

## ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 535.34

### Экологические проблемы атмосферного озона и радиационная физика щелочно-галогидных кристаллов

Т.В. Губарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: kafgmu@brstu.ru, tvgbratsk@mail.ru  
Статья поступила 02.04.2012, принята 05.09.2012

*Проанализированы проблемы исследования атмосферных гетерогенных реакций с участием солевого аэрозоля в связи с решением проблем разрушения озонового слоя. Рассмотрены лабораторные исследования радиационно-стимулированных реакций, происходящих в системе «щелочно-галогидный кристалл – воздух». Показано, что продукты радиационно-стимулированных реакций в системе «щелочно-галогидный кристалл – воздух» аналогичны продуктам типичных атмосферных гетерогенных реакций с участием щелочно-галогидных аэрозольных частиц. Исследованы процессы, определяющие трансформацию аэрозольных частиц в условиях атмосферы, в том числе при воздействии ионизирующих излучений, которые до настоящего времени не рассматривались. Проведено лабораторное исследование аэрозольных частиц, взаимодействующих с атмосферной радиоактивностью или попадающих в поле грозных разрядов. Построена модель изменения свойств отдельных щелочно-галогидных микрокристаллов при действии высокоэнергетических факторов на систему за «щелочно-галогидный кристалл – воздух». Исследовано действие ионизирующего излучения, как инициатора гетерогенных реакций в системе «щелочно-галогидный кристалл – воздух». Рассмотрены перспективы изучения подобных реакций применительно к исследованию радиоактивных вторичных аэрозолей, когда радиоактивные вещества в атмосфере переносятся нерадиоактивными щелочно-галогидными частицами.*

**Ключевые слова:** атмосферный аэрозоль, атмосферная радиоактивность, ионизирующие излучения, щелочно-галогидные микрокристаллы, гетерогенные реакции

### Environmental problems of atmospheric ozone and radiation physics of alkali halide crystals

T.V. Gubareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: kafgmu@brstu.ru, tvgbratsk@mail.ru  
The article received 02.04.2012, accepted 05.09.2012

*The issues of the atmospheric heterogeneous reactions research involving saline aerosol to solve the ozone layer depletion problem have been analyzed. The laboratory researches of the radiation-induced reactions occurring in the «alkali halide crystal - air» system have been considered. It has been shown that the products of radiation-induced reactions in the «alkali-halide crystal - air» system are similar to the products of typical atmospheric heterogeneous reactions involving alkali-halide aerosol particles. The processes determining the aerosol particles transformation under the atmospheric conditions have been investigated, including the effect of ionizing radiation which hasn't been considered so far. The laboratory research of the aerosol particles interacting with atmospheric radioactivity or getting into the lightning discharge field has been carried out. The model of the property change for some alkali-halide microcrystals under the influence of high-energy factors on the «alkali-halide crystal - air» system has been constructed. The effect of ionizing radiation as the heterogeneous reactions initiator in the «alkali-halide crystal - air» system has been investigated. The prospects of studying similar reactions with regard to secondary radioactive aerosols investigation when radioactive substances are transferred by nonradioactive alkali-halide particles have been considered.*

**Keywords:** atmospheric aerosol, atmospheric radioactivity, ionizing radiation, alkali-halide microcrystal, heterogeneous reactions.

В настоящее время перед мировым сообществом стоят глобальные экологические проблемы. Экологическая проблема – это изменение природной среды в результате антропогенных воздействий, ведущее к нарушению структуры и функционирования природы. В настоящее время принято выделять несколько глобальных экологических проблем: проблема загрязнения атмосферного воздуха, которое приводит к изменению

климата; проблема загрязнения Мирового океана; проблема разрушения озонового слоя атмосферы; озоновые дыры; кислотные атмосферные осадки, выпадающие на сушу. Решение проблем разрушения озонового слоя атмосферы, озоновых дыр стимулировало изучение гетерогенных реакций с участием щелочно-галогидных аэрозольных частиц, которые в значительном количестве поступают в атмосферный воздух с

поверхности Мирового океана, а также засоленных участков суши [1, 2].

Гетерогенные реакции на поверхности аэрозольных частиц в атмосфере связаны с физическими и химическими свойствами частиц, с концентрациями составляющих атмосферного воздуха. Поэтому очень трудно исследовать *in situ* механизм гетерогенных реакций в реальной атмосфере. Для моделирования гетерогенных реакций в атмосфере обычно используются реакции частиц с одним газовым компонентом, реакции частиц, собранных в реальной атмосфере, с малыми газами.

Механизмы, полученные в экспериментах моделирования, могут использоваться для следующих целей: выявления процессов гетерогенных реакций на поверхности аэрозольных частиц, выявления их действия на процессы в атмосфере.

Трансформация щелочно-галоидных аэрозольных частиц с учетом гетерогенных реакций исследуется в рамках комплекса наук об атмосфере сравнительно недавно. Разобщенность исследований в различных областях науки затрудняет использование гетерогенных радиационно-стимулированных реакций для объяснения преобразования щелочно-галоидных частиц в атмосфере.

Анализ литературных данных показывает следующее:

- достаточно большая часть аэрозольных частиц представлена частицами щелочно-галоидных соединений, свойства которых достаточно хорошо изучены в области радиационной физики, что обусловлено применением этого типа кристаллов в качестве модельного объекта многих исследований;

- химические, оптические свойства радиоактивных вторичных щелочно-галоидных частиц должны определяться действием излучения радиоактивной компоненты, формирующей радиоактивную вторичную частицу;

- исследования трансформации химического состава щелочно-галоидных кристаллов в атмосфере в настоящее время являются актуальным направлением в комплексе наук об атмосфере, которое связано с исследованиями циклов малых газовых составляющих атмосферы, активно влияющих на радиационный баланс и состояние озонового слоя;

- гетерогенные процессы с участием щелочно-галоидных аэрозольных частиц привлекают внимание многих исследователей и в настоящее время находятся в стадии разработки;

- данные лабораторных исследований гетерогенных реакций щелочно-галоидных частиц с газообразными компонентами показывают, что они неосуществимы в условиях атмосферы;

- оптические свойства щелочно-галоидных аэрозольных частиц рассматриваются с точки зрения неизменности оптических постоянных для хлорида натрия. При этом возможность изменения оптического поглощения этими частицами не рассматривается, в то время как оптические свойства аэрозольных частиц важны и при оптических измерениях в атмосфере, а также при определении активных компонентов атмосферного аэрозоля.

Для расширения знаний о радиоактивном вторичном аэрозоле представляется перспективным использование знаний о действии ионизирующей радиации на

твердые тела, которые накоплены в области радиационной физики. Эта область науки получила развитие во второй половине XX века. Щелочно-галоидные кристаллы часто использовались в исследованиях действия излучений на твердые тела как модельные объекты и отличаются высокой степенью изученности.

Выполненные к настоящему времени исследования свидетельствуют о высокой эффективности радиационно-стимулированных реакций в системе «щелочно-галоидный кристалл – воздух» [6]. Эти знания могут определить особенность функционирования радиоактивного вторичного солевого аэрозоля и расширить представления о его вкладе в атмосферные процессы. Несмотря на признание значимости роли аэрозолей в атмосферных процессах, в настоящее время еще не все закономерности поведения аэрозольных частиц установлены и описаны.

Результаты выполненных исследований морского аэрозоля значительно расширили знания о частицах хлорида натрия, однако в описании их поведения в атмосфере остается много вопросов. Особенно это касается процессов, определяющих трансформацию аэрозольных частиц в условиях атмосферы, в том числе при воздействии ионизирующих излучений, которые до настоящего времени не рассматривались.

Анализ литературных данных показал, что радиоактивность приводит к ионизации атмосферного воздуха и формированию атмосферного электричества [3], радиоактивные вещества захватываются аэрозольными частицами с образованием радиоактивного вторичного аэрозоля [2]. Согласно современным представлениям, 95 % радиоактивных компонентов атмосферы захватывается аэрозольными частицами [4]. В настоящее время достаточно подробно изучены процессы образования радиоактивных вторичных аэрозолей в связи с переносом радиоактивности в атмосфере. При этом аэрозольные частицы рассматриваются лишь как носители радиоактивных компонентов в атмосфере. Возможность действия излучения радиоактивной составляющей радиоактивного вторичного аэрозоля на аэрозольную частицу-носитель и ее свойства до настоящего времени не рассматривалась.

Для расширения знаний о свойствах щелочно-галоидных частиц в атмосфере, радиоактивном вторичном аэрозоле представляется перспективным использование знаний о действии ионизирующей радиации на твердые тела, которые накоплены в области радиационной физики. Щелочно-галоидные кристаллы часто использовались в исследованиях действия излучений на твердые тела как модельные объекты и отличаются высокой степенью изученности [5].

Возможность радиационно-стимулированных гетерогенных реакций в литературе об аэрозолях не обсуждается. Необходимость восполнить эти недостатки является основанием для выполнения данной работы.

Для модельного исследования аэрозольных частиц, взаимодействующих с атмосферной радиоактивностью или попадающих в поле грозозовых разрядов, необходимо использовать оригинальные устройства и методики, которые были применены в нашей работе для обработки щелочно-галоидных кристаллов в системе «кристалл – воздух» в условиях высокоэнергетических воз-

действий (рентгеновское и гамма-излучение, холодная воздушная плазма).

Атмосферные аэрозольные частицы находятся под воздействием природных физических полей и излучений (электромагнитных, радиационных, акустических, гравитационных), характеристики которых меняются во времени и пространстве.

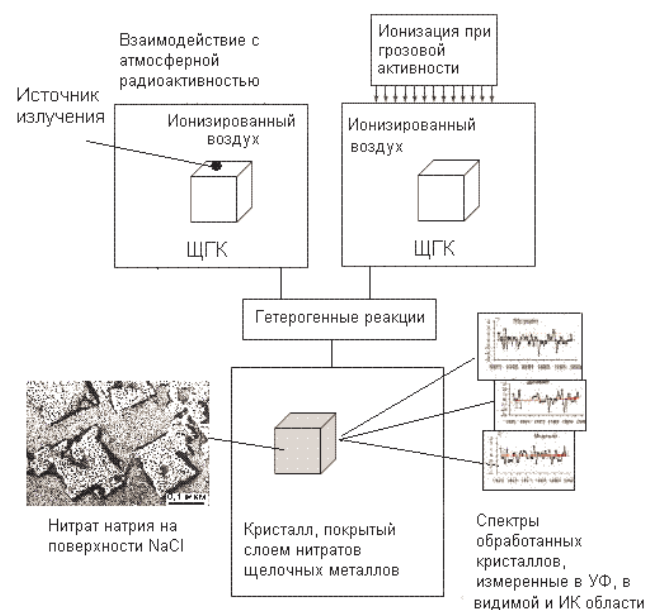
Поэтому в настоящей работе выполнено исследование изменения свойств щелочно-галоидных микрокристаллов под воздействием ионизирующих излучений и холодной газовой плазмы в модельной системе «щелочно-галоидный микрокристалл – воздух». Автором настоящей работы была разработана гипотеза о возможности преобразования свойств щелочно-галоидных частиц под влиянием атмосферной радио- и грозовой активности. Основой для разработки гипотезы послужил анализ литературных данных об особенностях преобразования щелочно-галоидных аэрозольных частиц в условиях атмосферы, а также об особенностях взаимодействия атмосферной радиоактивности с неактивными аэрозольными частицами.

Для обоснования гипотезы была разработана и создан экспериментальный комплекс, который позволил исследовать систему «кристалл – воздух» и получить данные об изменении структуры и оптических свойств отдельных щелочно-галоидных микрокристаллов в результате гетерогенных превращений, стимулированных ионизирующими излучениями и холодной газовой плазмой. Для исследования были выбраны щелочно-галоидные микрокристаллы в нитевидной форме и в виде порошка. На систему «кристалл – воздух» проводилось воздействие гамма- и рентгеновского излучения, а также совместное действие ионизирующего излучения и дневного света, изменение температуры, давления и влажности атмосферного воздуха.

Благодаря созданию методических основ для исследования свойств щелочно-галоидных микрокристаллов при воздействии ионизирующих излучений и холодной газовой плазмы на систему «кристалл – воздух» получены экспериментальные данные о химическом составе, структуре и оптических свойствах щелочно-галоидных микрокристаллов. Особенности изменения свойств щелочно-галоидных кристаллов, обусловленные действием высокоэнергетических факторов на систему «кристалл – воздух», схематично показаны на рис. 1. Щелочно-галоидные кристаллы в условиях действия ионизирующих излучений и холодной газовой плазмы на систему «кристалл – воздух» показывают высокую реакционную способность.

Действие излучений существенно изменяет характер гетерогенных превращений в системе «кристалл – воздух», что приводит к проявлению следующих эффектов: разрушению кристаллической решетки и образованию в ней точечных дефектов, освобождению из кристаллической решетки галогенов, образованию кристаллических нитратов. Действие высокоэнергетических факторов на систему «кристалл – воздух» приводит к эффективному накоплению на границе раздела фаз продуктов гетерогенного взаимодействия, среди которых присутствуют нитраты щелочных металлов. Образование нитратов объясняется химическим механизмом, практически совпадающим с тем, который

исследуется при лабораторном моделировании трансформации щелочно-галоидных аэрозольных частиц, ориентированном на результаты полевых исследований щелочно-галоидных аэрозольных частиц.



**Рис. 1.** Изменение свойств отдельных щелочно-галоидных микрокристаллов при действии высокоэнергетических факторов на систему «щелочно-галоидный кристалл – воздух».

Исследование разработанной модельной системы «кристалл – воздух» показало, что под влиянием активного воздействия даже относительно небольших доз ионизирующего излучения в данной системе химическая устойчивость кристалла по отношению к компонентам воздуха нарушается. В процессе действия ионизирующего излучения развивается радиационно-химический процесс, который позволяет изменить фазовый состав щелочно-галоидных кристаллов.

Экспериментальные данные, полученные при проведении исследований фазового состава щелочно-галоидных кристаллов, показали, что в процессе облучения приобретает поверхностная пленка, состоящая из мелкодисперсных нитратов щелочных металлов. Подобное изменение фазового состава наблюдается и при переносе аэрозольных щелочно-галоидных частиц в атмосфере. Исследование модели «кристалл – воздух» показало целесообразность изучения действия физических факторов на атмосферные аэрозольные частицы, так как это обеспечивает широкую перспективу изучения свойств аэрозольных частиц при воздействии высокоэнергетических факторов.

Рассмотрены проблемы и особенности преобразования щелочно-галоидных частиц в нитраты в условиях атмосферы. Определены возможные новые пути гетерогенных процессов реакций путем воздействия фактора химии высоких энергий (ионизирующего излучения) на базе существующих представлений об атмосферных вторичных радиоактивных аэрозолях. Исследована модель вторичной радиоактивной частицы, показавшая, что стимулированные ионизирующим излучением гетерогенные процессы могут оказывать значи-

тельное влияние на состав и свойства твердой и газовой фазы атмосферного аэрозоля. Воздействие высокоэнергетических факторов на систему «кристалл – воздух» вызывает изменение фазового состава щелочно-галоидных кристаллов, которое происходит с учетом следующих условий: ионизация обычного воздуха, как известно, приводит к изменениям ионного, аэрозольного и газового составов воздуха; состояние воздуха оказывает влияние на выход продуктов радиолиза.

Результаты изучения модельной системы «щелочно-галоидный микрокристалл – атмосферный воздух» показывают, что процессы взаимодействия щелочно-галоидных микрокристаллов с атмосферным воздухом инициируются ионизирующим излучением. Радиационно-стимулированные гетерогенные процессы могут проходить в широком интервале температур (в том числе при низких температурах), давлении и влажности воздуха, которые характерны для реальной атмосферы. Концентрация и распределение продуктов реакций зависят от действия излучения, его вида, мощности и дозы, сочетания ионизирующего излучения и солнечного света, температуры, давления и влажности воздуха.

Методология определения, основанная на данных прямых измерений индивидуальной кристаллической частицы методами электронной микроскопии, рентгеновского структурного анализа и спектроскопии, дает результаты, которые наблюдаются в атмосфере. Это позволяет выявить существование радиационно-стимулированных процессов в атмосфере, а также показать эффективное преобразование свойств щелочно-галоидных кристаллов в результате взаимодействий в системе «кристалл – воздух» под действием высокоэнергетических факторов. Преобразование кристаллов выражается в изменении фазового состава обработанных кристаллов за счет образования на их поверхности слоя продуктов реакций. Среди продуктов взаимодействия обнаружены такие соединения, как нитраты, карбонаты и оксигалоиды щелочных металлов. Изменение оптических свойств обработанных щелочно-галоидных микрокристаллов в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра связано с присутствием в их составе продуктов гетерогенных реакций [7, 8].

Результаты исследования модельной системы «кристалл – воздух» под действием высокоэнергетических факторов:

1) выявляют потенциальную роль высокоэнергетических факторов, действующих в условиях атмосферы;

2) расширяют знания о функционировании щелочно-галоидных аэрозольных частиц в условиях атмосферы;

3) позволяют выявить новые механизмы поступления нитратов, перхлоратов и газообразных соединений галоидов в атмосферный воздух;

4) позволяют выявить изменчивость оптических характеристик щелочно-галоидных частиц;

5) расширяют знания о потенциальной роли физических факторов в процессах трансформации аэрозольных частиц в атмосфере.

Экспериментальные данные, полученные при исследовании модельной системы «щелочно-галоидный кристалл – воздух», находящейся под действием высокоэнергетических факторов, могут быть использованы:

– как основание для разработки и построения радиационно-химических моделей атмосферного аэрозоля,

– при разработке оптических моделей атмосферного аэрозоля,

– при разработке и создании систем мониторинга окружающей среды.

### Литература

1. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry And Physics: From Air Pollution To Global Climate Change. N.Y.: Wiley, 1998. 1325 p.
2. Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. San Diego: Academic Press, 2000. 650 p.
3. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М.: Мир, 1965. 424 с.
4. Стыро Б.И. Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 288 с.
5. Александров А.Б. Введение в радиационную физикохимию поверхности щелочно-галоидных кристаллов. Рига: Зинатне, 1989. 244 с.
6. Губарева Т.В. Спектры поглощения щелочно-галоидных частиц морского аэрозоля // Изв. ТПУ. 2010. Т. 317. № 2. С. 157-161.
7. Губарева Т.В. Гетерогенные реакции в системе щелочно-галоидный кристалл/воздух при активации рентгеновским излучением // Изв. вузов. Сер. Физика. 2011. № 1-2. С. 198-204.

### References

1. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry And Physics: From Air Pollution To Global Climate Change. – N.Y.: Wiley, 1998. – 1325 p.
2. Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. – San Diego: Academic Press, 2000. – 650 p.
3. Yunge Kh. Chemical composition and radioactivity of the atmosphere. M.: Mir, 1965. 424 s.
4. Styro B.I. Air self-cleaning from radioactive pollution. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 288 s.
5. Aleksandrov A.B. Introduction into radiation physicochemistry of alkali halide crystals surface. Riga: Zinatne, 1989. 244 s.
6. Gubareva T.V. Absorption spectrum of sea aerosol alkali halide particles // Izv. TPU. 2010. T. 317. № 2. S. 157-161.
7. Gubareva T.V. Heterogeneous reactions in the “ halide crystal – air” system under X-radiation activation // Izv. vuzov. Ser. Fizika. 2011. № 1/2. S. 198-204.