

УДК 504.3.054

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩ
ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА
НА СОДЕРЖАНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ И СУБМИКРОННОЙ
ФРАКЦИИ АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА ЗАКАМЕНСКА****Цыдыпов В.В., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Стариков А.В.,
Дементьева А.Л., Нагуслаев С.А., Бальжанов Т.С., Сунграпова И.П.***ФГБУН «Институт физического материаловедения» Сибирского отделения
Российской академии наук, Улан-Удэ, e-mail: tsydyпов@inbox.ru*

Одним из значимых показателей качества атмосферного воздуха является содержание в нем взвешенных веществ. Согласно документам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), взвешенные вещества – мелкодисперсные фракции аэрозоля PM_{10} (частицы размером менее 10 мкм), содержащиеся в атмосферном воздухе, являются по степени своего вредного воздействия одним из наиболее значимых факторов влияния загрязнения воздуха на здоровье населения. Взвешенные частицы при проникновении в органы дыхания человека приводят к нарушению системы дыхания и кровообращения. В статье впервые представлены результаты экспериментальных исследований пространственно-временного распределения мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} в воздухе г. Закаменск. Город Закаменск характеризуется неблагоприятной экологической ситуацией, связанной, прежде всего, с деятельностью бывшего Джидинского вольфрамо-молибденового комбината. По результатам инструментальных замеров атмосферного воздуха выявлены районы с максимальным содержанием PM_{10} , превышающим среднесуточные предельно допустимые концентрации (до 4ПДК_{ср}). Существенное увеличение концентрации PM_{10} в атмосфере города наблюдается при преобладании восточного и северо-восточного ветра, со стороны Барун-Нарынского хвостохранилища. Проведены измерения счетной концентрации частиц субмикронной фракции аэрозоля в селитебной зоне г. Закаменск. Установлено, что в течение суток преобладает субмикронная фракция аэрозоля, представленная модой Айткена ($0,01 \text{ мкм} < d < 0,08 \text{ мкм}$) и аккумуляционной модой ($0,08 \text{ мкм} < d < 0,2 \text{ мкм}$). Обнаружено высокое содержание аэрозольных частиц субмикронной фракции с общей счетной концентрацией 7538 частиц/см³. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии проведен химический анализ мелкодисперсного аэрозоля PM_{10} на содержание тяжелых металлов. Обнаружено, что основными загрязнителями атмосферы являются хром Cr, никель Ni, медь Cu, свинец Pb. Содержание свинца в атмосфере Закаменска превышает предельно допустимую среднесуточную концентрацию в 2 раза.

Ключевые слова: атмосфера, мелкодисперсная и субмикронная фракции аэрозоля PM_{10} , химический анализ, тяжелые металлы, хвостохранилище

**THE IMPACT OF TECHNOGENIC SANDS OF TAILING OF THE DZHIDIN
TUNGSTEN-MOLYBDENUM COMBINE ON THE CONTENT OF FINE
AND SUBMICRON FRACTION OF AEROSOL IN THE ATMOSPHERE OF ZAKAMENSK****Tsydyпов V.V., Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Starikov A.V.,
Dementeva A.L., Naguslaev S.A., Balzhanov T.S., Sungrapova I.P.***Institute of Physical Materials of Science, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, e-mail: tsydyпов@inbox.ru*

One of the significant indicators of air quality is the content of suspended substances in an atmosphere. According to the documents of the World Health Organization (WHO), suspended substances – PM_{10} aerosol fractions (particles less than 10 microns in size) are one of the most significant factors influencing the health of air pollution on the population. The article presents for the first time the results of experimental studies of the spatial-temporal distribution of the suspended particles PM_{10} in the atmosphere of Zakamensk. Areas with maximum levels of concentration of the suspended particles, exceeding allowable concentration are revealed. A significant increase of PM_{10} concentration in the city's atmosphere is observed with the predominance of the eastern and northeasterly winds from the Barun-Naryn tailing pond. In the residential zone of Zakamensk the concentration of submicron aerosol particles were measured. It was found that during the day, the submicron aerosol fraction represented by the Aitken mode ($0,01 \mu\text{m} < d < 0,08 \mu\text{m}$) and the accumulative mode ($0,08 \mu\text{m} < d < 0,2 \mu\text{m}$) prevails. The high content of aerosol particles of submicron fraction with total counting concentration of 7538 particles/cm³ was found. By atomic absorption spectrometry the chemical analysis of the suspended particles PM_{10} particles on the content of heavy metals has carried out. It was found that the main pollutants of the atmosphere are chromium Cr, nickel Ni, copper Cu, and lead Pb. The lead content in the atmosphere of Zakamensk exceeds the maximum daily average daily concentration by 2 times.

Keywords: atmosphere, fine and submicron aerosol fraction PM_{10} , chemical analysis, heavy metals, tailing pond

В последние годы проблема рационального использования природных ресурсов вызывает большой интерес в связи с загрязнением окружающей среды и истощением

запасов полезных ископаемых. Процесс разработки полезных ископаемых сопровождается вторжением в окружающую среду и нарушением природного равновесия.

Среди природно-техногенных образований, сформированных в результате деятельности горнодобывающей промышленности, особое место занимают хвостохранилища. Образование хвостохранилищ создает благоприятные условия для проявления ветровой эрозии и, как следствие, ведет к значительному запылению прилегающих территорий. Одним из примеров пылевого загрязнения от техногенных образований являются хвостохранилища обогатительных фабрик закрывшегося в 1997 г. Джидинского вольфрам-молибденового комбината (ДВМК), который располагался в черте г. Закаменска Республики Бурятия.

В хвостохранилищах комбината было накоплено 44,5 млн т отходов обогащения на площади 12 км² [1]. Как показали экологические исследования, проводившиеся в разные годы в этом районе, более 65 лет под воздействием производственных отходов комбината оказались загрязненными токсичными элементами атмосфера, почва, растительность, поверхностные и подземные воды. В 2011 г. в рамках реализации федеральной целевой программы техногенные пески, прилегающие в селитебной зоне г. Закаменска, были перемещены за его пределы в отвал в пади Барун-Нарын с целью их дальнейшей переработки. Однако это еще более усугубило критическую ситуацию, поскольку хвостохранилище переместили на возвышенность с восточной стороны в 1,5 км от города. Вертикальные потоки воздуха над нагретой поверхностью вызывают появление пылевых столбов радиусом от 5 до 100 м и высотой до 2 км. Под действием ветрового потока и прогрева земной поверхности техногенные пески переносятся на близлежащие территории. Мелкие частицы при сильном ветре составляют 3–40 % от величины суммарного переноса пыли [2]. По степени своего вредного воздействия одним из наиболее значимых факторов, влияющих на загрязнение атмосферного воздуха и на здоровье населения, согласно документам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), являются мелкодисперсные фракции аэрозоля PM₁₀ (частицы размером менее 10 мкм) и субмикронные фракции аэрозоля (частицы размером менее 1 мкм) [3]. По российским нормам, среднее за сутки содержание PM₁₀ в воздухе не должно превышать 0,06 мг/м³ (ПДК_{сс}). Максимальный разовый уровень предельно допустимой концентрации (ПДК_{м.р.}) для PM₁₀ составляет 0,3 мг/м³ [4].

Сложившаяся неблагоприятная экологическая обстановка предопределяет актуальную проблему исследования – необходимость получения натуральных данных о концентрациях мелкодисперсной и субмикронной фракций аэрозоля и пути их переноса в атмосфере г. Закаменска и прилегающих территорий к хвостохранилищам Джидинского вольфрам-молибденового комбината.

В статье приводятся результаты специальных рекогносцировочных исследований мелкодисперсных и субмикронных фракций аэрозоля для объективной оценки воздействия хвостохранилищ Джидинского вольфрам-молибденового комбината на качество атмосферного воздуха г. Закаменска.

Материалы и методы исследования

Отборы проб воздуха проводились в октябре 2014 г. и 2015 г. в пунктах 1, 2, 3 (рис. 1) на фильтры АФА-ХА с помощью высокообъемного пробоотборника мелкодисперсного аэрозоля PM₁₀ фирмы Andersen Instruments Inc. (США) со скоростью прокачки воздуха 1,7 м³/мин. Дополнительно в октябре 2015 г. в пункте 4 проводились измерения счетной концентрации аэрозольных частиц с помощью диффузионного спектрометра аэрозолей (ДСА) [5]. Диффузионный спектрометр аэрозолей позволяет с высокой точностью в реальном режиме времени измерять концентрацию аэрозольных частиц диаметром до 0,2 мкм, а также распределение их содержания по размерам.

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии с помощью спектрометра КВАНТ–Z.ЭТА проведен химический анализ мелкодисперсного аэрозоля PM₁₀ на содержание кадмия (Cd), свинца (Pb), хрома (Cr), никеля (Ni), мышьяка (As). За весь период наблюдения было отобрано 118 проб. Одновременно с отбором проб воздуха проводились измерения метеорологических параметров с помощью акустического метеоконкомплекса АМК-03 [6].

Пункт № 1 расположен в селитебной городской зоне вблизи бывшего ДВМК, ранее рядом с которым находились первичные техногенные отходы хвостохранилища «Лежалые пески».

Пункт № 2 можно считать условно «фоновым», который расположен на склоне горного хребта на расстоянии 3 км от скоплений техногенных песков.

Пункт № 3 расположен непосредственно на территории Барун-Нарынского хвостохранилища.

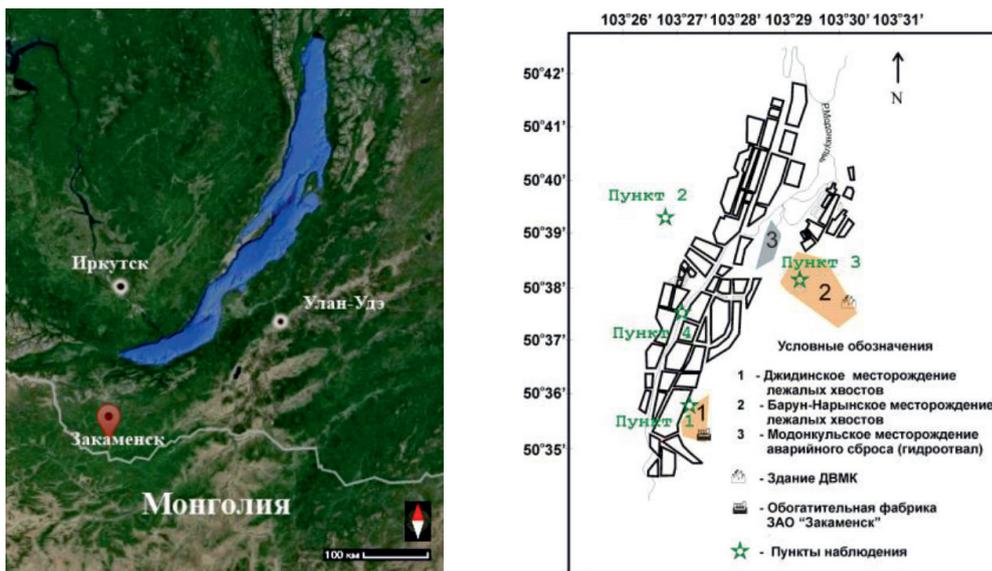


Рис. 1. Пункты отбора проб мелкодисперсных и субмикронных фракций аэрозоля в атмосферном воздухе г. Закаменска

Пункт № 4 находится в центральной части города в жилом массиве вблизи пересечения автомобильных дорог.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование ветровых характеристик района. Город Закаменск расположен в межгорной котловине, вплотную к нему примыкают средневысотные горы с абсолютными отметками 1300–1400 м. Часто наблюдаются приземные инверсии (повышение температуры воздуха с высотой) в сочетании с периодами слабых ветров, что приводит к застою воздуха. Поскольку в г. Закаменске отсутствует метеорологическая станция наблюдения, для исследования ветровых характеристик (скорости и направления ветра) использованы фондовые данные за 3-летний период (1999–2001 гг.) ближайшей метеорологической станции Цакир (с. Цакир расположено в 23 км от районного центра – г. Закаменска). Обработано и проанализировано 18503 данных измерений.

Во все сезоны года в суточном ходе скорости ветра максимум наблюдается в 18 ч и минимум в 06 ч. Средняя годовая скорость ветра невелика и составляет 1,5 м/с. Максимальные значения скорости ветра наблюдались весной в мае, в отдельные дни порывы ветра достигали до 34 м/с. Минимальные значения с преобладающей градицией скорости ветра 0–2 м/с выявлены в зимний пе-

риод. Отличительной чертой ветрового режима является большая повторяемость штилей: зимой – 26%, весной – 11%, летом – 8%, осенью – 18%, что способствует накоплению загрязняющих веществ над городом.

Анализ данных по повторяемости направления ветра позволяет сделать вывод о том, что во все сезоны года преобладают западное, юго-западное и северо-западное направления ветра. В зимний период преимущественно наблюдаются ветра западного направления (40%), наименьшую повторяемость имеют ветра юго-восточного (2%), северного (6%), южного (7%), северо-восточного (8%) и восточного (9%) направлений. Весной, летом и осенью преобладание западного ветра сохраняется (26%, 24%, 32%), но отмечается возрастание повторяемости восточного направления ветра 15%, 22% и 15% соответственно. В весенне-летний период при преобладании восточного направления ветра техногенная пыль с Барун-Нарынского хвостохранилища переносится на город, создавая тем самым неблагоприятную экологическую обстановку и угрозу риска здоровья населения.

Пространственно-временное распределение мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} . На рис. 2 представлен суточный ход массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} . В течение суток значения концентрации PM_{10} варьировались в интервале 0,001–0,333 мг/м³. Из рис. 2

видно, что максимальные концентрации PM_{10} наблюдались в пункте 3 на Барун-Нарынском хвостохранилище, значения которых выше в 1,8 раза, чем в пункте 1 и выше в 30,9 раза, чем в пункте 2 (условно «фоновый» пункт). Повышенный уровень мелкодисперсного аэрозоля связан с тем, что с подстилающей поверхности хвостохранилища, контуры которого являются незакрепленными, открытыми и эрозионно-опасными, под воздействием ветра происходит подъем и перенос аэрозольных частиц. Рассчитано, что с одного гектара сухой поверхности хвостохранилища при скорости ветра от 0,5 до 0,8 м/с в атмосферу поступает от 2,0 до 5,0 т мелкодисперсной пыли в сутки [7].

В пункте 3 в суточном ходе массовой концентрации PM_{10} максимум приходится на дневные и ночные, а минимум на утренние часы. Амплитуда составила 0,192 мг/м³. Среднесуточная концентрация PM_{10} составила 0,247 мг/м³, что превысило ПДК_{сс} в 4,1 раза. В дневное время с ростом температуры и усилением турбулентных процессов в приземном слое атмосферы наблюдался высокий уровень массовой концентрации PM_{10} , который превышал максимально разовые ПДК_{мр} в 1,1 раза.

В жилтбной городской зоне (пункт 1) в течение дня также наблюдались повышенные значения концентрации PM_{10} с максимумом 0,167 мг/м³ в вечерние часы. Если в пункте 3 на высокий уровень концентрации PM_{10} влияет непосредственно Барун-Нарынское хвостохранилище, то в пункте 1 повышенные значения мелкодисперсной фракции аэрозоля могут быть вследствие влияния нескольких факторов. Во-первых, пункт 1 расположен на территории, к которой раньше вплотную примыкали техногенные пески

хвостохранилище «Лежалые пески». Однако рекультивированное хвостохранилище в 2011 г. на котором отсутствует растительный покров, а верхний слой, представляющий собой смесь погребенного ранее гумусового горизонта и отходов производства, по-прежнему является источником поступления в атмосферу мелкодисперсных взвешенных частиц и тяжелых металлов [8]. Во-вторых, расположенные в пределах 300–400 м от пункта 1 котельная города и завода «Литейщик» вносят дополнительный вклад в загрязнение воздуха. В пункте 1 среднесуточная концентрация PM_{10} превышала ПДК_{сс} в 2,3 раза.

Наиболее чистый воздух наблюдался в пункте 2, который расположен на возвышенности и менее подвержен влиянию антропогенной эмиссии. В данном пункте суточный ход массовой концентрации PM_{10} слабо выражен. Среднесуточная концентрация PM_{10} составила 0,009 мг/м³.

Содержание субмикронной фракции аэрозоля. В октябре 2015 г. проведены натурные наблюдения за микрофизическими характеристиками аэрозоля в атмосфере г. Закаменска в пункте 4, который находился в центральной части города в жилом массиве. Установлено, что в течение суток преобладает субмикронная фракция аэрозоля, представленная модой Айткена ($0,01 \text{ мкм} < d < 0,08 \text{ мкм}$) и аккумуляционной модой ($0,08 \text{ мкм} < d < 0,2 \text{ мкм}$), что свидетельствует об антропогенном происхождении аэрозольных частиц. Из рис. 3 видно, что в течение суток 14.10.15–15.10.15 максимум общей счетной концентрации аэрозоля приходится на утренние и дневные часы. Максимальное содержание аэрозоля составило 7538 частиц/см³.

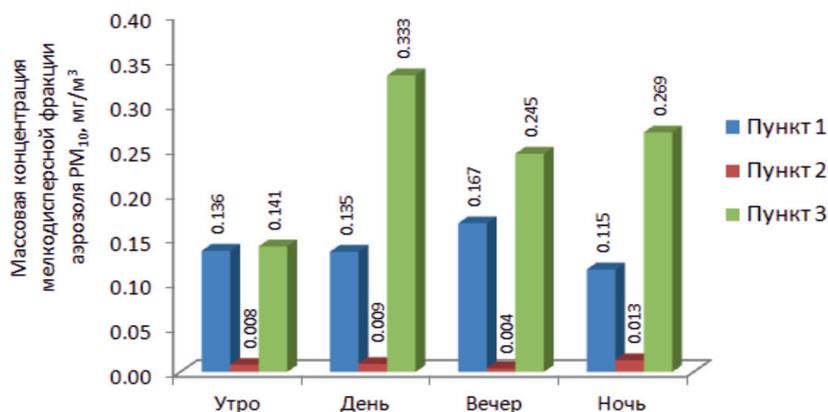


Рис. 2. Суточный ход массовой концентрации PM_{10} , октябрь 2014 г.

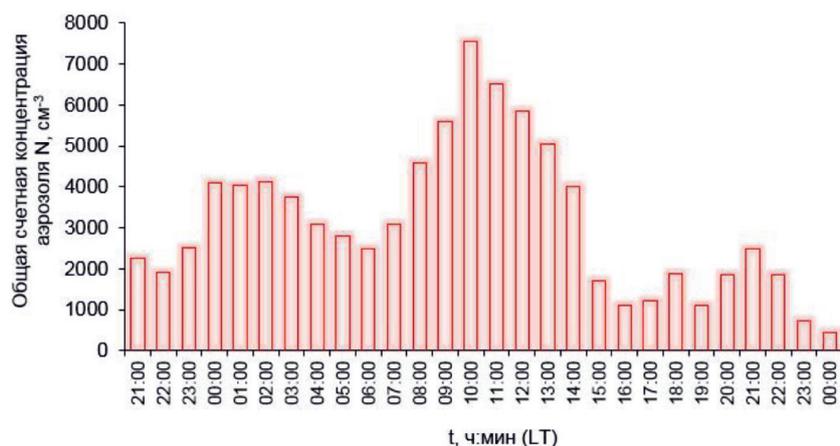


Рис. 3. Суточный ход среднечасовых значений общей счетной концентрации субмикронной фракции аэрозоля в приземном слое атмосферы г. Закаменска

По данным акустического метеокомплекса АМК-03 в период измерений часто наблюдалось преобладание северо-восточного и восточного ветра со стороны Барун-Нарынского хвостохранилища, что может служить основной причиной аэрозольного загрязнения атмосферы в пункте 4. Следует отметить, что подобные высокие концентрации аэрозолей характерны для пустыни Гоби в период прохождения пыльной бури, когда общая счетная концентрация увеличивалась до 8000 частиц/см³ [9]. В ночные и вечерние часы также наблюдается повышенный уровень счетной концентрации аэрозоля (до 4131 частиц/см³). Дополнительный вклад в аэрозольное загрязнение атмосферы вносит автотранспорт, выхлопные газы которого оказывают существенное влияние на состояние приземного аэрозоля в окрестностях пункта 4.

Содержание тяжелых металлов в мелкодисперсной фракции аэрозоля PM₁₀. Проведен химический анализ на тяжелые металлы мелкодисперсной фракции аэрозоля PM₁₀, отобранной в пункте 1. Содержание химических элементов, представляющих собой приоритетные загрязнители, прежде всего обусловлено их поступлением из нескольких источников: хвостохранилищ с высокими концентрациями тяжелых металлов, от завода «Литейщик», от котельной города и автотранспорта. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что тяжелые металлы образуют следующий ряд концентраций: Pb > Ni > Cu > Cr > Cd > As > Zn. Результаты элементного анализа мелкодисперсной фракции аэрозоля PM₁₀ представлены на рис. 4.

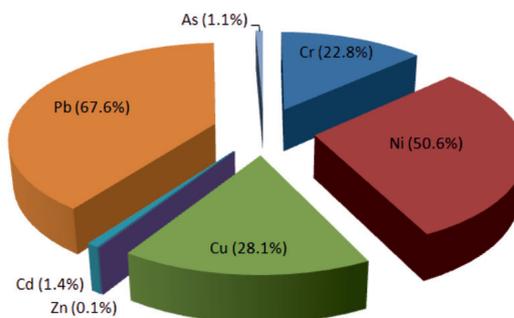


Рис. 4. Процентное содержание тяжелых металлов в мелкодисперсной фракции аэрозоля PM₁₀

В мелкодисперсной фракции аэрозоля PM₁₀ по массовой доле преобладают свинец Pb и никель Ni, концентрации, которых в течение дня изменялись от 43,64*10⁻⁵ до 73,6*10⁻⁵ мг/м³ и от 35,80*10⁻⁵ до 64,29*10⁻⁵ мг/м³ соответственно. В суточном ходе практически по всем анализируемым элементам максимальные концентрации тяжелых металлов отмечаются в дневные часы. Выявлено, что содержание свинца превышало в 2 раза предельно допустимую среднесуточную концентрацию (ПДК = 30*10⁻⁵ мг/м³). Отметим, что свинец по своему воздействию на организм человека относится к веществам 1 класса опасности. Содержание остальных тяжелых металлов в атмосферном воздухе не превышает соответствующие им гигиенические нормативы [10].

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования пространственно-временного

распределения мелкодисперсной фракции аэрозоля позволяют сделать вывод, что в атмосфере г. Закаменска наблюдается увеличение концентрации PM_{10} при восточном и северо-восточном направлении ветра со стороны Барун-Нарынского хвостохранилища. Наиболее подверженными влиянию антропогенной нагрузки являются пункты 1 и 3, находящиеся в непосредственной зоне воздействия техногенных песков хвостохранилищ Джидинского вольфрамо-молибденового комбината. Выявлено высокое содержание аэрозольных частиц субмикронной фракции с общей счетной концентрацией, равной 7538 частиц/ $см^3$, сравнимое с концентрацией в пустыне Гоби в период прохождения пыльных бурь. Обнаружено, что содержание свинца в атмосфере Закаменска превышает предельно допустимую среднесуточную концентрацию в 2 раза.

Результаты исследования пространственно-временного распределения мелкодисперсной и субмикронной фракций аэрозоля в атмосфере г. Закаменска могут быть использованы для оценки риска здоровью населения, для успешного осуществления мероприятий по ликвидации накопленных экологических последствий деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината в рамках реализации федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы».

Работа выполнена в рамках базового финансирования проекта № 0336-2019-0007.

Список литературы / References

- Иметхенов А.Б., Иметхенов О.А., Иметхенова О.В. Влияние техногенных песков Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (Джидаккомбината) на окружающую среду (Республика Бурятия) // Вестник ВСГУТУ. 2016. № 6. С. 47–53.
- Imetkhenov A.B., Imetkhenov O.A., Imetkhenova O.V. The influence of technogenic sand of Dzhidinsky tungsten and molybdenum plant (Dzidakompinat) on the environment (Republic of Buryatia) // Vestnik Esstu. 2016. № 5. P. 47–53 (in Russian).
- Махонько К.П. Возникновение ветрового переноса пыли над подстилающей поверхностью. Обнинск: ГМЦ СССР, 1968. 49 с.
- Makhonko K.P. The emergence of wind transfer of dust over the underlying surface. Obninsk: GMT USSR, 1968. 49 p. (in Russian).
- Информационный бюллетень. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения. Копенгаген: ВОЗ, 2013. 20 с.
- Bulletin. The effects of suspended particles on health. Significance for policy development in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. World Health Organization Regional Office for Europe. Copenhagen: WHO, 2013. 20 p. (in Russian).
- РД 52.04.830-2015. Массовая концентрация взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. СПб.: ГГО им. А.И. Воейкова, 2015. 41 с.
- RD 52.04.830-2015. Mass concentration of suspended particles PM_{10} and $PM_{2.5}$ in atmospheric air. Measurement method gravimetric method. SPb.: GGO A.I. Voeikova, 2015. 41 p.
- Анкилов А.Н., Бакланов А.А., Еременко С.И., Дубцов С.Н., Митроченко В.Г., Валиулин С.В., Овчинникова Т.Э., Карасев В.В. Спектрометр для оперативного контроля размеров и концентрации наночастиц в газовой фазе // Фундаментальные основы МЭМС- и нанотехнологий: доклады IV Всероссийской конференции (г. Новосибирск, 06-08 июня 2012 г.). Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2012. С. 41–46.
- Ankilov A.N., Baklanov A.A., Eremenko S.I., Dubtsov S.N., Mitrochenko V.G., Valiulin S.V., Ovchinnikova T.E., Karasev V.V. Spectrometer for operative control of size and concentration of nanoparticles in gaseous phase // Fundamentalnie osnovi MEMS- i nanotechnology: doklady IV Vserossiyskoy konferencii (g. Novosibirsk, 06-08 iyunya 2012 g.). Novosibirsk: Izd-vo NGASU (Sibstrin), 2012. P. 41–46 (in Russian).
- Азбукин А.А., Богусевич А.Я., Кобзев А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Шелевой В.Д. Автоматические метеостанции АМК-03 и их модификации // Датчики и системы. 2012. № 3. С. 47–52.
- Azbukin A.A., Bogushevich A.Ya., Kobzev A.A., Korolkov V.A., Tikhomirov A.A., Shelevoy V.D. Automatic weather stations, their modifications and applications // Datchiki and Systemi. 2012. № 3. P. 47–52 (in Russian).
- Пашкевич М.А., Понуров И.К. Геологические особенности техногенного загрязнения природных экосистем зоны воздействия хвостохранилищ Михайловского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 349–356.
- Pashkevich M.A., Ponurov I.K. Geological features of technogenic pollution of natural ecosystems of the impact zone of the tailings of the Mikhailovsky GOK // Gorny Analytical Bulletin. 2006. № 5. P. 349–356 (in Russian).
- Тимофеев И.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия почвенного покрова горнопромышленных ландшафтов на юго-западе Забайкалья (город Закаменск) // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 49–61.
- Timofeev I.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Soil cover geochemistry of mining landscapes in the South-East of Transbaikalia (City of Zakamensk) // Geography and Natural Resources. 2016. № 3. P. 49–61 (in Russian).
- Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Сунграпова И.П., Цыдыпов В.В. Особенности суточной изменчивости мелкодисперсной фракции аэрозоля в атмосфере прибрежной зоны озера Байкал и аридной зоны Монголии // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 8. С. 17–23.
- Zayakhanov A.S., Zhamsueva G.S., Sungrapova I.P., Tsydyпов V.V. Features of diurnal variability of ultrafine fraction aerosol in the atmosphere of the coastal zone of Lake Baikal and the arid zone of Mongolia // Atmospheric and Oceanic Optics. 2018. № 8. P. 17–23 (in Russian).
- РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (в ред. РД 52.04.667-2005). М.: Росгидромет, 2006. 556 с.