

Организация производства и обеспечение безопасности и экологичности производственных процессов в нефтегазовой отрасли

Organization of production and ensuring the safety and environmental friendliness of production processes in the oil and gas industry

05.02.22 Организация производства (по отраслям) (технические науки)

УДК 528.88:711.5

DOI: 10.31660/0445-0108-2023-1-97-107

Использование геоинформационных систем в зондировании эколого-хозяйственной сети городской среды северных территорий

Н. Л. Мамаева^{1, 2*}, С. А. Петров¹

¹Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

*mamaeva.natali2011@mail.ru

Аннотация. Глобальное изменение климата и его влияние на окружающую среду — одна из главных проблем XXI века. В Арктической зоне, где сосредоточены значительные запасы нефти и газа, потепление происходит в 2–3 раза быстрее, чем в среднем по миру. На фоне усиленного арктического потепления тепловое загрязнение создало постоянные городские острова тепла, где городские температуры на 1–2 °С выше, чем в прилегающих районах. Поэтому целью исследования стала геоинформационная оценка климатических и антропогенных характеристик в различных зонах г. Тюмени (рекреационные зоны (парки и водоемы) и зона городских магистралей) летом 2021 года. В исследованиях использовалась программа Earth, статистическая обработка результатов проводилась с помощью программного обеспечения «IBM SPSS Statistics 21». Установлено, что в летний период 2021 года наблюдается наличие циркадного суточного ритма как в рекреационных зонах (парки и водоемы) так и в зоне городских магистралей (скорость ветра, температура и относительная влажность воздуха, концентрация CO, CO₂, SO₂, NO₂). Обнаруженные корреляционные взаимосвязи между климатическими характеристиками и антропогенными загрязняющими веществами и аэрозолями свидетельствуют о том, что глобальное изменение климата сопряжено с ухудшением экологической ситуации в условиях городской среды и не зависит от ландшафтных особенностей города.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, северные территории, городская среда, климат, геоинформационное зондирование

Для цитирования: Мамаева, Н. Л. Использование геоинформационных систем в зондировании эколого-хозяйственной сети городской среды северных территорий / Н. Л. Мамаева, С. А. Петров. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-1-97-107 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 1. – С. 97–107.

Application of geoinformation systems in sounding the ecological and economic network of the urban environment in the northern territories

Natali L. Mamaeva^{1, 2*}, Sergei A. Petrov¹

¹Tyumen Scientific Center SB RAS, Tyumen, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*mamaeva.natali2011@mail.ru

Abstract. Global climate change and its impact on the environment is one of the main problems of the 21st century. In the Arctic zone, where considerable oil and gas reserves are located, warming is 2-3 times faster than the world average. Against the backdrop of increased Arctic warming, thermal pollution has created permanent urban heat islands, where urban temperatures are 1-2 degrees Celsius higher than in surrounding areas. The aim of the article was a geoinformation assessment of climatic and anthropogenic characteristics in various zones of Tyumen (recreational zones (parks and reservoirs) and the zone of urban highways) in the summer of 2021. The Earth program was used in the studies, statistical processing of the results was carried out using the IBM SPSS Statistics 21 software. It has been found that a circadian diurnal rhythm is observed both in recreational areas (parks and reservoirs) and in the area of urban highways (wind speed, temperature and relative humidity, concentration of CO, CO₂, SO₂, NO₂) in the summer of 2021. The revealed correlation relationships between climatic characteristics and anthropogenic pollutants and aerosols indicate that global climate change is associated with the deterioration of the ecological situation in the urban environment and doesn't depend on the landscape features of the city.

Keywords: technogenic pollution, northern territories, urban environment, climate, geoinformation sounding

For citation: Mamaeva, N. L., & Petrov, S. A. (2023). Application of geoinformation systems in sounding the ecological and economic network of the urban environment in the northern territories. *Oil and Gas Studies*, (1), pp. 97-107. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-1-97-107

Введение

В Арктической зоне, где сосредоточены значительные запасы нефти и газа, потепление происходит в 2–3 раза быстрее, чем в среднем по миру [1, 2]. Отчасти это связано с климатическими факторами, особенностями радиационного фона и антропогенной нагрузки, в частности из-за изменений парниковых газов и аэрозолей в этом регионе [3–5]. Помимо потепления, вызванного увеличением глобального содержания углекислого газа в атмосфере (CO₂), концентрации тропосферного озона (O₃), метана (CH₄), аэрозолей (углерода и сульфатов) на нефтегазоносных территориях внесли существенный вклад в потепление в Арктике с 1890 года [6, 7]. Несмотря на то, что взгляды ученых на первопричины наблюдаемых изменений климата весьма различны, факт наличия самих изменений не вызывает сомнений [8]. При этом отсутствует единая точка зрения на основные причины и тенденции динамики современного изменения климата, а также ее последствия для отдельных компонентов природной среды. Тем не менее аэрозоли являются важным и преобладающим компонентом не только в глобальном изменении климата, но ключевым фактором, влияющим на безопасность жизнедеятельности человека [9, 10]. При этом углерод, являющийся продуктом неполного сгорания и открытого сжигания биомассы/биотоплива [11, 12], поглощает большую часть падающей солнечной радиации¹ и поэтому активно участвует в потеплении [13]. Поэтому в по-

¹ Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm>.

следнее время в научных кругах [14–17] активно исследуется динамика климата, особенно северных территорий. Даже на фоне усилившегося арктического потепления тепловое загрязнение создало городские острова тепла или, согласно англоязычным источникам, urban heat island (UHI), где температуры на несколько градусов выше, чем в прилегающих районах. Эти эффекты обнаруживаются даже в небольших поселениях. Изменение температуры на несколько градусов обусловлено как развитием градостроительства на территории городов, так и поступлением различных компонентов антропогенного происхождения.

Основная причина повышенных температур в городе — антропогенные преобразования земной поверхности. Они проявляются в плотной застройке городской среды, покрытии естественной поверхности материалами, активно поглощающими тепловое излучение, и сокращении площадей, занятых зелеными насаждениями, что ведет к изменениям в термических свойствах земной поверхности и понижает суммарное испарение. Высокие здания имеют большую площадь поверхности для отражения и поглощения солнечного излучения, что увеличивает интенсивность нагрева городских территорий. Другая особенность вклада зданий в формирование теплового острова: в городе происходит блокирование ветров, что приводит к снижению интенсивности конвективного охлаждения. Что касается суточной динамики колебаний разницы температур между городом и пригородом, то тепловой остров города характеризуется наибольшими значениями вечером и ночью. Если говорить о сезонной динамике, то следует отметить, что тепловой остров проявляется как летом, так и зимой².

Глобальное изменение климата, возникшее в результате увеличения концентрации парниковых газов, может привести к повышению влажности в атмосфере, которая является очень важным параметром окружающей среды, так как водяные пары сами по себе являются парниковыми газами [18]. В последние годы спутниковые технологии играют все более важную роль в климато-экологическом мониторинге состояния окружающей среды в режиме реального времени (Real-time) [19]. Группа авторов использовали геоинформационную систему (ГИС), в рамках программы РЕЕХ, и показали влияние атмосферных аэрозолей на глобальное изменение климата. Было проведено моделирование недавнего прошлого (1990–2014 гг.) и будущего (2015–2050 гг.) с использованием модели системы Земля «GISS-E2.1» для изучения аэрозольных нагрузок и их радиационного воздействия на климат Арктики (> 60° N). Использовалась база данных «Eclipse V6b» антропогенных выбросов из проекта взаимного сравнения сопряженных моделей (CMIP6). Было показано, что даже сценарии с наибольшим сокращением выбросов приводят к такому же воздей-

² Использование космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для географических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geogr.msu.ru/afedra/karta/materials/heat_img/files/2/urbanizirovannye_territorii.htm.

ствию на будущие температуры приземного воздуха в Арктике и протяженность морского льда, как и сценарии с меньшими сокращениями выбросов, что означает, что сокращение выбросов парниковых газов по-прежнему необходимо для смягчения последствий изменения климата [20].

Задачей нашего исследования стала оценка климатических и антропогенных характеристик в различных зонах г. Тюмени летом 2021 года с использованием геоинформационных систем.

Материалы и методы

Данные по воздушному режиму и химическим веществам, аэрозолям в г. Тюмени за летний период 2021 года получены с использованием геоинформационной системы «Earth: глобальная карта ветров, погодных условий и морских течений»³. В летний период года два раза в сутки (05.00 и 17.00 часов) в различных районах городской среды анализировали скорость ветра, температуру и относительную влажность воздуха, концентрацию CO, CO₂, SO₂, NO₂ и содержание пыли (PM1, PM2.5, PM10) на поверхности, экстинкцию сульфатами. Были выделены следующие городские экосистемы: рекреационные зоны (парки и водоемы) и зона городских магистралей. Количественные признаки подвергали статистической обработке с помощью интегрированного пакета программного обеспечения «IBM SPSS Statistics 21». При нормальном распределении использовали следующие статистические параметры: среднее значение (среднее арифметическое значение), дисперсия и ее производное (среднее квадратическое отклонение). Проводили сравнение достоверности различий или сходства между статистическими характеристиками, полученными при исследовании сравниваемых выборок (по критерию Стьюдента). Для вычисления достоверности различий между средними значениями рассчитывали стандартную ошибку средней арифметической величины. При отсутствии нормального распределения использовали непараметрические методы сравнения двух выборок с расчетом парного критерия Вилкоксона. Проводили корреляционный анализ с использованием коэффициента корреляций рангов Пирсона.

Результаты

Установлено, что климатические характеристики и содержание загрязняющих веществ в рассматриваемый период времени на поверхности анализируемых городских экосистем достоверно не отличались между собой. При этом скорость ветра, температура и относительная влажность воздуха, концентрация CO, CO₂, SO₂, NO₂ имели циркадный суточный ритм (таблица). В вечернее время наблюдалось увеличение концентрации CO₂ и уменьшение концентрации CO, SO₂, NO₂ во всех рассматриваемых

³ Earth: глобальная карта ветров, погодных условий и морских течений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth.nullschool.net/ru/>.

экосистемах городской среды. Что касается климатических характеристик, то в вечернее время наблюдается увеличение скорости ветра, температуры воздуха и уменьшение относительной влажности.

**Экологические характеристики городской территории
(летний период 2021 года)**

| Показатель | Парки | | Водоемы | | Магистраль | |
|--|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| | 05.00 ч | 17.00 ч | 05.00 ч | 17.00 ч | 05.00 ч | 17.00 ч |
| Скорость ветра, км/ч | 8,61 ± 0,48* | 10,93 ± 0,87 | 8,52 ± 0,49* | 10,94 ± 0,91 | 8,57 ± 0,48* | 11,00 ± 0,88 |
| Температура, °С | 13,39 ± 0,61*** | 22,15 ± 0,98 | 13,38 ± 0,60*** | 22,47 ± 0,93 | 13,40 ± 0,61*** | 22,47 ± 0,94 |
| Относительная влажность, % | 80,61 ± 1,76*** | 51,58 ± 2,95 | 80,54 ± 1,76*** | 51,04 ± 2,93 | 80,52 ± 1,77*** | 51,07 ± 2,98 |
| Концентрация СО, ppbv | 153,02 ± 5,32*** | 116,64 ± 1,75 | 151,91 ± 4,46*** | 116,65 ± 1,80 | 153,02 ± 5,26*** | 116,30 ± 1,74 |
| Концентрация СО ₂ , ppmv | 413,43 ± 1,91** | 420,27 ± 1,17 | 413,39 ± 1,91* | 419,98 ± 1,16 | 413,43 ± 1,91* | 420,02 ± 1,15 |
| Концентрация SO ₂ , мг/м ³ | 2,47 ± 0,21** | 1,50 ± 0,15 | 2,57 ± 0,23** | 1,53 ± 0,16 | 2,42 ± 0,19** | 1,52 ± 0,14 |
| Концентрация NO ₂ , ppbv | 1,40 ± 0,17*** | 0,66 ± 0,04 | 1,37 ± 0,16*** | 0,65 ± 0,04 | 1,37 ± 0,16*** | 0,65 ± 0,04 |
| Пыль, т | 0,05 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 |
| PM ₁ , мг/м ³ | 7,59 ± 0,71 | 6,49 ± 0,58 | 7,69 ± 0,72 | 6,61 ± 0,58 | 7,52 ± 0,71 | 6,59 ± 0,59 |
| PM _{2.5} , мг/м ³ | 8,96 ± 0,86 | 7,67 ± 0,71 | 9,02 ± 0,88 | 7,81 ± 0,71 | 8,91 ± 0,85 | 7,80 ± 0,70 |
| PM ₁₀ , мг/м ³ | 13,04 ± 1,23 | 11,35 ± 1,03 | 13,07 ± 1,24 | 11,48 ± 1,03 | 12,91 ± 1,22 | 11,48 ± 1,02 |
| Экстинкция сульфатами, т | 0,08 ± 0,01* | 0,06 ± 0,004 | 0,08 ± 0,01* | 0,06 ± 0,003 | 0,08 ± 0,01* | 0,06 ± 0,003 |

Примечание: * достоверность различий с 17.00 часами (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

Корреляционный анализ климатических и антропогенных показателей в рассматриваемых экосистемах городской среды выявил, что с повышением температуры воздуха увеличивается количество пыли ($r = 0,461$; $p < 0,001$) за счет средних (PM_{2.5}) и крупных (PM₁₀) твердых частиц ($r = 0,2$; $p < 0,05$). Концентрация СО ($r = -0,273$; $p = 0,004$), SO₂ ($r = -0,344$; $p = 0,0003$), NO₂ ($r = -0,270$; $p = 0,005$) и пыли ($r = -0,256$; $p = 0,008$) в атмосферном воздухе уменьшается с увеличением скорости ветра. В рассматриваемых экосистемах увеличение относительной влажности связано с увеличением концентраций СО ($r = 0,284$; $p = 0,003$), SO₂ ($r = 0,271$; $p = 0,005$), NO₂ ($r = 0,414$; $p < 0,001$), твердых частиц PM₁ ($r = 0,218$;

$p = 0,024$), PM2.5 ($r = 0,209$; $p = 0,03$), а концентрация CO₂ в атмосферном воздухе снижается ($r = -0,442$; $p < 0,001$).

Обсуждение

Городская агломерация — одна из наиболее значимых источников не только пыли, но и зона менее подвижного воздуха, из-за своей архитектуры, что в комплексе с климатическими и антропогенными факторами способствуют формированию городского острова тепла. На примере г. Тюмени с помощью ГИС «Earth: глобальная карта ветров, погодных условий и морских течений» за летний период 2021 года показано наличие циркадного суточного ритма климатических (скорости ветра, температуры и относительной влажности воздуха) и антропогенных (концентрации CO, CO₂, SO₂, NO₂) показателей как в рекреационных зонах (парки и водоемы), так и в зоне городских магистралей. При этом между климатическими и антропогенными параметрами городской среды были выявлены корреляционные взаимосвязи порядка $r = 0,2-0,4$. Т. J. Breider с соавторами (2017) показали влияние аэрозолей на радиационный фон в верхней части атмосферы, а баланс между содержанием соединений сульфатов и углерода на потепление ($+0,44 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) [21]. В литературном обзоре [20] отмечается, что аэрозоли вызвали потепление поверхности Арктики на $+0,30 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1980–2018 гг., что объясняет около 20 % возникшего потепления в Арктике, наблюдавшегося за последние четыре десятилетия, в то время как, согласно данным D. Shindell и G. Faluvegi (2009), аэрозоли способствовали $1,09 \pm 0,81 \text{ }^\circ\text{C}$ к наблюдаемому повышению температуры в приземной части воздуха в Арктике на $1,48 \pm 0,28 \text{ }^\circ\text{C}$ в 1976–2007 гг. [6]. АМАР (2015), основанный на четырех моделях системы Земли (ESM), оценил общую реакцию температуры приземного воздуха в Арктике из-за прямого воздействия текущих глобальных выбросов углерода и серы в результате сжигания⁴.

Обнаруженные корреляционные взаимосвязи между климатическими характеристиками и антропогенными загрязняющими веществами, и аэрозолями в г. Тюмени свидетельствуют о том, что глобальное изменение климата сопряжено с ухудшением экологической ситуации в условиях городской среды и не зависит от ландшафтных особенностей города. Таким образом, в целях обеспечения экологической безопасности и устойчивости развития городов необходим поиск наилучших доступных природоохранных технологий, а это возможно благодаря консолидации ресурсов академической науки, образования, специалистов различных отраслей знаний с использованием ГИС. Все это будет способствовать составлению геогра-

⁴ АМАР 2015 Assessment: Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. – 2015. – VII. – 116 p. – Режим доступа: <https://www.amap.no/documents/doc/amap-assessment-2015-black-carbon-and-ozone-as-arctic-climate-forcers/1299>.

фических карт рассеивания различных загрязняющих веществ в атмосферный воздух для обеспечения экологической безопасности жизнедеятельности человека, построению температурных карт городов и выявлению температурных аномалий и загрязнений природной среды городских объектов нефтегазового комплекса. Климато-экологический мониторинг с использованием ГИС способствует осуществлению прогнозирования переноса загрязняющих веществ в северных агломерациях, формированию единой упорядоченной информационной среды региона, начиная со сбора данных и заканчивая ее хранением, обновлением и представлением экологической информации городскому сообществу.

При этом городской остров тепла можно рассматривать как полигон для оценки глобального изменения климата на основе комплексного климато-экологического мониторинга состояния окружающей среды с целью прогнозирования глобальных и региональных изменений климата, их причин, понимания разнообразия климата и факторов его контроля. Для этого необходимо продолжать разрабатывать методики оценки городского острова тепла (УИТ), а также проводить научные исследования с применением ГИС с возможностью параметризации основных механизмов взаимодействия городской поверхности и атмосферы, таких как задержка зданиями уходящей коротковолновой и длинноволновой радиации (эффект «городского каньона») и формирование потоков тепла от отапливаемых зданий.

Выводы

Оценка климатических и антропогенных характеристик в различных зонах мегаполиса с использованием геоинформационных спутниковых систем показала, что экологические и климатические характеристики городской среды тесно связаны между собой. Глобальное изменение климата в сторону потепления, а в условиях мегаполиса температура на 1–2 °С еще выше, чем в прилегающих районах, сопряжено с антропогенными факторами (повышением концентрации аэрозолей и газов) и не зависит от ландшафтных особенностей городского острова тепла.

Список источников

1. IPCC : Climate Change 2013 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Edited by T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. – Text : electronic. – Cambridge : Cambridge University Press. – 2013. – 1535 p. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
2. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model / N. J. L. Lenssen, G. A. Schmidt, J. E. Hansen [et al.]. – DOI 10.1029/2018jd029522. – Direct text // Journal of Geophysical Research : Atmospheres. – 2019. – Vol. 124, Issue 12. – P. 6307–6326.

3. Папцов, А. Г. Глобальная продовольственная безопасность в условиях климатических изменений : монография / А. Г. Папцов, Н. А. Шеламова. – Москва : РАН, 2018. – 132 с. – Текст : непосредственный.
4. Shindell, D. Local and remote contributions to Arctic warming / D. Shindell. – Text : electronic // *Geophysical Research Letters*. – 2007. – Vol. 34, Issue 14. – URL: <https://doi.org/10.1029/2007GL030221>.
5. Polar amplification dominated by local forcing and feedbacks / M. F. Stuecker, C. M. Bitz, K. C. Armour [et al.]. – DOI 10.1038/s41558-018-0339-y. – Direct text // *Nature Climate Change*. – 2018. – Vol. 8. – P. 1076–1081.
6. Shindell, D. Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century / D. Shindell, G. Faluvegi. – DOI 10.1038/ngeo473. – Direct text // *Nature Geoscience*. – 2009. – Vol. 2, Issue 4. – P. 294–300.
7. Source attribution of Arctic black carbon and sulfate aerosols and associated Arctic surface warming during 1980–2018 / L. Ren, Y. Yang, H. Wang [et al.]. – DOI 10.5194/acp-20-9067-2020. – Direct text // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2020. – Vol. 20, Issue 14. – P. 9067–9085.
8. Арктический ледяной покров становится сезонным? / В. В. Иванов, В. А. Алексеев, Т. А. Алексеева [и др.]. – DOI 10.7868/S0205961413040076. – Текст : непосредственный // *Исследование Земли из космоса*. – 2013. – № 4. – С. 50–65.
9. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter / R. Burnett, H. Chen, M. Szyszkowicz [et al.]. – DOI 10.1073/pnas.1803222115. – Direct text // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2018. – Vol. 115, Issue 38. – P. 9592–9597.
10. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions / J. Lelieveld, K. Klingmüller, A. Pozzer [et al.]. – DOI 10.1093/eurheartj/ehz135. – Direct text // *European Heart Journal*. – 2019. – Vol. 40, Issue 20. – P. 1590–1596.
11. Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment / T. C. Bond, S. J. Doherty, D. W. Fahey [et al.]. – DOI 10.1002/jgrd.50171. – Direct text // *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*. – 2013. – Vol. 118, Issue 11. – P. 5380–5552.
12. A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion / T. C. Bond, D. G. Streets, K. F. Yarber [et al.]. – Text : electronic // *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*. – 2014. – Vol. 109. – URL: <https://doi.org/10.1029/2003jd003697>.
13. Jacobson, M. Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in the atmospheric aerosols / M. Z. Jacobson. – Direct text // *Nature*. – 2001. – Vol. 409. – P. 695–698.
14. Латышева, И. В. Циркуляционные условия внезапных стратосферных потеплений в Северном полушарии в XXI веке / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, Е. В. Шахаева. – Текст : непосредственный // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 106–121.
15. Клименко, В. В. Документальные свидетельства сильных колебаний климата Российской Арктики в XV–XX вв. / В. В. Клименко, Н. А. Астрина. – Текст : непосредственный // *История и современность*. – 2006. – № 1. – С. 179–217.

16. Клименко, В. В. Комплексная реконструкция температуры Российской Арктики за последние два тысячелетия / В. В. Клименко, В. В. Мацковский, Д. Дальманн. – Текст : непосредственный // Арктика : экология и экономика. – 2013. – № 4 (12). – С. 84–95.
17. Petrov, S. Urban development of heat island territories and the health of the northern indigenous population / S. Petrov, N. Mamaeva, M. Narushko. – Text : electronic // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 105. – URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710601035>.
18. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации : монография / Е. М. Акентьева, Е. И. Александров, Г. В. Алексеев [и др.] ; под редакцией В. М. Катцова ; Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Климатический центр Росгидромета. – Санкт-Петербург : Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова. – 2017. – 106 с. – Текст : непосредственный.
19. Петров, С. А. Использование спутниковых технологий для оценки климатических трендов в акватории Арктики / С. А. Петров, Н. Л. Мамаева. – DOI 10.7868/9785604610848091. – Текст : непосредственный // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике : сборник трудов конференции (Салехард, 03–12 ноября 2021 года) / Под редакцией В. П. Мельников, М. Р. Садуртдинов. – Салехард, 2021. – С. 339–342.
20. Present and future aerosol impacts on Arctic climate change in the GISS-E2.1 Earth system model / U. Im, K. Tsigaridis, G. Faluvegi [et al.]. – DOI 10.5194/acp-21-10413-2021. – Direct text // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2021. – Vol. 21, Issue 13. – P. 10413–10438.
21. Multidecadal trends in aerosol radiative forcing over the Arctic : Contribution of changes in anthropogenic aerosol to Arctic warming since 1980 / T. J. Breider, L. J. Mickley, D. J. Jacob [et al.]. – DOI 10.1002/2016JD025321. – Direct text // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2017. – Vol. 122, Issue 6. – P. 3573–3594.

References

1. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J.,... Midgley, P. M. (2013). (Eds) IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, 1535 p. (In English). Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
2. Lenssen, N. J. L., Schmidt, G. A., Hansen, J. E., Menne, M. J., Persin, A., Ruedy, R.,... Zyss, D. (2019). Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124(12), pp. 6307-6326. (In English). DOI: 10.1029/2018jd029522
3. Paptsov, A. G., & Shelamova, N. A. (2018). Global'naya prodovol'stvennaya bezopasnost' v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy. Moscow, the Russian Academy of Sciences Publ., 132 p. (In Russian).
4. Shindell, D. (2007). Local and remote contributions to Arctic warming. Geophysical Research Letters, 34(14). (In English). Available at: <https://doi.org/10.1029/2007GL030221>

5. Stuecker, M. F., Bitz, C. M., Armour, K. C., Proistosescu, C., Kang, S. M., Xie, S.-P.,... Jin, F.-F. (2018). Polar amplification dominated by local forcing and feedbacks. *Nature Climate Change*, (8), pp. 1076-1081. (In English). DOI: 10.1038/s41558-018-0339-y
6. Shindell, D., & Faluvegi, G. (2009). Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. *Nature Geoscience*, 2(4), pp. 294-300. (In English). DOI: 10.1038/ngeo473
7. Ren, L., Yang, Y., Wang, H., Zhang, R., Wang, P. & Liao, H. (2020). Source attribution of Arctic black carbon and sulfate aerosols and associated Arctic surface warming during 1980-2018. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(14), pp. 9067-9085. (In English). DOI: 10.5194/acp-20-9067-2020
8. Ivanov, V. V., Alekseev, V. A., Alekseeva, T. A., Koldunov, N. V., Repina, I. A., & Smirnov, A. V. (2013). Arkticheskiy ledyanoy pokrov stanovitsya sezonnyy? *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, (4), pp. 50-65. (In English). DOI: 10.7868/S0205961413040076
9. Burnett, R., Chen, H., Szyszkwicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Arden Pope III, C.,... Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(38), pp. 9592-9597. (In English). DOI: 10.1073/pnas.1803222115
10. Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A., & Münzel, T. (2019). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 40(20), pp. 1590-1596. (In English). DOI: 10.1093/eurheartj/ehz135
11. Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., De Angelo, B. J.,... Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, (118), pp. 5380-5552. (In English). DOI: 10.1002/jgrd.50171
12. Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J.-H., & Klimont, Z. (2014). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, (109). (In English). Available at: <https://doi.org/10.1029/2003jd003697>
13. Jacobson, M. Z. (2001). Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in the atmospheric aerosols. *Nature*, 409, pp. 695-698. (In English).
14. Latysheva, I. V., Loshchenko, K. A., & Shahaeva, E. V. (2013). Circulation conditions of sudden stratospheric warming in the Northern Hemisphere in the 21st century. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o zemle"*, 6(1), pp. 106-121. (In Russian).
15. Klimenko, V. V., & Astrina, N. A. (2006). Dokumental'nye svidetel'stva sil'nykh kolebaniy klimata Rossiyskoy Arktiki v XV-XX vv. *Istoriya i sovremennost'*, (1), pp. 179-217. (In Russian).
16. Klimenko, V. V., Matskovsky, V. V., & Dalmann, D. (2013). Comprehensive reconstruction of the temperature of the Russian Arctic over the last two millennia. *Arctic: ecology and economy*, 4(12), pp. 84-95. (In Russian).
17. Petrov, S., Mamaeva, N., & Narushko, M. (2017). Urban development of heat island territories and the health of the northern indigenous population. *MATEC Web of Conferences*, (105). (In English). Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710601035>

18. Akent'eva, E. M., Aleksandrov, E. I., Alekseev, G. V., Anisimov, O. A., Balonishnikova, Zh. A., Bulygina, O. N.,... Shkol'nik, I. M. (2017). Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. St. Petersburg, Voeikov Main Geophysical Observatory Publ., 106 p. (In Russian).

19. Petrov, S. A. & Mamaeva, N. L. (2021). Ispol'zovanie sputnikovykh tekhnologiy dlya otsenki klimaticheskikh trendov v akvatorii Arktiki. Sovremennye issledovaniya transformatsii kriosfery i voprosy geotekhnicheskoy bezopasnosti sooruzheniy v Arktike: sbornik trudov konferentsii. Salekhard, November, 03-12, 2021. Salekhard, pp. 339-342. (In Russian). DOI: 10.7868/9785604610848091

20. Im, U., Tsigaridis, K., Faluvegi, G., Langen, P. L., French, J. P., Mahmood, R.,... Brandt, J. (2021). Present and future aerosol impacts on Arctic climate change in the GISS-E2.1 Earth system model. Atmospheric Chemistry and Physics, 21(13), pp. 10413-10438. (In English). DOI: 10.5194/acp-21-10413-2021

21. Breider, T. J., Mickley, L. J., Jacob, D. J., Ge, C., Wang, J., Sulprizio, M. P., ... & Hopke, Ph. K. (2017). Multidecadal trends in aerosol radiative forcing over the Arctic: Contribution of changes in anthropogenic aerosol to Arctic warming since 1980. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122(6), pp. 3573-3594. (In English). DOI: 10.1002/2016JD025321

Информация об авторах

Information about the authors

Мамаева Наталья Леонидовна,
старший научный сотрудник, Тюменский научный центр СО РАН, старший преподаватель, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень,
mataeva.natali2011@mail.ru

Natali L. Mamaeva, Senior Researcher,
Tyumen Scientific Center SB RAS, Senior Lecturer, Industrial University of Tyumen,
mataeva.natali2011@mail.ru

Петров Сергей Анатольевич,
доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень

Sergei A. Petrov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher,
Tyumen Scientific Center SB RAS

Статья поступила в редакцию 20.10.2022; одобрена после рецензирования 26.10.2022; принята к публикации 02.11.2022.

The article was submitted 20.10.2022; approved after reviewing 26.10.2022; accepted for publication 02.11.2022.