
А.В. Мусохранова, А.А. Онучин

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

A.V. Musokhranova, A.A. Onuchin

IMPACT OF AEROTECHNOGENIC EMISSIONS ON THE FORMATION OF PRECIPITATION IN THE DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

В статье рассматриваются тенденции изменения атмосферных осадков начиная с середины XX в. по начало текущего столетия на полуострове Таймыр и в горах плато Путорана. Выявленные пространственно-временные тенденции изменения атмосферного увлажнения связываются с воздействием промышленных выбросов Норильского горно-металлургического комбината (ГМК). Полученные данные сопоставлены с результатами аналогичных исследований проведенных в Калифорнии, на основании чего сделан вывод о климатической обусловленности механизма воздействия аэрозольного загрязнения на образование атмосферных осадков.

Ключевые слова: окружающая среда, изменение климата, атмосферные осадки, промышленное загрязнение.

This study focused on identifying precipitation trends in areas adjacent to the Norilsk Metallurgical Complex. Of key importance was to investigate the association of the temporal and spatial precipitation trends obtained with industrial emissions causing aerosol pollution of the atmosphere. A comparison of the data acquired in this study with the results of similar research efforts taken in California allowed us to conclude that influence of aerosol pollution on precipitation development is controlled by climate.

Keywords: Environmental, climate change, precipitation, industrial pollution

Введение

Техногенное воздействие на глобальную экосистему Земли считается доминирующим среди прочих видов антропогенного воздействия. Экологические последствия деятельности крупных промышленных предприятий весьма многогранны и вызывают возрастающий интерес со стороны специалистов различного профиля. Изучение влияния промышленных загрязнений на процессы облако- и осадкообразования достаточно детально описано рядом авторов [Ивлев, Довгало, 1990; Ипполитов и др., 2008; Климат России, 2001; Меншиков, Ившин, 2010].

Атмосферные осадки, являясь одной из важнейших составляющих водного баланса, влияют на гидрологический режим территорий, а также на состояние и функционирование экосистем. Образование осадков является сложным процессом, зависящим от множества факторов, важнейшими из которых являются влагосодержание воздушной массы, ее температура и особенности вертикальных потоков воздуха [Климат России, 2001]. Выпадению осадков способствует циклогенез и вынужденный подъем воздуш-

ных масс при встрече с орографическими барьерами. Взаимодействием этих двух составляющих, первая из которых динамична во времени, а вторая в горных странах, весьма изменчива в пространстве, обусловлен характер пространственно-временного распределения осадков [Ипполитов и др., 2008; Онучин, 2003].

Объекты и методы исследований

Динамика атмосферных осадков изучалась в зоне атмосферного загрязнения Норильского горно-металлургического комбината [Менщиков, Ившин, 2010; Савченко, 2008] и на смежных территориях.

Исходными данными служили месячные суммы атмосферных осадков за период с 1955 по 2009 г. на 11 метеорологических [Данные суточного количества атмосферных осадков, 2011].

Неблагоприятную экологическую ситуацию на обширной территории в районе г. Норильска определяет крупнейшее предприятие отечественной цветной металлургии — Норильский горно-металлургический комбинат. Ежегодно (интенсивные выбросы начались с 50-х гг. прошлого столетия) НГМК выбрасывает в атмосферу огромные количества загрязняющих веществ, которые по данным Савченко (1998) составляют более 2 млн. т/год.

Обработка исходных данных проводилась посредством использования стандартных методов кластерного (метод полных связей) и линейного регрессионного анализа представленных в пакете программ (Excel, STATISTICA 6). В качестве исходных данных служили абсолютные величины атмосферных осадков, а также их линейные тренды за период с начала наблюдений до 1986 г. и с 1987 г. до конца периода наблюдений.

Результаты и обсуждения

Анализ динамики атмосферных осадков в Норильском промышленном районе (НПР), который с середины прошлого столетия начинает испытывать сильнейшее атмосферное загрязнение и в смежных относительно чистых областях, свидетельствует о различиях тенденций изменения суммарного увлажнения. Посредством кластерного анализа было выявлено два основных типа трендов атмосферных осадков — «фоновый» и «техногенный». Первый тип характерен для пунктов наблюдений, расположенных в относительно чистых областях, а второй свойственен метеорологическим станциям, попадающим в зону атмосферного загрязнения (рис. 1).

На метеостанциях расположенных в зоне воздействия атмосферного загрязнения («техногенный» тип) динамика твердых атмосферных осадков характеризуются относительно быстрым ростом до 3-4 мм в год с начала наблюдений до второй половины 80-х гг. прошлого столетия и последующим уменьшением на 1,5-3 мм в год до конца периода наблюдений (рис. 2).

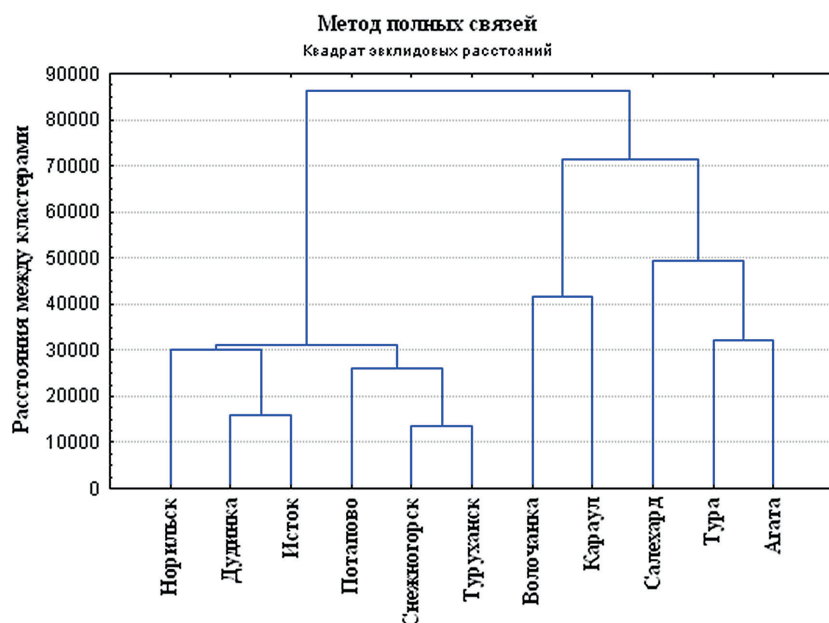


Рис. 1. Иерархическая диаграмма кластеризации трендов атмосферных осадков холодного периода (октябрь-апрель).

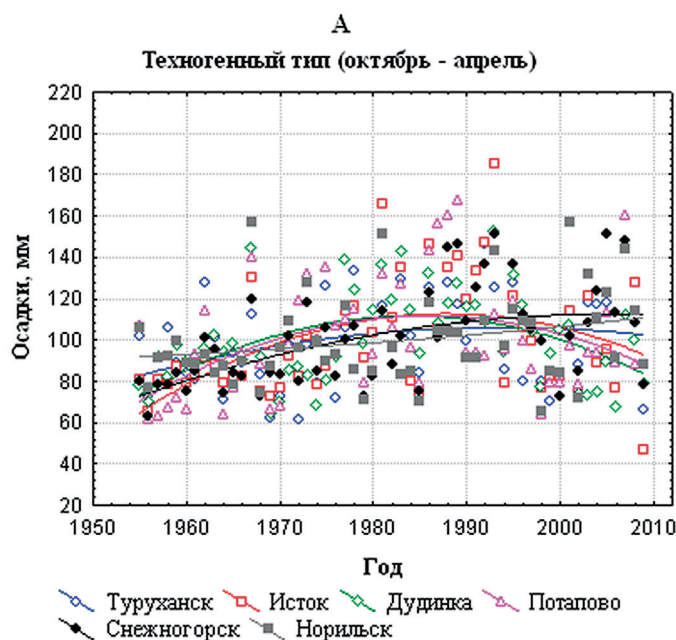


Рис. 2. Техногенный тип трендов атмосферных осадков холодного периода (октябрь-апрель) с 1955 по 2009 г.

Вероятно, тенденция первоначального роста и последующего снижения атмосферных осадков обусловлена динамикой промышленных выбросов, и спецификой аэрозольного загрязнения атмосферы [Мусохранова, 2011; Musokhranova, Onuchin, 2010]. Как известно, многие авторы [Ивлев, Довгальук, 1999; Кондратьев, 1991] считают, что атмосферные аэрозоли увеличивают число активных ядер конденсации, и тем самым способствуют выпадению атмосферных осадков.

В атмосферных выбросах предприятий (НГМК) основную долю (96–98 %) составляет сернистый ангидрид (SO_2), который также способствует формированию ядер конденсации. Остальные 2–4 % приходятся на окислы азота, окись углерода, хлориды, фенолы и пр.

Сернистый ангидрид (SO_2), попадая в атмосферу, под действием солнечного света окисляется в серный ангидрид (SO_3), а затем, взаимодействуя с водой, переходит в серную кислоту (H_2SO_4) [Алферова, 2008; Маляренко, 2008; Фелленберг, 1997]. Время существования оксидов серы и продуктов их трансформации в атмосфере по данным различных исследований составляет от нескольких часов до нескольких суток [Маляренко, 2008] и за это время воздушными потоками они могут переноситься на значительные расстояния [Алферова, 2008] и таким образом оказывать влияние на процессы образования и выпадения атмосферных осадков на территориях прилегающих к источникам техногенных аэрозолей.

Известно также, что условия осадкообразования в загрязненной атмосфере существенно зависят от температуры облаков и улучшаются с ее понижением [Rosenfeld, 2000]. Видимо, именно этим обусловлена лучшая выраженность временных трендов для атмосферных осадков, выпадающих в виде снега. Даже при температурах -20°C и ниже значительная часть облаков состоит либо из переохлажденных водяных капель, либо из одновременно сосуществующих водяных капель и ледяных кристаллов. Различные частицы способствуют образованию льда при разных температурах. Известно, что возможна активизация ядер образования ледяных кристаллов при низких (-40°C) температурах и пониженной влажности. Можно предположить, что выявленная многолетняя динамика атмосферных осадков напрямую зависит от характера аэрозольного загрязнения атмосферы в районе исследований, а ее сезонные различия обусловлены, прежде всего, особенностями температурного режима [Ивлев, Довгальук, 1999].

Вне зоны сильного атмосферного загрязнения (рис. 3), тренды выражены слабо.

На некоторых метеорологических станциях («Салехард» и «Караул») они находятся в противофазе с трендами, наблюдаемыми в зоне промышленного загрязнения, свидетельствуя о снижении атмосферных осадков в период роста атмосферных выбросов с 1955 по 1986 и увеличении их количества в последующий период.

Первый период наблюдений, характеризующийся ростом твердых атмосферных осадков в районах, прилегающих к НПП по времени совпадал с наращиванием производственных мощностей промышленных предприятий и увеличением атмосферных эмиссий, а второй, вероятно, связан со спадом производства в переходный этап экономического развития страны.

Для оценки пространственно временной изменчивости атмосферных осадков в районах сильного атмосферного загрязнения, построены картосхемы их линейных трендов. Первая картосхема отражает тенденции изменения осадков с 1955 по 1986 г., а вторая с 1987 по 2009. Анализ пространственной вариабельности трендов в различные

временные интервалы подтверждает наличие качественных изменений произошедших в динамике атмосферных осадков в Норильском промышленном районе (НПР) в середине 80-х гг. прошлого века (рис. 4, 5).

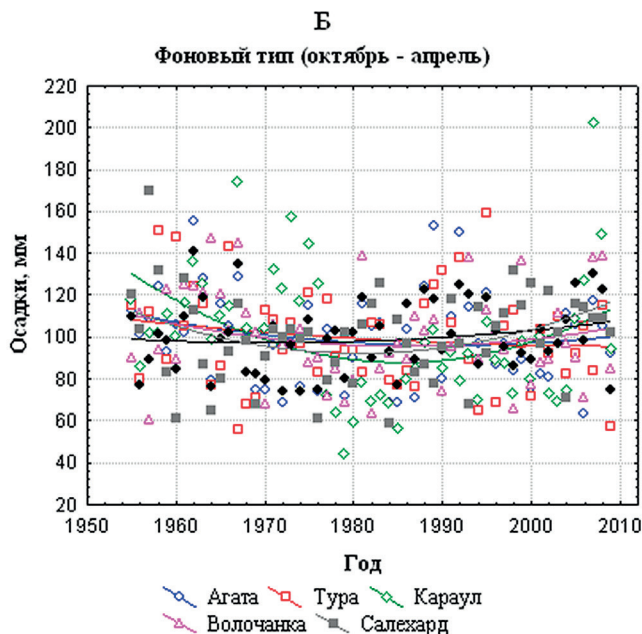


Рис. 3. Фоновый тип трендов атмосферных осадков холодного периода (октябрь-апрель) с 1955 по 2009 г.

В первый период максимальное увеличение атмосферных осадков наблюдалось в зоне слегка смещенной к западу от НПР. Изолинии трендов расположены концентрическими эллипсами, вытянутыми с северо-запада на юго-восток (рис. 4). На всех смежных метеостанциях, по которым имелись данные о динамике атмосферных осадков, их тренды имеют отрицательные значения и варьируют от $-0,24$ до $-2,8$ мм/год, что свидетельствует о снижении атмосферных осадков. Во второй период наблюдений прослеживается противоположная тенденция. В зоне атмосферного загрязнения на большей части территории отмечается снижение величины атмосферных осадков, превышающее 2 мм/год, а на смежных метеостанциях отмечается, как рост, так и снижение суммарного увлажнения (рис. 5).

Таким образом, за 32 летний период с 1955 по 1986 г. рост величины твердых атмосферных осадков в зоне атмосферного загрязнения составил 100-120 мм, т.е. величину значимую в структуре водного баланса обширной территории. Наблюдающееся снижение количества твердых атмосферных осадков (по сравнению с максимальным во второй половине 80-х гг. прошлого века) за два последующих десятилетия составило 30-60 мм. Однако величина твердых атмосферных осадков продолжает оставаться на уровне, превышающем естественный природный (тот который наблюдался до ввода в эксплуатацию промышленных предприятий).

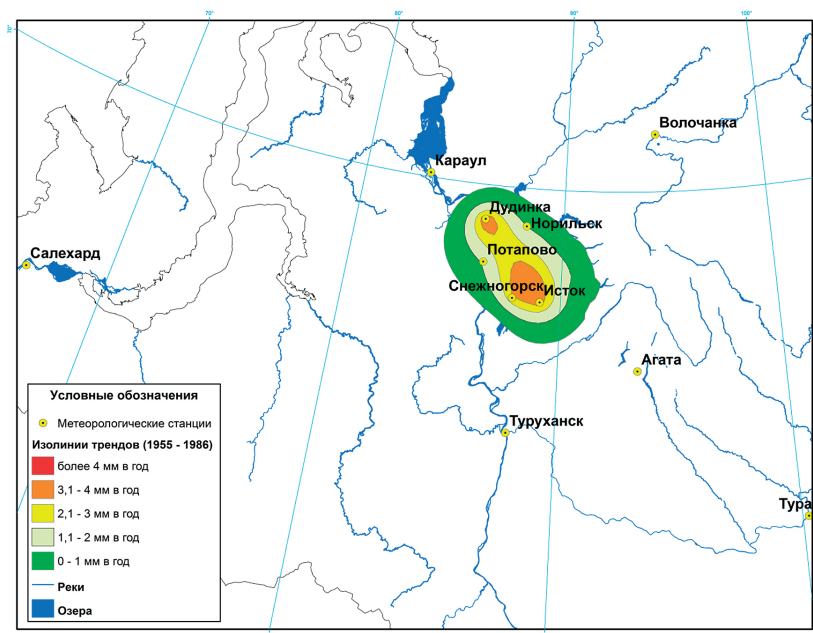


Рис. 4. Картограмма линейных трендов атмосферных осадков: 1955-1986 г.

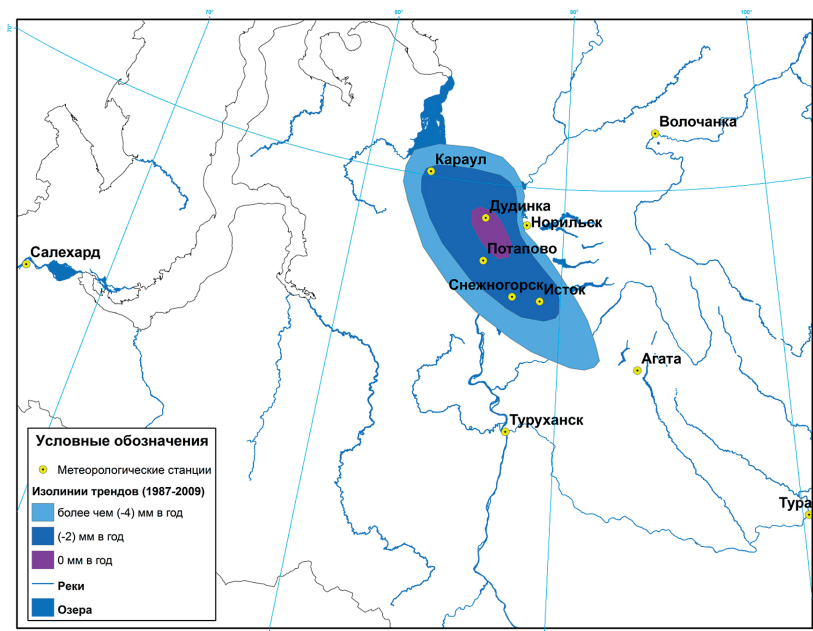


Рис. 5. Картограмма линейных трендов атмосферных осадков: 1987-2009 г.

Исходя из этого, можно констатировать, что в условиях субарктического климата аэрозольное загрязнение атмосферы вызывает рост атмосферных осадков в зоне сильного загрязнения и некоторое их снижение за ее пределами.

Эти тенденции отчетливее проявляются в холодный период года, когда в облаках загрязненных аэрозолями создаются наиболее благоприятные условия для коалесценции, а за пределы зоны атмосферного загрязнения поступают обедненные влагой воздушные массы. Очевидно, что, выявленные тенденции в изменении количества атмосферных осадков в НПР могут рассматриваться в качестве индикаторов оценки последствий функционирования промышленных предприятий — крупных загрязнителей атмосферного воздуха.

По свидетельству ряда исследователей, в условиях субтропического климата загрязнение атмосферы способствуют подавлению процессов осадкообразования в конвективных облаках. Это происходит вследствие того, что аэрозоли, служащие ядрами конденсации, формируют многочисленные скопления малых облачных капелек задерживающих и замедляющих формирование дождевых капель, что подавляет коалесценцию, следовательно, препятствует преобразованию воды находящейся в облаках в атмосферные осадки [Rosenfeld, 2000; Borys, 2000].

Так именно с этим экологи связывают ежегодные, 10-20 % потери осадков над горами на западном побережье Калифорнии [Woodley Weather Consultants, 2007]. Считается, что такое снижение наиболее сильно выражено в облаках небольшой толщины с теплой поверхностью. Спутниковые наблюдения показали, что загрязнение воздуха может полностью прекратить процесс выпадения атмосферных осадков из облаков, которые имеют температуру выше -10°C [Rosenfeld, 2000]. Установлено также, что в условиях субтропического климата тренд снижения количества атмосферных осадков совпадает с периодом урбанизации, в то время как в районах не подверженных антропогенному воздействию таких тенденций не выявлено.

Заключение

Атмосферное загрязнение, сопровождающееся ростом числа ядер конденсации и образованием облачных капель в разных климатических условиях, приводит к противоположному гидрологическому эффекту. В субарктическом климате при низкой температуре облачных масс аэрозольное загрязнение не препятствует формированию дождевых капель, и выполняет функции своеобразного атмосферного барьера, проходя через который воздушные массы теряют влагу, которая разгружается в районах атмосферного загрязнения. Это в свою очередь является причиной уменьшения осадков в смежных районах. В субтропическом климате, на фоне повышенных температур, наоборот, увеличение числа ядер конденсации в атмосфере способствует образованию большого числа мелких облачных капель, которые в условиях высоких температур не способны формировать дождевые капли. Таким образом, в субтропическом климате промышленные аэрозоли подавляют коалесценцию, и препятствует преобразованию воды находящейся в облаках в атмосферные осадки. Соответственно создаются условия для транзита атмосферной влаги удерживаемой в облаках насыщенных аэрозолями в смежные относительно чистые районы.

Изменения динамики атмосферных осадков, индуцированные техногенными факторами, вероятно, носят локальный характер и не связаны с изменением глобального циклогенеза, поскольку снижение (увеличение) количества атмосферных осадков и стока рек в районах подверженных промышленному загрязнению атмосферы компенсируется соответствующим увеличением (снижением) составляющих водного баланса в смежных относительно чистых районах.

Литература

1. *Алферова Т.В.* Экология энергетики: курс лекций. — Гомель: 2008. — 123 с.
2. Данные суточного количества атмосферных осадков. — Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2011 (<http://www.meteo.ru>).
3. *Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А.* Физика атмосферных аэрозольных систем. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. — 194 с.
4. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В.* Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 г. — Журнал Сибирского федерального университета. Биология, 2008, т. 1(4), с. 323–344.
5. Климат России / Под ред. Н.В. Кобышевой. — СПб.: Гидрометеиздат, 2001. — 655 с.
6. *Кондратьев К.Я.* Аэрозоль и климат. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 191 с.
7. *Ландсберг Х.Е.* Климат города. Л., 1983.
8. *Маляренко В.А.* Введение в инженерную экологию энергетики: Учебное пособие. — Харьков: САГА, 2008. — 185 с.
9. *Менщиков С.Л., Ившин А.П.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 290 с.
10. *Мусохранова А.В.* Особенности воздействия промышленного загрязнения атмосферы на формирование осадков в различных климатических условиях // Исследование компонентов лесных экосистем Сибири. Материалы конференции молодых ученых. — Красноярск, 2011, вып. 12, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, с. 40–43.
11. *Онучин А.А.* Влагооборот горных лесов Сибири. Автореф. дис. ... док.биол. наук: 03.00.16, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. — Красноярск, 2003. — 33 с.
12. *Савченко В.А.* Экологические проблемы Таймыра. — Москва: СИП РИА, 1998. — 194 с.
13. *Фелленберг Г.* Загрязнение природной среды. — М.: Мир, 1997.
14. *Borys R.D., Lowenthal D.H., Mitchell D.L.* (2000) The relationships among cloud microphysics, chemistry, and precipitation rate in cold mountain clouds. *Atmospheric Environment* 34, 2593–2602.
15. *Musokhranova A.V., Onuchin A.A.* Atmospheric precipitation trends on Taimyr Peninsula and Putorana Plateau. //International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information Systems «ENVIROMIS-2010»: Abstracts. — Tomsk: 2010, pp. 25.
16. *Rosenfeld D.* 2000: Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science* 287(5459): 1793–1796.
17. Woodley Weather Consultants. 2007. Physical/Statistical and Modeling Documentation of the Effects of Urban and Industrial Air Pollution in California on Precipitation and Stream Flows. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-019.