

МОНИТОРИНГ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ РТУТИ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

А.В. КОНОПЛЕВ, Ф.Ф. ПАНКРАТОВ (НПО «ТАЙФУН»)

Ртуть является одним из трех наиболее опасных с экологической точки зрения тяжелых металлов. В атмосферном воздухе она находится, главным образом, в виде паров элементарной ртути $Hg(0)$. Характерное время выведения ртути из атмосферы составляет, в среднем, порядка одного года. В силу этого атмосферный перенос ртути приводит к ее глобальному распространению, и в том числе повышенные уровни ртути наблюдаются в природных средах Арктики. В 1995 г. на канадской полярной станции мониторинга Алерт впервые было обнаружено так называемое явление истощения содержания ртути в тропосфере. Это явление наблюдалось в период с начала полярного восхода солнца до завершения снеготаяния на станции, а именно с апреля по начало июня. Открытие этого явления стало возможным благодаря появлению автоматизированных средств измерения паров ртути в атмосфере высокого временного разрешения. После этого наличие истощения ртути в тропосфере в период весеннего восхода солнца было обнаружено и на других арктических станциях: на Аляске, Шпицбергене, в Гренландии (рис. 1). В 2000–2001 гг истощение ртути было обнаружено в Антарктике. Таким образом, к настоящему времени известно, что истощение ртути в тропосфере характерно только для высоких широт и наблюдается на протяжении порядка двух-трех месяцев от начала полярного восхода солнца до окончания снеготаяния. Весьма примечательно, что события истощения ртути совпадают по времени и по характеру с явлениями истощения тропосферного озона в полярных и приполярных районах. При этом концентрации озона и паров элементарной ртути достоверно коррелируют между собой.



Рис.2. Автоматический анализатор ртути в воздухе «Tekran 2537A», установленный на станции мониторинга в районе п. Амдерма

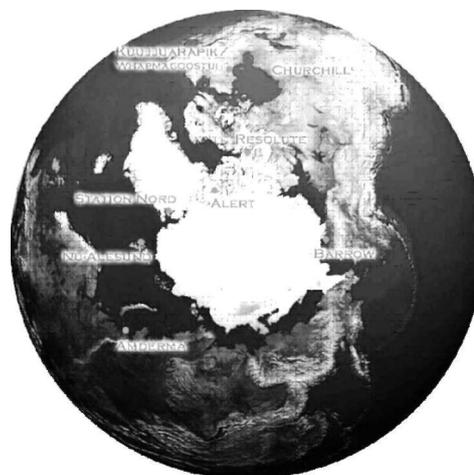


Рис. 1. Международные полярные станции мониторинга атмосферной ртути

Предполагается, что истощение тропосферного озона в период полярного восхода солнца обусловлено автокаталитическими циклическими реакциями с участием атомарного брома Br , который в свою очередь образуется в результате фотохимических гетерогенных реакций на поверхности атмосферных аэрозолей, содержащих морские соли и ион Br^- .

При этом элементарная ртуть трансформируется в соединения ее окисленных форм $Hg(II)$. Эти соединения могут находиться как в газовой фазе, так и входить в состав атмосферного аэрозоля.

Характерное время выведения этих соединений из атмосферы за счет процессов сухого осаждения и вымывания значительно меньше времени выве-

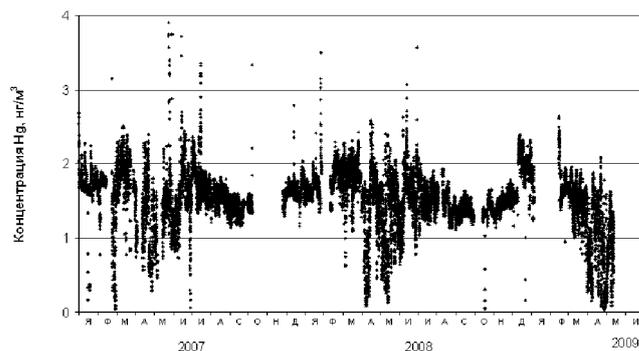


Рис. 3. Результаты мониторинга элементарной ртути в атмосферном воздухе в районе п. Амдерма

дения паров элементарной ртути. В силу этого в период между полярным восходом солнца и окончанием снеготаяния возрастает поступление ртути из атмосферы в наземные и водные экосистемы, что приводит к ее накоплению в трофических цепях Арктики. Описанный механизм окисления паров элементарной ртути подтверждается данными комплексных исследований поведения ртути в атмосфере на полярной станции Барроу (Аляска, США). Было показано, что во время истощения паров элементарной ртути наблюдается возрастание концентрации окисленных форм ртути в атмосферном воздухе и рост общего содержания ртути в снежном покрове.

Целью проводимых в рамках МПГ экспедиционных работ в районе п. Амдерма Ненецкого АО (69,72° с.ш., 61,62° в.д.) является получение систематических данных высокого временного разрешения о концентрации паров элементарной ртути в приземном слое атмосферы, а также изучение наблюдаемости и исследование ее весеннего истощения в условиях Российской Арктики. Амдерма находится на побережье Карского моря вблизи Арктической границы между Европой и Азией, что определяет значимость этой точки наблюдения с точки зрения обмена воздушными массами и, как следствие, глобальными загрязнениями.

Измерения паров элементарной ртути проводили с помощью автоматизированного анализатора «Tekran 2537A» (рис. 2). Анализатор «Tekran 2537A» позволяет проводить непрерывные измерения концентрации паров элементарной ртути на уровне нг/м³ (ppt). Работа прибора основана на высокоселективной адсорбции паров ртути из воздуха на адсорбенте из золота высокой чистоты. После этого амальгамированная ртуть термически десорбируется и количественно определяется с помощью атомно-флуоресцентного спектрометра холодного пара. Анализатор снабжен двумя картриджами из золота высокой чистоты, работающих параллельно (каналы А и В); это позволяет осуществлять непрерывную подачу воздуха в анализатор. В то время как один картридж используется для поглощения ртути из пропускаемого атмосферного воздуха, во втором картридже происходит десорбция ртути при его нагревании.

Наблюдения проводили при времени экспозиции 30 мин, т.е. каждые полчаса производилось индивидуальное измерение ртути в атмосферном воздухе. После контроля качества полученных измерений рассчитывали средние значения между параллельными измерениями по каналам А и В (среднее за 1 ч измерений) и среднесуточные концентрации ртути в воздухе.

За период с января 2007 по май 2009 г среднесуточная концентрация паров атомарной ртути менялась в пределах от 0,04 до 14,5 нг/м³. Среднее значение концентрации ртути за это время со-

ставляло 1,53 ± 0,48 нг/м³. Наблюдаемые концентрации элементарной ртути в приземном воздухе в районе п. Амдерма соответствуют глобальным фоновым уровням для Арктических регионов (рис. 3). Видно, что максимальные концентрации паров ртути наблюдаются в летние месяцы (в июле-августе). Так, средние значения концентрации ртути в приземном воздухе составили: в июле 2007 г - 1,72 ± 0,27 нг/м³; в июле 2008 г - 1,56 ± 0,21 нг/м³. Аналогичные сезонные изменения концентрации ртути в атмосфере наблюдались на канадской полярной станции Алерт и полярной станции Барроу на Аляске. Рост концентрации паров ртути в приземной атмосфере в течение лета может быть обусловлен сезонным увеличением температуры воздуха и, как следствие, возрастанием испарения летучих форм ртути с наземных и водных экосистем.

В период с конца марта до середины июня концентрация паров элементарной ртути ведет себя характерным образом, а именно существенным образом увеличивается ее изменчивость. Концентрация паров ртути в этот период варьирует, как правило, от 0,04 до 2,5 нг/м³, причем такое поведение ртути наблюдалось как весной 2007, так и 2008 и 2009 гг. (см. рис. 3). Соответственно падает среднее значение концентрации ртути в этот период и возрастает стандартное отклонение. Так, в мае 2007 г. средняя концентрация ртути в атмосферном воздухе составила 1,42 ± 1,22 нг/м³. Минимальная изменчивость концентрации ртути наблюдалась в зимние месяцы. Так, стандартное отклонение концентрации за период с 1 декабря 2007 г. по 28 февраля 2008 г составило ±0,25 нг/м³.

Таким образом, по результатам наблюдений с помощью автоматического анализатора «Tekran 2537A» в п. Амдерма достоверно регистрируется истощение элементарной ртути в приземной атмосфере в период после полярного восхода солнца до завершения снеготаяния. Полученные результаты в Российской Арктике означают, что сезонное истощение паров ртути в атмосфере весной после полярного восхода солнца носит не локальный, а глобальный характер и характерно для Арктики в целом. В соответствии с существующими представлениями о механизмах истощения элементарной ртути в атмосфере Арктики во время полярного восхода солнца, представленными выше, элементарная ртуть в этот период трансформируется в окисленные формы, которые значительно быстрее выпадают на подстилающую поверхность. Это приводит к увеличению общей нагрузки ртутного загрязнения в арктических экосистемах. И в частности, этим могут объясняться повышенные концентрации ртути в рыбе и тканях животных Арктики, включая районы Российского Севера.

Представленные экспедиционные исследования проводились при поддержке Секретариата Арктической программы мониторинга и оценки (АМАП).