентном критическом уровне 18,475, $p < 0,01$). Основные ингредиенты занимали в структуре: фенантрен – 32% в жидкой и 9% в твёрдой, флуорантен – 36,8 и 14%, пирен – 15,9 и 9,4%, хризен – 4,1 и 11,5%, бенз(б)флуорантен – 2,3 и 14,3%, бенз(к)флуорантен – 0,2 и 9,3%, бенз(а)пирен – 0,7 и 5,7%, индено(123-с,d)пирен – 0,4 и 8,23% соответственно. Состав твёрдой и жидкой фракций в фоновой точке отбора (загородный посёлок) также имел значимые различия ($\chi^2 = 51,6$; $p < 0,01$). При этом структура твёрдой ($\chi^2 = 11,652$; 95-процентный критический уровень 15,507; $p > 0,05$) и жидкой фракции ($\chi^2 = 14,216$; 95-процентный критический уровень 15,507; $p > 0,05$) в пробах снегового покрова урбанизированной территории и фона были однородными.

В связи с повышенной токсичностью полиаренов одним из важнейших критериев оценки воздействия ПАУ на окружающую среду является суммарная токсикологическая активность ТСПАУ [15]. В качестве показателя присутствия канцерогенных ПАУ в природном объекте чаще всего определяют незамещённый индивидуальный углеводород бенз(а)пирен. Как правило, в объектах, где обнаруживается бенз(а)пирен, идентифицируют-ся и другие ПАУ.

Данные состава и относительной канцерогенной активности 13 ПАУ приведены в таблице. Следует отметить, что наибольшая доля выпадений во всех точках отбора проб характерна для 3–4-ядерных ПАУ: фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бенз(а)антрацена; хризена и 5–6 кольчатых – бенз(а)пирен, дибенз(а,h)антрацен, бенз(g,h,i)перилен, индено(123-cd)пирен. Во всех пробах снега идентифицировано 13 ПАУ, из которых 52–67% по массе приходится на 3–4-ядерные аналоги.

Установлено, что более 90% от суммарного содержания Б(а)П в пробах приходится на твёрдую фракцию. Суммарное содержание Б(а)П во всех точках превышает фоновое значение точки 9 (Пионерск) в 10,6–29,4 раза, достигая наибольших значений на территориях отбора – за алюминиевым заводом «Ирказ» и пр-м Металлургов (3,37 и 4,7 мкг/л), – что превышает значения фоновой отметки в 21,1 и 29,4 раза соответственно.

Обсуждение

Исследуемая территория г. Шелехов находится под техногенным воздействием предприятий цветной металлургии, теплоэнергетики и автотранспорта. Деятельность предприятий сопровождается загрязнением объектов среды обитания. Вклад валовых выбросов ПАО «Русал Братск» в общее количество выбросов от стационарных источников в атмосферу г. Шелехов за последние 5 лет составляет 68–69%. На долю АО «Кремний»

приходится 13–14%, на остальные 16 предприятий, не являющихся принципиально значимыми в формировании рисков здоровью населения, суммарно приходится менее 1–4%. Вклад автотранспорта составляет 2,04%.

В соответствии с ф. 2-ТП (воздух) [12] и данными Иркутскстата о количестве валовых выбросов вклад алюминиевого завода в г. Шелехов в валовые выбросы в атмосферный воздух бенз(а)пирена составляет 100%.

Результаты исследований по физико-химическим свойствам и содержанию ПАУ в объектах окружающей среды нашли отражение в ряде публикаций [11, 18, 23, 28, 29], где показано, что в основном обнаружение ПАУ в снеговых пробах, почвах, донных отложениях, растительном покрове связано с различными источниками их поступления [28, 30] от естественных источников поступления [космогенные, биогенные, природно-пирогенные (лесные пожары)] до техногенных эмиссий в атмосферу (стационарных и передвижных источников). При этом объёмы аэрозольных поступлений, определённые по концентрациям токсикантов в снеговом покрове, на исследуемой территории весьма высоки.

Анализ данных проведённого исследования снегового покрова на территории г. Шелехов показал, что распределение накопления ПАУ и НУ в зоне совместного влияния антропогенных источников ПАО «Русал Братск», «Ново-Иркутская ТЭЦ», АО «Кремний», автотранспорта выглядят следующим образом: пр-т Металлургов (т. 6) Б(б)флу194,3 Б(а)П129,4Д(а,h)A211,5Ф100A261,3Б(а)A101,9Б(б)флу194,3Б(к)флу122,9НУ24,5. За алюминиевым и кремниевым заводом (т. 7) Б(б)флу157,3Б(а)П 21,1Д(а,h)A74,8A93,3Б(б)флу157,3НУ8,0. Содержание СПАУ в снеговых пробах в вышеуказанных точках составляет 134,7 и 78 мкг/л соответственно. Кроме того, на пр-те Металлургов (т. 6) выявлено резкое преобладание обнаруженных концентраций ПАУ в твёрдой фракции пробы – 118,5 мкг/л, а в жидкой фазе – 16,2 мкг/л. Причём в твёрдой фракции концентрации были в 2–10 раз выше для хризена, пирена, фенантрена; бенз(б)флуорантена; бенз(к)флуорантена; бенз(а)пирена. Превышение над фоновым значением в жидкой фазе установлено в 20,2 раза, а в твёрдой фракции – в 84 раза, что согласуется с данными публикаций, показывающих, что определяемые ПАУ в наибольших концентрациях содержатся в твёрдом осадке пробы [18, 23, 29].

В местах отбора Привокзальный (т. 1) и квартал 1 (т. 3), относящихся к жилой многоэтажной застройке, удалённых на 2–3 км в направлении северо-запад, содержание СПАУ по мере удаления от выбросов стационарных источников в твёрдой фракции составляла соответственно 53,8 и 34,1 мкг/л. Распределение накопления в т. 1 выглядит: Б(б)флу116,9A50,7Б(а)A50,7 Б(а)П116,5Д(а,h)A38,6НУ4,0; в т. 3 Б(б)флу65,1A30Б(а)A50,7 Б(а)П17,7Д(а,h)A27НУ5,4. В целом содержание СПАУ в пробах снега превышало фоновые значения в т. 1 и т. 3 в 26,6 и 18,9 раза соответственно.

В фоновой «наиболее чистой» зоне (т. 9), расположенной в лесном массиве на северо-западе от г. Шелехов, концентрация СПАУ в твёрдой и жидкой фазах была ниже в 65 раз по сравнению с территориями, прилегающими к производственным зонам, и в 18,9 раза – по сравнению с наиболее крайней отметкой территории города в этом направлении.

Как показали исследования, качественный состав фракции ПАУ в снеговых пробах постоянен, но соотношение полиаренов изменяется по мере удаления площадок отбора проб от стационарных источников. Возможно, это связано с климатическими условиями – в условиях антициклона в холодное время года токсиканты выпадают преимущественно в районе их выброса – и уменьшением вклада выбросов алюминиевого производства и предприятий теплоэнергетики [31]. В точках отбора, наиболее приближённых к промышленной зоне, фоновый уровень в среднем превышает по НУ в 16,3 раза, по ПАУ в 50,6 раза.

Выявлены сильные связи между концентрациями бенз(а)пирена и других полиаренов – фенантеном, флуорантеном, пиреном, хризенном, бенз(б)флуорантеном, индено(123-с,d)пиреном, бенз(а)антраценом, бенз(g,h,i)периленом $r_{xy} = 0,91–0,95$ ($p > 0,05$).

Канцерогенная активность ПАУ зависит от вклада Б(а)П в суммарное содержание соединений. Найдена статистически

значимая прямая зависимость суммарной канцерогенной активности ПАУ от содержания Б(а)П с коэффициентом корреляции $r_{xy} = 0,95$ ($p < 0,05$).

Таким образом, исследование снегового покрова может применяться для мониторинга загрязнения окружающей среды, это достаточно удобный и экономичный способ получения экспериментальной информации о поступлении поллютантов из атмосферы. Особое значение данные исследования представляют на территориях с длительным стойким снежным покровом, где атмосферные выпадения накапливаются в течение нескольких месяцев и могут являться индикатором урбанизированной среды.

Заключение

В процессе физико-химических исследований определён качественный и количественный состав 13 ПАУ на урбанизированной территории в зимний период, из которых 52–67% по массе приходится на 3–4-ядерные соединения (пирен, фенантрен, флуорантен, антрацен, бенз(а)антрацен; хризен), но по канцерогенной активности наибольший вклад (98%) вносят 5–6-ядерные ПАУ: бенз(а)пирен, дибенз(а,h)антрацен, бенз(g,h,i)перилен, индено(123-cd)пирен. Показана специфичность состава ПАУ. Установлено, что 5–6-ядерные ПАУ в больших количествах содержатся в пробах твёрдой фазы. Максимальные концентрации ПАУ и НУ выявлены в точках, наиболее приближённых к стационарным источникам – предприятиям теплоэнергетики и цветной металлургии, которые выше фоновых значений в 37,1–64,1 и в 24,5–8 раз соответственно.

Литература

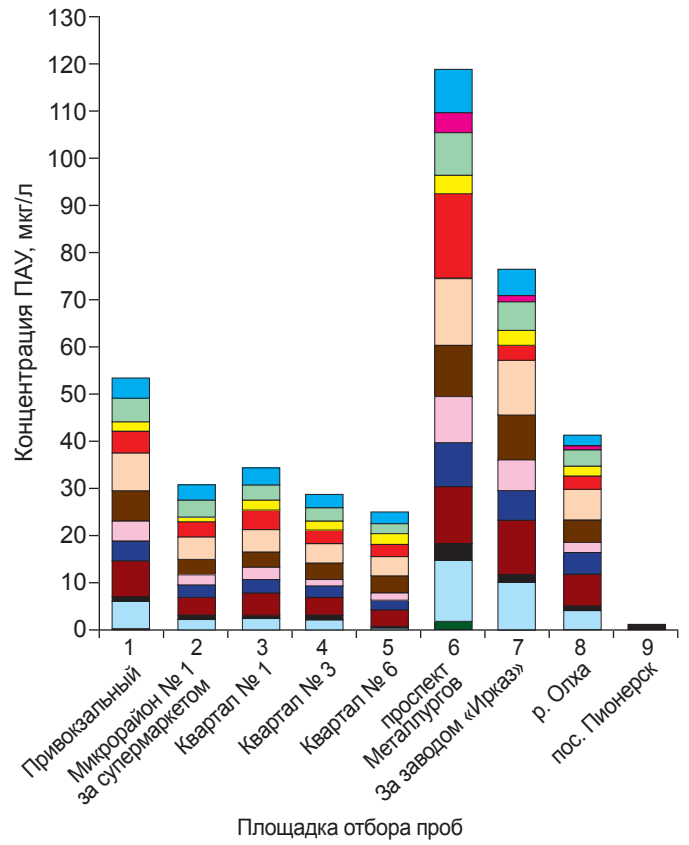
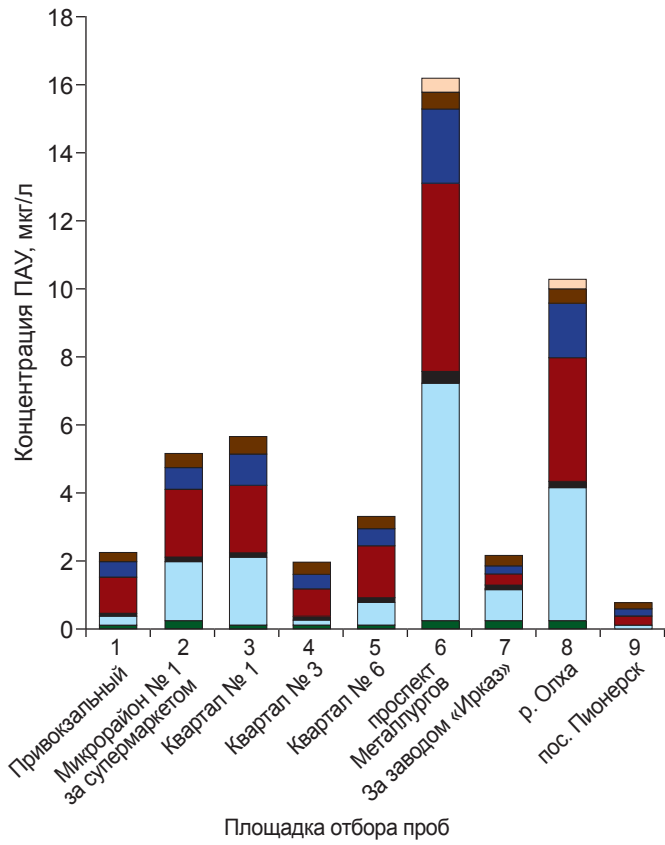
(пп. 6, 7, 10, 11, 15, 20–23, 27, 30 см. References)

1. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб.: Профессионал; 2014. 716 с.
2. Безгодов И.В., Ефимова Н.В., Кузьмина М.В., Мыльникова И.В. Ранжирование и оценка территорий Иркутской области по уровню комплексного антропогенного загрязнения. *Здоровье населения и среда обитания*. 2017; 2: 38–40.
3. Рапута В.Ф., Таловская А.В., Кокочкин В.В., Язиков Е.Г. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снегового покрова в окрестностях Томска и Северска. *Оптика атмосферы и океана*. 2011; 24 (1): 74–8.
4. Романов А.Н., Рапута В.Ф., Морозов С.В., Безуглова Н.Н., Зинченко Г.С., Ковригин А.О. и др. Полиароматические углеводороды в снежном покрове г. Барнаула. *Ползуновский вестник*. 2011; 4–2: 78–80.
5. Носкова Т.В., Эйрих А.Н., Дрюпина Е.Ю., Серых Т.Г., Овчаренко Е.А., Папина Т.С. Исследование качества снежного покрова г. Барнаула. *Ползуновский вестник*. 2014; 3: 208–12.
6. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2012; 4: 14–24.
7. Гребенщикова В.И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области. *Вода: химия и экология*. 2013; 2: 19–25.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году». Иркутск; 2018.
9. Шаяхметов С.Ф., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В. Фракционный и дисперсионный состав мелкодисперсной пыли в воздухе рабочей зоны алюминиевого производства. *Российские нанотехнологии*. 2018; 13 (5–6): 108–12.
10. Шаяхметов С. Ф., Мещаква Н.М., Лисецкая Л.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н. и др. Гигиенические аспекты условий труда в современном производстве алюминия. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 899–904. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904>.
11. Майстренко В.Н., Ключев Н.А. *Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей*. М.: Бинном. Лаборатория знаний; 2009. 325 с.
12. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. *Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов*. Л.: Гидрометеоиздат; 1988. 224 с.
13. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор). *Почвоведение*. 2013; 7: 788–802. DOI: [10.7868/S0032180X13070125](http://dx.doi.org/10.7868/S0032180X13070125).
14. Клар Э. *Полициклические углеводороды. В 2 томах*. М.: Мир; 1971. 456 с.
15. Малышева А.Г., Козлова Н.Ю., Юдин С.М. Неучтённая химическая опасность процессов трансформации веществ в окружающей среде при оценке эффективности применения технологий. *Гигиена и санитария*. 2018; 97 (6): 490–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-490-497>.
16. Харитонов Ю.Я. *Аналитическая химия (аналитика). Книга 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа*. М.: Высшая школа; 2003. 559 с.
17. Лейте В. *Определение органических загрязнителей питьевых, природных и сточных вод: учебник*. М.: Химия; 1975. 200 с.
18. Жидкин А.П., Геннадиев А.Н., Кошовский Т.С. Поступление и поведение полициклических ароматических углеводородов в пахотных, залежных и лесных почвах таёжной зоны (Тверская область). *Почвоведение*. 2017; 3: 311–20. DOI: [10.7868/S0032180X17030133](http://dx.doi.org/10.7868/S0032180X17030133).
19. Журавлева Н.В., Потокина Р.Р. Исмагилов З.Р., Хабибулина Е.Р. Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2014; 22 (5): 445–54.
20. Аргунинцев В.К., Аргунинцева А.В., Крейскис М.А. Оценка влияния на озеро Байкал аэропромвыбросов региональных источников. *Оптика атмосферы и океана*. 2001; 14 (3): 236–9.

References

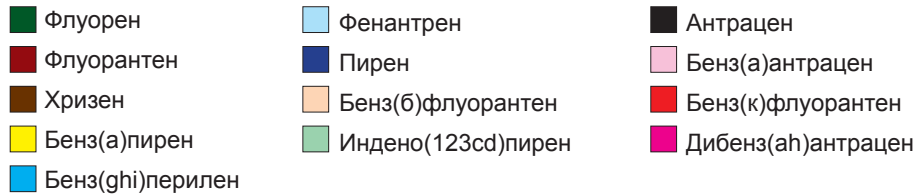
1. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A. *Physico-chemical studies and methods of the control of substances in environmental hygiene [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: Professional; 2014. 716 p. (in Russian)
2. Bezgodov I.V., Efimova N.V., Kuz'mina M.V., Myl'nikova I.V. Ranking and assessment of Irkutsk Region by level of complex anthropogenic pollution. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya [Public Health and Life Environment]*. 2017; 2: 38–40. (in Russian)
3. Raputa V.F., Talovskaya A.V., Kokovkin V.V., Yazikov E.G. Analysis of observations of the snow cover pollution by aerosol particles at the territory of Tomsk-city and Seversk-city environments. *Optika atmosfery i okeana*. 2011; 24 (1): 74–8. (in Russian)
4. Romanov A.N., Raputa V.F., Morozov S.V., Bezuglova N.N., Zinchenko G.S., Kovrigin A.O. et al. Polyaromatic hydrocarbons in the snow cover of the city of Barnaul. *Polzunovskiy vestnik*. 2011; 4–2: 78–80. (in Russian)
5. Noskova T.V., Eyrikh A.N., Dryupina E.Yu., Serykh T.G., Ovcharenko E.A., Papina T.S. Study of the quality of snow cover in Barnaul. *Polzunovskiy vestnik*. 2014; 3: 208–12. (in Russian)
6. Westerlund C., Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall. *Sci Total Environ*. 2006; 362 (1–3): 143–56. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2005.06.031](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.06.031).
7. Engelhard C., De Toffol S., Lek I., Rauch W., Dallinger R. Environmental impacts of urban snow management. The alpine case study of Innsbruck. *Sci Total Environ*. 2007; 382 (2–3): 286–94. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2007.04.008.3](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.008.3).
8. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geochemistry of snow cover within the Eastern district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2012; 4: 14–24. (in Russian)
9. Grebenshchikova V.I. Geochemical specificity of snow water composition in some cities of the Irkutsk regions. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2013; 2: 19–25. (in Russian)
10. Ariya P.A., Dastoor A., Nazarenko Y., Amyot M. Do snow and ice alter urban air quality? *Atmos Environ*. 2018; 186: 266–8. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2018.05.028](http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.028).
11. Vecchiato M., Barbaro E., Spolaor A., Burgay F., Barbante C., Piazza R. et al. Fragrances and PAHs in snow and seawater of Ny-Ålesund (Svalbard): Local and long-range contamination. *Environ Pollut*. 2018; 242 (Pt. B): 1740–7. DOI: [10.1016/j.envpol.2018.07.095](http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.095).
12. State report “On the state and environmental protection of the Irkutsk region in 2017” [Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Irkutskoy oblasti v 2017 godu»]. Irkutsk; 2018. (in Russian)
13. Shayakhmetov S.F., Lisetskaya L.G., Merinov A.V. Study of fractional and component composition of high-dispersed dust particles in air of the work area of an aluminum smelter. *Rossiyskie nanotekhnologii*. 2018; 13 (5–6): 108–12. (in Russian)
14. Shayakhmetov S.F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N. et al. Hygienic aspects of working conditions in the modern production of aluminum. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2018; 10: 899–904. DOI: [10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904](http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904). (in Russian)
15. Nisbet I.C., La Goy P.K. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regul Toxicol Pharmacol*. 1992; 16 (3): 290–300. DOI: [10.1016/0273-2300\(92\)90009-X](http://dx.doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-X).

16. Maystrenko V.N., Klyuev N.A. *Ecological and analytical monitoring of persistent organic pollutants [Ekologo-analiticheskiy monitoring stoykikh organicheskikh zagryazniteley]*. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy; 2009. 325 p. (in Russian)
17. Rovinsky F.Ya., Teplitskaya T.A., Alekseeva T.A. *Background monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons [Fonovyy monitoring politsiklicheskikh aromaticheskikh uglevodorodov]*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1998. 224 p. (in Russian)
18. Tsi bart A.S., Gennadiev A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: Sources, behavior, and indication significance (a review). *Pochvovedenie*. 2013; 7: 788–802. DOI: 10.7868/S0032180X13070125. (in Russian)
19. Klar E. *Polycyclic hydrocarbons. In 2 vol. [Politsiklicheskie uglevodorody. V 2 tomakh]*. Moscow: Mir; 1971. 456 p. (in Russian)
20. Cho H.H., Choi J., Goltz M.N., Park J.W. Combined effect of natural organic matter and surfactants on the apparent solubility of polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Environ Qual*. 2002; 31: 275–80.
21. Peh nec G., Jakovljević I. Carcinogenic potency of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons in relation to the particle fraction size. *Int J Environ Res Public Health*. 2018; 15 (11): E2485. DOI: 10.3390/ijerph15112485.
22. Ward T.J., Semmens E.O., Weiler E., Harrar S., Noonan C.W. Efficacy of interventions targeting household air pollution from residential wood stoves. *J Expos Sci Environ Epidemiol*. 2017; 27 (1): 64–71. DOI: 10.1038/jes.2015.73.
23. Noonan C.W., Semmens E.O., Smith P., Harrar S.W., Montrose L., Weiler E. et al. Randomized Trial of Interventions to Improve Childhood Asthma in Homes with Wood-burning Stoves. *Environ Health Perspect*. 2017; 125 (9): 097010-1–097010-9. DOI: 10.1289/EHP849.
24. Malysheva A.G., Kozlova N.Yu., Yudin S.M. The unaccounted hazard of processes of substances transformation in the environment in the assessment of the effectiveness of the application of technologies. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2018; 97 (6): 490–7. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-490-497. (in Russian)
25. Kharitonov Yu.Ya. *Analytical chemistry (analytics). Book 2. Quantitative analysis. Physico-chemical (instrumental) methods of analysis [Analiticheskaya khimiya (analitika). Kniga 2. Kolichestvennyy analiz. Fiziko-khimicheskie (instrumental'nye) metody analiza]*. Moscow: Vysshaya shkola; 2003. 559 p. (in Russian)
26. Leyte V. *Determination of organic pollution of drinking, natural and waste waters: textbook [Opredelenie organicheskikh zagryazneniy pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod: Uchebnyk]*. Moscow: Khimiya; 1975. 200 p. (in Russian)
27. O'Driscoll C.A., Gallo M.E., Hoffmann E.J., Fechner J.H., Schauer J.J., Bradfield C.A. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) present in ambient urban dust drive proinflammatory T cell and dendritic cell responses via the aryl hydrocarbon receptor (AHR) in vitro. *PLoS One*. 2018; 13 (12): E0209690. DOI: 10.1371/journal.pone.0209690.
28. Zhidkin A.P., Gennadiev A.N., Koshovskii T.S. Input and behavior of polycyclic aromatic hydrocarbons in arable, fallow, and forest soils of the taiga zone (Tver oblast). *Pochvovedenie*. 2017; 3: 311–20. DOI: 10.7868/S0032180X17030133. (in Russian)
29. Zhuravleva N.V., Potokina R.R., Ismagilov Z.R., Khabibulina E.R. Pollution of snow cover with polycyclic aromatic hydrocarbons and toxic elements for Novokuznetsk as example. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2014; 22 (5): 445–54. (in Russian)
30. Hofmann L., Stemmler I., Lammel G. The impact of organochlorines cycling in the cryosphere on global distributions and fate-2. Land ice and temporary snow cover. *Environ Pollut*. 2012; 162: 482–8. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.10.004.
31. Arguchintsev V.K., Arguchintseva A.V., Kreysik M.A. Assessment of the impact of aerial and industrial emissions of regional sources on Lake Baikal. *Optika atmosfery i okeana*. 2001; 14 (3): 236–9. (in Russian)



а

б



Содержание полициклических ароматических углеводородов в снеговых пробах г. Шелехов.

а – жидкая фаза; *б* – твёрдый осадок.