

## Результаты исследований ионного состава аэрозолей в атмосфере Монголии

Г.С. Жамсуева<sup>1</sup>, А.С. Заяханов<sup>1</sup>, А.В. Стариков<sup>1</sup>, В.В. Цыдыпов<sup>1</sup>,  
Т.С. Бальжанов<sup>1</sup>, Д. Азжая<sup>2</sup>, Д. Оюнчимэг<sup>2</sup>, Т.В. Ходжер<sup>3</sup>, Л.П. Голобокова<sup>3</sup>,  
Ю.С. Балин<sup>4</sup>, М.В. Панченко<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Институт физического материаловедения СО РАН  
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, Россия

<sup>2</sup>Институт метеорологии и гидрологии Монголии  
210646, г. Улан-Батор, Жулчны гудамж, 5, Монголия

<sup>3</sup>Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия

<sup>4</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, Россия

Поступила в редакцию 30.01.2013 г.

Представлены результаты исследований компонентного состава аэрозолей в атмосфере Монголии, полученные в ходе российско-монгольской экспедиции в 2011 г. Выявлено, что в зимний период в Южной Гоби (Ханбогд и Даланзадгад) химический состав аэрозолей определяется выбросами, связанными с горнодобывающей промышленностью в регионе. Обнаружено, что в Сайншанде, где отсутствуют крупные источники антропогенных выбросов, основную роль в формировании аэрозолей играет дальний перенос загрязняющих примесей со стороны Китая. Сравнительный анализ аэрозолей показал, что компонентный состав аэрозольных частиц в Улан-Баторе имеет значительное сходство с аэрозолями в Пекине в зимнее время.

**Ключевые слова:** аэрозоль, химический состав аэрозолей, пустыня Гоби, взвешенные частицы; aerosol, chemical composition of aerosols, Gobi desert, partical mater.

### Введение

В последние десятилетия большое внимание уделяется исследованию аэрозоля вследствие его все более возрастающей роли в атмосферных процессах [1]. Атмосферные аэрозоли оказывают сильное влияние на формирование погоды и климата, также участвуют в химических процессах в атмосфере. Благодаря высокой продолжительности жизни частиц аэрозоля в тропосфере, они могут распространяться на большие расстояния [2–5]. Сильное влияние на формирование свойств атмосферных аэрозолей оказывают региональные факторы (рельеф местности, растительный покров и т.д.), поэтому большое значение имеют исследования аэрозолей в различных географических регионах [6, 7], в том числе в Монголии.

Монголия расположена в центре Азиатского материка и является наиболее удаленной от океана

страной мира. По природным условиям она делится на две части — северную, где преобладают лесостепи и степи, и южную, относящуюся к пустынным и полупустынным районам Центральной Азии. Большая часть территории находится в среднем на высоте 1580 м над у.м. и практически со всех сторон ограничена горными хребтами. На юге и юго-востоке Монголии расположена пустыня Гоби.

Климат Монголии резко континентальный [8, 9]. Летом часто наблюдается прохождение циклонов, преимущественно с западного и северо-западного направлений [10]. Монголия в это время года находится под влиянием полярного (умеренного) атмосферного фронта, разделяющего умеренные и тропические воздушные массы, что приводит к активному циклогенезу в этом регионе. Аридные регионы Монголии являются крупными источниками пылевого аэрозоля, который переносится воздушными потоками на тысячи километров в другие регионы [11, 12]. Пылевые выносы из Монголии оказывают сильное влияние на радиационный баланс в Дальневосточном регионе и акваториях Тихого океана [13–15].

В последние годы на юге пустыни Гоби активно разрабатываются золотомедное месторождение Оюу-Толгой и крупнейшее в Монголии угольное месторождение Таван-Толгой. Реализация таких

\* Галина Санжиевна Жамсуева (lrf@pres.bscnet.ru); Александр Савельевич Заяханов (lrf@pres.bscnet.ru, lmza@mail.ru); Стариков Алексей Валерьевич; Вадим Владимирович Цыдыпов (lrf@pres.bscnet.ru); Тумэн Станиславович Бальжанов; Долгорсурен Азжая; Дучержав Оюнчимэг; Тамара Викторовна Ходжер (khodzher@lin.irk.ru); Людмила Петровна Голобокова (lg@lin.irk.ru); Юрий Степанович Балин (balin@iao.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru).

масштабных проектов по разработке месторождений идет полным ходом, хотя еще не представлены необходимые научные разработки о возможном воздействии на окружающую среду. Открытая разработка месторождений в аридных районах Монголии, транспортировка полезных ископаемых большими грузовыми автомобилями в Китай по дорогам без твердого покрытия приводят к резкому увеличению концентрации пыли в атмосфере и загрязнению почвенного покрова. В условиях увеличения количества пыльных бурь в этом регионе пыль, накапливающаяся на поверхности земли, может переноситься на большие расстояния, загрязняя не только близлежащие, но и отдаленные территории. В связи с этим исследования фонового уровня содержания аэрозолей в приземном слое и оценка роли региональных источников в формировании химического состава атмосферы в аридных районах Монголии в условиях начинающейся промышленной эксплуатации месторождений полезных ископаемых имеют важное значение.

## 1. Материалы и методы

Для исследований химического состава аэрозолей в атмосфере Монголии отборы проб проводились на ст. Сайншанд (44°54' с.ш., 110°07' в.д.) в августе, на станциях Даланзадгад (43°35' с.ш., 104°25' в.д.), Ханбогд (43°12' с.ш., 107°12' в.д.) и г. Улан-Батор (47°56' с.ш., 106°59' в.д.) в декабре 2011 г.

Улан-Батор — столица Монголии, крупнейший индустриальный центр страны. Город расположен в межгорной котловине на высоте 1300 м над у.м. и окружен горами высотой от 1652 до 1949 м над у.м. Улан-Батор является самой холодной столицей в мире с большим потреблением топлива в зимний период. В городе преобладает слабый ветер, зимой он находится под влиянием Азиатского антициклона, в связи с чем здесь часто наблюдаются температурные инверсии, что способствует накоплению выбросов. Основными источниками антропогенных выбросов в городе являются выбросы трех ТЭЦ, котельных, автотранспорта и юрточных кварталов, существенный рост которых произошел в последние годы за счет притока сельского населения в столицу [16–19].

Сайншанд находится на юго-востоке страны в пустыне Гоби. Даланзадгад и Ханбогд расположены на юге Монголии. Сайншанд, Даланзадгад и Ханбогд являются небольшими населенными пунктами, где отсутствуют крупные источники выбросов. Однако в Южно-Гобийском аймаке, где расположены Даланзадгад и Ханбогд, в последние годы быстро развивается горнодобывающая промышленность.

Отбор проб аэрозолей проводился с помощью высокообъемного пробоотборника PM-10 (Andersen instruments Inc., США) на поливинилхлоридные фильтры АФА-ХП и целлюлозные фильтры Whatman-41. Анализ проб осуществлялся современными аналитическими методами атомной адсорбции и ион-

ной хроматографии, рекомендованными для обеспечения сопоставимости с данными из других районов мира, на атомно-адсорбционном спектрометре фирмы Carl Zeiss Jena (Германия), с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографа «Милихром А-02» (Россия) и ионного хроматографа ICS-3000 (Dionex, США). Анализировалось содержание водорастворимых компонентов проб, которые составляют до 60–70% от общей массы взвешенных частиц [20]. Аэрозольное вещество с фильтров извлекалось деионизированной водой (электропроводность 0,15–0,20 мкСм). Полученный раствор делили на две части. В одной части раствора измеряли величину pH. Другую часть раствора фильтровали через ацетат-целлюлозный фильтр с диаметром пор 0,2 мкм и использовали для определения компонентов аэрозольных частиц, таких как ионы аммония  $\text{NH}_4^+$ , натрия  $\text{Na}^+$ , калия  $\text{K}^+$ , магния  $\text{Mg}^{2+}$ , кальция  $\text{Ca}^{2+}$ , лития  $\text{Li}^+$ , сульфат-ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ , нитрат-ионы  $\text{NO}_3^-$ , гидрокарбонат-ионы  $\text{HCO}_3^-$ , хлорид-ионы  $\text{Cl}^-$ , нитрит-ионы  $\text{NO}_2^-$ , бромид-ионы  $\text{Br}^-$ , фторид-ионы  $\text{F}^-$ , фосфат-ионы  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Для моделирования переноса воздушных масс использовалась модель HYSPLIT (Hybrid Single Particles Lagrangian Integrated Trajectory model), разработанная NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, США) [URL: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>].

## 2. Результаты и обсуждение

### 2.1. Химический состав аэрозолей в атмосфере г. Улан-Батор

В Улан-Баторе в декабре 2011 г. в среднем отмечены более высокие концентрации основных водорастворимых ионов аэрозолей по сравнению с летними измерениями 2005 и 2006 гг. вследствие роста потребления топлива в зимнее время. В образцах проб преобладают нитрат-ионы  $\text{NO}_3^-$ , сульфат-ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ , ионы аммония  $\text{NH}_4^+$ , хлорид-ионы  $\text{Cl}^-$  (таблица).

В аэрозолях выявлено увеличение содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  (7,86–34,28 против 1,23–3,48 мкг/м<sup>3</sup> в 2005–2006 г.),  $\text{NO}_3^-$  (1,91–7,18 против 0,75–2,37 мкг/м<sup>3</sup>). Сумма ионов в пробах в зимний период 2011 г. составила 19,35–75,13 мкг/м<sup>3</sup>, что в 2 раза превосходит значения, полученные в летний период 2005–2006 гг., когда сумма ионов равнялась 9,76–34,69 мкг/м<sup>3</sup>. Отсутствие в зимних пробах гидрокарбонат-ионов  $\text{HCO}_3^-$ , которые имеют в основном терригенное происхождение, объясняется наличием зимой снежного покрова и частыми штилевыми эпизодами, которые препятствуют подъему пыли с земли, а также вытеснением гидрокарбонат-ионов из аэрозолей серной и азотной кислотами, образующимися из оксидов серы и азота. Содержание данных оксидов зимой увеличивается вследствие роста выбросов от сжигания топлива.

Компонентный состав растворимой фракции атмосферных аэрозолей, мкг/м<sup>3</sup>, г. Улан-Батор, декабрь 2011 г.

Ионы	Дата (декабрь)												
	19 (утро)	20 (утро)	20 (день)	20 (вечер)	21 (утро)	21 (день)	21 (вечер)	22 (утро)	22 (день)	22 (вечер)	23 (утро)	23 (вечер)	24 (утро)
H <sup>+</sup>	0,021	0,044	0,147	0,128	0,092	0,047	0,044	0,079	0,042	0,081	0,092	0,116	0,115
Li <sup>+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002
Na <sup>+</sup>	5,50	6,12	8,34	5,64	6,99	5,12	3,55	4,00	6,30	5,49	4,36	3,91	10,16
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4,78	5,60	13,18	7,31	3,64	0,00	3,45	6,62	4,88	6,89	7,23	7,92	4,35
K <sup>+</sup>	1,65	1,43	1,77	0,67	0,74	0,63	0,79	0,87	0,71	0,92	0,92	0,94	1,72
Mg <sup>2+</sup>	0,29	0,36	0,26	0,01	0,05	0,09	0,08	0,56	0,17	0,19	0,15	0,11	0,26
Ca <sup>2+</sup>	2,37	3,90	3,03	0,59	0,84	0,98	0,81	3,41	2,23	2,02	1,65	1,24	2,55
F <sup>-</sup>	1,04	0,55	1,82	0,46	0,61	0,43	0,52	0,62	0,48	1,15	1,15	1,80	0,91
Cl <sup>-</sup>	3,09	3,17	2,97	2,61	2,25	1,99	1,93	2,19	1,42	2,07	2,32	1,74	6,15
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,53	0,62	0,69	0,70	0,47	0,29	0,26	0,54	0,30	0,34	0,32	0,40	0,58
Br <sup>-</sup>	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,53	4,55	8,65	3,78	3,26	1,91	2,04	3,01	7,18	4,15	3,79	4,38	4,83
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15,09	21,21	34,28	23,62	23,31	7,86	13,14	22,20	22,14	21,31	22,20	20,49	22,35
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Отмеченные сильные колебания содержания и состава растворимой фракции аэрозолей 20–21 декабря (таблица) связаны с прохождением теплого атмосферного фронта, выразившегося в росте температуры (среднесуточная температура выросла с  $-26,4$  °C (19 декабря) до  $-20,6$  °C (21 декабря)), атмосферного давления и выпадении снега. Устойчивый западный ветер наблюдался 20 декабря, что способствовало переносу выбросов от электростанций в западной части города и росту содержания аэрозолей до  $75,13$  мкг/м<sup>3</sup>. Выпадение осадков привело к вымыванию из атмосферы ионов взвешенных частиц, особенно NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, также SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и снижению содержания аэрозолей 21 декабря до  $19,35$  мкг/м<sup>3</sup>. После прохождения фронта содержание и состав растворимой фракции аэрозолей вернулись к исходному состоянию.

Обнаружено значительное увеличение концентрации взвешенных частиц в декабре 2011 г. по сравнению с зимним периодом 2008 г. [17] (рис. 1).

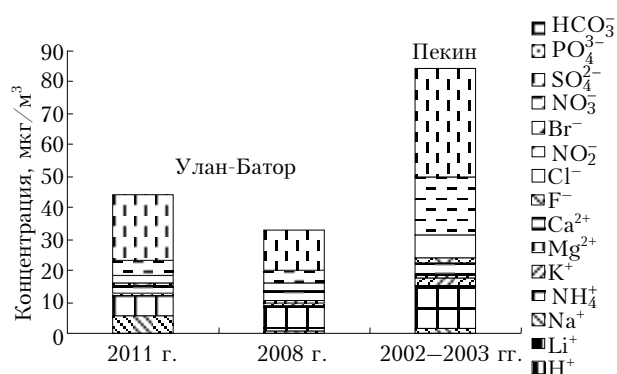


Рис. 1. Компонентный состав водорастворимой фракции атмосферных аэрозолей в зимний период в Улан-Баторе и в Пекине

Среднее содержание основных ионов растворимой фракции аэрозольных частиц в 2011 г. со-

ставляло  $43,87$ , в 2008 г. —  $32,91$  мкг/м<sup>3</sup>. Рост концентрации аэрозолей произошел в результате увеличения потребления топлива в городе в связи с ростом численности населения. Об этом свидетельствует рост доли SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в общем содержании ионов аэрозолей.

Компонентный состав аэрозольных частиц в зимнее время в Улан-Баторе имеет значительное сходство с составом аэрозолей в Пекине [21] (рис. 1). В их ионном составе преобладают SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (47,2% от суммы ионов в Улан-Баторе и 40,9% в Пекине), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (9,7 и 22,2%) и NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (13,3 и 16,3% соответственно). В Улан-Баторе зимой среднее содержание ионов растворимой фракции всего лишь в 2 раза ниже, чем в таком сильнозагрязненном городе, как Пекин, где содержание аэрозолей достигает  $84,31$  мкг/м<sup>3</sup>, что свидетельствует о серьезности проблемы загрязнения воздуха в столице Монголии. Высокая концентрация и доля NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в аэрозолях в Пекине в основном связана с выбросами автотранспорта [21]. Обнаруженное высокое содержание Na<sup>+</sup> ( $5,84$  мкг/м<sup>3</sup>) в аэрозолях Улан-Батора в 2011 г. по сравнению с  $1,03$  в 2008 г. и  $1,86$  мкг/м<sup>3</sup> в Пекине связано с высоким уровнем потребления угля, который является вероятным источником Na<sup>+</sup> в городе [20]. Данный факт подтверждает рост содержания Na<sup>+</sup> в Улан-Баторе в периоды с высокими концентрациями аэрозолей (см. таблицу).

## 2.2. Химический состав аэрозолей в атмосфере Южной Гоби

Химический состав аэрозолей в атмосфере населенных пунктов Ханбогд и Даланзадгад, расположенных вблизи разработок месторождений в Южно-Гобийском аймаке, соответствует химическому составу атмосферы крупных промышленных центров и сопоставим с содержанием аэрозолей в г. Улан-Баторе. Сумма основных водорастворимых ионов аэрозольных частиц в атмосфере Южной Гоби

составляет 19,73–46,13 мкг/м<sup>3</sup>. В аэрозолях преобладают ионы антропогенного происхождения SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (рис. 2).

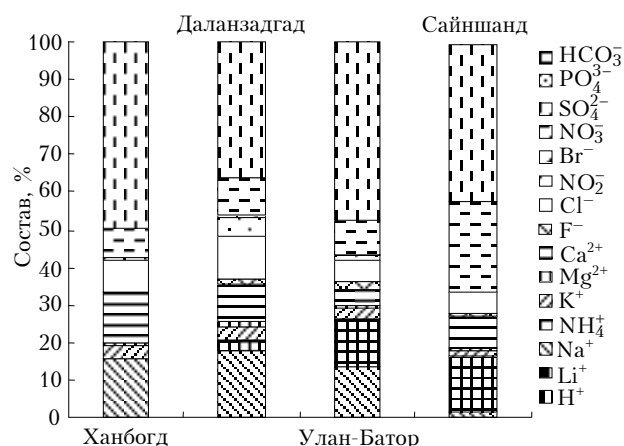


Рис. 2. Средний относительный состав водорастворимой фракции атмосферных аэрозолей в Ханбогде, Даланзадгаде, Улан-Баторе, Сайншанде в 2011 г.

Высокий уровень выбросов автомобильного транспорта проявляется в повышенных концентрациях нитрит-ионов NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и нитрат-ионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в аэрозолях, которые изменяются от 0 до 3,27 мкг/м<sup>3</sup> для NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и от 0,75 до 3,85 мкг/м<sup>3</sup> для NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Средняя концентрация NO<sub>2</sub><sup>-</sup> в аэрозолях в Даланзадгаде составляет 1,76 и 3,0 мкг/м<sup>3</sup> для NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Содержание данных ионов в Ханбогде 0,39 и 3,7 мкг/м<sup>3</sup> соответственно. Выявленное отсутствие ионов аммония NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в аэрозолях Южной Гоби связано с малой долей выбросов от сжигания угля в данном регионе.

В аэрозолях Ханбогды и Даланзадгада также обнаружена высокая концентрация компонентов терригенного происхождения Na<sup>+</sup> (3,38–9,13 мкг/м<sup>3</sup>), K<sup>+</sup> (0,78–1,96 мкг/м<sup>3</sup>) и Ca<sup>2+</sup> (1,74–6,07 мкг/м<sup>3</sup>). Это связано с сильным запылением воздуха вследствие интенсивного автомобильного движения и выбросами предприятий горнодобывающей промышленности.

В Даланзадгаде наблюдалась высокая концентрация бромид-ионов Br<sup>-</sup> в аэрозолях (0,05–2,03 мкг/м<sup>3</sup>), в то время как в Улан-Баторе Br<sup>-</sup> был отмечен только в одной пробе с концентрацией 0,14 мкг/м<sup>3</sup>. Высокие концентрации Br<sup>-</sup>, вероятно, связаны с локальными терригенными источниками.

### 2.3. Химический состав аэрозолей в атмосфере Восточной Гоби

Суммарное содержание ионов в аэрозолях, отобранных в атмосфере ст. Сайншанд в 2011 г., составляло от 0,41 до 16,11 мкг/м<sup>3</sup> со средним значением 4,33 мкг/м<sup>3</sup> (рис. 3).

Преобладающими среди ионов были ионы антропогенного происхождения, а именно ионы аммония NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, кальция Ca<sup>2+</sup>, сульфата SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, нитрата NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, хлора Cl<sup>-</sup>. Учитывая, что Сайншанд расположен в юго-восточной части Монголии, где отсут-

ствуют локальные мощные источники антропогенных выбросов в атмосферу, можно предположить о поступлении загрязняющих веществ в ходе переноса воздушных масс [22]. Отмечено возрастание концентраций ионов в периоды переноса воздушных масс со стороны Китая при южных, юго-юго-западных и юго-юго-восточных направлениях. В эти дни увеличивалась доля ионов NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Максимальная концентрация взвешенных частиц наблюдалась в периоды влияния южного переноса, при этом содержание антропогенных компонентов достигало 7,89 мкг/м<sup>3</sup> для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 3,75 для NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2,33 для NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, сумма ионов 16,11 мкг/м<sup>3</sup>.

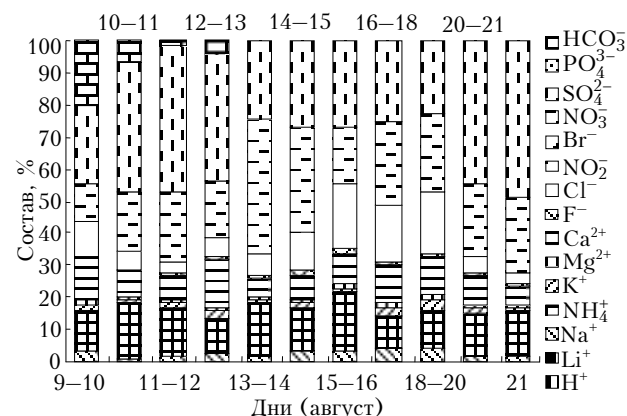


Рис. 3. Относительный состав водорастворимой фракции атмосферных аэрозолей в Сайншанде в августе 2011 г.

При переносе воздушных масс с северных, северо-северо-западных и северо-северо-восточных направлений концентрации ионов были низки и не превышали 4,5 мкг/м<sup>3</sup>. В их составе снизилось содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и возросла доля Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup>. При северо-западном и западном переносах концентрации ионов аэрозолей не превышали: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 1,76 мкг/м<sup>3</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0,8 мкг/м<sup>3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0,69 мкг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

Исследования атмосферных аэрозолей показали, что в Улан-Баторе, Сайншанде, Даланзадгаде и Ханбогде в 2011 г. на формирование химического состава взвешенных частиц основное влияние оказывают антропогенные выбросы.

В Улан-Баторе в декабре 2011 г. отмечены высокие концентрации основных водорастворимых ионов аэрозолей, преимущественно связанные с интенсивным сжиганием угля в отопительный сезон. В аэрозолях наблюдалось высокое содержание таких компонентов, как SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (7,86–34,28), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1,91–7,18), Cl<sup>-</sup> (1,42–6,15), Na<sup>+</sup> (3,55–10,16), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0–13,18 мкг/м<sup>3</sup>). Сумма ионов аэрозолей в пробах 2011 г. составила 19,35–75,13 мкг/м<sup>3</sup>, что значительно превысило данный показатель для летнего периода 2005–2006 гг., когда сумма ионов составляла 9,76–34,69 мкг/м<sup>3</sup>. Отсутствие зимой в пробах HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, который имеет в значительной степени терригенное происхождение, объясняется

наличием снежного покрова, частой штилевой погодой, препятствующих подъему пыли с земли, и вытеснением гидрокарбонат-ионов из аэрозолей образующимися в атмосфере сильными кислотами.

Исследования состава аэрозоля в Южной Гоби (станции Ханбогд и Даланзадгад) показали, что основным фактором формирования компонентного состава взвешенных частиц являются региональные выбросы, связанные с горнодобывающей промышленностью и автомобильным транспортом. Это приводит к высокому уровню содержания в аэрозолях терригенных компонентов — ионов  $\text{Ca}^{2+}$  (1,74–6,07),  $\text{K}^+$  (0,78–1,96) и  $\text{Na}^+$  (3,38–9,13 мкг/м<sup>3</sup>), а также  $\text{NO}_2^-$  (0–3,27) и  $\text{NO}_3^-$  (0,75–3,85 мкг/м<sup>3</sup>), содержащихся в продуктах сгорания топлива. Характерной чертой аэрозолей в Даланзадгаде является наличие  $\text{Br}^-$  (0,05–2,03 мкг/м<sup>3</sup>), что можно связать с распространенностью солончаков в данном регионе.

Обнаружено, что в компонентном составе атмосферных аэрозолей в Восточной Гоби (ст. Сайншанд) преобладают компоненты промышленных выбросов — сульфат-ионов, нитрат-ионов и ионов аммония, содержание которых составляло 49–87% от общей массы водорастворимых компонентов. Установлено, что в большинстве случаев высокая концентрация аэрозолей и высокое содержание в них антропогенных компонентов связаны с южным переносом со стороны Китая.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН (проект № 4.12) и Минобрнауки РФ (Соглашение № 8886; госконтракты № 11.519.11.6033, 14.518.11.7063).

1. Алоян А.Е., Ермаков А.Н., Арутюнян В.О., Загайнов В.А. Динамика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере с учетом гетерогенных процессов // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2010. Т. 46, № 5. С. 657–671.
2. Кондратьев К.Я. Аэрозоль и климат: современное состояние и перспективы разработок. 3. Аэрозольное радиационное возмущающее воздействие // Оптика атмосфер. и океана. 2006. Т. 19, № 7. С. 565–575.
3. Кондратьев К.Я. Аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Физические свойства и химический состав // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15, № 2. С. 123–146.
4. Чайковский А.П., Иванов А.П., Зега Э.П., Кацев И.Л., Кабашиков В.П., Денисов С.В., Король М.М., Король Я.А., Лопатин А.Ю., Осипенко Ф.П., Прихач А.С., Слесарь А.С. Мониторинг процессов переноса взвешенных в атмосфере частиц по данным дистанционных и локальных измерений в Беларуси и сопредельных регионах // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 12. С. 1047–1055.
5. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенное загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 493–501.
6. Плауде И.О., Вычужанина М.В., Монахова Н.А., Гришина Н.П. Некоторые результаты 11-летних измерений характеристик атмосферных аэрозолей в Подмоскowie // Метеорол. и гидрол. 2006. № 1. С. 19–26.

7. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М., Поддубный В.А., Лужецкая А.П. Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы на территории Поволжья, Урала и Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 11. С. 958–962.
8. Алексеева Н.Н. Современные ландшафты зарубежной Азии. М.: ГЕОС, 2000. 414 с.
9. Климаты аридной зоны Азии / Под ред. Е.А. Восточковой, П.Д. Гунина. М.: Наука, 2006. 359 с.
10. Дементьева А.Л., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Цыдыпов В.В. Ветровой режим и особенности атмосферной циркуляции в пустыне Гоби // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 273–277.
11. Jugder D., Shinoda M., Sugimoto N., Matsui I., Nishikawa M., Park S.-U., Chun Y.-Sh., Park M.-S. Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia // Global and Planetary Change. 2011. V. 78, N 1–2. P.14–22.
12. Zhang B., Tsunekawa A., Tsubo M. Contributions of sandy lands and stony deserts to long-distance dust emission in China and Mongolia during 2000–2006 // Global and Planetary Change. 2008. V. 60, N 2. P. 487–504.
13. Кондратьев И.И., Качур А.Н., Юрченко С.Г., Миценцева Л.И., Щупкин Г.Т., Семькина Г.А. Синоптические и геохимические аспекты аномального выноса пыли на юге Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 2005. № 3. С. 55–65.
14. Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А., Букин О.А. Лидарные исследования изменчивости вертикального распределения озона под влиянием процессов стратосферно-тропосферного обмена в Дальневосточном регионе // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 9. С. 788–795.
15. Сакерин С.М., Афонин С.В., Энгель М.В., Кабанов Д.М., Польшин В.В., Турчинович Ю.С., Букин О.А., Павлов А.Н. Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы в Приморье и прилегающих морях в августе 2010 г. // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 731–736.
16. Jung J., Tsatsral B., Kim Y.J., Kawamura K. Organic and inorganic aerosol compositions in Ulaanbaatar, Mongolia, during the cold winter of 2007 to 2008: Dicarboxylic acids, ketocarboxylic acids, and a-dicarbonyls // J. Geophys. Res.: Atmospheres. 2010. V. 115. D22203. doi:10.1029/2010JD014339.
17. Nishikawa M., Matsui I., Batdorj D., Jugder D., Mori I., Shimizu A., Sugimoto N., Takahashi K. Chemical composition of urban airborne particulate matter in Ulaanbaatar // Atmos. Environ. 2011. V. 45, N 32. P. 5710–5715.
18. Davy P.K., Gunchin G., Markwitz A., Trompeter W.J., Barry B.J., Shagjjamba D., Lodoysamba S. Air particulate matter pollution in Ulaanbaatar, Mongolia: determination of composition, source contributions and source locations // Atmos. Pollution Res. 2011. V. 2, N 2. P. 126–137.
19. Luvsan M.-E., Shie R.-H., Purevdorj Ts., Badarch L., Baldorj B., Chan Ch.-Ch. The influence of emission sources and meteorological conditions on SO<sub>2</sub> pollution in Mongolia // Atmos. Environ. 2012. V. 61. P. 542–549.
20. Zhang T., Cao J.J., Tie X.X., Shen Z.X., Liu S.X., Ding H., Han Y.M., Wang G.H., Ho K.F., Qiang J., Li W.T. Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in Xi'an, China: Seasonal variations and sources // Atmos. Res. 2011. V. 102, N 1–2. P. 110–119.

21. Sun Y., Zhuang G., Wang Y., Han L., Guo J., Dan M., Zhang W., Wang Z., Hao Zh. The air-borne particulate pollution in Beijing – concentration, composition, distribution and sources // Atmos. Environ. 2004. V. 38, N 35. P. 5991–6004.
22. Жамсүева Г.С., Заяханов А.С., Стариков А.В., Цыдыпов В.В., Аюржанаев А.А., Голобокова Г.П., Филитова У.Г., Ходжер Т.В. Химический состав аэрозолей в атмосфере Монголии // Метеорол. и гидрол. 2012. № 8. С. 59–68.

*G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, A.V. Starikov, V.V. Tsydyrov, T.S. Balzhanov, D. Azzaya, D. Oyunchimeg, T.V. Khodzher, L.P. Golobokova, Yu.S. Balin, M.V. Panchenko.* **Results of studies of the ionic composition of aerosols in Mongolia.**

Results of aerosols composition researches in the atmosphere of Mongolia, obtained during the Russian–Mongolian expedition in 2011 are presented. The chemical composition of aerosols in the Southern Gobi (Hanbogd and Dalanzadgad) during the winter period depends on emissions connected with the mining industry. It is revealed that long-range transport of pollutants from China is the main factor in formation of aerosols in Sainshand, where no large sources of anthropogenic emissions are situated. The comparative analysis of aerosols showed that the chemical composition of aerosol particles in Ulaanbaatar is considerably similar to aerosols in Beijing in winter time.