

АРАЛ И ЕГО ПРОБЛЕМЫ

Г.А. ТОЛКАЧЕВА, Ю.И. КОВАЛЕВСКАЯ, Л.Ю. ШАРДАКОВА, Т.Н. ДЖУМАМУРАТОВ

СУХИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ НА ОСУШЕННОМ ДНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Влияние последствий Аральского кризиса наблюдается в разной степени во всем Приаральском регионе. За счет осушения дна моря, появления на поверхности почвы солевой корки возрос эоловый вынос песка и солей. Перенос солевой пыли - одно из отрицательных явлений, воздействующих на природную среду. Осаждение солей на подстилающую поверхность вызывает вторичное засоление почв, ухудшает состояние растительности, способствует опустыниванию больших территорий.

Сухие атмосферные выпадения (САВ) являются индикаторами пылевого загрязнения воздуха. Анализ компонентного состава САВ позволяет сделать некоторые выводы о составе грубодисперсной составляющей атмосферного аэрозоля. Плотность потока выпадений является одним из критериев, позволяющих оценить экологическую ситуацию на исследуемой территории.

В данной работе впервые анализируются результаты эксперимента по исследованию переноса пыли и солей в зоне 30-летней осушки дна моря. Эксперимент проводился в 1997-98 гг. совместно с Приаральской гидрогеологической экспедицией на Муйнакском и Аккалинском полигонах. Посты по отбору проб сухих атмосферных выпадений охватывали различные зоны осушки Аральского моря с 1960 по 1997 гг.

В настоящее время отсутствуют единые методические подходы к изучению процессов выноса солей с усохшего дна Аральского моря, что приводит к получению противоречивых оценок дальности выноса солей воздушными массами с усохшей части моря и его акватории.

Методика исследования заключалась в систематических отборах проб САВ и сопос-

тавлении результатов с метеорологическими процессами - пыльными бурями и поземками.

Отбор проб САВ проводили на марлю размером 24×45 см, предварительно взвешенные и помещенные в пластмассовые кюветы, которые размещали в ветрозащитные устройства в соответствии с разработанной в НИГМИ методикой [1]. Аккалинский полигон находился в зоне старой (более 30 лет) осушки. Муйнакский - охватывал зону свежей и зоны осушки 1960-72 гг. Время экспозиции каждой марли на Аккалинском полигоне составляло 1 месяц, на Муйнакском - в среднем 8 часов. На обоих полигонах наблюдения проводились в одних и тех же точках отбора, в одни и те же сроки в 1997-98 гг. Во время отбора проб фиксировали направление и скорость ветра.

Для приготовления водной вытяжки каждую пробу сухих выпадений взвешивали на аналитических весах, помещали в фарфоровый стакан, приливали 250 мл дистиллированной воды, перемешивали и оставляли на сутки. После этого извлекали марлю из стакана, полученную водную вытяжку отфильтровывали через предварительно взвешенные бумажные фильтры для определения нерастворимого осадка. Осадок на фильтрах высушивали несколько дней при комнатной температуре, затем в сушильном шкафу при температуре 105°C, охлаждали в эксикаторе и взвешивали. Результаты взвешивания использовались при расчете водорастворимой и нерастворимой составляющих общей плотности потока сухих выпадений.

В водной вытяжке определяли электропроводность, рН и химический состав по основным водорастворимым минеральным компонентам следующими методами:

натрий и калий - пламенно-фотометрическим, согласно [4];

кальций и магний - трилонометрическим методом с индикаторами мурексид и эриохром "черный", согласно [5];

гидрокарбонаты - титрованием с соляной кислотой с индикатором метиловым оранжевым, согласно [5];

фториды, хлориды, нитраты и сульфаты - методом ионной хроматографии в соответствии с методикой, разработанной в НИГМИ [3].

В составе неводорастворимой составляющей САВ определяли подвижные формы свинца, меди, кадмия и цинка методом атомной абсорбции. Для этого высушенные нерастворимые остатки на фильтрах, полученные при приготовлении водной вытяжки САВ, объединяли по каждой точке отбора. Взвешивали объединенные пробы нерастворимых остатков, заливали их азотной кислотой концентрацией 1М в объеме, зависящим от массы пробы, перемешивали, оставляли на сутки, затем снова отфильтровывали от нерастворимого остатка и в полученной кислотной вытяжке определяли свинец, кадмий, медь и цинк [1].

В результате были получены данные химического анализа для 73 проб. Из них:

10 проб с экспозицией марли в один месяц отобраны на Аккалинском полигоне;

63 пробы с экспозицией 8 часов - на Муйнакском.

Для сравнительного анализа были использованы данные многолетних наблюдений на метеостанции Муйнак, которая является ближайшей к Муйнакскому и Аккалинскому полигонам и входит в состав республиканской сети мониторинга САВ. На основании существующей базы данных были вычислены средние многолетние значения ($P_{общ}$) общей плотности потока сухих выпадений (кг/га/год) и ($P_{вр}$) - плотность потоков водорастворимой составляющей для МС Муйнак:

$$P_{общ} - 2554,2 \text{ кг/га/год,}$$

$$P_{вр} - 1402,7 \text{ кг/га/год.}$$

Наибольший вклад в состав водорастворимой составляющей сухих выпадений вносили сульфаты, гидрокарбонаты, магний и кальций. Чтобы сопоставить данные наблюдений на МС Муйнак с данными Аккалинского полигона, были вычислены величины общей плотности потока сухих выпадений и плотности потоков водорастворимых компонентов для теплого периода года. Поскольку сроки экспозиции каждой марли для МС Муйнак и Аккалинского полигона совпадали, проведено сравнение:

общего потока выпадений;

соотношения водорастворимой и неводорастворимой частей общего потока выпадений;

соотношения компонентов в составе водорастворимой части потока.

Общая плотность потока САВ для Аккалинского полигона выше, чем для МС Муйнак, однако содержание водорастворимых солей в составе Муйнакских проб выше. В компонент-

ном составе водорастворимой составляющей для обеих точек преобладают сульфаты, хлориды и натрий. В составе Муйнакских проб содержание магния в несколько раз выше, чем на Аккалинском полигоне (рис. 1).

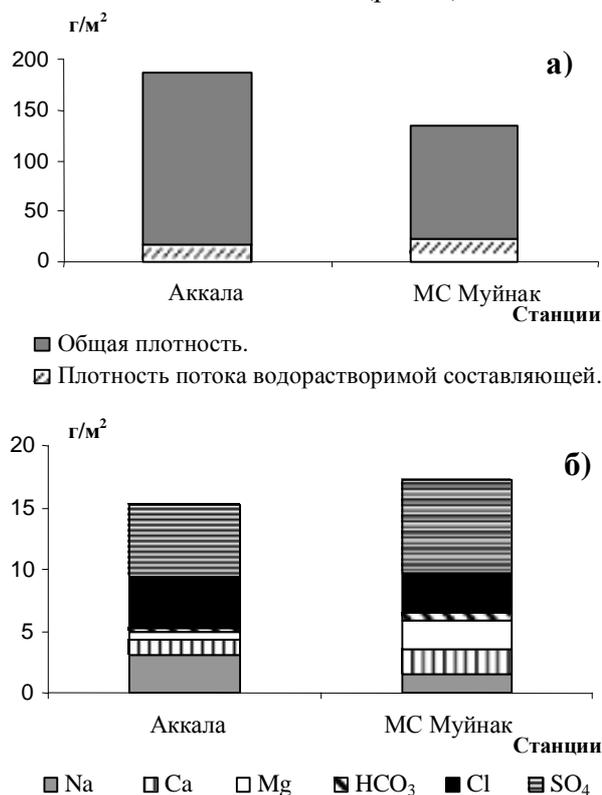


Рис. 1. Среднемесячные значения плотности потоков САВ для Аккалинского полигона и МС Муйнак:

а) соотношение общего потока и потока водорастворимой части; б) соотношение основных минеральных компонентов в составе водорастворимой части.

Значения плотности потока САВ для МС Муйнак близки по величине к данным, полученным на Аккалинском полигоне, расположенном в зоне старой осушки (более 30 лет).

Для того, чтобы сравнить данные по привесам САВ для проб с разным периодом экспозиции (на Муйнакском полигоне - 8 часов, на Аккалинском - один месяц), они были пересчитаны в кг/га/час. Для проб, отобранных на Аккалинском полигоне, значение плотности потока $P_{общ}/час$ находится в интервале от 11,7 до 21,5 кг/га/час.

Для проб, отобранных на Муйнакском полигоне, разброс значений $P_{общ}/час$ находится в пределах от 8,2 до 307 кг/га/час в зависимости от точки отбора, сезона, года и метеоусловий.

Максимальные значения потоков выпадений получены для зоны осушки 1986-90 гг., затем для зоны осушки 1991 г. С дальнейшим увеличением расстояния от моря поток выпадений постепенно убывает. Минимальные значения его получены для Думалакского польдера.

Анализ результатов показал, что величина

плотности потока САВ зависит от:
 места отбора пробы;
 характера подстилающей поверхности (почвы);
 метеоусловий (влажности воздуха, времени года, направления и скорости ветра, температуры);
 способа отбора - длительности экспозиции, типа подложки для отбора пробы.

Следует отметить, что зависимость привеса пыли на марлю от длительности отбора не является прямо пропорциональной, поэтому сравнивать полученные значения $P_{\text{общ}}/\text{час}$ можно только для каждого из видов отбора отдельно. Кроме того, от года к году величина плот-

ности потока сухих выпадений также может изменяться, иногда значительно для одной и той же точки отбора.

Зависимость величины общего потока САВ от зоны осушки исследовалась следующим образом: точки отбора проб были сгруппированы по зонам осушки, на основании значений привеса на марлю был рассчитан средний для зоны осушки общий поток САВ. Наибольший поток зарегистрирован для зоны осушки 1972-82 гг., наименьший - для польдерной зоны (зоны осушки 50-х годов) (рис. 2). По всей видимости, сказывается влияние состояния и состава поверхностного слоя почвы и особенностей процесса выветривания солей с осушенного дна Аральского моря [2].

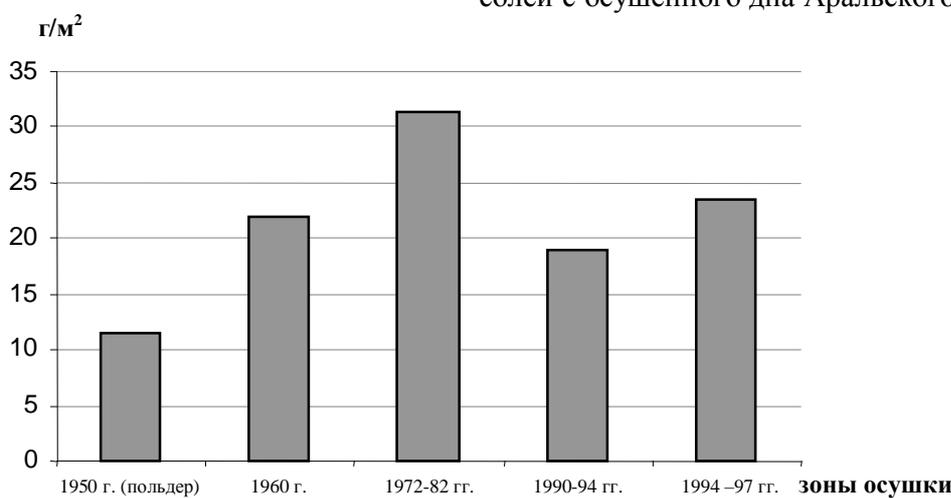


Рис. 2. Величина общего потока САВ по зонам осушки.

Содержание водорастворимой составляющей сухих выпадений снижается с изменением характера подстилающей поверхности в зоне старой осушки Аральского моря и польдерной зоне (рис. 3). Видно, что наибольший вклад в состав САВ водорастворимой составляющей приходится на зону свежей осушки и зону 1972-82 гг.

Проведенный анализ водных вытяжек по-

казал, что для всех проб САВ характерна слабощелочная реакция. Общее содержание солей в значительной степени варьирует в зависимости от места отбора пробы, сезона отбора и метеоусловий.

Все пробы сухих выпадений были сгруппированы по зонам осушки Аральского моря, для каждой из которых рассчитаны средние значения покомпонентного потока выпадений исследуемых ингредиентов в мг/м² (табл. 1).

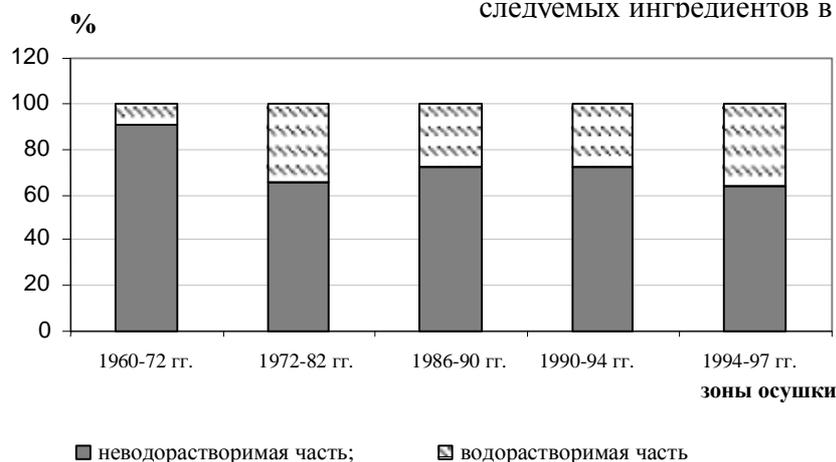


Рис. 3. Соотношение водорастворимой и неводорастворимой частей в составе САВ по зонам осушки.

**Средние потоки выпадений водорастворимых минеральных компонентов
в составе САВ для различных зон осушки Аральского моря**

Зона осушки	Общий поток, г/м ²	Na ⁺ мг/м ²	K ⁺ мг/м ²	Ca ²⁺ мг/м ²	Mg ²⁺ мг/м ²	HCO ₃ ⁻ мг/м ²	F ⁻ мг/м ²	Cl мг/м ²	NO ₃ ⁻ мг/м ²	SO ₄ ²⁻ мг/м ²	Сумма ионов, мг/м ²
1950 г. (польдер)	11,5	42,8	6,9	88,9	37,0	240,05	3,1	220,7	8,5	167,4	815,2
1960 г.	22,0	66,2	5,8	98,6	45,0	307,4	2,6	148,6	18,9	167,3	860,1
1972-82 гг.	31,4	238,3	26,6	252,7	85,2	230,4	7,4	399,4	20,7	825,3	2086
1990-94 гг.	19,0	242,7	22,6	99,8	51,7	331,4	9,8	372,0	24,9	235,5	1390
1994 –97 гг.	23,4	104,2	5,8	133,7	52,4	289,5	1,78	297,0	31,9	256,9	1173

В анионном составе водных вытяжек проб САВ среди определяемых компонентов преобладают хлориды и сульфаты, в катионном - натрий, кальций и магний.

По общему содержанию солей пробы также отличаются друг от друга.

Для большинства проб, отобранных в одной и той же точке, но в разные сезоны, происходило снижение их общей минерализации в весенний и осенний периоды, что связано, по-видимому, с увлажнением поверхностного слоя почвы, вымыванием солей из него, более низким содержанием пыли в воздухе. Также выявлено, что содержание в пробах САВ калия, кальция, магния, гидрокарбонатов, фторидов и нитратов менялось с переходом от одной зоны осушки к другой не так значительно, как содержание натрия, хлоридов и сульфатов. Ионы натрия, хлоридов и сульфатов вносили наиболее значительный вклад в общую минерализацию проб.

Таким образом, сопоставление результатов химических анализов САВ по периодам отбора с разных зон осушки выявило динамику

изменения покомпонентного состава.

Ранее нами были выявлены трассеры переноса - макрокомпоненты морских солей [6]. К ним отнесены ионы хлоридов и натрия. По полученным экспериментальным данным к таким же легкомигрируемым компонентам можно отнести и сульфат-ионы. На рис. 4 показано, как меняются соотношения основных ионов в составе водорастворимой составляющей САВ в зависимости от зоны осушки. При этом, процентное содержание в составе водорастворимой составляющей калия, кальция и магния практически одинаково для всех зон осушки. Наиболее значительно изменяется по зонам осушки процентное содержание хлоридов, сульфатов и натрия. Максимальное их содержание в составе проб САВ наблюдается в зоне осушки 1972-82 гг. (табл. 2).

Таким образом, динамика изменения химического состава САВ соответствует определенным периодам процесса соленакопления и переноса солей воздушными массами от зоны свежей осушки к староосушенным территориям Южного Приаралья.

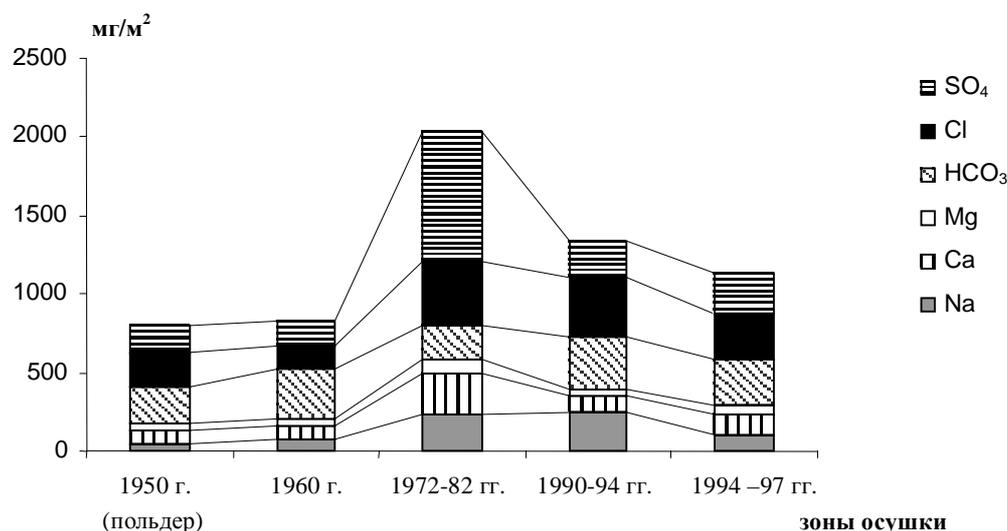


Рис. 4. Изменение доли водорастворимых компонентов в составе САВ в зависимости от зоны осушки.

Процентное содержание компонентов в составе водорастворимой составляющей САВ по зонам осушки

Зона осушки	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1950 г. (польдер)	5,25	0,84	10,91	4,53	29,44	0,38	27,07	1,04	20,53
1960 г.	7,69	0,67	11,46	5,23	35,72	0,30	17,27	2,20	19,45
1972-82 гг.	11,43	1,27	12,11	4,08	11,05	0,36	19,14	0,99	39,57
1990-94 гг.	17,46	1,63	7,18	3,72	23,83	0,70	26,75	1,79	16,94
1994-97 гг.	8,88	0,49	11,39	4,46	24,68	0,15	25,32	2,72	21,90

Количество наблюдаемых в 1998 г. пыльных бурь, зафиксированных на Муйнакском полигоне, представлено на рис. 5, из которого следует, что наиболее часто пыльные бури возникают в весенний период и в ноябре, а летний период, начало осени и зима характеризуются меньшей их повторяемостью. Это подтверждается также многолетними наблюдениями на МС Муйнак.

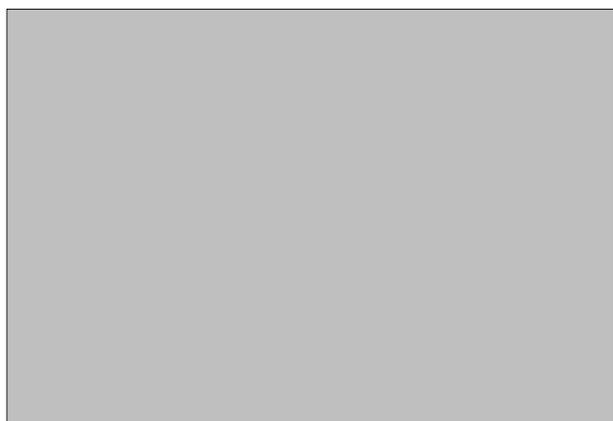


Рис. 5. Количество пыльных бурь, зарегистрированных на Муйнакском полигоне в 1998 г.

Однако в 1998 г. на МС Муйнак была зарегистрирована только одна пыльная буря, а в 1997 г. - ни одной. Следовательно, наблюдаемые на полигоне явления носили локальный характер. Отбор проб на Муйнакском полигоне проводился, в основном, в весенний период, характеризующийся интенсивной ветровой деятельностью. Преобладающее направление ветра при отборах проб было северное или северо-западное (с акватории Аральского моря), скорость его составляла 2-10 м/с.

В результате проведения восьмичасовых отборов проб сухих выпадений в период с апреля по июнь на Муйнакском полигоне удалось отобрать пробы, которые экспонировались во время пыльных бурь и эпизодов со скоростями ветра более 5 м/с. Они отличались большими значениями привесов пыли на марлю (от 10 до 20 г), более щелочными значениями рН (до 8,0). В большинстве случаев в этих

пробах увеличивалась доля содержания водорастворимых солей. В компонентном составе наиболее заметно возрастали концентрации натрия, сульфатов и хлоридов по сравнению с пробами, отобранными в этих же точках в другие периоды наблюдений. Выявлено, что при этом наибольшие значения привесов на марлю во время этих эпизодов наблюдались для зоны свежей осушки.

Для выявления сезонных особенностей состава САВ были рассчитаны общий поток и средние значения по компонентам для весны, лета и осени по зонам осушки.

В весенний сезон - в период наиболее интенсивной ветровой деятельности максимальное количество пыли и солей выпадало в зоне 5-летней осушки. В летний период прослеживалась тенденция постепенного уменьшения как общего потока САВ, так и потоков основных водорастворимых компонентов от зоны свежей осушки к староосушенной зоне. В осенний период максимальные потоки пыли и солей наблюдались в зоне 15-летней осушки. Таким образом, плотность потоков САВ в зонах осушки Аральского моря зависела от сезона года, метеоусловий, состояния подстилающей поверхности.

В составе САВ было определено содержание подвижных форм тяжелых металлов - меди, цинка и кадмия.

Исследованиями установлено, что наиболее высокое содержание среди исследованных микрокомпонентов характерно для цинка и меди, минимальное - для кадмия. При этом, содержание кадмия практически не менялось. Для всех остальных исследованных микрокомпонентов в составе САВ характерна тенденция к постепенному увеличению их содержания в зонах старой осушки Аральского моря (рис. 6).

Высокое относительное содержание цинка в пробах САВ, отобранных в прибрежной зоне Аральского моря, можно объяснить его высокой миграционной способностью. Цинк может поступать в море с поверхностными водами. С уменьшением концентраций цинка в большинстве случаев уменьшаются и концентрации других микрокомпонентов, что, вероятно, обусловлено их общим источником поступления.

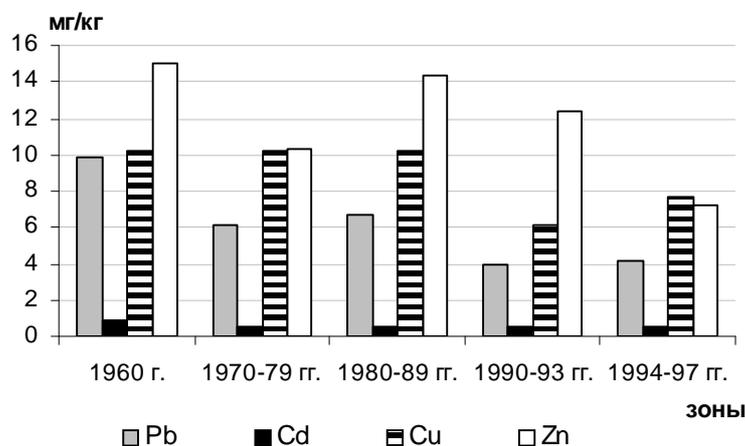


Рис. 6. Изменение содержания тяжелых металлов в составе САВ по зонам осушки.

В результате проведенных исследований выявлена зависимость плотности потока сухих атмосферных выпадений от интенсивности пыльных бурь и поземок, вариации химического состава проб, соотношения отдельных ионов, водорастворимой и неводорастворимой части проб.

Разработанная методика экспериментального исследования ветрового переноса песка и солей в зоне осушки Аральского моря включа-

ет в себя:

отборы САВ в локальных точках вблизи источников эмиссии солей;

параллельные наблюдения метеорологических параметров и явлений в точках отбора проб;

анализ компонентного состава САВ в зависимости от направления воздушного переноса соли и пыли в разные сезоны года.

Выводы

1. Данные месячного отбора носят более интегрированный характер по сравнению с результатами восьмичасового отбора. Последние более чувствительны к меняющимся метеорологическим условиям (пыльным бурям, сильному ветру), однако, они являются более трудоемкими и требуют присутствия наблюдателя.

2. Сопоставление полученных данных по плотности потока САВ и числом дней с пыльными бурями в периоды наблюдений выявило возрастание плотности потока САВ в периоды с пыльными бурями и поземками. При этом отмечены вариации компонентного состава.

3. Динамика изменения химического состава проб сухих атмосферных выпадений по зонам осушки связана с определенными периодами процесса накопления солей на подстилающей поверхности и их дальнейшего переноса с воздушными массами в зону Приаралья и сопредельные территории.

4. Для повышения информативности такого рода экспериментов необходимо параллельно с САВ отбирать пробы почвы, регистрировать состояние почвенного покрова.

Для дальнейших исследований необходимо провести сопоставление химического состава САВ с характеристиками локальных источников эмиссии солей (морской воды, солончаков, почв). Для оценки принадлежности золотого материала САВ необходимы расчеты геохимических коэффициентов, коэффициентов корреляции и обогащения.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (НИГМИ) Главгидромета РУз,
Приаральская гидрогеологическая экспедиция

Дата поступления
5 сентября 2006 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные методические указания по отбору проб и анализу сухих атмосферных выпадений на основные водорастворимые минеральные компоненты. - Ташкент, САНИГМИ, 1990.
2. Мавлянов Т.Э., Пинхасов Б.И., Отеев Р., Курбаниязов А.К. Очаги солепылевыноса на обсохшем дне Аральского моря // Пробл. осв. пустынь, 1998, № 3-4.
3. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионов фторидов, хлоридов, гидроксидов, нитратов и сульфатов в пробах атмосферного аэрозоля методом ионной хроматографии. - Ташкент, САНИГМИ, 1993.
4. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. - М., 1991.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
6. Толкачева Г.А. Критерии оценки миграции солей // Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. - Санкт-Петербург, 1991.