

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Журба О.М.¹, Ефимова Н.В.¹, Ханхареев С.С.², Алексеенко А.Н.¹, Меринов А.В.¹,
Мадеева Е.В.², Моторов В.Р.¹

Оценка контаминации снегового покрова для выявления зон ингаляционного химического риска

¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск;²Управление Роспотребнадзора по Республике Бурятия, 670013, Улан-Удэ

Введение. На территории со стойким снеговым покровом атмосферные загрязнения накапливаются в течение нескольких месяцев, твёрдые осадки в виде снега являются индикаторным объектом оценки состояния городской среды.

Материал и методы. Отбор проб снега производился на пробных площадях, приближенных к пунктам мониторинга атмосферного воздуха и отражающих влияние различных стационарных и передвижных источников загрязнения. Применяли методы газовой хромато-масс-спектрометрии и атомно-абсорбционной спектрометрии.

Результаты. Получены результаты о содержании полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и тяжёлых металлов в снеговом покрове для выявления зон риска в г. Улан-Удэ Республики Бурятия. Наиболее широкий спектр металлов зарегистрирован в точках, которые расположены вблизи крупной транспортной развязки и в жилой зоне вблизи малоэтажной застройки частного сектора. Установлено, что определяемые ПАУ в больших количествах содержатся в твёрдом осадке снеговых проб.

Заключение. Накопление химических веществ 13 приоритетных ПАУ, из которых 60–80% от суммарного количества приходится на 3-, 4-ядерные аналоги (фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен), происходит в аккумулялирующих средах. ПАУ ассоциированы с водонерастворимыми (твёрдая фаза) ПАУ, что свидетельствует о единстве основного источника загрязнения (выхлопные газы автотранспорта).

К л ю ч е в ы е с л о в а : полициклические ароматические углеводороды; снеговой покров; вклады источников; содержание тяжёлых металлов; химическая нагрузка.

Для цитирования: Журба О.М., Ефимова Н.В., Ханхареев С.С., Алексеенко А.Н., Меринов А.В., Мадеева Е.В., Моторов В.Р. Оценка контаминации снегового покрова для выявления зон ингаляционного химического риска. *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (4): 363–367. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-4-363-367>

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. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи, написание текста – Журба О.М.; концепция и дизайн исследования, организация исследований, обоснование программы исследований, написание текста, обсуждение результатов – Ефимова Н.В.; организация исследований, обоснование программы исследований – Ханхареев С.С.; проведение аналитических исследований с применением газовой хромато-масс-спектрометрии – Алексеенко А.Н.; проведение аналитических исследований с применением атомно-абсорбционной спектрометрии – Меринов А.В.; обоснование программы, обсуждение результатов исследований – Мадеева Е.В.; сбор и обработка материала, статистическая обработка – Моторов В.Р.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила: 10.12.2018

Принята к печати: 27.05.2019

Опубликована: 26.05.2020

Zhurba O.M.¹, Efimova N.V.¹, Khankhareev S.S.², Alekseyenko A.N.¹, Merinov A.V.¹, Madeeva E.V.², Motorov V.R.¹

Assess of contamination of the snow cover for detecting the zones of inhalation chemical risk

¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research», 665827, Angarsk, Russian Federation;²Office of Federal Service for Oversight of Consumer Protection and Welfare for Republic of Buryatia, 670013, Ulan-Ude, Russian Federation

Introduction. On the territory with a resistant snow cover, atmospheric pollution accumulates over several months; solid precipitation in the form of snow is an indicator object for assessing the state of the urban environment.

Materials and methods. The sampling of snow was carried out on trial plots close to the monitoring points of atmospheric air and reflecting the influence of various stationary and mobile sources of pollution. The methods of gas chromatography-mass spectrometry and the atomic absorption spectrometry were used.

Results. The results were obtained on the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in snow cover to identify risk zones in the city of Ulan-Ude of the Republic of Buryatia. The widest range of metals is recorded at points located near a major traffic interchange and in a residential area near the low-rise buildings of the private sector. The determined PAHs in large quantities were established to be contained in the solid sediment of snow samples.

Discussion. Snow cover is a depositing and transit component of the environment. Its study gives important information about the chemical state of industrial ecosystems. About 30 thousand tons of chemical impurities enter the air basin of Ulan-Ude from stationary sources per year. Emissions of the total amount of hydrocarbons averaged of 1,741.96 tons over the study period, soot - 822.41 tons, which is by tens and hundreds times higher than that of other toxic substances, therefore, the PAH content in snow samples is higher than that of heavy metals.

Conclusion. The accumulation of chemicals of 13 priority PAHs, of which 60–80% of the total amount falls on 3-,4- nuclear counterparts (phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, chrysene) occurs in accumulating media. PAHs are associated with water-insoluble (solid phase) PAHs, which indicates to the unity of the main source of pollution (vehicle exhaust gases).

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons; snow cover; contributions of sources; heavy metal content; chemical load.

For citation: Zhurba O.M., Efimova N.V., Khankhareev S.S., Alekseyenko A.N., Merinov A.V., Madeeva E.V., Motorov V.R. Assess of contamination of the snow cover for detecting the zones of inhalation chemical risk. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(4): 363-367. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-4-363-367>

For correspondence: Olga M. Zhurba, MD, Ph.D., head of 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 the authors:

Zhurba O.M., <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408>; Efimova N.V., <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147>; Alekseyenko A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304>; Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>; Madeeva E.V., <https://orcid.org/0000-0003-4837-301X>; Motorov V.R., <https://orcid.org/0000-0001-7802-1694>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: Zhurba O.M. – research concept and design, editing; Efimova N.V. – research concept and design, research organization, justification of the research program, writing text, the discussion of the results; Khankhareev S.S. – research organization, justification of the research program; Alekseyenko A.N. – analytical studies using gas chromatography–mass spectrometry; Merinov A.V. – analytical studies using atomic absorption spectrometry; Madeeva E.V. – justification of the research program, the discussion of the results; Motorov V.R. – collection and processing of material, statistical processing. Approval of the final version of the manuscript, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript – all co-authors.

Received: December 10, 2018

Accepted: May 27, 2019

Published: May 26, 2020

Введение

При оценке многосредового риска в ряде работ убедительно показано, что основным путём поступления является ингаляционный [1–3]. Проведённые исследования показали, что в административно-промышленных центрах Сибири чаще всего формируются зоны воздействия нескольких источников [4–7]. Так, для г. Улан-Удэ установлено, что среди предприятий – источников выбросов веществ наиболее опасными являются ПАО «Бурятнефтепродукт», предприятия теплоэнергетики ТЭЦ-2, ТЭЦ-1, котельные Улан-Удэнского энергетического комплекса ПАО «ТГК-14», ЗАО «Улан-Удэстальмост», АО «Улан-Удэнский авиазавод». Однако существующая система государственного мониторинга за химическим загрязнением приземного слоя атмосферы не позволяет получить полную информацию об экспозиции. Существующие подходы к расчёту рассеивания также не всегда адекватно отражают реальную ситуацию. В связи с тем, что на территориях со стойким снежным покровом атмосферные загрязнения накапливаются в снеговом покрове в течение нескольких месяцев, твёрдые осадки в виде снега являются удобным индикаторным объектом оценки состояния городской среды [8]. В зимний период времени на большей части России, Канады, стран Скандинавского полуострова и др. основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха и снегового покрова вносят антропогенные источники – промышленные предприятия и транспорт [9–13]. Несмотря на очевидную ценность снеговых проб, аккумулирующих информацию о длительной экспозиции на определённых территориях, для задач гигиенической и экологической оценки этот объект используется недостаточно часто.

Цель работы – применить результаты исследований профилей полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и тяжёлых металлов снежного покрова для выявления зон риска.

Материал и методы

Исследования проведены на территории административно-промышленного центра Республики Бурятия г. Улан-Удэ с учётом зон влияния основных стационарных и передвижных техногенных источников поступления. Для оценки уровня загрязнённости различных участков снежного покрова в жилой зоне были выбраны 11 точек, приближенных к пунктам

мониторинга атмосферного воздуха и отражающих влияние различных источников загрязнения. Отбор проб проведён в начале марта 2018 г., в период максимального снегонакопления, в виде кернов по всей глубине залегания по рекомендациям на 12 площадках¹. Точка 6 находится в 60 м от федеральной трассы, 11, 10, 9 – вблизи транспортных развязок, точки 1, 5, 8, 9 расположены в промышленных зонах города, точки 1, 2, 4, 5 – в зонах влияния ТЭЦ, точки 3 и 7 – вблизи котельных, воздействию золошламохранилища и отстойника отходов локомотивовозоремонтного завода может быть подвержена точка 2. В качестве фоновой выбрана точка 12 – п. Сотниково (Иволгинский район Республики Бурятия), не подвергающаяся техногенному воздействию или испытывающая его в минимальной степени и расположенная за городской чертой с наветренной стороны относительно города.

Подготовка снеговых проб проведена в несколько этапов. На первом этапе отобранные снеговые пробы таяли при комнатной температуре в лабораторных ёмкостях. Далее для определения тяжёлых металлов (Fe, Cd, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb, Hg, Be, As) пробы талой воды делили на 2 части, одну из которых фильтровали и фиксировали азотной кислотой. По содержанию металлов в фильтрованной пробе определяли растворённую форму тяжёлых металлов. Пробоподготовка и анализ проб на содержание металлов осуществлялись согласно методикам ПНД Ф 14.1:2.4. 214-06². Оборудование: атомно-абсорбционный спектрометр AA DUO Agilent 240FS/240Z/UltraAsystem. Анализ по определению мышьяка проводили согласно инструкции по эксплуатации к системе генерации гидридов VGA-77AA Agilent и условиям, предлагаемым программой SpectrAA для анализа мышьяка. Ртуть определяли методом холодного пара на анализаторе ртути «Юлия-5К» ПНД Ф 14.1:2.4.20-95³. На втором этапе определяли полициклические ароматические углеводоро-

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

² ПНД Ф 14.1:2.4. 214-06. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в питьевых, поверхностных и сточных водах методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. М.: ФБУ ФЦАО, 2011.

³ ПНД Ф 14.1:2.4.20-95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций ионов ртути в питьевых, поверхностных и сточных водах методом беспламенной атомно-адсорбционной спектрометрии. М.: ФБУ ФЦАО, 2011.

ды (ПАУ) в жидкой фазе и твёрдом осадке методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС), с использованием Agilent 7890А с масс-селективным детектором Agilent 5975С. Количественное определение осуществляли способом абсолютной градуировки по стандартным смесям ПАУ в гексане. Определяли следующие ПАУ – флуорен; фенантрен; антрацен; флуорантен; пирен, бенз(а)антрацен; хризен; бенз(б)флуорантен; бенз(к)флуорантен; бенз(а)пирен; индено(123сd)пирен; дибенз(аh)антрацен и бенз(ghi)периллен.

Для представления интегральной характеристики химической нагрузки на территории города за холодный период проведён расчёт комплексного показателя по формуле:

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

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

Полученные данные подвергались статистическому анализу. Статистическая обработка материалов проведена с применением программного средства «Statistica», версия 10, в среде Windows. После проверки на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро–Уилка рассчитаны средние величины, стандартные отклонения и ошибки средних. Сравнение средних величин проведено по t -критерию Стьюдента, качественных характеристик – по критерию χ^2 . Статистически значимыми приняты различия при уровне $p < 0,05$.

Результаты

Концентрации тяжёлых металлов, присутствующих в снеговых пробах, собранных в черте города, представлены на рис. 1 (см. на 2-й стр. обложки). Наиболее высокие показатели: цинк – 0,24 (точка № 5), железо – 0,151, марганец – 0,1 (точка № 10). Самый широкий спектр металлов зарегистрирован в точках по адресам: ул. Бабушкина, ул. Ключевская, которые находятся вблизи крупной транспортной развязки и в жилой зоне вблизи малоэтажной застройки частного сектора. Высокие концентрации ртути (0,0017 мг/л) и мышьяка (0,00048 мг/л) характерны для снеговой пробы точки № 6 – пос. Силикатный, которая расположена в 60 м от федеральной трассы «Байкал» и менее чем в 400 м от ООО «Буржелезобетон» дорожного ремонтно-строительного участка.

ПАУ образуются преимущественно в процессах неполного сгорания топлива. Благодаря повсеместному распространению процессов горения в современном мире существует опасность накопления ПАУ в объектах окружающей среды, поскольку ПАУ являются устойчивыми соединениями в условиях окружающей среды, обладают высокими мутагенными и канцерогенными свойствами [14–20]. Главными причинами их повышенной устойчивости являются наличие в структуре полиядерной ароматической системы, плохая растворимость в воде, а также замедленная микробиологическая трансформация [21].

Результаты определения ПАУ в твёрдой и жидкой фазах снеговых вод представлены на рис. 2 (см. на 3-й стр. обложки). Во всех пробах идентифицировано до 13 приоритетных ПАУ, из которых 60–80% от суммарного количества приходится на 3-, 4-ядерные аналоги.

Следует отметить, что в условиях урбанизированной среды составы жидкой и твёрдой фракций ПАУ статистически значимо различались ($\chi^2 = 26,1$ при 99-процентном критическом уровне 13,277, $p < 0,001$). Основные ингредиенты занимали в структуре: флуорен – 34% в жидкой и 4% – в твёрдой фракциях, фенантрен – 32,3 и 36,7%, флуорантен – 14,3 и 18,7%, пирен – 8 и 12,5%, бенз(а)пирен – 0,7

Корреляционная зависимость содержания полициклических ароматических углеводородов в жидкой и твёрдой фракциях снеговых проб г. Улан-Удэ

	Место отбора проб	Коэффициент Пирсона	Значимость
1	ул. Советская, д. 43	0,51	0,08
2	Кирпичный завод	0,64	0,02
3	п. Загорск	0,21	0,50
4	проспект Строителей	0,86	0,00
5	ул. Ключевская	0,70	0,01
6	п. Силикатный	0,66	0,01
7	ул. Мерецкова	0,39	0,18
8	ул. Автотранспортная	0,35	0,24
9	проспект 50 лет Октября	0,78	0,00
10	ул. Бабушкина	0,54	0,06
11	ул. Революции 1905 года	0,40	0,18

и 3,1% соответственно. Состав твёрдой и жидкой фракций в фоновой пробе также имел значимые различия ($\chi^2 = 34,1$, $p < 0,001$). Интересно, что структура жидкой фракции в пробах снегового покрова урбанизированной территории и фоновой была однородна ($\chi^2 = 7,085$, 95-процентный критический уровень 9,488, $p = 0,132$). А состав ПАУ твёрдого осадка указанных фракций статистически значимо различался ($\chi^2 = 9,678$, $p = 0,047$), в первую очередь за счёт удельного веса фенантрена (36,7% в жидкой и 15,5% в твёрдой фракциях), пирена (13 и 8,8% соответственно), бенз(а)пирена (3,1 и 6,6%).

Максимальное содержание суммы ПАУ – 14,5 мкг/дм³ – обнаружено в пробе, отобранной в точке 7, находящейся под влиянием выбросов угольной котельной и частного сектора, расположенных с наветренной стороны в 190 и 70 м соответственно. Основной вклад в суммарную величину ПАУ вносят фенантрен 42,1% (концентрация – 6,1 мкг/дм³), изомеры – флуорантен 20% (2,9 мкг/дм³) и пирен 12,4% (1,8 мкг/дм³). Состав ПАУ в жидкой и твёрдой фракциях не отличался в целом от среднего состава проб, отобранных в г. Улан-Удэ ($\chi^2 = 0,447$, $p = 0,98$; $\chi^2 = 5,491$, $p = 0,41$). В точках отбора проб – Кирпичный завод, пр-кт Строителей, ул. Ключевская, п. Силикатный, пр-кт 50 лет Октября – жидкая фаза ПАУ ассоциирована с твёрдой фазой ПАУ, что подтверждается коэффициентом корреляции Пирсона (см. таблицу). Это даёт право предположить, что загрязнение в этих точках связано с одним источником – выхлопными газами автотранспорта. В остальных точках отбора расположены источники средних и низких выбросов химических веществ. В точке отбора РК «Здоровье» распределение данных подчиняется непараметрическим законам, поэтому рассчитали коэффициент Спирмана, который равен 0,5, при $p = 0,08$.

Обсуждение

В настоящее время методология оценки риска является важнейшим инструментом для характеристики влияния факторов среды обитания на здоровье населения при осуществлении санитарно-эпидемиологического надзора и принятии управленческих решений. В течение нескольких лет индексы загрязнения атмосферного воздуха г. Улан-Удэ оценивались как очень высокие, в связи с этим город включался в приоритетные списки городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения воздушного бассейна. В воздушный бассейн г. Улан-Удэ из стационарных источников в год поступает около 30 тыс. тонн химических

примесей. Выбросы суммы углеводородов составили в среднем за изучаемый период 1741,96 т, сажи — 822,41 т, что в десятки и сотни раз выше, чем у других токсичных веществ, поэтому содержание ПАУ в пробах снегового покрова выше, чем тяжёлых металлов.

Среди наиболее опасных производств в качестве источников выбросов вредных веществ выделяются: предприятия теплоэнергетики, металлообработки, машиностроения [22].

Если большинство предприятий имеет одно приоритетное вещество, определяющее почти 100% вклада, то ЗАО «Стальмост», ОАО «Улан-Удэнский авиазавод» характеризуются расширенными спектрами ингредиентов, поступающих в атмосферный воздух города. Авиационный завод выбрасывает в атмосферу 14 канцерогенных веществ: хром шестивалентный, серная кислота, никель и его соединения, формальдегид, эпихлоргидрин, бенз(а)пирен, бензол, сажа, кадмий и его соединения, масло минеральное, акрилонитрил, 1,3-бутадиен, пропиленоксид, этилена оксид. Формула накопления загрязняющих веществ в зоне влияния авиазавода (точка № 3) выглядит следующим образом: Fe6.5Cr2.3As4.4ПАУ202. В зоне совместного воздействия крупной автотрассы и продуктов неполного сжигания топлива в печах частных домов (точка № 6) отмечено значительное содержание некоторых металлов и ПАУ Fe5.5Cr2.5Hg11.3As6.9ПАУ297. Существует значительное количество публикаций, подтверждающих комплексное загрязнение окружающей среды выхлопными газами автотранспорта [23]. Кроме этого, в данной точке выявлено резкое преобладание твёрдой фракции ПАУ. При этом превышение фона в жидкой фазе установлено в 13 раз, а в твёрдом осадке — в 284 раза. Эти данные не противоречат наблюдениям о высокой экспозиции твёрдыми частицами при использовании печей в бытовых целях [24].

В точке № 4, относящейся к «условно чистой» территории с многоэтажной застройкой, удалённой от ТЭЦ на 3–5 км, загрязнение снега металлами на площадках пребывания детей относительно невелико, но наблюдается большое количество ПАУ: Mn7.1Cr2.3As4.3ПАУ315. К числу наиболее экспонированных территорий города Улан-Удэ следует отнести точки в центре города, характеризующиеся комплексным воздействием: точка № 10 (ул. Бабушкина) — Fe11.6Mn14.3Cr2.8Hg3.3As4.4ПАУ294 и точка № 5 (ул. Ключевская) — Zn4.0Fe6.2Mn9.1Cr2.6As4.1ПАУ135. Точки № 1, 9 и 11 в течение изучаемого периода подвергались наименьшему выпадению химических примесей: кратность превышения фона по железу составляла от 0 до 11,2, по марганцу — от 3 до 7,1, хрома — от 2,1 до 3, мышьяка от 0 до 3,7, ПАУ — от 45 до 131.

Интерес к изучению химического состава снегового покрова достаточно велик [10, 11], в том числе и для оценки влияния локальных источников загрязнения [13, 25]. Загрязняющие вещества из атмосферы вместе с осадками попадают в почву и поверхностные воды, включаются в биосферный

круговорот и могут попадать в природные биоценозы и организм человека [26]. Снеговой покров — депонирующий и транзитный компонент окружающей среды. Его изучение даёт важную информацию о химическом состоянии промышленных экосистем [12, 27–30].

Как показали наши исследования, вокруг административно-промышленного центра техногенные ареалы загрязнения снежного покрова до 11 раз превышают фоновый уровень содержания металлов и более чем в 300 раз — содержание ПАУ. Снеговой покров обладает высокой сорбционной способностью и поглощает из атмосферного воздуха значительную часть продуктов техногенеза. Данный метод экспрессной оценки состояния среды может применяться на территориях с устойчивым снежным покровом. При изучении состава ПАУ выявлено, что бенз(а)пирен, принятый как индикатор ПАУ, не вполне адекватно отражает концентрации веществ, составляющих наибольшую долю ПАУ, коэффициент корреляции с флуореном составляет 0,44 ($p > 0,05$), фенантреном — 0,75 ($p < 0,05$), флуорантеном — 0,7 ($p > 0,05$). Гораздо ближе связи между бенз(а)пиреном и другими ПАУ — бенз(а)антраценом, бенз(б)флуорантеном, дибенз(аh)антраценом, бенз(ghi)периленом $r_{xy} = 0,98–0,99$ ($p < 0,01$). Так как состав снегового покрова отражает состояние природных и антропогенных факторов изменения атмосферных выпадений, то данный метод может применяться для мониторинга и прогнозирования загрязнения окружающей среды, в том числе для решения задач оценки риска. В то же время данный метод имеет ряд ограничений для его широкого использования. Во-первых, он информативен как критерий хронического воздействия только на территориях с длительным стойким снежным покровом; во-вторых, в настоящее время не разработано гигиенических нормативов, регламентирующих безопасный уровень воздействия на человека; в-третьих, точки наблюдения за загрязнением снегового покрова должны быть обоснованы с учётом характера застройки.

Заключение

Накопление химических веществ 13 приоритетных ПАУ, из которых 60–80% от суммарного количества приходится на 3–4-ядерные аналоги (фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(а)антрацен, хризен), происходит в аккумулярующих средах. В точках отбора проб снегового покрова: Кирпичный завод, пр-кт Строителей, ул. Ключевская, п. Силикатный, пр-кт 50 лет Октября — жидкая фаза ПАУ ассоциирована с твёрдым осадком ПАУ, что свидетельствует о единстве основного источника загрязнения (выхлопных газов автотранспорта). В точках отбора, расположенных в зоне влияния источника средних и низких выбросов химических веществ, корреляционные связи между изучаемыми фракциями разрушены.

Литература

(пп. 3, 9–13, 17–20, 24, 25, 28, 30 см. References)

- Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Воробьева Л.М., Горьев Д.В. и соавт. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многоуровневом воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2015; 2: 88–92.
- 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.
- Ефимова Н.В., Тихонова И.В., Жигалова О.В., Катунская О.Ю., Абраматец Е.А., Рычагова О.А. и соавт. Ингаляционный риск здоровью населения на территориях размещения химических предприятий (на примере Иркутской области). *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2009; 5: 111–4.
- Литау В.В., Таловская А.В., Язиков Е.Г., Лончакова А.Д., Третьякова М.И. Оценка пылевого загрязнения территории г. Омска по данным снеговой съёмки. *Оптика атмосферы и океана*. 2015; 3: 256–9.
- Каташинская Л.И., Суппес Н.Е. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха в городе Ишиме и влияние химического загрязнения атмосферы на здоровье населения. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016; 2–3: 697–701.
- Юшков Н.Н., Ерофеева М.Р., Синегибская А.Д. Влияние объектов экономики, функционирующих на территории г. Братска, на состояние компонентов окружающей среды. *Системы. Методы. Технологии*. 2015; 3 (27): 128–38.
- Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Иванченко Н.Л., Варакин Е.А., Соболев Н.А. Исследование содержания тяжёлых металлов в снеговом покрове г. Архангельска и оценка их влияния на здоровье населения. *Вестник САФУ. Серия: Естественные науки*. 2016; 4: 57–68. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.4.57>.
- Белых Л.И., Малых Ю.М., Пензина Э.Э., Смагунова А.Н. Источники загрязнения атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами в промышленном Прибайкалье. *Оптика атмосферы и океана*. 2002; 10: 944.

15. Бельх Л.И., Горшков А.Г., Рябчикова И.А., Серышев В.А., Маринайте И.И. Распределение и биологическая активность полициклических ароматических углеводородов в системе источник – снежный покров – почва – растение. *Сибирский экологический журнал*. 2004; 6: 793–802.
16. Бельх Л.И., Халтурина Д.А., Мухамедьянова Р.Р. Мониторинг выбросов бенз(а)пирена в атмосферу при открытом и печном горении различных материалов. *XXI век. Техноферная безопасность*. 2017; 1: 23–37.
21. Кнунянц И.Л., гл. ред. *Химическая энциклопедия. В 5 т.* М.: Советская энциклопедия; 1988.
22. 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: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-490-497>.
23. Голохваст К.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы). *Экология человека*. 2016; 1: 9–14.
26. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб: Профессинал; 2014. 716 с.
27. Гребенщикова В.И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области. *Вода: химия и экология*. 2013; 2: 19–25.
29. Касимов Н.С., Коселева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в восточном округе Москвы. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2012; 4: 14–23.

References

1. Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsyn V.A., Vorobiova L.M., Goryaev D.V. et al. Comparative assessment of the multimedia cancer health risks caused by contamination of the Krasnoyarsk Krai regions' environment. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2015; 2: 88–92. (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. Levy I., Mihele C., Lu G., Narayan J., Brook J.R. Evaluating multipollutant exposure and urban air quality: Pollutant interrelationships, neighborhood variability, and nitrogen dioxide as a proxy pollutant. *Environ Health Perspect*. 2014; 122: 65–72. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1306518>.
4. Efimova N.V., Tikhonova I.V., Jigalova O.V., Katul'skaya O.U., Abramats E.A., Rychagova O.A. et al. Public health inhalation risk in the area of chemical enterprises placement. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2009; 5: 111–4. (in Russian)
5. Litau V.V., Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Lonchakova A.D., Tretyakova M.I. Dust pollution assessment on the territory of Omsk city using snow survey. *Optika atmosfery i okeana*. 2015; 3: 256–9. (in Russian)
6. Katashinskaya L.I., Suppes N.E. Analysis of atmospheric air pollution sources in Ishim city and influence of atmosphere chemical pollution on the health of population. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016; 2–3: 697–701. (in Russian)
7. Yushkov N.N., Erofeeva M.R., Sinegibskaya A.D. Influence of the economic entities operating on the territory of Bratsk on the state of environmental components. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2015; 3: 128–38. (in Russian)
8. Chagina N.B., Ayvazova E.A., Ivanchenko N.L., Varakin E.A., Sobolev N.A. Heavy metals in snow cover of Arkhangelsk and evaluation of their influence on population health. *Vestnik SAFU. Seriya: Yestestvennyye nauki*. 2016; 4: 57–68. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.4.57>. (in Russian)
9. Šillerová H., Chrástný V., Vítková M., Francová A., Jehlička J., Gutsch M.R. et al. Stable isotope tracing of Ni and Cu pollution in North-East Norway: Potentials and drawbacks. *Environ Pollut*. 2017; 228: 149–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.030>.
10. 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: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.10.004>.
11. Lebedev A.T., Mazur D.M., Polyakova O.V., Kosyakov D.S., Kozhevnikov A.Y., Latkin T.B. et al. Semi volatile organic compounds in the snow of Russian Arctic islands: Archipelago Novaya Zemlya. *Environ Pollut*. 2018; 239: 416–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.009>.
12. Ariya P.A., Dastoor A., Nazarenko Y., Amyot M. Do snow and ice alter urban air quality? *Atmos Environ*. 2018; 186: 266–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.028>.
13. 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: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.095>.
14. Belykh L.I., Mal'kh Yu.M., Penzina E.E., Smagunova A.N. Sources of atmospheric pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons in the industrial Baikal region. *Optika atmosfery i okeana*. 2002; 10: 944. (in Russian)
15. Belykh L.I., Gorshkov A.G., Ryabchikova I.A., Seryshev V.A., Marinaite I.I. Distribution and Biological Activity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the System: Source – Snow Cover – Soil – Plant. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2004; 6: 793–802. (in Russian)
16. Belykh L.I., Khalturina D.A., Muchamedjanova R.R. Monitoring of benz(a)pyrene emissions into the atmosphere as a result of open and oven combustion of various materials. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2017; 1: 23–37. (in Russian)
17. Bosetti C., Boffetta P., La Vecchia C. Occupational exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons, and respiratory and urinary tract cancers: a quantitative review to 2005. *Ann Oncol*. 2007; 18: 431–46. DOI: <https://doi.org/10.1093/annonc/mdl172>.
18. Sim M.R., Del Monaco A., Hoving J.L., MacFarlane E., McKenzie D., Benke G. et al. Mortality and cancer incidence in workers in two Australian prebake aluminium smelters. *Occup Environ Med*. 2009; 66: 464–70. DOI: <https://doi.org/10.1136/oem.2008.040964>.
19. 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 Expo Sci Environ Epidemiol*. 2017; 27 (1): 64–71. DOI: <https://doi.org/10.1038/jes.2015.73>.
20. 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. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP849>.
21. Knunyants I.L., chief ed. *Chemical encyclopedia [Khimicheskaya entsiklopediya]*. In 5 volumes. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya; 1988. (in Russian)
22. Малышева А.Г., Козлова Н.Ю., Юдин С.М. 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; 6: 490–7. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-490-497>. (in Russian)
23. Golokhvast K.S., Chernyshev V.V., Ugay S.M. Car exhausts and human ecology (Literature review). *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2016; 1: 9–14. (in Russian)
24. McNamara M., Noonan C., Ward T. Correction factor for continuous monitoring of wood smoke fine particulate matter. *Aerosol Air Qual Res*. 2011; 11 (3): 315–22. DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2010.08.0072>.
25. Nazarenko Y., Fournier S., Kurien U., Rangel-Alvarado R.B., Nepotchatykh O. et al. Role of snow in the fate of gaseous and particulate exhaust pollutants from gasoline-powered vehicles. *Environ Pollut*. 2017; 223: 665–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.082>.
26. Malysheva A.G., Rakhmanin YU.A. *Physico-chemical research and methods of controlling substances in environmental health [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: Professional; 2014. 716 p. (in Russian)
27. 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)
28. 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: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.008>.
29. 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: 14–23. (in Russian)
30. 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: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.06.031>.

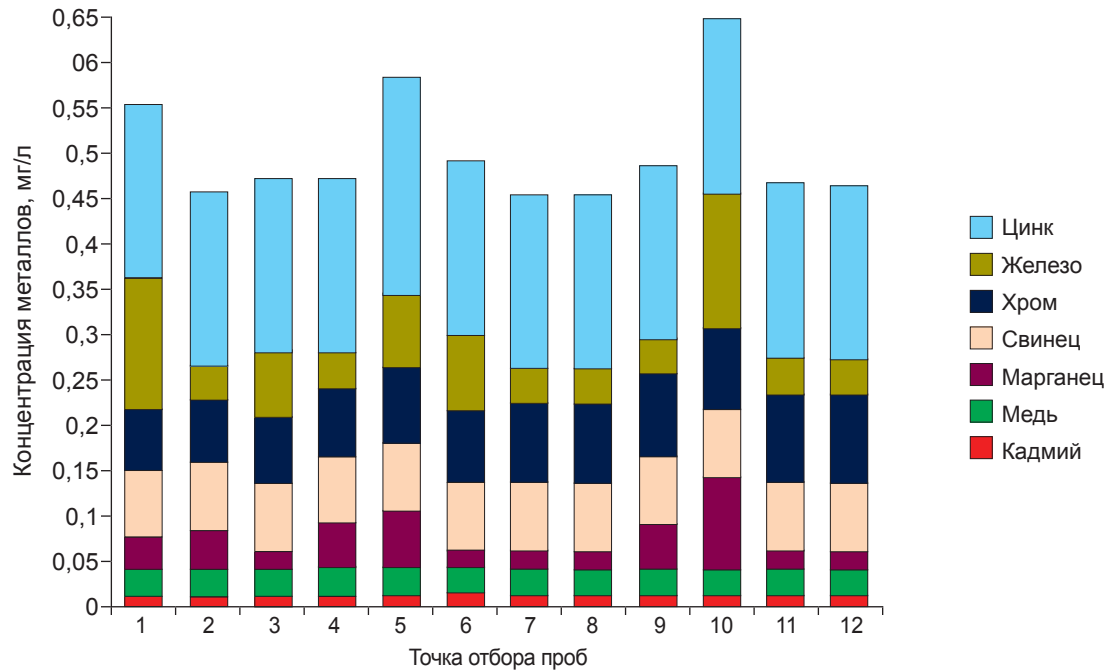


Рис. 1. Содержание металлов в снеговых пробах г. Улан-Удэ.

Точки отбора проб: 1 – ул. 1-я Советская; 2 – Кировский завод; 3 – п. Загорск; 4 – пр-кт Строителей; 5 – Ключевская; 6 – п. Силикатный; 7 – ул. Мерецкова; 8 – ул. Автотранспортная; 9 – пр-кт 50 лет Октября; 10 – ул. Бабушкина; 11 – ул. Революции 1905 года; 12 – РК «Здоровье» (пос. Сотниково).

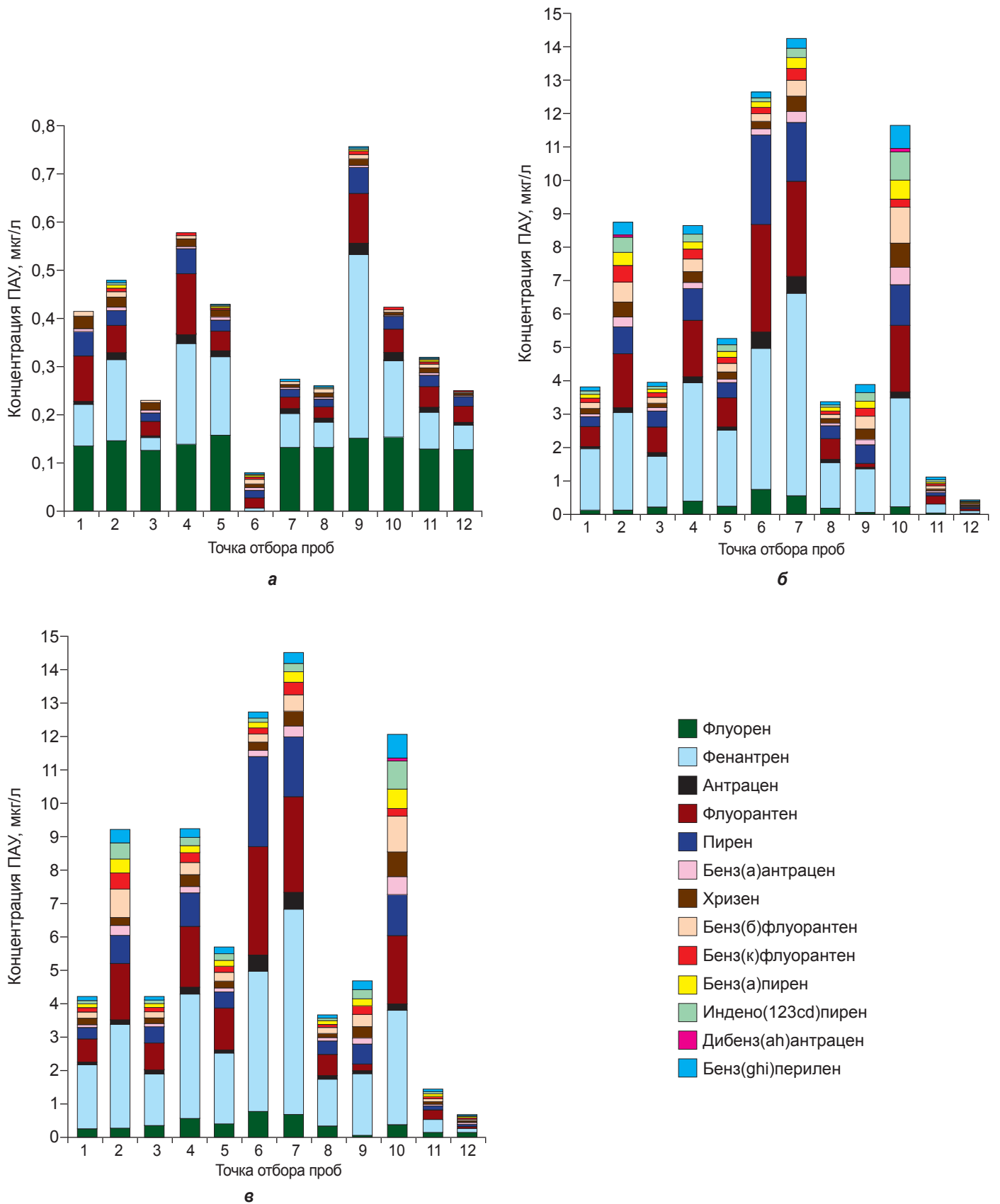


Рис. 2. Содержание полициклических ароматических углеводородов в снеговых пробах г. Улан-Удэ:

а – жидкая фаза; *б* – твёрдый осадок; *в* – сумма ПАУ.

Точки отбора проб: 1 – ул. 1-я Советская; 2 – Кировский завод; 3 – п. Загорск; 4 – пр-кт Строителей; 5 – Ключевская; 6 – п. Силикатный; 7 – ул. Мерецкова; 8 – ул. Автотранспортная; 9 – пр-кт 50 лет Октября; 10 – ул. Бабушкина; 11 – ул. Революции 1905 года; 12 – РК «Здоровье» (пос. Сотниково).