

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.42

Д.В. Московченко¹, Р.Ю. Пожитков², А.Н. Курчатова^{3,4}, Р.И. Тимшанов⁵

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ТЮМЕНИ

В статье изложены результаты исследований снежного покрова г. Тюмень (Западная Сибирь), отражающие его геохимические особенности за зимний период 2019–2020 гг. На территории города и прилегающих фоновых участках проведена оценка пылевой нагрузки, определены физико-химические показатели снеготалых вод, оценено содержание макро- и микроэлементов в твердофазных выпадениях и вычислены показатели имиссии. Фоновое содержание нерастворимых частиц в снеге варьировало от 4,1 до 10,9 мг/л, пылевая нагрузка составила 5,5 мг/м² в сутки и была на среднем уровне по сравнению с незагрязненными участками в Томской, Новосибирской и Омской областях. В городе отмечено значительное подщелачивание снеготалых вод (в среднем на 1,6 ед. pH), рост их минерализации и увеличение пылевой нагрузки в среднем до 20 мг/м² в сутки. Величина пылевой нагрузки варьирует от 5,4 до 94 мг/м² в сутки. По этому показателю Тюмень уступает городам с более интенсивным промышленным производством. Повышенное содержание ионов Na⁺ и Cl⁻ выявлено вблизи основных автодорог, где под влиянием противогололедных реагентов гидрокарбонатно-кальциевые воды переходят в гидрокарбонатно-натриевые и хлоридно-натриевые. Подсчеты коэффициентов концентрации показали, что в ассоциацию элементов-загрязнителей в Тюмени входят Mn, Ni, Co, W, Sb, Cr, Cd, Pb и Cu. Вблизи автодорог в твердофазных выпадениях повышено содержание Ni, Co, Mn, W. Высокое содержание свинца, в 37 раз превышающее фоновый уровень, отмечено вблизи аккумуляторного завода. В зоне одноэтажной застройки повышено содержание Cd, что связано со сжиганием бытовых отходов и печным отоплением. Подсчеты показателей суммарного загрязнения и имиссии показали, что при высоком содержании металлов и металлоидов в твердофазной составляющей общий поток поллютантов невелик из-за относительно небольшой пылевой нагрузки.

Ключевые слова: твердые частицы аэрозолей, тяжелые металлы, выпадения, суммарное загрязнение

Введение. Экологическая оценка состояния городской среды является важной научной и практической задачей, в особенности для городов с большой численностью населения и разнообразными источниками загрязнения. В Сибири одним из крупнейших городов является Тюмень, которая развивалась, прежде всего, как административный и научно-производственный центр освоения нефтегазовых ресурсов. Город длительное время не знал проблем с загрязнением среды в таком масштабе, в каком их испытывали многие другие города России, особенно вокруг металлургических и химических предприятий [Гусейнов, 2001]. Однако постоянный рост численности населения и увеличение транспортной нагрузки привели к усилению количества вредных выбросов. Исследования выявили загрязнение почв Тюмени тяжелыми металлами [Московченко, 1998; Гусейнов, 2001], нефтепродуктами и бенз(а)пиреном [Гусейнов и др., 2000], полициклическими ароматическими углеводородами [Konstantinova et al., 2019].

Для изучения атмосферных выпадений поллютантов часто используют снежный покров. В Сибири продолжительность залегания снега составляет 5–9 месяцев, что позволяет объективно проанализировать особенности поступления загрязнителей. В Тюмени было установлено формирование в снежном покрове положительных геохимических аномалий Mn, Cr, Ni, Pb, V [Гусейнов и др., 1997]. Позднее в снеготалых водах выявлены аномалии Pb и Zn, [Гарманова, Ларина, 2012], Pb и Cr [Гайнутдинова и др., 2018]. Все промышленные зоны Тюмени были отнесены к территориям с высокой степенью загрязнения пылеаэрозолями и тяжелыми металлами [Гарманова, Ларина, 2012]. По данным, приведенным в обобщающем исследовании экологической ситуации в городах России, в настоящее время Тюмень относится к городам с критическим уровнем антропогенного воздействия [Регионы и города..., 2014].

Несмотря на значительное число исследований, геохимические характеристики снежного покрова

¹ Тюменский государственный университет, Институт криологии и криософии; Тюменский научный центр СО РАН; докт. геогр. н., вед. науч. с.; e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

² Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, мл. науч. с.; e-mail: pozhitkov-roma@yandex.ru

³ Тюменский научный центр СО РАН, Институт криосферы Земли, канд. геол.-минерал. н., ст. науч. с.

⁴ Тюменский индустриальный университет, доцент; e-mail: kanni@isogu.ru

⁵ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Западно-Сибирский филиал, Лаборатория физико-химических методов исследований, зав. лабораторией, канд. геол.-минерал. н.; e-mail: TimshanovRI@ipgg.sbras.ru

Тюмени требуют уточнения и детализации. В последнее десятилетие существенно выросла численность населения, составившая на 1 января 2020 г. 807,4 тыс. человек [Население..., 2020], увеличилась площадь города за счет строительства новых жилых микрорайонов, возросло число единиц автотранспорта, были проложены новые транспортные развязки, что изменило характер атмосферных выпадений.

В начале 2020 г. нами было проведено изучение геохимических свойств снежного покрова Тюмени и прилегающей условно-фоновой территории. Поскольку формирование техногенных потоков и ореолов рассеяния во многом связано с характером распределения твердых взвешенных частиц [Геохимия..., 1990], основное внимание было уделено твердофазной составляющей.

В исследовании были поставлены следующие задачи:

- определить интенсивность выпадения пыле-аэрозолей на территории Тюмени;
- установить ассоциацию химических элементов-загрязнителей в твердофазных выпадениях и оценить количество поллютантов;
- оценить экологическую ситуацию.

Объект исследований. Тюмень расположена в юго-западной части Западно-Сибирской равнины, в подзоне подтайги. Устойчивый снежный покров залегает в среднем пять месяцев, с 8 ноября по 9 апреля [Научно-прикладной..., 1998]. В холодный период года преобладают ветры южного и западного направлений, вследствие чего происходит перенос загрязнителей на север и северо-восток. Не был исключением и зимний период 2019–2020 гг., в течение которого наблюдалось отчетливое доминирование ветров южного, юго-западного, юго-юго-западного румбов.

В Тюмени отсутствует четкое функциональное зонирование территории. Промышленные и селитебные зоны, территории общественно-деловой застройки и рекреационные участки расположены мозаично в пределах города. Существующее функциональное состояние территории не сбалансировано: районы, занятые жилой застройкой, достаточно обширны, а площади зеленых насаждений значительно ниже нормативных [Германова, Керножитская, 2016]. Количество промышленных объектов с 1990-х гг. сократилось, поскольку многие производства прекратили существование. Промышленные зоны были застроены торгово-развлекательными центрами, предприятиями сферы обслуживания и жилыми кварталами. Один из главных загрязнителей – аккумуляторный завод – вынес «горячее» производство за пределы Тюмени. В настоящее время промышленные объекты тяготеют к периферии селитебной территории. В Тюмени функционируют предприятия машиностроения, приборостроения и металлообработки (заводы Сибнефтемаш, машиностроительный, моторный, медицинского оборудования, судостроительно-судоремонтный, металлоконструкций), строительного комплекса (завод бетон-

ных изделий, Тюменский ЖБИ), энергетики (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2).

Неоднократно отмечалась доминирующая роль транспорта в формировании ореолов загрязнения Тюмени тяжелыми металлами [Германова, Ларина, 2012; Гайнутдинова и др., 2018]. В городе эксплуатируется свыше 350 тыс. транспортных средств. Выбросы автотранспорта составляют более 80% валовых выбросов загрязняющих веществ, поступающих в его атмосферу [Крестьянникова и др., 2015]. Транспортная нагрузка максимальна в центральной части города, где интенсивность прохождения автотранспортного потока достигает 8,1 тыс. единиц в час [Германова, Керножитская, 2014].

Роль межрегионального атмосферного переноса поллютантов изучена недостаточно. Высказывались предположения о влиянии промышленных центров Урала на загрязнение снежного покрова Тюмени и окрестностей [Боев, Лежнина, 2012], однако исследований, подтверждающих процесс межрегионального переноса, не проводилось.

Материалы и методы. Пробы снега были отобраны 18–21 февраля 2020 г. при установлении температуры воздуха близкой к 0°C. Средняя дата разрушения устойчивого снежного покрова в Тюмени значительно более поздняя – 9 апреля [Научно-прикладной..., 1998]. Однако температурный режим зимы 2019–2020 гг. был аномальным, в январе и феврале наблюдались кратковременные оттепели, поэтому сроки снегомерной съемки и геохимического опробования были перенесены на более ранние даты. Количество осадков, выпавшее за период ноябрь–февраль, составило 106 мм [Архив..., 2020], что несколько выше среднееголетнего значения 91 мм [Научно-прикладной..., 1998].

Исследования проводились по общепринятой методике [Методические рекомендации..., 1982; Экогеохимия..., 1995]. Смешанные пробы отбирали весовым снегомером на территории города и на фоновых участках, удаленных от него на расстоянии 20–35 км в западном и юго-западном направлениях. Учитывая преобладающее южное направление ветра, расположение фоновых участков исключало поступление загрязнителей из Тюмени. Схема опробования приведена на рис. 1.

При отборе проб определяли мощность покрова, плотность снега и влагозапас. Пробы помещали в пластиковые контейнеры с крышкой, предварительно промытые дистиллированной водой, и доставляли в химико-экологическую лабораторию Института экологии и рационального природопользования ТюмГУ. Всего было отобрано 50 проб на территории Тюмени и 11 – на фоновых участках.

Таяние снега происходило при комнатной температуре. В талых пробах измеряли величину pH с использованием ионометров HI83141 и HydroMaster HM-500. Минерализацию и электропроводность определяли с помощью кондуктометра COM-100. Затем пробы были профильтрованы через беззольные нитроцеллюлозные фильтры (Millipore) с размером пор 0,45 мкм. Массу пыли на фильтре

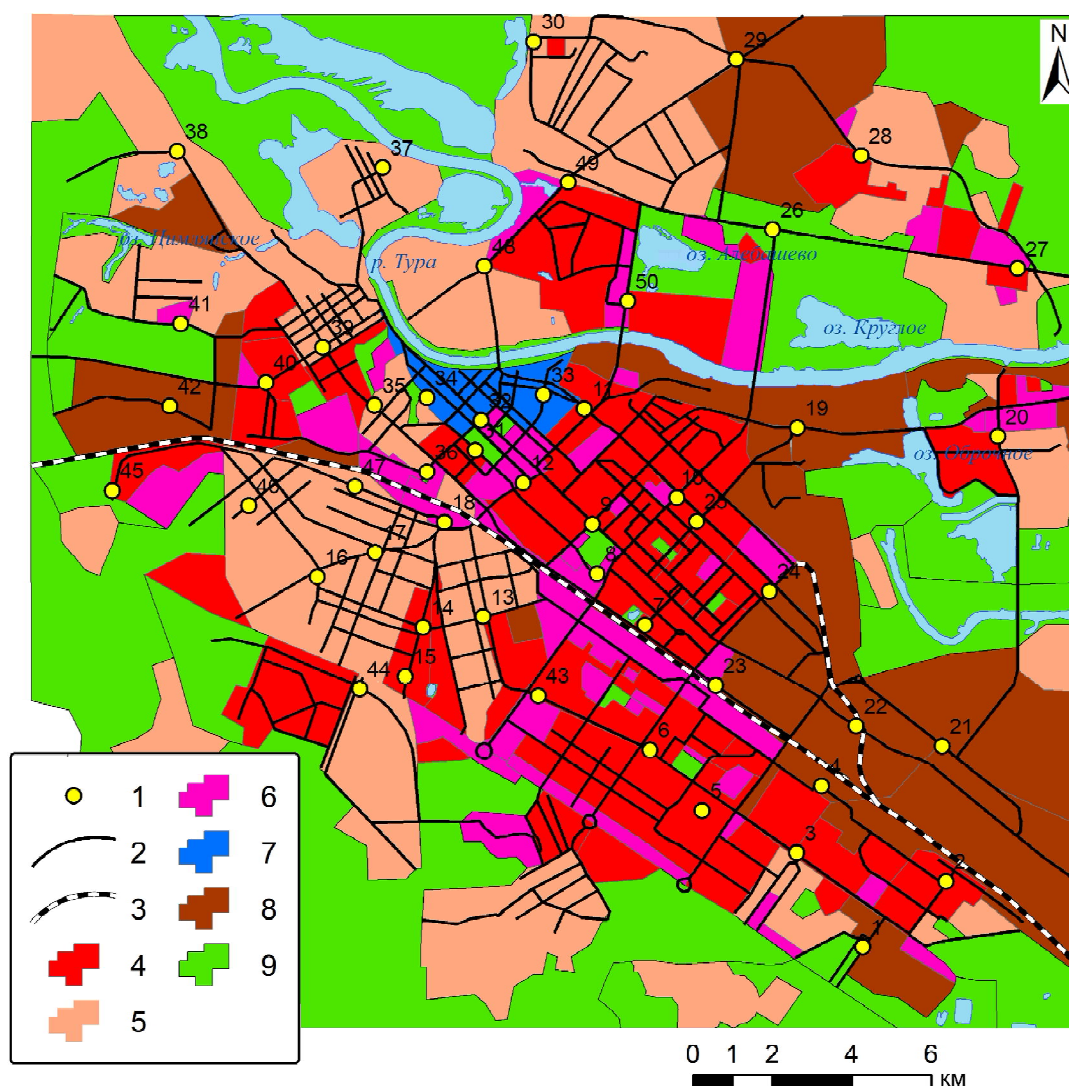


Рис. 1. Схема опробования: 1 – точки отбора проб снега; 2 – основные автодороги; 3 – железная дорога; 4 – зона многоэтажной застройки; 5 – зона жилой и нежилой малоэтажной застройки; 6 – общественно-деловая зона; 7 – зона историко-культурного центра; 8 – зона промышленного и коммунально-складского назначения; 9 – зона рекреации, городских лесов и зеленых насаждений

Fig. 1. The sampling scheme: 1 – snow sampling sites; 2 – main roads; 3 – railway; 4 – multi-storey residential area; 5 – residential and non-residential low-rise area; 6 – public and business zone; 7 – historic centre; 8 – industrial and municipal-storage zone; 9 – recreation zone, urban forests and green spaces

после высушивания определяли путем взвешивания на лабораторных аналитических весах с дискретностью 0,1 мг.

Элементный состав твердофазных выпадений определен в аналитическом сертификационном испытательном центре ИПТМ РАН (г. Черноголовка). Содержание микро- и макроэлементов, включая тяжелые металлы и металлоиды (ТММ), определяли с использованием методов атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP-AES) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). В 20 пробах фильтрата были определены основные ионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- методом ионной хроматографии, HCO_3^{2-} титрованием). Также проанализировано содержание фосфатов, аммонийного и нитратного азота (ионная хроматография), нитритов (фотометрический метод). Электронно-

зондовый микроанализ сухого остатка снеготалых вод был выполнен на электронном микроскопе ТМ3000.

Для оценки геохимических свойств пылевых выпадений были подсчитаны кларки концентрации (КК) и рассеяния (КР). При подсчетах были использованы значения кларков элементов в верхней части континентальной земной коры, использованные при анализе геохимических свойств снежного покрова восточной Москвы [Касимов и др., 2016], и объединяющие величины, полученные различными исследователями в последние десятилетия. Для тех элементов, значения кларков которых в указанной работе отсутствовали, были использованы кларки по Григорьеву [2009]. Пылевую нагрузку P_n определяли по формуле:

$$P_n = m/(ST), \quad (1)$$

где m – масса пыли на фильтре, S – суммарная площадь отбора проб, T – временной интервал в сутках между моментом опробования и датой установления устойчивого снежного покрова. Зимой 2019–2020 гг. постоянный снежный покров установился 13 ноября, продолжительность залегания снега до опробования составила в среднем 103 дня.

Затем была подсчитана масса каждого элемента, поступающего на поверхность снежного покрова (мг/км² в сутки)

$$D = PnC, \quad (2)$$

где C – концентрация элемента во взвеси, мг/кг.

Экологическая оценка проводилась путем вычисления следующих показателей:

– коэффициентов концентрации элементов

$$K_c = C/C_{\phi}, \quad (3)$$

где C – концентрация элемента во взвеси в городе, C_{ϕ} – концентрация на условно-фоновой территории;

– коэффициентов превышения выпадений над фоном

$$K_d = D/D_{\phi}, \quad (4)$$

где D и D_{ϕ} – масса элемента, поступающего на поверхность снежного покрова в городе и на условно фоновой территории, соответственно;

– суммарного показателя загрязнения

$$Zc = \sum Kc - (n - 1); \quad (5)$$

– показателя имиссии элементов

$$Zd = \sum Kd - (n - 1), \quad (6)$$

где n – число химических элементов с Kc или $Kd > 1,5$.

При подсчете Kc и Kd были использованы данные о 26 элементах: Hg, Pb, Zn, Cd, As (1-й класс опасности), Ni, Co, Cr, Cu, Mo, Sb (2-й класс опасности), Mn, Ba, V, W, Sr (3-й класс опасности) и элементы с высокими значениями Kd – Ti, Fe, Sc, Bi, Zr, Li, Y, Th, Be, Sn. Уровень загрязнения и экологической опасности оценивался по следующей градации (табл. 1).

Для оценки пространственного распределения загрязнителей и обобщающих показателей аэротехногенной нагрузки (Pn , Zd , Zc) по территории города использовалось программное обеспечение ArcGIS 10.6.1, в котором с помощью инструментов интерполяции раstra (метод обратновзвешенных расстояний) были созданы схемы изолиний.

Результаты и обсуждение. Физические характеристики снежного покрова и значения пылевой нагрузки представлены в табл. 2. На территории города высота снежного покрова в среднем составила 26 см, что существенно меньше показателей условно-фоновых участков, где средняя мощность равна 41 см. Плотность снега, напротив, была выше в городе, что свидетельствует о более высоких тем-

Таблица 1

Уровни загрязнения снежного покрова металлами и пылью и соответствующие им градации экологической опасности [Касимов и др., 2012]

Уровень загрязнения и экологической опасности	Суммарный показатель загрязнения снега Zc	Пылевая нагрузка Pn , кг/км ² в сутки	Суммарный показатель имиссии Zd
Низкий, неопасный	<32	<200	<1000
Средний, умеренно опасный	32–64	200–300	1000–2000
Высокий, опасный	64–128	300–500	2000–4000
Очень высокий, очень опасный	128–256	500–800	4000–8000
Максимальный, чрезвычайно опасный	>256	>800	>8000

Таблица 2

Физические характеристики снежного покрова и показатели пылевых выпадений

Показатель	Тюмень, $n = 50$	Условно-фоновые участки, $n = 11$
Высота покрова, см	$\frac{17-38^*}{26}$	$\frac{30-58}{41}$
Плотность снега, г/см ³	$\frac{0,16-0,30}{0,21}$	$\frac{0,14-0,23}{0,18}$
Минерализация снеготалых вод, мг/л	$\frac{11,9-564,0}{68,1}$	$\frac{6,4-18,3}{9,5}$
Электропроводность, MS/см	$\frac{18,9-813,0}{102,5}$	$\frac{10,3-29,4}{15,1}$
pH	$\frac{5,9-8,1}{6,3}$	$\frac{4,2-5,5}{4,7}$
Содержание нерастворимых частиц, мг/л	$\frac{9,4-121}{37,1}$	$\frac{4,1-10,9}{7,5}$
Пылевая нагрузка, мг/м ² в сутки	$\frac{5,4-94,3}{20}$	$\frac{2,4-8,3}{5,5}$

* Числитель – варьирование (min–max), знаменатель – среднее значение.

пературах, поскольку города являются своеобразными «островами тепла».

На фоновых участках снеготалые воды имели преимущественно кислую реакцию, что свойственно снежному покрову таежной зоны. Среднее значение (4,7 ед.) совпало с величиной pH снеготалых вод таежной зоны Республики Коми [Василевич и др., 2011] и было несколько ниже, чем pH снеготалых вод на территории ХМАО (5,3 ед.) [Московченко, Бабушкин, 2012]. В городе большинство проб имели слабокислую реакцию, встречались также пробы с нейтральной и слабощелочной реакцией. Рост величины pH составил в среднем 1,6 ед. По сравнению с другими городами, Тюмень отличается значительным подщелачиванием. К примеру, на территории Восточного административного округа Москвы подщелачивание снежного покрова относительно фоновых территорий составило в среднем 0,4 [Касимов и др., 2012]. Причинами подщелачивания является оседание карбонатной строительной пыли, силикатных частиц и солевых компонентов.

Обращает на себя внимание значительное антропогенное возрастание минерализации снеготалых вод. На фоновой территории снеготалые воды имели пониженную минерализацию, в среднем 9,5 мг/л. Полученная величина, судя по литературным источникам [Московченко, 1998; Дорожукова, 2004; Ка-

симов и др., 2016], типична для незагрязненных территорий. В городе среднее значение минерализации составило 68,1 мг/л. Максимальные значения (202–564 мг/л) были отмечены вблизи автодорог с интенсивным движением транспорта, где использовались противогололедные реагенты, основным компонентом которых является техническая соль NaCl.

Использование реагентов изменило соотношение главных ионов в снеготалых водах. На фоновых участках снеготалые воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция. В более ранних исследованиях [Дорожукова, 2004] в пригородной зоне Тюмени (Богандинская компрессорная станция) снеготалые воды также были отнесены к гидрокарбонатно-кальциевым. Наличие кальция и магния связано с эрозионно-почвенным источником [Аэрозоли Сибири..., 2006]. В городских условиях большинство проанализированных проб при возрастании минерализации относились к гидрокарбонатному классу, группе натрия, в 13% проб были отмечены воды хлоридного класса, натриевой группы.

Микронзондовый анализ сухого остатка снеготалых вод на участках с повышенной минерализацией показал, что в сухом осадке преобладают кристаллы поваренной соли (рис. 2А). В пробе с максимальной минерализацией содержание Cl достигает 92 весовых процента. В меньшей степени из мине-

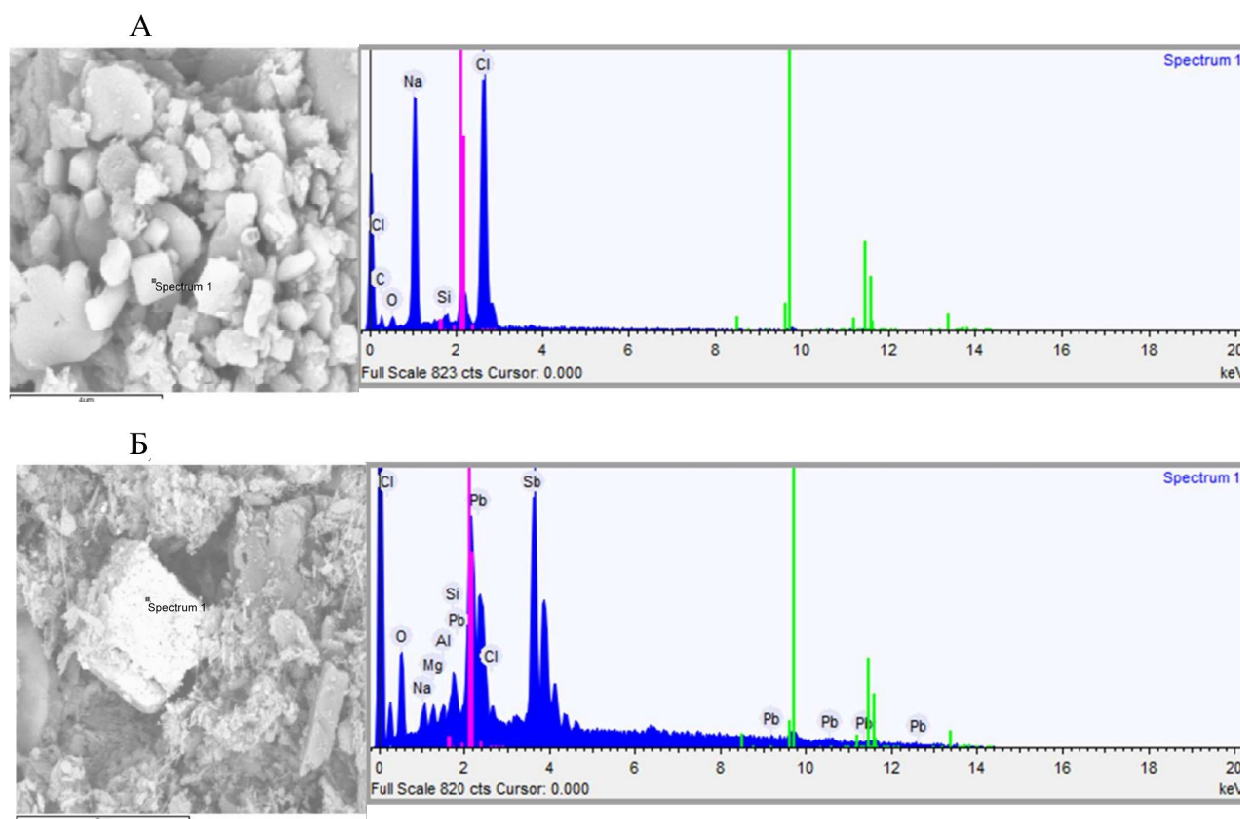


Рис. 2. Результаты электронной микроскопии сухого остатка снеготалых вод (изображения и энергодисперсные спектры): А – кристаллы хлорида натрия в пробе, отобранной вблизи автодороги; Б – сурьмянистый свинец (используется при производстве аккумуляторов)

Fig. 2. Results of electronic microscopy of the dry residue of snowmelt water (images and energy dispersive spectra): А – sodium chloride crystals in a sample taken near the road; Б – antimony lead (used in the production of batteries)

ралов присутствует гипс (CaSO_4). Меньшее количество отмечено для магния, калия, железа, входящих в состав глинистых минералов. Зафиксированы поступления сурьмяного свинца, входящего в состав автомобильных аккумуляторов (рис. 2Б).

На территории города отмечено увеличение содержания соединений азота, в особенности нитритов (табл. 3). Их поступление в снежный покров связано с положительной зависимостью с количеством окислов азота [Ярославцева и др., 2015], источниками которых в значительной степени являются предприятия теплоэнергетики [Рапута и др., 2015а, 2015б]. Однако общий уровень загрязнения соединениями азота невелик. Содержание аммонийного азота и нитратов как в городе, так и на фоновых участках в большинстве проб было ниже порога обнаружения.

Содержание пыли в снеготалых водах варьировало на фоновых участках от 4,0 до 10,9 мг/л. Известно, что в снеге удаленных районов Арктики фоновое содержание нерастворимых частиц находится в пределах 0,2–3 мг/л [Шевченко и др., 2007]. Таким образом, количество частиц $>0,45$ мкм в снеготалых водах в окрестностях Тюмени превышало величины, типичные для участков Земли, отдаленных от промышленных регионов, что свидетельствует о наличии полей рассеяния от отдаленных источников. Фоновые показатели пылевой нагрузки варьировали от 2,4 до 8,3 мг/м² в сутки (в среднем 5,5 мг/м²). Полученное значение несколько выше величин, полученных на территории Омской и Новосибирской областей, где пылевая нагрузка составляет около 3 мг/м² в сутки [Литау и др., 2015; Ермолов, Смоленцев, 2020]. В Томской области фоновая величина пылевых выпадений оценена в 7 мг/м² в сутки [Языков и др., 2010]. Таким образом, на фоновом участке в окрестностях Тюмени величина пылевой нагрузки была на среднем уровне по сравнению с сопредельными территориями Сибири.

В городе содержание твердых частиц в снеготалых водах изменялось от 6,4 до 121 мг/л. Пыле-

вая нагрузка в среднем составила 20 мг/м² в сутки. Полученное значение свидетельствует об умеренной интенсивности пылевых выпадений. К примеру, в районе воздействия предприятий Норильского промышленного района пылевая нагрузка местами превышает 1000 мг/м² в сутки [Онучин и др., 2014]. Среднее значение величины пылевой нагрузки на участках промышленного воздействия в г. Свирске (Иркутская обл.) составляет 281 мг/м² в сутки [Холодова и др., 2016]. В городах, где уровень воздействия промышленности не так высок, пылевая нагрузка близка к полученным на территории Тюмени значениям. Так, средняя за зимний период величина суточных выпадений твердых частиц из атмосферы в Восточном административном округе Москвы составляла 27 кг/км² [Касимов и др., 2012]. В Томске пылевая нагрузка в 2011 и 2013 гг. составила, соответственно, 25 и 28 мг/м² [Таловская и др., 2014].

Средняя величина пылевой нагрузки в Тюмени по сравнению с фоновыми участками возрастает в 3,6 раза. Такое возрастание несколько уступает показателям, свойственным для крупных городов Сибири. Так, в Томск-Северской промышленной агломерации в 2006–2013 гг. пылевая нагрузка в 3,6–5,4 раза превышала фоновый уровень [Таловская и др., 2014]. В Новосибирске антропогенное загрязнение было выражено сильнее – в шесть раз выше фонового уровня [Сысо и др., 2005].

По территории Тюмени в зависимости от расположения источников запыления и интенсивности воздействия величина пылевой нагрузки варьирует от фоновых значений (4,4 мг/м² в сутки) до 94,3 мг/м² в сутки. Для сопоставления, в Томске количество пылевых выпадений меняется от 16 до 303 мг/м² в сутки [Таловская, 2010]. На большей части территории величина P_n лежит в диапазоне 16–32 мг/м² в сутки (рис. 3). Максимальные значения были зафиксированы вблизи автомагистралей с интенсивным движением автотранспорта – улиц Республики, Широтной, Тобольский тракт. Аномально-высокое значение отмечено также в пробе, отобранной в юго-восточной части города вблизи крупного торгового центра, где также наблюдается большой поток автотранспорта.

При анализе экологического состояния городов с использованием снега в качестве объекта опробования первостепенное внимание уделяется содержанию микроэлементов, в том числе тяжелых металлов и металлоидов. Анализ техногенного загрязнения основан на сопоставлении с местным фоном. На фоновых участках в окрестностях Тюмени по величине кларков концентрации выделены элементы, концентрирующиеся в твердофазных выпадениях ($3 < KK < 10$) – Sn, Zn, Pb, слабоконцентрирующиеся ($1,5 < KK < 3$) – Cd, Sb, Cu, Bi, As, с околочларковыми концентрациями – Cr, W и рассеивающиеся ($KP > 3$) – V, Fe, Nb, Sc, Ga, Al, Li, Ba, Zr, Sr, Ti (табл. 4). Накапливаются в снеговой твердофазной составляющей вне сферы прямого влияния города преимущественно халькофильные элементы. Для литофильных и сидерофильных элементов характер-

Таблица 3
Гидрохимические показатели снеготалых вод, мг/л

Показатель	Тюмень, $n = 15$, min–max	Фоновые участки, $n = 5$, min–max
Mg^{2+}	<1–1,96	<1
Ca^{2+}	1,5–8,7	<1
Na^+	2,6–20,3	<0,5–2,2
K^+	<0,5–1,7	<0,5
HCO_3^-	18,3–54,9	6,1–18,3
SO_4^{2-}	<0,5–0,56	<0,5
Cl^-	<0,5–29,8	<0,5
Фосфаты	<0,5	<0,5
Аммоний	<0,5–0,62	<0,5
Нитриты	0,024–0,12	0,009–0,022
Нитраты	<0,5–0,82	<0,5–0,65

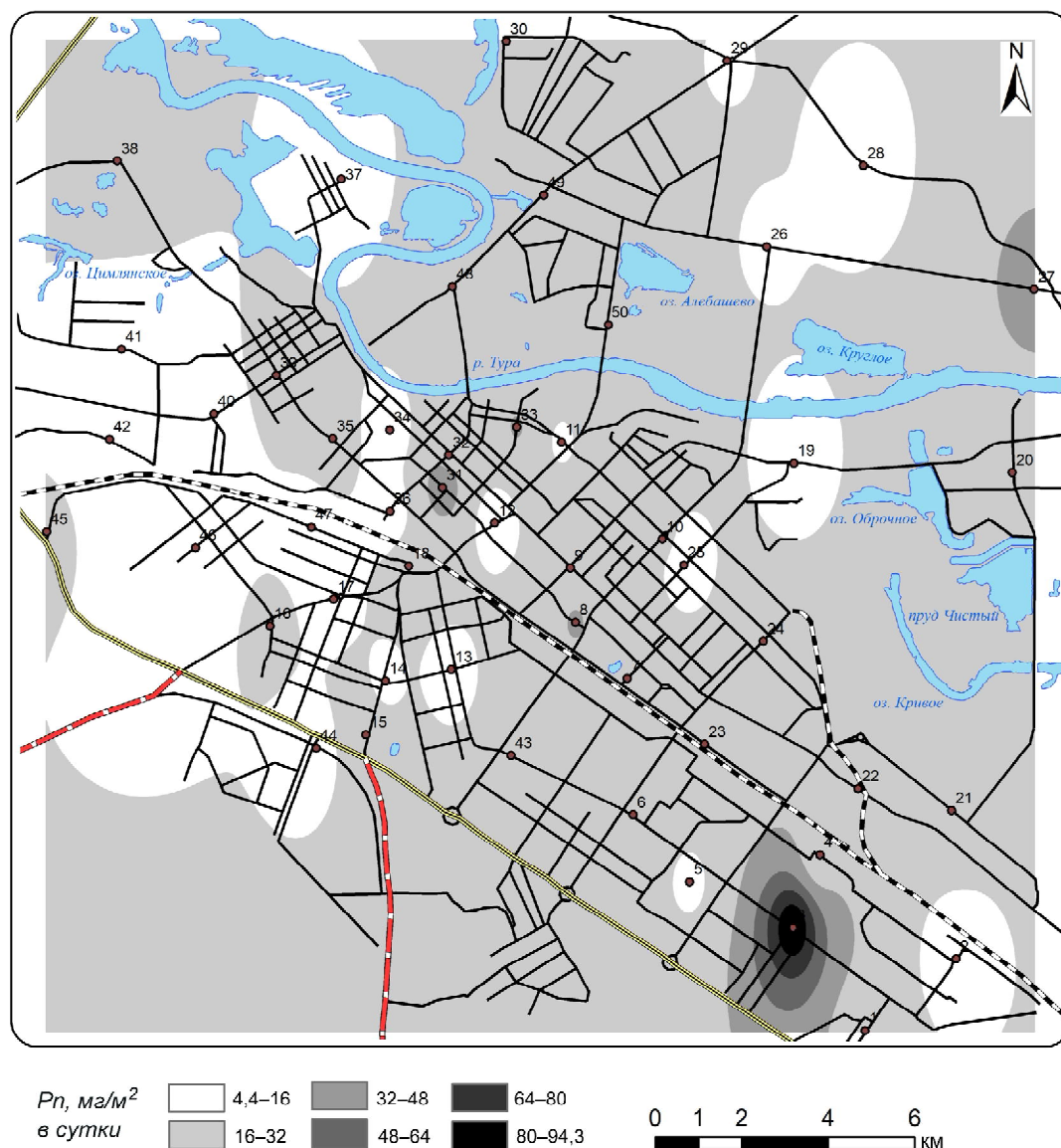


Рис. 3. Распределение величин пылевой нагрузки P_n на территории Тюмени

Fig. 3. Distribution of dust load values P_n in Tyumen

ны околоскладовые и более низкие концентрации. Сходные показатели, свидетельствующие о концентрациях халькофильных элементов в снеговых твердофазных выпадениях, были отмечены на фоновых участках Подмосквья [Касимов и др., 2012]. Сравнение с результатами изучения состава нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби, проведенного преимущественно на фоновых участках [Shevchenko et al., 2015], показало, что в районе Тюмени твердофазные выпадения на фоновых участках содержат приблизительно равные концентрации Cr, Cu, Zn, Sr, Mo, Pb и пониженные в 1,5–4 раза концентрации остальных элементов. Таким образом, полученные величины репрезентативно характеризуют фоновый уровень атмосферных выпадений ТММ в Западной Сибири.

В городе концентрация химических элементов в пылевых выпадениях по сравнению с фоном воз-

растает в несколько раз. Максимальные величины коэффициента концентрации металлов K_c составляют 7,5 (Mn), 7,0 (Ni), 6,8 (Co, W). Поступление Mn, вероятно, связано с эрозионно-почвенным источником, учитывая интенсивное накопление этого элемента в поверхностных горизонтах почв. W и Co поступают с металлоабразивной пылью [Геохимия..., 1990].

Значения K_c для большинства элементов сильно варьируют по территории города, что обусловлено разнообразием источников выбросов. Наибольшая вариабельность концентрации характерна для Pb, Hg, Cu, Bi. Обращает на себя внимание аномально-высокая концентрация свинца в районе аккумуляторного завода ($K_c = 37$) и повышенное содержание ртути в районе ТЭЦ-2 ($K_c = 13$). Содержание кадмия велико в старой части города, что связано со сжиганием бытовых отходов и печным отоплением.

Таблица 4

Элементный состав пылевых выпадений в Тюмени и на прилегающей фоновой территории, мг/кг (Al, Fe – %)

Элемент	Город, n = 50					Фон, n = 11					Kc
	Среднее значение	min	max	KK	KP	Среднее значение	min	max	KK	KP	
Li	7,2	0,7	31,9	–	4,6	3,3	0,4	8,4	–	9,9	2,2
Al	2,1	0,24	5,3	–	3,6	0,81	0,073	2,3	–	9,3	2,6
Sc	8,1	0,8	15,1	–	1,9	2,3	0,6	6,3	–	6,8	3,5
Ti	1474	49,0	3302	–	2,6	364	6,4	1132	–	10,7	4,1
V	53,4	2,7	118,6	–	2,0	27,5	1,6	57,1	–	3,9	1,9
Cr	590	82,7	943,1	6,4	–	124	19,3	425,4	1,4	–	4,7
Mn	809	114,3	2036	1,1	–	109	11,8	349,7	–	7,1	7,5
Fe	4,1	0,5	13,1	1,0	–	0,85	0,095	2,2	–	4,8	4,9
Co	39,2	5,2	70,2	2,6	–	5,8	0,8	27,8	–	2,6	6,8
Ni	669	96,7	1111	13,4	–	95,9	17,2	502,9	1,9	–	7,0
Cu	228	35,8	773,2	8,4	–	64,9	9,5	132,0	2,4	–	3,5
Zn	639	97,8	1192	8,5	–	262	55,0	975,6	3,5	–	2,4
Ga	4,1	0,1	13,3	–	4,6	2,4	0,1	8,8	–	8,0	1,7
As	9,7	0,4	26,8	1,7	–	9,6	0,2	25,9	1,7	–	1,0
Sr	65,6	7,0	148,7	–	4,1	22,9	4,4	49,2	–	11,8	2,9
Y	5,5	0,5	15,7	–	4,8	2,6	0,3	6,2	–	10,1	2,1
Zr	40,6	3,9	101,9	–	3,9	17,5	4,6	50,3	–	9,1	2,3
Nb	3,4	0,5	9,8	–	3,5	2,1	0,5	4,9	–	5,8	1,7
Mo	4,2	0,6	16,3	3,8	–	2,6	1,0	5,1	2,4	–	1,6
Cd	1,1	0,2	2,6	12,6	–	0,3	0,2	0,9	2,9	–	4,3
Sn	15,0	1,3	38,0	6,0	–	23,8	3,0	103,2	9,5	–	0,6
Sb	12,5	1,3	25,8	15,4	–	2,0	0,3	4,9	2,5	–	6,2
Ba	233,2	27,8	624,5	–	2,2	51,7	5,6	147,0	–	9,9	4,5
W	9,6	0,9	18,6	4,7	–	1,4	0,1	4,5	–	1,4	6,8
Pb	190,6	9,9	1864	11,2	–	50,6	5,0	114,1	3,0	–	3,8
Bi	1,3	0,2	6,5	5,8	–	0,5	0,1	1,1	2,4	–	2,4

Значения суммарного показателя загрязнения Z_c в 72% случаев лежат в интервале 64–128 ед., что соответствует высокому, опасному уровню загрязнения. Средний, умеренно опасный уровень выявлен в 16% пунктов опробования, низкий, неопасный – в 12%. Максимальная величина Z_c (125) отмечена в пункте опробования, расположенном в 0,5 км к с.-в. (по преобладающему направлению ветра) от аккумуляторного завода. В данном пункте наблюдений была выявлена аномальная концентрация свинца (1863 мг/кг). Ассоциация загрязнителей в районе аккумуляторного завода включает Pb, Sb, Co, W, Ni. При удалении от него наблюдается градиентное снижение концентрации Pb. Ранее было отмечено, что концентрация Pb в урбанизмах на территории аккумуляторного завода превышает 1000 мг/кг [Скипин, Берсенева, 2014]. В более поздних исследованиях концентрация кислоторастворимой формы Pb зафиксирована на уровне 91–172 мг/кг [Петухов и др., 2020]. Несмотря на то что производство в настоящее время вынесено за территорию города, крайне высокая концентрация Pb в снеговой пыли показывает, что почвенно-эро-

зионная составляющая продолжает оказывать влияние на поток загрязненных частиц в атмосферу. Высокое значение Z_c (121) было отмечено на участке одноэтажной застройки в районе бывшего деревообрабатывающего комбината, где ассоциация загрязнителей включает в себя Sb_{13} , Pb_{12} , Cd_{10} и Mn_9 .

Обобщение по функциональным зонам (табл. 5) показало, что максимальная концентрация ТММ свойственна старой части города с одноэтажной застройкой. Вероятно, на поступление поллютантов оказывают влияние сжигание твердого топлива и бытового мусора при печном отоплении и общая загрязненность почв, в которых поллютанты накапливались длительный период по сравнению с кварталами многоэтажной застройки, большинство которых появилось после 1970-х гг. В целом для Тюмени не выявлено резкого различия в уровне загрязненности различных функциональных зон, что связано с мозаичным строением, вкраплением предприятий в зоны жилой застройки, сменой функциональной нагрузки (застройка бывших промпредприятий жилыми кварталами, деловыми и торговыми

Таблица 5

**Интенсивность накопления элементов в пылевых аэрозольных выпадениях на территории функциональных зон
Тюмени (средние значения K_c)**

Элементы и показатели	Многоэтажная застройка	Одноэтажная застройка	Исторический центр	Общественно-деловая зона	Основные автомагистрали	Промышленные предприятия
Mn	8,0	8,1	7,0	8,1	8,1	9,0
W	7,6	7,7	5,6	6,8	7,4	8,6
Cd	6,8	6,9	4,7	4,6	3,6	5
Co	6,1	7,9	7,0	7,0	8,2	7,5
Sb	6,1	10,7	6,9	6,0	6,1	7,5
Ba	6,1	8,2	6,1	4,2	4,8	5,5
Ni	5,3	7,6	6,7	7,7	8,4	7,1
Pb	5,3	8,1	3,8	3,9	2,3	10
Fe	4,7	6,0	5,2	4,7	5,3	7,5
Cr	4,3	5,6	4,7	4,9	5,6	5,1
Cu	4,3	3,9	5,4	3,7	3,6	5,2
Ti	4,2	6,4	5,7	3,7	4,6	4,8
Sr	3,9	4,0	4,5	2,8	3,0	3,0
Bi	3,8	4,0	4,4	2,6	3,3	3,3
Sc	3,5	4,6	3,8	3,6	4,0	4,3
Zn	3,4	3,7	2,5	2,8	2,2	2,6
Hg	2,8	2,2	2,2	2,3	3,0	1,5
Zr	2,6	3,4	3,4	2,7	2,5	2,7
Y	2,5	3,6	2,7	2,3	2,4	2,5
Th	2,5	3,9	2,9	2,2	2,3	2,2
V	2,3	3,3	2,1	2,2	2,1	2,6
Be	2,2	3,6	2,7	1,9	2,2	2,2
As	2	2,2	2,6	—*	—	2
Mo	1,9	2,4	2,5	2	2,5	2,3
<i>Pn</i>	14,3	13,2	23,8	14,7	27,4	17,1
Zc	80	105	83	94	76	91

* Содержание элемента ниже предела обнаружения.

ми центрами). Нужно отметить, что вблизи основных автомагистралей концентрация элементов в пылеаэрозольных выпадениях невелика, однако пылевая нагрузка максимальна. Вблизи автомагистралей ассоциация загрязнителей включает $Ni_{8,4}$, $Co_{8,2}$, $Mn_{8,1}$ и $W_{7,4}$. Ni является индикатором сжигания жидкого топлива. W и Co поступают при истирании металлических частей автотранспорта.

Суммарный показатель имиссии Zd на территории Тюмени изменяется от 28 до 910 и соответствует низкому уровню загрязнения с неопасной экологической ситуацией ($Zd < 1000$). Таким образом, наблюдается несоответствие оценок уровня экологической опасности по показателям Zc и Zd – при высоких значениях Zc величины суммарной имиссии Zd невелики. Такое несоответствие связано с относительно малым количеством пылевых выпадений. Снижение количества крупных источников пылевых выбросов, вызванное сокращением опасных экологических про-

изводств, незначительной долей промышленных зон в функциональном зонировании города и использованием сравнительно безопасного природного газа на Тюменской ТЭЦ-2, обусловили относительно низкие показатели интенсивности пылевых выпадений и приток элементов с пылеаэрозолем.

Максимумы Zd формируются за счет повышенного выпадения пыли под влиянием интенсивного движения автотранспорта. Исключением является пункт опробования в северо-западной части города, в зоне малоэтажной застройки, где высокие значения имиссии вызваны повышенной концентрацией ТММ в пылеаэрозолях (рис. 4). В зоне многоэтажной застройки, где проживает основная часть населения Тюмени, интенсивность выпадения невелика. Средние значения Zd максимальны возле основных автомагистралей, где ассоциация элементов-загрязнителей включает в себя Ni, Co, Mn, W, Ti и Sb (табл. 6).

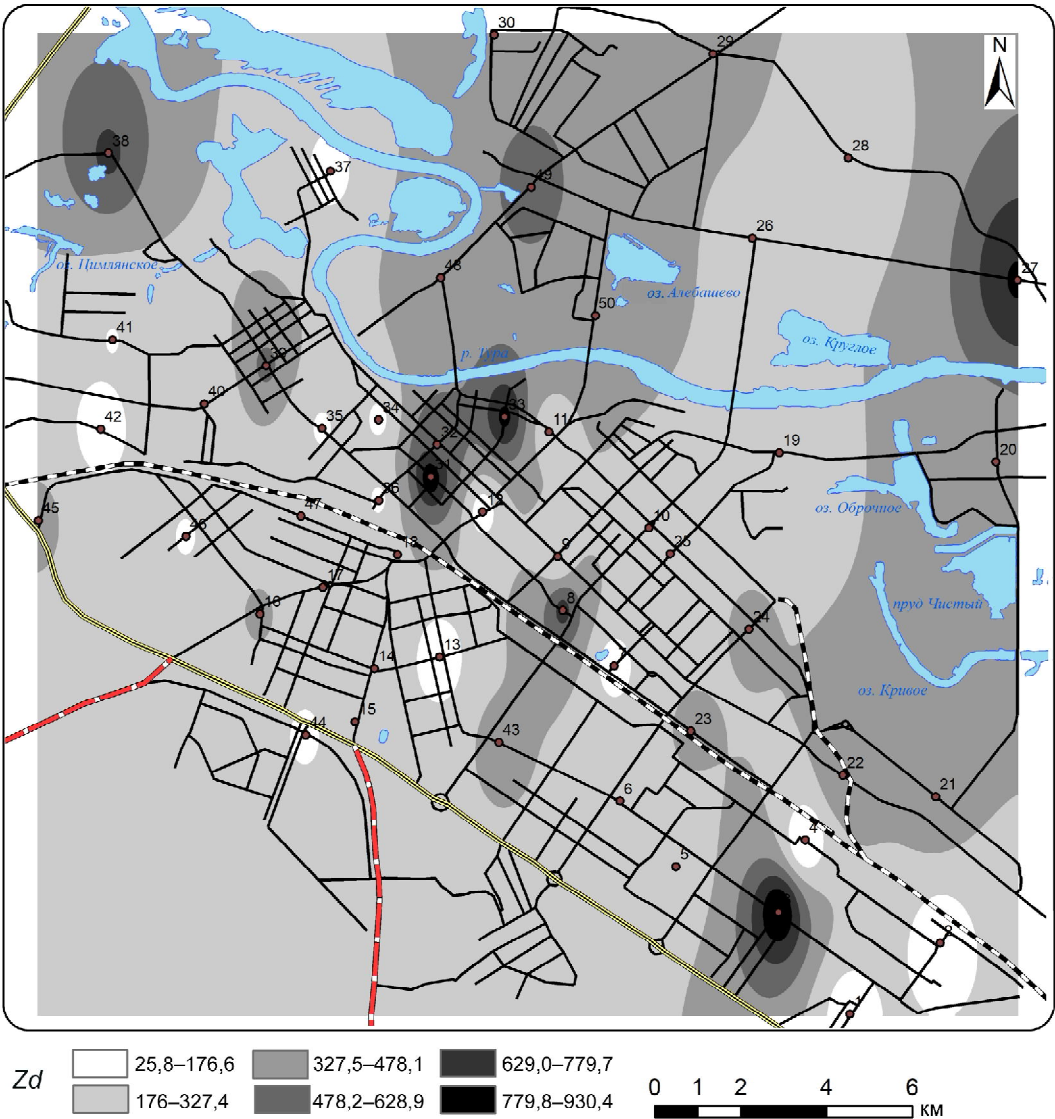


Рис. 4. Распределение значений показателя имиссии элементов *Zd* на территории Тюмени
Fig. 4. Distribution of the values of the element immission index *Zd* in Tyumen

Таблица 6

Величины коэффициентов превышения выпадений над фоном *Kd* и показателя имиссии элементов *Zd* в различных функциональных зонах Тюмени

Участок	<i>Zd</i>	<i>Kd</i> = 50–25	<i>Kd</i> = 25–10	<i>Kd</i> = 10–5	<i>Kd</i> = 5–3
Многоэтажная застройка	211	–	Mn ₁₆ , W ₁₅ , Sb ₁₄ , Pb ₁₀ , Ni ₁₄ , Co ₁₃ , Ba ₁₁ , Ti ₁₁ , Cd ₁₁ , Cr ₁₀	Fe ₉ , Cu ₇ , Zn ₇ , Sc ₈ , Sr ₇ , Bi ₇ , V ₅ , Li ₅	Hg ₄ , Mo ₃ , Be ₄ , As ₂
Одноэтажная застройка	304	W ₂₆ , Co ₂₆ , Ni ₂₅ , Sb ₂₅	Ba ₂₂ , Ti ₂₁ , Cr ₁₈ , Fe ₁₇ , Pb ₁₅ , Sc ₁₃	Cu ₉ , Zn ₉ , Li ₉ , Zr ₇ , Bi ₆ , Mo ₅ , As ₅	Hg ₃
Исторический центр	463	Co ₃₉ , Ni ₃₇ , Nb ₃₅ , Ti ₃₄ , W ₃₁ , Sb ₃₁ , Ba ₃₁ , Cr ₂₅	Cu ₂₃ , Fe ₂₃ , Bi ₂₃ , Sc ₁₇ , Cd ₁₅ , Zr ₁₅ , Y ₁₂ , Li ₁₁ , Zn ₁₁	Pb ₉ , Be ₉ , Mo ₈ , Hg ₅ , As ₅	–
Основные автомагистрали	515	Ni ₄₅ , Co ₄₄ , Mn ₄₃ , W ₄₂ , Ti ₃₄ , Sb ₃₁ , Fe ₂₉	Ba ₂₅ , Sc ₂₁ , Cu ₁₈ , Cd ₁₅ , Bi ₁₉ , Sr ₁₅ , Zr ₁₃ , Li ₁₂ , V ₁₁ , Hg ₁₀ , Zn ₁₀	Pb ₉ , Be ₉ , Mo ₇	As ₄
Промзоны	363	W ₃₂ , Mn ₃₂ , Co ₂₇	Ni ₂₄ , Sb ₂₄ , Pb ₂₁ , Ba ₁₉ , Cr ₁₈ , Cu ₁₇ , Cd ₁₅ , Sr ₁₀	V ₉ , Bi ₈ , Zn ₈ , Li ₉ , Be ₇ , Mo ₆	As ₄

Выводы:

– в зимний период 2019–2020 гг. на фоновых участках пылевая нагрузка составляла 5,5 мг/м² в сутки и находилась на среднем уровне по сравнению с сопредельными районами Сибири. Снеготалые воды имели кислую реакцию. Выявлено, что пылеаэрозоли вне сферы влияния города обогащены халькофильными элементами – Zn, Pb, Cd, Sb, Cu, а также Sn;

– на территории Тюмени наблюдалось подщелачивание снежного покрова, увеличение минерализации и ионного состава снеготалых вод. Уровень подщелачивания довольно велик, среднее значение pH выросло на 1,6 единиц. Отмечен переход гидрокарбонатно-кальциевых вод в гидрокарбонатно-натриевые и хлоридно-натриевые под влиянием противогололедных реагентов. Пылевая нагрузка в городе возросла относительно фона в среднем в 3,6 раза. Интенсивность выпадений была максимальна вблизи автомагистралей с плотным движением автотранспорта. По средней величине пылевой нагрузки (20 мг/м² в сутки) Тюмень уступает Томску, Новосибирску, Восточному административному округу Москвы;

– на территории города ассоциация элементов-загрязнителей включает в себя Mn_{7,5}, Ni_{7,0}, Co_{6,8}, W_{6,8}, Sb_{6,2}, Fe_{4,9}, Cr_{4,7}, Cd_{4,3}, Pb_{3,8} и Cu_{3,5}, что свидетельствует о влиянии почвенной составляющей (Mn),

влиянии автотранспорта за счет сжигания моторных топлив (Ni), истирания металлических частей транспорта (W, Co, Fe). Варьирование содержания элементов в пылеаэрозолях связано с влиянием отдельных типов промышленных производств. Вблизи аккумуляторного завода выявлена аномальная концентрация свинца (1863 мг/кг), несмотря на прекращение здесь производственного цикла в последнее десятилетие и вынос производства за пределы города. Аэротехногенное распространение Pb происходит за счет высокого остаточного содержания в почве. В зоне одноэтажной застройки повышено содержание Cd, что связано со сжиганием бытовых отходов и печным отоплением. Значения суммарного показателя загрязнения Zc в 72% случаев лежат в интервале 64–128, что соответствует высокому, опасному уровню загрязнения;

– в период наблюдений отмечено высокое содержание тяжелых металлов и металлоидов в пылеаэрозолях при невысоком показателе пылевой нагрузки. Суммарный показатель имиссии Zd на территории Тюмени изменялся от 28 до 910 и соответствовал низкому уровню загрязнения с неопасной экологической ситуацией (Zd < 1000). Максимумы Zd формируются за счет повышенного выпадения пыли под влиянием интенсивного движения автотранспорта.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-50062\19 и проекта фундаментальных исследований СО РАН IX.135.2.2 (Рег. № НИОКТР АААА-А17-117051850064-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аэрозоли Сибири / отв. ред. К.П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с. (Интеграционные проекты СО РАН; Вып. 9).
- Боев В.А., Лежнина А.А. Тяжелые металлы в снежном покрове Тюменского района Тюменской области // Вестник Тюменского гос. ун-та. Экология и природопользование. 2012. № 7. С. 41–48.
- Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны Республики Коми // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 494–506.
- Гарманова Т.В., Ларина Н.С. Мониторинг загрязнения снежного покрова пылеаэрозолями в городе Тюмень // Вестник Тюменского гос. ун-та. Экология и природопользование. 2012. № 7. С. 55–62.
- Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
- Гайнутдинова В.В., Кравчук А.Ю., Шигабаева Г.Н. Мониторинг аэрозольного загрязнения и распределения тяжелых металлов в снежном покрове города Тюмень // Экологический мониторинг и биоразнообразие: материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. Ишим, 25–26 декабря 2018 г. / отв. ред. А.Ю. Левых; Изд-во ИПИ им. П.П. Ершова (филиал) ТюмГУ, 2018. С. 14–17.
- Германова Т.В., Керножитская А.Ф. К вопросу экологической оценки транспортной системы на урбанизированных территориях (на примере г. Тюмень) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1(6). С. 1713–1716.
- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- Гусейнов А.Н. Экология города Тюмени: состояние, проблемы. Тюмень: Слово, 2001. 176 с.
- Гусейнов А.Н., Карабатов П.А., Лысова Г.В., Панфилова Л.А. Эколого-геохимический мониторинг на территории вокруг теплоэлектроцентралей г. Тюмени // Теплоэнергетика. 1997. № 12. С. 31–36.
- Гусейнов А.Н., Могутова Л.М., Губарева Н.Н., Московченко Д.В. Нефтепродукты и 3,4-бензпирен в почвах г. Тюмени // Экология и промышленность России. 2000. № 7. С. 31–34.
- Дорожкукова С.Л. Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2004. 25 с.
- Ермолов Ю.В., Смоленцев Н.Б. Зимний фоновый сток примесей атмосферы на юго-востоке Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33. № 1(372). С. 75–81.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2012. № 4. С. 14–24.
- Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- Крестьяникова Е.В., Козлова В.В., Ларина Н.С., Ларин С.И. Химико-экологическая оценка загрязнения свинцом атмосферы города Тюмени // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 5(2). С. 679–684.

Ларина Н.С., Куранова М.Н., Палецких Н.С. Химико-экологический мониторинг снежного покрова города Тюмени. Успехи современного естествознания. 2006. № 11. С. 38–41.

Литау В.В., Таловская А.В., Язиков Е.Г., Лончакова А.Д., Третьякова М.И. Оценка пылевого загрязнения атмосферы г. Омска по данным снеговой съемки // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 3. С. 256–259.

Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Сает, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.

Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука; Сиб. предприятие РАН, 1998. 112 с.

Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снежного покрова на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 71–81.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 2. Многолетние данные. Вып. 17. Тюменская и Омская области. СПб.: Гидрометеоздат, 1998. 702 с.

Онушин А.А., Буренина Т.А., Зубарева О.Н., Трефилова О.В., Данилова И.В. Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района // Сиб. экол. журнал. 2014. Т. 21. № 6. С. 1025–1037.

Петухов А.С., Кремлева Т.А., Христов Н.А., Петухова Г.А., Кайдунова П.И. Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) в почвах г. Тюмени // Вестник Нижневартского государственного университета. 2020. № 1. С. 127–134.

Ранута В.Ф., Ахматова Н.П., Ярославцева Т.В. Реконструкция поля аэрозольных выпадений примеси от совокупности источников // Оптика атмосферы и океана. 2015а. Т. 28. № 6. С. 564–568.

Ранута В.Ф., Леженин А.А., Ярославцева Т.В., Девяткова А.Ю. Экспериментальные и численные исследования загрязнения снежного покрова г. Новосибирска в окрестностях тепловых электростанций // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия: Науки о Земле. 2015б. Т. 12. С. 77–93.

Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.

Скипин Л.Н., Берсенева А.Г. Экологическая оценка урбанизации на примере территорий города Тюмени // Аграрный вестник Урала. 2014. № 2(120). С. 71–73.

Сысо А.И., Артамонова В.С., Сидорова М.Ю., Ермолов Ю.В., Черевко В.С. Загрязнение атмосферы, снежного и почвенного

покрова г. Новосибирска // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 8. С. 663–669.

Таловская А.В., Филимонов Е.А., Язиков Е.Г. Динамика элементного состава снежного покрова на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 6. С. 491–495.

Таловская А.В. Геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории г. Томска // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 6. С. 519–524.

Холодова М.С., Пастухов М.В., Полетаева В.И. Особенности минерально-вещественного состава твердофазных выпадений снежного покрова территории г. Свирска // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 4(57). С. 109–118.

Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р., Горюнова Н.В., Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д., Кривс М., Новигатский А.Н., Соколов В.Т., Филиппов А.С., Хаас Х. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 1(75). С. 106–118.

Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.

Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2010. 264 с.

Ярославцева Т.В., Ранута В.Ф. Закономерности длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 4. № 2. С. 28–33.

Konstantinova E., Minkina T., Sushkova S., Antonenko E., Konstantinov A. Levels, sources and toxicity assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban topsoils of an intensively developing Western Siberian city, *Environ. Geochem. Health*, 2019, DOI: 10.1007/s10653-019-00357-9.

Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Vorobyev S.N., Krickov I.V., Manasypov R.M., Politova N.V., Kopysov S.G., Dara O.M., Auda Y., Shirokova L.S., Kolesnichenko L.G., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N. Impact of snow deposition on major and trace element concentrations and elementary fluxes in surface waters of the Western Siberian Lowland across a 1700 km latitudinal gradient, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2017, vol. 21, p. 5725–5746.

Электронные ресурсы

Архив погоды в Тюмени // Расписание погоды. URL: <https://rt5.ru/> (дата обращения 02.08.2020).

Население // Тюменская область. Портал органов государственной власти. URL: https://admtumen.ru/ogv_ru/about/cities/tyumen/population.html/ (дата обращения 02.08.2020).

Поступила в редакцию 06.08.2020

После доработки 03.10.2020

Принята к публикации 06.11.2020

D.V. Moskovchenko¹, R.Yu. Pozhitkov²,
A.N. Kurchatova^{3,4}, R.I. Timshanov⁵

GEOCHEMISTRY OF SNOW COVER WITHIN THE TYUMEN CITY

The paper describes the results of studying the geochemical parameters of snow cover in the city of Tyumen (Western Siberia) during the winter period of 2019–2020. Dust load, concentrations and spatial distribution patterns of major and trace elements in insoluble particulate matters and physical-chemical characteristics of snowmelt water were evaluated for the territory of Tyumen and surrounding background

¹ Tyumen State University, Cryology and Cryoscopy Institute; Tyumen Scientific Centre SB RAS, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

² Tyumen Scientific Centre SB RAS, Institute of the Problems of Northern Development, Junior Scientific Researcher; e-mail: roma@yandex.ru

³ Tyumen Scientific Centre SB RAS, Institute of the Earth Cryosphere, PhD in Geology and Mineralogy, Senior Scientific Researcher.

⁴ Industrial University of Tyumen, Associate Professor; e-mail: kanni@tsogu.ru

⁵ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Laboratory of Hydrogeology and Geothermics, Chief Engineer, PhD in Geology and Mineralogy; e-mail: TimshanovRI@ipgg.sbras.ru

area. The background concentrations of insoluble particles in the snow vary from 4,1 to 10,9 mg/l. The dust load amounted to 5,5 mg/m² per day and was at an average level compared to the unpolluted territories within Tomsk, Omsk and Novosibirsk regions. A significant alcalization (by 1,6 pH units) and higher mineralization of snowmelt water, as well as the increasing average dust load (up to 20 mg/m² per day) are characteristic of the urban territory. The dust load varies from 5,4 to 94 mg/m² per day in Tyumen, the value being lower than in the cities with more intensive industrial activities. Higher Cl and Na concentrations were revealed close to the main roads where the bicarbonate-calcium waters turn into bicarbonate-sodium and chloride-sodium ones under the influence of deicing chemicals. Calculation of concentration coefficients showed that Mn, Ni, Co, W, Sb, Cr, Cd, Pb and Cu form the association of elements-polluters. Higher concentrations of Ni, Co, Mn and W are characteristic of solid deposits along the main roads. The high concentration of Pb (37 times the background value) was recorded in the vicinity of a battery factory. The increased concentration of Cd in the zone of single-storey houses is due to incineration of household wastes and stove heating. Calculation of total pollution and immission values suggests that despite the high concentrations of metals and metalloids in the solid fraction the overall flow of pollutants is rather low due to relatively small dust load.

Key words: solid aerosol particles, heavy metals, deposition, total pollution

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 19-05-50062\19) and the fundamental research project of the SB RAS IX.135.2.2. (AAAA-A17-117051850064-0).

REFERENCES

- Aeroloji Sibiri* [Aerosols of Siberia], K.P. Kutsenogiy (ed.), Novosibirsk, SO RAN Publ., 2006, 548 p. (In Russian)
- Boev V.A., Lezhnina A.A. Tyazhelye metally v snezhnom pokrove Tyumenskogo raiona Tyumenskoj oblasti [Heavy metals in the snow cover of the Tyumen district of the Tyumen region], *Vestn. TyumGU*, 2012, no. 7, p. 41–48. (In Russian)
- Dorozhukova S.L. *Ekologo-geokhimicheskie osobennosti neftegazodobyvayushchikh raionov Tyumenskoj oblasti* [Ecological and geochemical features of oil and gas producing regions of the Tyumen region], Extended Abstract of PhD Thesis in Geology, Moscow, 2004, 25 p. (In Russian)
- Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov [Ecogeochemistry of urban landscapes], N.S. Kasimov (ed.), Moscow, Moscow State Univ. Publ., 1995, 336 p. (In Russian)
- Ermolov Yu.V., Smolentsev N.B. Zimnii fonovyi stok primesei atmosfery na yugo-vostoke Zapadnoi Sibiri [Winter background runoff of atmospheric impurities in the south-east of Western Siberia], *Optika atmosfery i okeana*, 2020, vol. 33, no. 1(372), p. 75–81. (In Russian)
- Gainutdinova V.V., Kravchuk A.Yu., Shigabaeva E.N. [Monitoring of aerosol pollution and distribution of heavy metals in the snow cover of the city of Tyumen], *Ekologicheskii monitoring i bioraznoolobrazie. Materialy Vserossiiskoi (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Environmental monitoring and biodiversity. Materials of the Russian (with international participation) scientific and practical conference], A.Yu. Levykh (ed.), 2018, p. 14–17. (In Russian)
- Garmanova T.V., Larina N.S. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova pyleaerozolyami v gorode Tyumen' [Monitoring of snow cover pollution with dust aerosols in the city of Tyumen], *Vestn. Tyumenskogo gosudarstvennogo un-ta, Ekologiya i prirodoopol'zovanie*, 2012, no. 7, p. 55–62. (In Russian)
- Geokhimiya okruzhayushchei sredy [Geochemistry of the environment], Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin et al., Moscow, Nedra Publ., 1990, 335 p. (In Russian)
- Germanova T.V., Kernozhitskaya A.F. K voprosu ekologicheskoi otsenki transportnoi sistemy na urbanizirovannykh territoriyakh (na primere g. Tyumen') [More on the environmental assessment of the transport system in urbanized territories (case study of the Tyumen City)], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1(6), p. 1713–1716. (In Russian)
- Grigor'ev N.A. Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhnei chasti kontinental'noi kory [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust], Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2009, 382 p. (In Russian)
- Guseinov A.N. *Ekologiya goroda Tyumeni: sostoyanie, problemy* [Ecology of the city of Tyumen: status, problems], Tyumen, Slovo Publ., 2001, 176 p. (In Russian)
- Guseinov A.N., Karabatov P.A., Lysova G.V., Panfilova L.A. *Ekologo-geokhimicheskii monitoring na territorii vokrug teploelektrotsentrali g. Tyumeni* [Ecological and geochemical monitoring in the vicinity of thermal power plants of the Tyumen City], *Teploenergetika*, 1997, no. 12, p. 31–36. (In Russian)
- Guseinov A.N., Mogutova L.M., Gubareva N.N., Moskovchenko D.V. *Nefteprodukty i 3,4-benzpiren v pochvakh g. Tyumeni* [Oil products and 3,4-benzpyrene in soils of the Tyumen City], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2000, no. 7, p. 31–34. (In Russian)
- Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. *Geokhimiya snezhnogo pokrova v vostochnom okruge Moskvy* [Geochemistry of snow cover within the Eastern district of Moscow], *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.*, 2012, no. 4, p. 4–24. (In Russian)
- Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. *Geokhimiya landshaftov Vostochnoi Moskvy* [Geochemistry of landscapes of Eastern Moscow], Moscow, APR Publ., 2016, 276 p. (In Russian)
- Kholodova M.S., Pastukhov M.V., Poletaeva V.I. *Osobennosti mineral'no-veschestvennogo sostava tverdogfaznykh vypadenii snegovogo pokrova territorii g. Svirsk* [Specific features of mineral and material composition of solid-phase snowfall in the territory of the town of Svirsk], *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN, Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii*, 2016, no. 4(57), p. 109–118. (In Russian)
- Konstantinova E., Minkina T., Sushkova S., Antonenko E., Konstantinov A. Levels, sources, and toxicity assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban topsoils of an intensively developing Western Siberian city, *Environ Geochem Health*, 2019, DOI: org/10.1007/s10653-019-00357-9.
- Krest'yannikova E.V., Kozlova V.V., Larina N.S., Larin S.I. *Khimiko-ekologicheskaya otsenka zagryazneniya svintsom atmosfery goroda Tyumeni* [Chemical and environmental assessment of lead pollution in the atmosphere of the city of Tyumen], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2015, vol. 17, no. 5(2), p. 679–684. (In Russian)
- Larina N.S., Kuranova M.N., Paletskikh N.S. *Khimiko-ekologicheskii monitoring snegovogo pokrova goroda Tyumeni*

[Chemical and ecological monitoring of snow cover in the Tyumen City], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2006, no. 11, p. 38–41. (In Russian)

Litau V.V., Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Lonchakova A.D., Tret'yakova M.I. Otsenka pylevogo zagryazneniya atmosfery g. Omska po dannym snegovoi s'emki [Estimation of dust pollution of the atmosphere of the Omsk City based on snow survey data], *Optika atmosfery i okeana*, 2015, vol. 28, no. 3, p. 256–259. (In Russian)

Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami [Methodological recommendations on the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements], B.A. Revich, Yu.E. Saet, R.S. Smirnova, E.P. Sorokina (ed.), Moscow, IMGRE Publ., 1982, 112 p. (In Russian)

Moskovchenko D.V. Neftegazodobycha i okruzhayushchaya sreda: ekologo-geokhimicheskii analiz Tyumenskoi oblasti [Oil and gas production and the environment: ecological and geochemical analysis of the Tyumen region], Novosibirsk, Nauka, Sib. predpriyatie RAN Publ., 1998, 112 p. (In Russian)

Moskovchenko D.V., Babushkin A.G. Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava snegovykh vod na territorii Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga [Peculiarities of formation of chemical composition of snow waters on example of Khanty-Mansi Autonomous District], *Kriosfera Zemli*, 2012, vol. XVI, no. 1, p. 71–81. (In Russian)

Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 2. Mnogoletnie dannye. Vyp. 17. Tyumenskaya i Omskaya oblasti [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 2. Long-term data. Issue 17. Tyumen and Omsk regions], St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1998, 702 p. (In Russian)

Onuchin A.A., Burenina T.A., Zubareva O.N., Trefilova O.V., Danilova I.V. Pollution of snow cover in the impact zone of enterprises in Norilsk industrial area, *Contemporary Problems of Ecology*, 2014, vol. 7, no. 6, p. 714–722.

Petukhov A.S., Kremleva T.A., Khritokhin N.A., Petukhova G.A., Kaidunova P.I. Soderzhanie tyazhelykh metallov (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) v pochvakh g. Tyumeni [Concentrations of heavy metals (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) in soils of the Tyumen City], *Vestn. Nizhneartovskogo gosudarstvennogo un-ta*, 2020, no. 1, p. 127–134. (In Russian)

Raputa V.F., Akhmatova N.P., Yaroslavtseva T.V. Rekonstruktsiya polya aerol'nykh vypadenii primesi ot sovokupnosti istochnikov [Reconstruction of aerosol fallout fields from a series of sources], *Optika atmosfery i okeana*, 2015, vol. 28, no. 6, p. 564–568. (In Russian)

Raputa V.F., Lezhenin A.A., Yaroslavtseva T.V., Devyatova A.Yu. Eksperimental'nye i chislennye issledovaniya zagryazneniya snezhnogo pokrova g. Novosibirsk v okrestnostyakh teplovykh elektrostantsii [Experimental and numerical studies of snow cover pollution in the Novosibirsk City in the vicinity of thermal power plants], *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo un-ta. Seriya: Nauki o Zemle*, 2015, vol. 12, p. 77–93. (In Russian)

Regiony i goroda Rossii: Integral'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya [Regions and cities of Russia:

Integrated environmental assessment], N.S. Kasimov (ed.), Moscow, IP Filimonov M.V. Publ., 2014, 560 p. (In Russian)

Shevchenko V.P., Lisitsyn A.P., Shtain R., Goryunova N.V., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Krivs M., Novigatskii A.N., Sokolov V.T., Filippov A.S., Khaas Kh. Raspredelenie i sostav nerastvorimykh chastits v snege Arktiki [Distribution and composition of insoluble particles in Arctic snow], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2007, no. 1(75), p. 106–118. (In Russian)

Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Vorobyev S.N. Impact of snow deposition on major and trace element concentrations and elementary fluxes in surface waters of the Western Siberian Lowland across a 1700 km latitudinal gradient, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2017, vol. 21, p. 5725–5746.

Skipin L.N., Berseneva A.G. Ekologicheskaya otsenka urbanozemov na primere territorii goroda Tyumeni [Ecological assessment of urbanozems (case study of the city of Tyumen)], *Agrarnyi vestnik Urala*, 2014, no. 2(120), p. 71–73. (In Russian)

Syso A.I., Artamonova V.S., Sidorova M.Yu., Ermolov Yu.V., Cherevko V.S. Zagryaznenie atmosfery, snegovogo i pochvennogo pokrova g. Novosibirsk [Pollution of the atmosphere, snow and soil cover of Novosibirsk], *Optika atmosfery i okeana*, 2005, vol. 18, no. 8, p. 663–669. (In Russian)

Talovskaya A.V. Geokhimicheskaya kharakteristika pylevykh atmosferynykh vypadenii na territorii g. Tomska [Geochemical characteristics of dust atmospheric precipitation on the Tomsk area], *Optika atmosfery i okeana*, 2010, vol. 23, no. 6, p. 519–524. (In Russian)

Talovskaya A.V., Filimonenko E.A., Yazikov E.G. Dinamika elementnogo sostava snegovogo pokrova na territorii severo-vostochnoi zony vliyaniya Tomsk-Severskoi promyshlennoi aglomeratsii [Dynamics of the elemental composition of the snow cover in the north-eastern zone of influence of Tomsk-Seversk industrial agglomeration], *Optika atmosfery i okeana*, 2014, vol. 27, no. 6, p. 491–495. (In Russian)

Vasilevich M.I., Beznosikov V.A., Kondratenko B.M. Chemical composition of snow cover in the taiga zone of the Komi Republic, *Water Resources*, 2011, vol. 38, no. 4, p. 530–542.

Yaroslavtseva T.V., Raputa V.F. Zakonomernosti dlitel'nogo zagryazneniya atmosfery i snezhnogo pokrova g. Novosibirsk [Regularities of long-term pollution of the atmosphere and snow cover in Novosibirsk], *Interekspo Geo-Sibir'*, 2015, vol. 4, no. 2, p. 28–33. (In Russian)

Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhornyak L.V. Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territorii g. Tomska po dannym izucheniya pyleaerozolei i pochv [Assessment of the ecological and geochemical state of the territory of Tomsk according to the study of dust aerosols and soils], Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publishing house, 2010, 264 p. (In Russian)

Web-sources

Arkhir pogody v Tyumeni [Weather archive in Tyumen], Raspisanie pogody [Weather Schedule], URL: <https://rt5.ru/> (access date 02.08.2020).

Naselenie [Population], Tyumen oblast. Portal of state authorities, URL: https://admtyumen.ru/ogv_ru/about/cities/tyumen/population.htm (access date 02.08.2020).

Received 06.08.2020

Revised 03.10.2020

Accepted 06.11.2020