



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

Гигиеническая оценка загрязнения тяжёлыми металлами и органическими соединениями снежного покрова многопрофильного индустриального города

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Одним из ведущих факторов риска для здоровья является загрязнение атмосферного воздуха, которое можно косвенно оценить по содержанию загрязняющих веществ в снеговом и почвенном покрове.

Материалы и методы. Изучены данные об отложениях полициклических ароматических соединений (ПАУ), тяжёлых металлов (ТМ) и нефтяных углеводородов (НУ) в снеге разных функциональных зон агломерации. Применяли физико-химические методы исследований.

Результаты. ΣПАУ обнаружены в пределах от 412,8 до 2843,7 нг/л. Наибольшие концентрации ΣПАУ отмечены в селитебной зоне в сквере (точка 10, 2843,7 нг/л) и на границе санитарно-защитной и селитебной зон в районе станции Южная (точка 3, 1758,2 нг/л). Доля бенз(а)пирена в ΣПАУ составила от 2,9 до 9,7%. Уровни НУ составили 51–117 мкг/л. Различие диапазона величин в наибольшей степени проявлялось по содержанию индивидуальных ПАУ [бенз(а)пирена (в 16,13 раза), антрацена (в 12,05 раза) и бенз(г,х,и)пирена (в 11,56 раза)], ртути (в 17,53 раза), цинка (в 9 раз) и марганца (в 8,58 раза), кадмия (в 1,89 раза), меди (в 1,75 раза) и свинца (в 1,47 раза).

Ограничения исследования. Отбор проб и особенности загрязнения снежного покрова атмосферными выпадениями в динамике зимнего сезона. **Заключение.** Концентрации ПАУ и ТМ имели различный диапазон и имели неоднородный характер пространственного распределения на территории. Обнаружены прямые связи между содержанием бенз(а)пирена и другими полиаренами в снежном покрове.

Ключевые слова: снег; загрязнение атмосферы; полициклические ароматические углеводороды; тяжёлые металлы; нефтяные углеводороды

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Журба О.М., Меринов А.В., Шаяхметов С.Ф., Алексеенко А.Н. Гигиеническая оценка загрязнения тяжёлыми металлами и органическими соединениями снежного покрова многопрофильного индустриального города. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 940–946. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-940-946> <https://elibrary.ru/hvvhcd>

Для корреспонденции: Журба Ольга Михайловна, e-mail: zhurba99@gmail.com

Участие авторов: Журба О.М. — концепция и дизайн исследования, поиск источников литературы, обработка данных, написание текста; Меринов А.В. — сбор данных литературы, лабораторные исследования, статистическая обработка, написание текста; Шаяхметов С.Ф. — концепция и дизайн исследования, организация исследования, редактирование, обсуждение результатов; Алексеенко А.Н. — сбор и обработка материала, полевые работы, лабораторные исследования. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

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

Поступила: 31.07.2024 / Поступила после доработки: 10.09.2024 / Принята к печати: 23.09.2024 / Опубликовано: 16.10.2024

Olga M. Zhurba, Alexey V. Merinov, Salim F. Shayakhmetov, Anton N. Alekseenko

Hygienic assessment of heavy metal and organic compounds pollution in snow cover of a multi-industrial city

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

ABSTRACT

Introduction. One of the leading health risk factors is atmospheric air pollution, the state of which can be indirectly assessed by the content of a wide range of pollutants in snow and soil cover.

Materials and methods. The study analyzed data on deposits of polycyclic aromatic compounds (PAHs), heavy metals (HMs) and petroleum hydrocarbons (PHs) in the snow of different functional zones of the agglomeration. Physicochemical research methods were used.

Results. The content of ΣPAHs was found to range from 412.8 to 2843.7 ng/L. The highest concentrations of ΣPAHs were observed in the residential area in the square (point 10) — 2843.7 ng/L; and on the border of the sanitary protection and residential zones in the area of the Yuzhnaya station (point 3) — 1758.2 ng/L. The share of benzo(a)pyrene (B(a)P) from ΣPAH ranged from 2.9 to 9.7%. PHs levels ranged from 51.0–117.0 µg/L. The difference in the range of fluctuations in values was most evident in the content of individual PAHs: B(a)P (16.13 times), Ant (12.05 times) and B(g,h,i)P (11.56 times), mercury (17.53 times), zinc (9 times) and manganese (8.58 times); metals: cadmium (1.89 times), copper (1.75 times), and lead (1.47 times).

Limitations. Sampling and features of snow cover contamination by atmospheric precipitation in the dynamics of the winter season.

Conclusion. Concentrations of PAHs and HM varied in different ranges of values and had a non-uniform spatial distribution over the territory. Direct links were found between the content of B(a)P and other polyparenes in the snow cover.

Keywords: snow; air pollution; polycyclic aromatic hydrocarbons; heavy metals; petroleum hydrocarbons

Compliance with ethical standards. The study does not require submission of the Biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Zhurba O.M., Merinov A.V., Shayakhmetov S.F., Alekseenko A.N. Hygienic assessment of heavy metal and organic compounds pollution in snow cover of a multi-industrial city. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(9): 940–946. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-940-946> <https://elibrary.ru/hvvhcd> (In Russ.)

For correspondence: Olga M. Zhurba, E-mail: zhurba99@gmail.com

Contribution: Zhurba O.M. — concept and design of the study, literature search, data processing, text writing; Merinov A.V. — collection of literature data, laboratory research, statistical processing, text writing; Shayakhmetov S.F. — concept and design of the study, organization of the study, editing, discussion of results; Alekseenko A.N. — collection and processing of material, field work, laboratory research. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Acknowledgment. The work was performed within the framework of funds allocated for the implementation of the state task East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: July 31, 2024 / Revised: September 10, 2024 / Accepted: September 23, 2024 / Published: October 16, 2024

Введение

В городах с развитой промышленностью остро стоит проблема загрязнения современной урбоэкосистемы, ухудшения состояния биосферы [1, 2], что определяет важность изучения антропогенной контаминации окружающей среды [3, 4]. Приоритетными загрязняющими веществами атмосферы городов, формирующими основной вклад в повышенные уровни риска для здоровья и вызывающими большую тревогу, являются тяжёлые металлы (ТМ) (кадмий, мышьяк, свинец, шестивалентный хром, марганец, медь, железо, цинк, ртуть) [5, 6], нефтяные углеводороды (НУ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [7], способные в сравнительно малых концентрациях оказывать токсическое воздействие на организм [6, 8, 9].

В настоящее время в ряду общих проблем изучения снежного покрова в связи с мониторингом окружающей среды пристальное внимание уделяется закономерностям пространственного распределения снежного покрова и его химического состава [10]. Снеговой покров является эффективным накопителем аэрозольных загрязняющих веществ из атмосферного воздуха и в условиях холодного климата аккумулирует твёрдые атмосферные осадки в виде снега и льда, а также многие загрязняющие вещества, которые в период интенсивного испарения снеговой влаги из-за ветрового переноса поступают в окружающую среду городской агломерации в течение короткого периода после окончания таяния снега [11, 12]. Снеговые осадки — одно из значительных звеньев влагообмена на планете. Снег продолжительное время сохраняется в окружающей среде, испытывает воздействие многомесячной сорбции и десорбции загрязнителей с поверхности, следовательно, даёт возможность определять загрязнения окружающей среды в определённый период [13]. Анализ литературы показал, что атмосферные выпадения исследуются мало по сравнению с химическими характеристиками урбанизированных почв [7, 8, 14–16]. На состояние окружающей среды вблизи промышленных объектов, в том числе рассеивание аэрозольных выпадений примесей, отложение пылевых частиц, содержащих ТМ и ПАУ, оказывают влияние многие источники [6, 11, 17, 18]. Всего лишь один снеговой керн, взятый по всей толще снежного покрова, позволяет получить представительные данные о химическом загрязнении в период от образования устойчивого снежного покрова до момента отбора пробы (максимального снеготалопа). Таяние снеговых масс сопровождается испарением летучих и полунетучих органических соединений и поверхностным стоком органического и неорганического состава загрязняющих веществ антропогенного происхождения, способствующих ухудшению состояния поверхностных вод и подземных водоносных горизонтов агломераций [19]. Снеговой покров является идеальным сорбентом ПАУ как в газообразной форме, так и адсорбированных на твёрдых частицах веществ (древесный уголь, сажа) [20].

В Иркутской области основные источники загрязнения окружающей среды — это крупные предприятия цветной металлургии, нефтепереработки, теплоэнергетики и транспортной инфраструктуры. Ангарск — один из типичных городов, построенных в послевоенные годы на территории Восточной Сибири для развития оборонной промышленности. Градообразующие предприятия нефтехимии и теплоэнергетики функционируют на территории Ангарска с 1945 г. и формируют зоны эмиссии токсикантов из нескольких источников [21]. Население города постоянно увеличивается, поэтому контроль приоритетных загрязнителей в компонентах природно-городских систем приобретает первостепенное значение.

Цель работы — исследование основных физико-химических характеристик и уровня накопления ТМ, ПАУ, НУ в снежном покрове Ангарска.

Материалы и методы

Изучение содержания ТМ, ПАУ, НУ в снежных выпадениях проведено на территории Ангарска — крупного промышленного центра, расположенного в месте впадения р. Китой в Ангару на площади 294 км². Снег исследовали на участках, где сохранился неповреждённый снеговой покров, в конце зимнего периода перед началом подтаивания, до грануляции снега. Пробы отбирали в ёмкости из полиэтилена низкой плотности с помощью пробоотборника. Площадь опробования каждой точки снегового покрова составляла 30 × 30 см и более в зависимости от глубины слоя снега. Пробы отбирали в нескольких функциональных зонах: санитарно-защитной зоне (точка 2, пос. Майск, район бывшего института «Биофизика»; точка 3 — район станции Южная; точка 12 — район железнодорожного вокзала), селитебной (точка 1 — пос. Китой, район старой школы; точка 4 — район сквера «Пионер» возле центрального рынка; точка 5 — Ангарские ворота, район гостиницы «Пушкин»; точка 6 — район около Ангарского лицея № 1; точка 7 — квартал 92/93, район дачного № 67; точка 8 — 11-й микрорайон, район школы № 7; точка 9 — 15-й микрорайон, район школы № 29; точка 10 — сквер за ТРЦ «Фестиваль») и на фоновом участке (точка 11 — район села Большежилкино).

Пробы снега растапливали при комнатной температуре, измеряли pH, минерализацию и удельную электропроводность. Использовали иономер «Мультистест» ИПЛ-211 (Россия) и кондуктометр Hanna DIST (Германия).

Самым информативным компонентом в массе снега служат твёрдые частицы (particulate matter), так как они сорбируют наибольшее количество поллютантов при формировании снегового покрова [22]. Для разделения нерастворимой и растворимой фракций пробы талой воды фильтровали через сверхтонкий стекловолоконный фильтр GFH07047N (размер пор 0,7 мкм) на вакуумной установке. Пробоподготовку основных растворимых форм металлов (Fe, Cd, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb и Ni), извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8, выполняли согласно ПНД Ф 14.1.2:4.139–98¹. Средство измерения — атомно-абсорбционный спектрометр AA DUO Agilent, программное обеспечение SpectrAA. Для построения калибровочных зависимостей применяли ГСО стандартных образцов растворов ионов металлов (Россия). Тип атомизации — пламя, тип пламени — ацетилен/воздух. Диапазон характеристической массы или концентрации для определяемых элементов — 0,011–0,088 мг/л. Расход аналитической пробы — 3–4 мл/мин. Ртуть определяли методом холодного пара согласно ПНД Ф 14.1.2:4.20–95².

В снеговых пробах определяли содержание 17 ПАУ [нафталин (Наф), 2-метилнафталин (2-метилнаф), бифенил (Биф), аценафтилен (Аци), аценафтен (Аце), флуорен (Флу), фенантрен (Фен), антрацен (Ант), флуорантен (Флт), пирен (Пир), бенз(а)антрацен (Б(а)А), хризен (Хри), бенз(б)флуорантен (Б(б)Ф), бенз(к)флуорантен (Б(к)Ф), бенз(а)пирен (Б(а)П), дибенз(а,х)антрацен (Дб(а,х)А) и бенз(г,х,и)перил (Б(г,х,и)П)], из которых 8 (Наф, Ант, Б(а)А, Хри, Б(б)Ф, Б(к)Ф, Б(а)П и Дб(а,х)А) классифицируются Международным агентством по исследованию рака как канцерогены классов 1, 2А, 2В [23]. Использовали газовый хромато-масс-спектрометр Agilent 5975С с жидкостным автосамплером в соответствии с методическими подходами [24], ультразвуковую ванну, водяную баню. Применение

¹ ПНД Ф 14.1.2:4.139–98. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра, кадмия и свинца в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды; 1998 (издание 2010 г.).

² 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 спектроскопии. М.: ФБУ ФЦАО; 2011.

Таблица 1 / Table 1

Основные физико-химические характеристики снежных вод Ангарска

Basic physical and chemical characteristics of melt water in Angarsk

Показатель Index	pH	Минерализация, ppm (мг/л) Mineralization, ppm (mg/L)	Электропроводность, мкС/см Electrical conductivity, µS/cm
Минимум / Minimum	5.1	26.0	33.0
Максимум / Maximum	7.0	79.0	96.0
Среднее / Average	6.4	55.7	66.0
Стандартное отклонение / Standard deviation	0.7	17.6	20.8
Фоновый уровень / Background level	8.1	104.0	124.0

Таблица 2 / Table 2

Содержание ПАУ и нефтяных углеводородов в снежном покрове Ангарска

Content of PAHs and petroleum products in the snow cover of Angarsk

Показатель Index	Минимум Minimum	Максимум Maximum	Среднее Average	Стандартное отклонение Standard deviation	Фоновый уровень Background level
Нафталин Naphthalene	<u>1.4</u> 1.00	<u>10.0</u> 7.14	<u>4.3</u> 3.07	<u>3.3</u> 2.37	1.4
2-метилнафталин 2-methylnaphthalene	<u>4.2</u> 1.00	<u>10.2</u> 2.43	<u>4.9</u> 1.16	<u>1.8</u> 0.43	4.2
Бифенил Biphenyl	<u>5.9</u> 1.00	<u>9.5</u> 1.61	<u>6.3</u> 1.07	<u>1.1</u> 0.19	5.9
Аценафтилен Acenaphthylene	<u>4.1</u> 1.00	<u>8.5</u> 2.07	<u>4.6</u> 1.13	<u>1.3</u> 0.32	4.1
Аценафтен Acenaphthene	<u>6.2</u> 1.00	<u>8.4</u> 1.35	<u>6.4</u> 1.03	<u>0.7</u> 0.11	6.2
Флуорен Fluorene	<u>3.5</u> 1.00	<u>11.9</u> 3.40	<u>5.4</u> 1.56	<u>3.1</u> 0.89	3.5
Фенантрен Phenanthrene	<u>64.9</u> 0.33	<u>273.4</u> 1.40	<u>155.0</u> 0.79	<u>76.2</u> 0.39	194.9
Антрацен Anthracene	<u>4.3</u> 0.17	<u>51.8</u> 2.08	<u>19.6</u> 0.79	<u>13.6</u> 0.55	24.9
Флуорантен Fluoranthene	<u>68.1</u> 0.26	<u>390.0</u> 1.50	<u>201.7</u> 0.77	<u>102.2</u> 0.39	260.2
Пирен Pyrene	<u>37.3</u> 0.20	<u>266.5</u> 1.43	<u>133.0</u> 0.71	<u>71.9</u> 0.39	186.8
Бенз(а)антрацен Benzo(a)anthracene	<u>24.1</u> 0.17	<u>161.9</u> 1.12	<u>72.8</u> 0.51	<u>44.7</u> 0.31	144.3
Хризен Chrysen	<u>33.8</u> 0.20	<u>273.9</u> 1.63	<u>110.9</u> 0.66	<u>70.2</u> 0.42	168.2
Бенз(б)флуорантен Benzo(b)fluoranthene	<u>41.9</u> 0.24	<u>376.8</u> 2.20	<u>133.6</u> 0.78	<u>94.5</u> 0.55	171.2
Бенз(к)флуорантен Benzo(k)fluoranthene	<u>40.7</u> 0.25	<u>395.3</u> 2.46	<u>123.9</u> 0.77	<u>101.0</u> 0.63	160.9
Бенз(а)пирен Benzo(a)pyrene	<u>15.6</u> 0.10	<u>251.6</u> 1.68	<u>86.1</u> 0.57	<u>67.0</u> 0.45	150.0
Дибенз(а,h)антрацен Dibenzo(a,h)anthracene	<u>9.2</u> 0.20	<u>84.2</u> 1.88	<u>27.3</u> 0.61	<u>21.6</u> 0.48	44.9
Бенз(g,h,i)перилен Benzo(g,h,i)perylene	<u>25.1</u> 0.18	<u>290.1</u> 2.11	<u>95.9</u> 0.70	<u>74.0</u> 0.54	137.5
ΣПАУ, нг/л ΣPAHs, ng/L	412.8	2843.7	1191.7	705.1	1669.1
Доля Б(а)П, % Proportion of B(a)P, %	2.9	9.7	6.6	2.0	9.0
Доля 2-3-ядерных ПАУ, % Proportion of 2-3-nuclear PAHs, %	12.4	32.9	19.2	5.8	14.7
Доля 4-6-ядерных ПАУ, % Proportion of 4-6-nuclear PAHs, %	67.1	87.6	80.8	5.8	85.3
Доля канцерогенных ПАУ, % Proportion of carcinogenic PAHs, %	33.6	56.2	46.4	6.0	51.9
ΣК _{Спау} ΣK _{CPAHs}	8.51	26.75	16.69	5.26	—
Нефтяные углеводороды Petroleum hydrocarbons	<u>51.0</u> 0.96	<u>117.0</u> 2.21	<u>88.6</u> 1.67	<u>20.8</u> 0.39	53.0

Примечание. Над чертой — содержание ПАУ (нг/л) и НУ (мкг/л); под чертой — коэффициент концентрации (накопления) (Кс).
Note: Above the line — content of PAHs (ng/L) and NPs (µg/L); below the line — concentration (accumulation) coefficient (Kc).

Таблица 3 / Table 3

Содержание металлов в снежном покрове Ангарска
Metals content in snow cover of Angarsk

Показатель Index	Металл / Metal									Zc
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	
Минимум Minimum	68.0 1.03	50.0 0.70	173.0 0.09	26.0 0.43	56.0 0.93	225.0 1.28	9.0 1.29	30.0 1.20	0.015 1.88	4.83
Максимум Maximum	119.0 1.80	450.0 6.34	642.0 0.34	223.0 3.72	118.0 1.97	331.0 1.88	17.0 2.43	76.0 3.04	0.263 32,88	41.01
Среднее Average	95.4 1.44	126.4 1.78	338.2 0.18	59.7 0.99	84.6 1.41	285.1 1.62	13.2 1.88	57.5 2.30	0.104 13.01	16.62
Стандартное отклонение Standard deviation	12.6 0.19	118.7 1.67	145.8 0.08	54.9 0.92	19.4 0.32	32.8 0.19	2.9 0.42	14.3 0.57	0.090 11.24	12.01
Фоновый уровень Background level	66.0	71.0	1894.0	60.0	60.0	176.0	7.0	25.0	0.008	—

Примечание. Над чертой — содержание металлов (мкг/л); под чертой — коэффициент концентрации (накопления) (Kс).
Note: Above the line — content of metals (µg/L); below the line — concentration (accumulation) coefficient (Kc).

ГХ-МС в режиме мониторинга заданных ионов (selected ion monitoring) позволяет разделять близкие по строению соединения, в том числе изомеры ПАУ, и минимизировать влияние матричных эффектов. Применяли набор стандартов 17 ПАУ (Россия) в ацетонитриле с концентрациями 200 мкг/мл. Результаты исследования проб снега представлены в виде суммы показателей жидкой и твёрдой (осадок) фаз. Оценку загрязнения снегового покрова ТМ, ПАУ и НУ на исследуемой территории проводили с использованием коэффициента концентрации $K_c = C_i / C_f$, где C_i и C_f — фактическая и фоновая концентрация аналита в пробе. Для ТМ применяли дополнительно суммарный показатель загрязнения $Z_c = \sum K_{c_i} - (n - 1)$, где n — число учитываемых элементов. Статистическую обработку проводили с применением программ Microsoft Excel и статистического программного обеспечения Jamovi (version 2.3.2). Корреляции определяли с помощью критерия Спирмана (r_s).

Результаты

Физико-химические характеристики (рН, минерализация и электропроводность), уровни содержания ПАУ, НУ и основных металлов представлены в табл. 1–3. Значения водородного показателя находились в интервале от 5,1 до 8,1 ед. Наибольшее в городской агломерации значение рН (7,0) отмечалось в точках отбора 2, 4, 5 и 7 (санитарно-защитная и селитебная зоны); по минерализации и электропроводности — в точках 12 (73 и 87), 5 (76 и 90) и 2 (79 и 96). Значения электропроводности снеговой талой составляли от 33 до 124 мкСм/см, что во много раз превышает значение электропроводности дистиллированной воды (1,2 мкСм/см). Как видно из табл. 2 и 3, концентрации ПАУ и металлов имели различный диапазон и неоднородный характер пространственного распределения на территории города. Различие диапазона величин (min → max) по содержанию индивидуальных ПАУ в наибольшей степени проявлялось у Б(а)П (в 16,13 раза), Ант (в 12,05 раза) и Б(г,х,и)П (в 11,56 раза), ртут (в 17,53 раза), цинка (в 9 раз) и марганцу (в 8,58 раза), в меньшей — у 2-метилнаф (в 2,43 раза), Аци (в 2,07 раза), Биф (в 1,61 раза), Аце (1,35 раза). Наибольшие показатели индивидуальных ПАУ отмечались в следующих точках отбора проб: нафталин — т. 5 (10 нг/л); 2-метилнаф — т. 12 (10,2 нг/л); Биф — т. 7 (9,5 нг/л); Аци — т. 12 (8,5 нг/л); по Аце — т. 7 (8,4 нг/л); Флу — т. 7 (11 нг/л) и т. 12 (11,9 нг/л); Фен — т. 2 (258,9 нг/л), т. 3 (259,3 нг/л) и т. 10 (273,4 нг/л); Ант — т. 10 (51,8 нг/л); Флт — т. 3 (302,8 нг/л), т. 2 (328,8 нг/л) и т. 10 (390 нг/л); Пир — т. 2 (216,6 нг/л)

и т. 3 (266,5 нг/л); Б(а)А — т. 10 (161,9 нг/л); Хри — т. 10 (273,9 нг/л); Б(б)Ф — т. 10 (376,8 нг/л); Б(к)Ф — т. 10 (395,3 нг/л); Б(а)П — т. 10 (251,6 нг/л); Дб(а,х)А — т. 10 (84,2 нг/л); Б(г,х,и)П — т. 10 (290,1 мкг/кг); по сумме всех ПАУ — в т. 10 (2843,7 нг/л). По НУ наибольшие значения обнаружены в т. 10 (111 мкг/л) и т. 12 (117 мкг/л). Анализ ТМ, присутствующих в снеговых пробах, показал, что наибольшие концентрации отмечались для меди в т. 2 (119 мкг/л), цинка — в т. 5 (450 мкг/л), железа — в т. 5 (642 мкг/л), марганца — в т. 3 (223 мкг/л), хрома — в т. 12 (118 мкг/л), свинца — в т. 10 (329 мкг/л) и т. 12 (331 мкг/л), кадмия — в т. 12 (17 мкг/л), никеля — в т. 9 (72 мкг/л), т. 10 (72 мкг/л) и т. 12 (76 мкг/л); ртути — в т. 6 (0,21 мкг/л), т. 3 (0,218 мкг/л) и т. 5 (0,263 мкг/л). Различие между минимальными и максимальными значениями в наибольшей степени у ртути (в 17,53 раза), цинка (в 9 раз) и марганца (в 8,58 раза), в меньшей — кадмия (в 1,89 раза), меди (в 1,75 раза) и свинца (в 1,47 раза). По величине среднего содержания растворимой фракции снега исследуемые химические элементы располагаются в следующем убывающем порядке (мкг/л) → Hg (0,1) > Cd (12,7) > Ni (54,8) > Mn (59,8) > Cu (92,9) > Zn (121,8) > Pb (276,0) > Fe > (467,8).

Обсуждение

Исследования загрязнения атмосферного воздуха с помощью оценки контаминации снега удобнее проводить на территориях, где снежный покров сохраняется в течение достаточно длительного времени, например, на значительной части территории России [13, 18], регионов Канады [11], Японии [25], Китая [6] и стран Скандинавского полуострова. Ангарск в Восточной Сибири также можно рассматривать как один из регионов урбозокосистем с климатическими особенностями морозного периода, где холодный сезон длится более четырёх месяцев со средней температурой до минус 25 °С. Как показал анализ мониторинговых наблюдений Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, уровень загрязнения атмосферного воздуха Ангарска в 2022–2023 гг. определялся как высокий. Основной вклад в загрязнение атмосферы, определяющий высокий уровень загрязнения, вносит Б(а)П, в больших количествах поступающий в воздух в результате сжигания различных видов топлива. Регистрировались высокие уровни загрязнения Б(а)П (от 1,9 до 9,7 ПДК преимущественно в зимние месяцы), формальдегидом (до 1,1 ПДК), взвешенными веществами (средняя концентрация за год достигала

2,1 ПДК, максимальная разовая — 5,3 ПДК). Содержание ТМ в атмосферном воздухе не превышало допустимых значений ПДК [26].

Водородный показатель (рН) для большинства проб находится в интервале 5,1–8,1 ед. В фоновой пробе 11 (координаты 52.528966, 103.581008) на расстоянии 22 км на юго-запад от нефтехимической промзоны и узла железнодорожного транспорта, имеющих различную техногенную геохимическую специализацию выбросов, рН был равен 8,1, что соответствует щелочной среде, то есть возрастает не только общая минерализация снеготалых вод (104 мг/л), но и происходит их подщелачивание. Изменение фоновых характеристик естественных осадков может происходить преимущественно в результате продолжительного воздействия природных (мощность снегового покрова, микро рельеф, залесённость территории) или антропогенных факторов [27].

Закономерна кислая и слабокислая реакция растаявшего снега (рН 5,1) в точке 12 (координаты 52.550473, 103.911618), расположенной на расстоянии 1,4 км от промзоны в районе железнодорожного вокзала, и в точках 3 и 2 (граница санитарно-защитной и селитебной зоны, рН составлял 6,2 и 7,0 соответственно) вследствие попадания из атмосферы загрязнённых (техногенных) аэрозолей. Чистая равновесная (находящаяся в равновесии с окружающим воздухом) вода при температуре плюс 20 °С имеет электропроводность примерно 1 мкСм/см, а её минерализация (сумма ионов) составляет 0,5 мг/л. Электропроводность является хорошим индикатором при составлении картограмм загрязнения территорий [10]. Отметим, что снежные воды в пределах всей изученной территории имеют высокие показатели электропроводности (в среднем более 66 мкСм/см).

Наибольшие показатели Кс ПАУ отмечены для Наф — т. 8 (5,79), т. 12 (5,93) и т. 5 (7,14), 2-метилнаф — т. 12 (2,43), Биф — т. 7 (1,61), Аци — т. 12 (2,07), Аце — т. 7 (1,35), Флу — т. 7 (3,14) и 12 (3,40), Фен — т. 2 (1,33), 3 (1,33) и 10 (1,4), Ант — т. 10 (2,08), Флт — т. 3 (1,16), т. 2 (1,26) и т. 10 (1,50), Пир — т. 2 (1,16) и т. 10 (1,43), Б(а)А — т. 10 (1,12), Хри — т. 10 (1,63), Б(б)Ф — т. 10 (2,2); Б(к)Ф — т. 10 (2,46), Б(а)П — т. 10 (1,68), Дб(а, h)А — т. 10 (1,88), Б(г, h, i)П — т. 10 (2,11), а по сумме Кс — в т. 5 (21,35) и т. 10 (26,75), по НУ — в т. 10 (2,09) и т. 12 (2,21) (см. табл. 2).

Суммарные содержания ПАУ варьировали по площади исследования в пределах от 412,8 до 2843,7 нг/л. Наибольшие концентрации Σ ПАУ отмечены в селитебной зоне (2843,7 нг/л — сквер за ТРЦ «Фестиваль», т. 10) и на границе санитарно-защитной и селитебной зон (1758,2 нг/л, район станции Южная, т. 3). Вероятно, в т. 10 (сквер за ТРЦ «Фестиваль», координаты 52.502617, 103.838289) формируется единый техногенный поток рассеивания выбросов под воздействием направленным ветровым переносом тепловых воздушных потоков от трёх крупных ТЭЦ. Сумма коэффициентов концентрации (накопления) ПАУ в снеговом покрове на исследуемой территории города возрастает в ряду: Т.6_{8,51} → Т.1_{9,75} → Т.4_{11,55} → Т.2_{16,55} и Т.9_{16,55} → Т.7_{16,61} → Т.8_{18,11} → Т.3_{18,34} → Т.12_{19,50} → Т.5_{21,35} → Т.10_{26,75}.

Наибольшие концентрации НУ в пробах отмечены также в т. 10 (111 мкг/л, сквер за ТРЦ «Фестиваль») и т. 12 (117 мкг/л, район ж/д вокзала). Показатели накопления НУ во всех точках СЗЗ и селитебной зон были выше в 1,11–2,21 раза по сравнению с фоном, за исключением т. 5 селитебной зоны (Ангарские ворота).

Для снегового покрова характерно умеренное загрязнение отдельными ТМ. Также наблюдались существенные различия концентраций многих элементов на площадках наблюдения по сравнению с фоном (в пределах 0,09–32,88 кратного превышения), тем не менее содержание элементов характеризуется большим разбросом. Обнаруженное повышенное содержание подвижных форм железа на фоновом участке (т. 11) связано, вероятно, с метеорологиче-

ским воздействием, перемещением атмосферных аэрозольных масс, трансграничным распространением пылевидных выпадений некоторых ТМ в зимний период (особенно железа по направлению основных ветров от промышленных источников выбросов зоны накопленного вреда в Усолье-Сибирском).

Наибольшие показатели Кс (более 2 единиц) для металлов отмечались у ртути на всех исследуемых участках (2,88–32,88), кроме т. 7, цинка — т. 8 (3,28), т. 5 (6,34), марганца — т. 3 (3,72), кадмия — т. 7 (2,14), т. 9 (2,29), т. 10 (2,29), т. 12 (2,43), никеля — во всех точках отбора (2,04–3,04), кроме т. 1, 2 и 4. По показателю суммарного загрязнения (Zc) снега наибольшее значение отмечалось в селитебной и на границе санитарной и селитебной зон: в точках 6 (28,71), 3 (31,52) и 5 (41,01), а наименьшие — в точках 7 (4,83) и 4 (5,2).

В целом для концентраций ПАУ и ТМ и физико-химических показателей территории Ангарска характерен мозаичный разброс данных, что свидетельствует о значительном влиянии локального фактора на формирование загрязнения снегового покрова. Необходимо учитывать и вклад климатического фактора. В исследованиях экологической обстановки Иркутской области (Ангарск, Иркутск, Шелехов) было определено, что на этом участке формируется единый техногенный поток рассеивания примесей от Ангарска по направлению основных ветров через Иркутск и до Байкала [28]. Все природные и антропогенные источники загрязнения воздуха действуют непрерывно, и большая часть территории Восточной Сибири относится к районам высокого потенциального загрязнения атмосферы, что было отмечено ранее [17, 21]. На рассеивание примесей влияют планировка улиц, тип застройки, сочетание и повторяемость неблагоприятных метеорологических условий (приземные инверсии, относительная влажность, направление ветра, температура воздуха и атмосферное давление). Безветренная погода способствует скоплению вредных частиц и увеличивает риск неблагоприятного воздействия на здоровье жителей города.

Заключение

Явления, наблюдаемые в снежном покрове, могут косвенно отражать фактическое состояние атмосферы. Атмосферный воздух загрязняется пылью, сажей, сернистым газом, продуктами фотохимических реакций, а также специфическими для каждой агломерации веществами. Как показали наши исследования, на границе СЗЗ и селитебной зон (точки 2, 3, 12), в зоне непосредственной близости к промышленному узлу формируются очаги загрязнения, связанные как с переносом парогазовых выбросов из промышленных источников (конкретных предприятий), так и с воздействием примесей, образующихся при сгорании топлива.

Показатели суммарного загрязнения (Zc) металлами снегового покрова исследуемой территории находились на низком уровне (4,83–41,01). Наибольшие значения отмечены в районе Ангарского лицея № 1 (28,71, точка 6), вблизи станции Южная (31,52, точка 3) и Ангарских ворот (41,01, точка 5), в районе гостиницы «Пушкин» (41,01, точка 10).

Корреляционный анализ показателей бенз(а)пирена и других полиаренов установил достоверные ($p < 0,05$) сильные связи между бенз(а)пиреном и фенантреном ($r_s = 0,87$), антраценом ($r_s = 0,88$), флуорантеном ($r_s = 0,92$), пиреном ($r_s = 0,9$), бенз(а)антраценом ($r_s = 0,95$), хризеном ($r_s = 0,9$), бенз(б)флуорантеном ($r_s = 0,9$), бенз(к)флуорантеном ($r_s = 0,88$), дибенз(аh)антраценом ($r_s = 0,85$) и бенз(ghi)периленом ($r_s = 0,94$). Также была обнаружена достоверная обратная корреляция между значениями водородного показателя и хрома ($r_s = -0,63$), водородного показателя и никеля ($r_s = -0,68$).

Литература

(п.п. 6, 7, 11, 12, 16, 20, 23, 25 см. References)

1. Тикунов В.С., Белоусов С.К. Интегральная характеристика качества атмосферного воздуха городов Европы. *Теоретическая и прикладная экология*. 2023; (1): 47–55. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-047-055> <https://elibrary.ru/xjckrb>
2. Ефимова Н.В., Рукавишников В.С. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-998-1003> <https://elibrary.ru/aaobc>
3. Валеев Т.К., Рахманин Ю.А., Сулейманов Р.А., Малышева А.Г., Гимранова Г.Г., Рахматуллин Н.Р. и др. Характеристика риска для здоровья населения нефтедобывающего региона в связи с факторами среды обитания. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1310–16. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316> <https://elibrary.ru/nsedml>
4. Бондаревич Е.А., Коцюринская Н.Н., Лескова О.А., Михайлова Л.А., Самойленко Г.Ю. Мониторинг уровня загрязнения атмосферного воздуха по накоплению химических элементов в талой воде снежного покрова. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(8): 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53> <https://elibrary.ru/tkwkxf>
5. Еременко К.В., Зубкова В.М., Пугачева Т.Г., Арсланбекова Ф.Ф. Распределение тяжелых металлов (ТМ) в деполирующих средах в зоне влияния автомагистралей СВАО и ЮЗАО города Москвы. *Естественные и технические науки*. 2024; (1): 120–9. <https://doi.org/10.25633/ETN.2024.01.12> <https://elibrary.ru/auupjw>
6. Трифонова Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г., Курбатов Ю.Н., Ростунов А.О. Оценка эпидемиологического риска для здоровья и загрязнения литейным производством почв малого города. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(2): 172–81. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-172-181> <https://elibrary.ru/kjgiop>
7. Шаяхметов С.Ф., Алексеев А.Н., Меринов А.В., Журба О.М. Исследование индикатора воздействия ПАУ 1-гидрокси-пирена в моче у работников алюминиевого завода в Восточной Сибири. *Якутский медицинский журнал*. 2022; (3): 50–2. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2022.79.13> <https://elibrary.ru/zlhgag>
8. Вартанов А.Н., Богатырев Л.Г., Кузнецов В.А., Земсков Ф.И., Жилин Н.И., Телеснина В.М. и др. Особенности распределения и состава снежного покрова в пределах ландшафтов на территории УОПЭЦ МГУ «Чашниково». *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2024; 79(2): 46–62. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-46-62> <https://elibrary.ru/gvdktt>
9. Пономарева Е.М., Осинкина Т.В., Кольчугина Г.Ф. Снег как индикатор загрязнения окружающей среды города Магнитогорска: оценка количественного содержания токсикантов. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2023; (6): 29–33. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.06.29> <https://elibrary.ru/qpydjo>
10. Шацкая С.С., Красовская А.Ю., Сторожко И.В., Удальцов Е.А. Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах зоны влияния Новосибирского оловянного комбината. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2020; 28(5): 501–7. <https://doi.org/10.15372/KhUR20202560> <https://elibrary.ru/qtdzis>
11. Напрасникова Е.В. Экологическое состояние почв индустриального города Усолье-Сибирское. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(6): 68–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-6-68-71> <https://elibrary.ru/xecvpw>
12. Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф. Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(12): 1443–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449> <https://elibrary.ru/bpwylyc>
13. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова предприятиями черной металлургии. *Экология и промышленность России*. 2022; 26(8): 59–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-59-65> <https://elibrary.ru/hbnoea>
14. 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. <https://elibrary.ru/pjgder>
15. Журба О.М., Меринов А.В., Шаяхметов С.Ф., Алексеев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды и нефтепродукты в пробах почв территории городской застройки Восточной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(12): 1281–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1281-1285> <https://elibrary.ru/jdkfwr>
16. Темерев С.В. *Микроэлементы в поверхностных водах бассейна Оби*. Барнаул; 2006. <https://elibrary.ru/qkfytf>
17. Крылов А., Лопушинская Е., Александрова А., Конопелько Л. Определение полиароматических углеводородов методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением (ГХ/МС/ИР). *Аналитика*. 2012; (3): 6–17.
18. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2022 году». Иркутск; 2023.
19. Свистов П.Ф., Полищук А.И. Атмосферные осадки над городами и регионами России. *Природа*. 2014; (3): 28–36. <https://elibrary.ru/qjjesp>
20. Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С. и др. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов. Новосибирск: Наука; 2010. <https://elibrary.ru/sgmwxw>

References

1. Tikunov V.S., Belousov S.K. Integral classification of air quality in European cities. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2023; (1): 47–55. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-047-055> <https://elibrary.ru/xjckrb> (in Russian)
2. Efimova N.V., Rukavishnikov V.S. Assessment of air pollution based on the analysis of long-term observations in the city of Bratsk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-998-1003> <https://elibrary.ru/aaobc> (in Russian)
3. Valeev T.K., Rakhmanin Yu.A., Suleimanov R.A., Malysheva A.G., Gimranova G.G., Rakhmatullin N.R., et al. Characteristics of the risk to the health of the population of the oil-producing region associated with environmental factors. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1310–16. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1310-1316> <https://elibrary.ru/nsedml> (in Russian)
4. Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Leskova O.A., Mikhailova L.A., Samoilenko G.Yu. Monitoring the level of the air contamination by chemical elements impoundment in the snow melt of the snow blanket. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021; 25(8): 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53> <https://elibrary.ru/tkwkxf> (in Russian)
5. Eremenko K.V., Zubkova V.M., Pugacheva T.G., Arslanbekova F.F. Distribution of heavy metals (hm) in depositing areas of influence of the highways of the northeastern administrative district and southwestern administrative district of Moscow. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2024; (1): 120–9. <https://doi.org/10.25633/ETN.2024.01.12> <https://elibrary.ru/auupjw> (in Russian)
6. Han Q., Wang M., Xu X., Li M., Liu Y., Zhang C., et al. Health risk assessment of heavy metals in road dust from the fourth-tier industrial city in central China based on Monte Carlo simulation and bioaccessibility. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2023; 252: 114627. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114627>
7. Akter R., Akbor M.A., Bakar Siddique M.A., Shammi M., Rahman M.M. Occurrence and health risks assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust and soil samples at Dhaka city, Bangladesh. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2023; 7: 100304. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100304>
8. Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G., Kurbatov Yu.N., Rostunov A.O. Assessment of the epidemiological health risk of foundry contamination of small town soils. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(2): 172–81. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-172-181> <https://elibrary.ru/kjgiop> (in Russian)
9. Shayakhmetov S.F., Alekseenko A.N., Merinov A.V., Zhurba O.M. Study of 1-hydroxypyrene PAH exposure in urine of workers of the aluminum smelter in Eastern Siberia. *Yakutskii meditsinskii zhurnal*. 2022; (3): 50–2. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2022.79.13> <https://elibrary.ru/zlhgag> (in Russian)
10. Vartanov A.N., Bogatyrev L.G., Kuznetsov V.A., Zemskov F.I., Zhilin N.I., Telesnina V.M., et al. Features of the distribution and composition of snow cover within the landscapes of Chashnikovo. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2024; 79(2): 46–62. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-46-62> <https://elibrary.ru/gvdktt> (in Russian)
11. Arciszewski T.J. A re-analysis and review of elemental and polycyclic aromatic compound deposition in snow and lake sediments from Canada's Oil Sands Region integrating industrial performance and climatic variables. *Sci. Total Environ.* 2022; 820: 153254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153254>
12. Kozhevnikov A.Yu., Shutskiy N.A., Shestakov S.L., Malkov A.V., Lahmanov D.E. Dynamics of pollutants accumulation in the snow of an urban agglomeration. *Polar Sci.* 2024; 101072. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2024.101072>
13. Ponomareva E.M., Osinkina T.V., Kol'chugina G.F. Snow as an indicator of environmental pollution in the city of Magnitogorsk: evaluation of the quantitative content of toxicants. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2023; (6): 29–33. (in Russian)
14. Shatskaya S.S., Krasovskaya A.Yu., Storozhko I.V., Udaltsov E.A. Analysis of the content of mobile forms of heavy metals in soil in the areas affected by the Novosibirsk tin plant. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2020; 28(5): 501–7. <https://doi.org/10.15372/CSD20202560> <https://elibrary.ru/ruvjwa> (in Russian)
15. Naprasnikova E.V. The ecological state of the soils of the industrial city of Ussolye-Sibirskoye. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021; 25(6): 68–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-6-68-71> <https://elibrary.ru/xecvpw> (in Russian)

16. Zhang Y., Chen H., Liu C., Chen R., Wang Y., Teng Y. Developing an integrated framework for source apportionment and source-specific health risk assessment of PAHs in soils: Application to a typical cold region in China. *J. Hazard Mater.* 2021; 415: 125730. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125730>
17. Lisetskaya L.G., Shayakhmetov S.F. Assessment of the level of pollution of the snow cover with chemical compounds and elements in the territory of the Shelekhov district in eastern Siberia. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(12): 1443–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449> <https://elibrary.ru/bpwylc> (in Russian)
18. Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dementeva N.V., Novikova N.V. Comparative assessment of heavy metal pollution of snowpack by iron and steel foundries. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022; 26(8): 59–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-59-65> <https://elibrary.ru/hbnoea> (in Russian)
19. 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. <https://elibrary.ru/pjqder> (in Russian)
20. Riboni N., Amorini M., Bianchi F., Pedrini A., Pinalli R., Dalcanele E., et al. Ultra-sensitive solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in snow samples using a deep cavity BenzoQxCavitand. *Chemosphere*. 2022 303(Pt. 2): 135144. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135144>
21. Zhurba O.M., Merinov A.V., Shayakhmetov S.F., Alekseenko A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons and petroleum products in soil samples of urban areas in eastern Siberia. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(12): 1281–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1281-1285> <https://elibrary.ru/jdkfwr> (in Russian)
22. Temerev S.V. *Trace Elements in Surface Waters of the Ob Basin [Mikroelementy v poverkhnostnykh vodakh basseina Obi]*. Barnaul; 2006. <https://elibrary.ru/qkfytf> (in Russian)
23. IARC. Monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans. Available at: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>
24. Krylov A., Lopushinskaya E., Aleksandrova A., Konopel'ko L. Definition of polyaromatic hydrocarbons by the method of gas chromatography-mass-spectrometry with isotope dilution (GC/MS/IR). *Analitika*. 2012; (3): 6–17. (in Russian)
25. Yamamoto Y., Oka K., Tokoro S., Nishii N., Kikuchi Y., Nishimoto J., et al. Investigation of the concentration ratios of anthropogenic metal elements in fresh snow at mountain area as a tracer for the discrimination between short- and long-range transport contributions. *Anal. Sci.* 2023; 39(5): 679–87. <https://doi.org/10.1007/s44211-022-00261-w>
26. State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2022». Irkutsk; 2023. (in Russian)
27. Svistov P.F., Polishchuk A.I. Atmospheric precipitations over Russian cities and regions. *Priroda*. 2014; (3): 28–36. <https://elibrary.ru/qjjeen> (in Russian)
28. Nechaeva E.G., Belozertseva I.A., Naprasnikova E.V., Vorobeva I.B., Davydova N.D., Dubynina S.S., et al. *Monitoring and Forecasting of the Substance-Dynamical State of Geosystems in the Siberian Regions [Monitoring i prognozirovaniye veshchestvenno-dinamicheskogo sostoyaniya geosistem Sibirskikh regionov]*. Novosibirsk: Nauka; 2010. <https://elibrary.ru/sgmwxd> (in Russian)

Сведения об авторах

Журба Ольга Михайловна, доктор биол. наук, вед. науч. сотр., зав. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: zhurba99@gmail.com

Меринов Алексей Владимирович, канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: alek-merinov@mail.ru

Шайхметов Салим Файзыевич, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: salimf53@mail.ru

Алексеенко Антон Николаевич, канд. хим. наук, ст. науч. сотр. лаб. аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: alexeenko85@mail.ru

Information about the authors

Olga M. Zhurba, MD, PhD, DSci., leading researcher, head of the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408> E-mail: zhurba99@gmail.com

Alexey V. Merinov, MD, PhD, researcher of the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432> E-mail: alek-merinov@mail.ru

Salim F. Shayakhmetov, MD, PhD, DSci., professor, leading researcher of the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133> E-mail: salimf53@mail.ru

Anton N. Alekseenko, MD, PhD, senior researcher of the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304> E-mail: alexeenko85@mail.ru