

Исследование проб почв и пылевого аэрозоля методом ИК-спектроскопии

С.Ф. Абдуллаев, Т. Шукуров, Р. Марупов, Б.И. Назаров*

*Физико-технический институт им. С.У. Умарова АН Республики Таджикистан
734063, г. Душанбе, Академгородок, ул. Айни, 299/1, Республика Таджикистан*

Поступила в редакцию 19.01.2012 г.

Приведенные исследования показывают, что предлагаемый способ определения вероятных зон пыльных бурь методом ИК-спектроскопии в диапазоне частот $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ позволяют оперативно определить источник образования пылевой мглы (пыльных бурь) при сравнительном анализе с ИК-спектром банка данных. При их совпадении со спектром из той или иной зоны определяется зона происхождения пылевой мглы (пыльных бурь). Отличие предлагаемого способа от известных способов состоит в том, что он технически намного проще, а также более точный, быстрый и экономичный.

Ключевые слова: ИК-спектр, аэрозоль, пылевая мгла, пыльная буря, метод ИК-спектроскопии, валентные колебания, деформационные колебания, углеводородная группа, органика; IR spectrum, aerosol, dust haze, dust storm, method IR spectroscopy, stretching vibrations, bending vibrations, hydrocarbon group, the organic.

Введение

При образовании пыльных бурь (пылевой мглы) (ПБ (ПМ)) в регионах, где они распространяются, значительно ухудшается экологическое состояние окружающей среды, что существенно отражается на здоровье людей. В результате естественного осаднения пылевых частиц происходит также загрязнение водных сред региона. Это обуславливает необходимость создания методов экспресс-анализа и способов определения физико-химического состава ПБ (ПМ) и вероятной зоны их образования.

В литературе описаны разные методы определения вероятных зон образования ПБ (ПМ) [1–6], однако многие из них требуют сложной дорогостоящей аппаратуры, которая недоступна слаборазвитым странам. В связи с этим поиск более доступных способов представляет большой научный и практический интерес.

Настоящая статья посвящена исследованию инфракрасных (ИК) спектров почв вероятных зон образования ПБ (ПМ) с целью создания банка спектральных данных, так как сравнительный анализ их со спектрами осадков ПБ (ПМ) может позволить быстро и достоверно определить зоны образования [7] и их состав. В работах [8–17] использовался метод ИК-спектроскопии для исследования проб почв и аэрозолей, но не ставилась задача создания банка данных для определения зоны образования пылевой мглы.

* Сабур Фузайлович Абдуллаев (sabur.f.abdullaev@gmail.com); Турсунбой Шукуров (t_shukurov@mail.ru); Рахим Марупов; Бахрон Исломович Назаров (systemavto@rambler.ru).

Характеристика проб почв и пылевого аэрозоля

Были исследованы ИК-спектры почв, взятые из вероятных пустынных зон образования ПБ (ПМ): из южных регионов Республики Таджикистан, в местностях Айваджа ($36^{\circ}58'42''$ с.ш.; $68^{\circ}01'11''$ в.д.; $h = 319$ м), Шаартуза ($37^{\circ}00'58''$ с.ш.; $68^{\circ}03'28''$ в.д.; 324 м), Кабодиёна (Белые и Красные холмы; $37^{\circ}39'44''$ с.ш.; $68^{\circ}08'38''$ в.д.; 507 м), а также из пустынной зоны Термеза ($37^{\circ}13'01''$ с.ш.; $67^{\circ}16'58''$ в.д.; 300 м) Республики Узбекистан. Для сравнительного анализа были также исследованы ИК-спектры почв районов, где наблюдается большое количество осадков ПБ (ПМ): вокруг г. Душанбе ($38^{\circ}33'12''$ с.ш.; $68^{\circ}51'37''$ в.д.; 866 м) и Турсунзаде ($38^{\circ}30'30''$ с.ш.; $68^{\circ}16'23''$ в.д.; 700 м) — предгорье Гиссарской долины, а также из отдаленных регионов: Истаравшан ($39^{\circ}54'21''$ с.ш.; $69^{\circ}01'15''$ в.д.; 1039 м), высокогорных районов Памира [Рушан ($37^{\circ}56'26''$ с.ш.; $71^{\circ}33'38''$ в.д.; 3000 м) и Ак-Архар ($37^{\circ}57'36''$ с.ш.; $73^{\circ}43'15''$ в.д.; 4365 м)] Республики Таджикистан, куда доходят только мелкодисперсные частицы ПБ (ПМ).

Пробы почв (всего 27 проб) были собраны в период 2009–2011 гг. Для анализа отбирался верхний (1–2 см) слой почвы с участка 40×40 см. В лабораторных условиях образец очищался от крупнообломочных включений и корней. Оставшаяся часть просеивалась через сито с сеткой 1 мм^2 и упаковывалась для хранения и исследования в стеклянной посуде.

Пробы пылевого аэрозоля (всего 53 пробы) были собраны в период пылевой мглы (2007–2011 гг.)

двумя способами: 1) естественным осаждением на поверхности полиэтиленовой пленки площадью 20 м²; 2) естественным осаждением на поверхности пластиковых ванночек.

Запись ИК-спектров проводилась с использованием методики таблетирования в смеси со спектрально чистым монокристаллом бромида калия (KBr) в соотношении 10 : 600 мг. Регистрация ИК-спектров осуществлялась в диапазоне частот 4000–400 см⁻¹. До записи ИК-спектров все пробы почв тщательно очищались от сорняков. Для исключения влияния влаги на ИК-спектры все пробы были высушены в эксикаторе над силикагелем при одинаковых режимах.

Анализ полученных результатов

На рис. 1 приведены ИК-спектры проб почвы из пустынных зон Шаартуза, Айваджа, Термеза и Кабодиёна (Белые и Красные холмы) в области частот 4000–400 см⁻¹.

Как видно из рис. 1, *a* (кривые 1–5), для всех исследованных проб почв в данной области частот характерна широкая полоса различной формы и интенсивности, положения частот максимумов (ν_{\max}) которых приведены в табл. 1. В низкочастотном и высокочастотном крыле полос проявляются очень слабые полосы, положения ν_{\max} которых также приведены в табл. 1.

Для пробы почв из Шаартуза (рис. 1, кривая 1) в данной области частот характерна слабая по интенсивности широкая полоса с ν_{\max} 3450 см⁻¹, со сле-

дами слабых пиков на высоко- и низкочастотном крыле при 3785 и 3200 см⁻¹. ИК-спектры проб почв из Айваджа, Кабодиёна (Белые и Красные холмы) и Термеза в области максимума имеют дублетный характер с различными соотношениями интенсивности.

Таблица 1
Положения ν_{\max} (см⁻¹) ИК-полос поглощения почв

Айвадж	Район взятия проб почв			
	Шаартуз	Термез	Кабодиён (холмы)	
			Красные	Белые
–	3820 о.сл.	3800 сл.	–	–
3600 сл.	–	3600 ср.	3602 сл.	3580 сл.
3400 сл.	3440 сл.	3430 ср.	3400 сл.	3450 сл.
2935 сд.	–	2910 сл.	2930 о.сл.	–
2880 сд.	–	2850 о.сл.	2870 о.сл.	–
2500 о.сл.	–	2500 о.сл.	–	2505 о.с.
–	1650 о.сл.	–	–	–
1620 сд.	–	1625 о.сл.	1610 сд.	1620 сд.
1420 ср.	1430 сл.	1430 с.	1420 ср.	1450 с.
1027 о.с.	1030 с.	1030 о.с.	1020 о.с.	1015 о.с.
860 сл.	–	875 о.сл.	–	875 сд.
780 сл.	790 ср.	770 сл.	775 ср.	780 ср.
510 сд.	535 сд.	525 о.сл.	505 сл.	510 сд.
460 с.	470 с.	470 ср.	460 с.	465 с.

Примечание. о.с. – очень сильные; с. – сильные; ср. – средние; сл. – слабые; о.сл. – очень слабые; сд. – следы.

В спектрах проб почв из Айваджа очень слабые полосы при (3800 ± 20) см⁻¹, а из Шаартуза полосы при (2920 ± 20) и (2835 ± 15) см⁻¹ не проявляются.

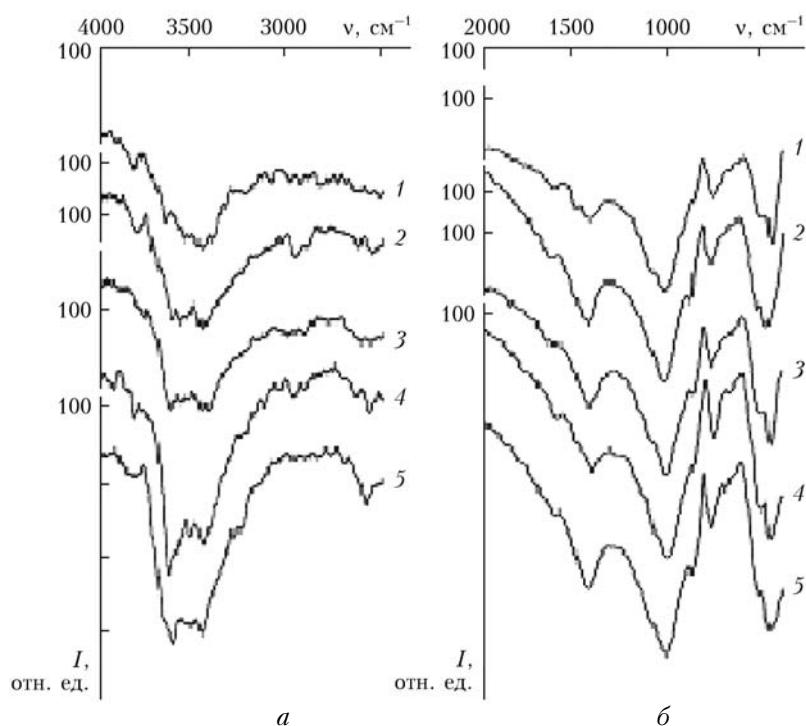


Рис. 1. ИК-спектры проб почв, взятых из пустынных зон: 1 – Шаартуз; 2 – Термез; 3 – Айвадж; 4 – Кабодиён (Красные холмы); 5 – Кабодиён (Белые холмы)

Необходимо отметить, что при одинаковых навесках ИК-полосы поглощения почв из Термеза имеют очень сильные интенсивности, а полоса с ν_{\max} 1030 см^{-1} даже зашкаливает. Поэтому запись ИК-спектров почв из Термеза (рис. 1, а, кривая 2) была проведена при навеске 6 мг (положения наблюдаемых полос приведены в табл. 1).

Полоса с ν_{\max} 3600 см^{-1} относится к свободным колебаниям ОН-группы, а полоса с ν_{\max} 3400 см^{-1} к ОН-группам, участвующим в меж- и внутримолекулярных водородных связях [11–13]. В области частот 3000–2800 см^{-1} наблюдаются следы очень слабых полос с ν_{\max} 2970 и 2860 см^{-1} , которые относятся к симметричным и антисимметричным валентным колебаниям СН_2 -групп, характерным для органических соединений. Наблюдаются также следы очень слабых пиков, положения ν_{\max} которых приведены в табл. 1.

Для исследованных образцов почв из пустынных зон в области частот 1800–400 см^{-1} (рис. 1, б, кривые 1–5) характерны практически одни и те же полосы, которые отличаются лишь по общей интенсивности полос, а также по соотношению интенсивностей полос (1410 \pm 10) и (1020 \pm 10) см^{-1} (положения ν_{\max} наблюдаемых полос приведены в табл. 1).

С целью более достоверного определения спектральных характеристик ИК-спектров почв вероятных зон образования ПБ (ПМ) были решено исследовать ИК-спектры почв районов, далеко расположенных друг от друга (рис. 2).

В спектрах проб почв, взятых из отдаленных зон, в области частот 4000–2600 см^{-1} проявляются те же

полосы, что и в спектрах проб из пустынной зоны, однако отмечаются в 2 и более раза по интенсивности широкие дуплетные полосы в спектрах проб из окрестности г. Душанбе и Истаравшана (рис. 2, кривые 4 и 5). В данной области частот более существенное отличие наблюдается также в спектрах проб почв из района Турсунзаде и высокогорного района Рушан (Памир). В пробах из Рушана и Турсунзаде в области 4000–2600 см^{-1} максимум спектра имеет триплетный характер. Не наблюдаются очень слабые полосы с ν_{\max} 2500 и (2865 \pm 15) см^{-1} в спектрах проб из Душанбе, Рушана и Ак-Архара. В табл. 2 приведены положения частоты максимума ИК-полос поглощения исследованных проб почв.

Таблица 2

Положение ν_{\max} (см^{-1}) ИК-полос поглощения почв*

Район взятия проб почвы				
Душанбе	Турсунзаде	Истаравшан	Рушан	Ак-Архар
3600	3600 ср.	3600 с.	3618 ср.	3600 ср.
–	3540 сд.	–	3510 ср.	–
3400	3450 ср.	3400 с.	3465 ср.	3430 сл.
–	2920 о.сл.	2920 о.сл.	2905 сд.	2910 о.сл.
–	2850 о.сл.	2580 сд.	–	–
–	2500 о.сл.	2500 о.сл.	–	–
1610	1630 о.сл.	1630 сд.	1620 ср.	1605 о.сл.
1445	1450 с.	1435 о.с.	–	1405 сд.
1030	1030 о.с.	1020 о.с.	1020 о.с.	1020 с.
Нет	885 о.сл.	–	–	–
783	780 ср.	780 с.	780 с.	780 сл.
530	525 с.	505 сд.	525 сд.	515 ср.
470	485 с.	480 с.	480 о.с.	470 ср.

* См. примечание к табл. 1.

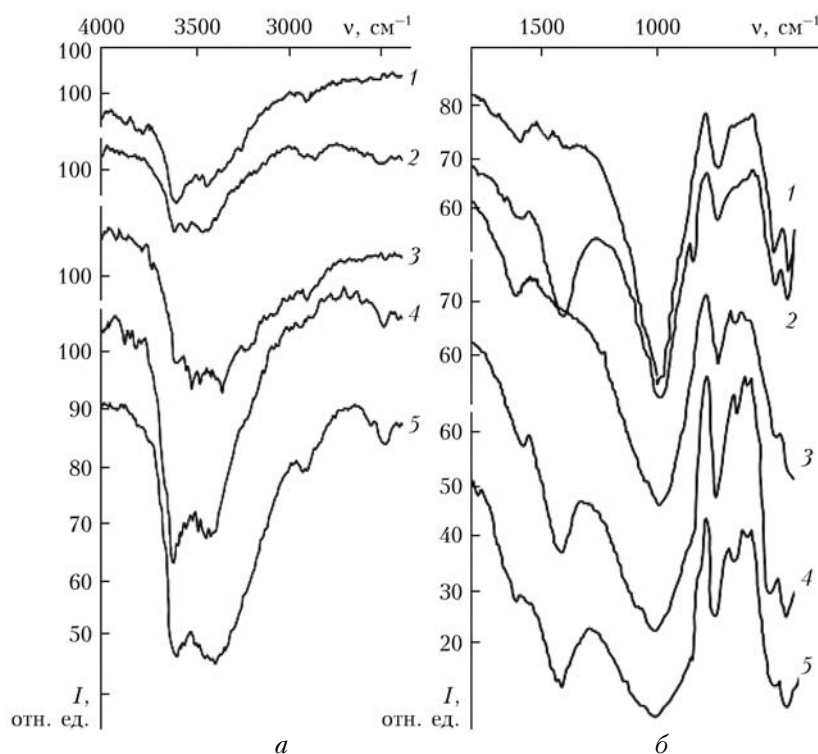


Рис. 2. ИК-спектры проб почв из отдаленных зон: 1 – Ак-Архар; 2 – Турсунзаде; 3 – Рушан; 4 – Душанбе; 5 – Истаравшан

В области частот 1800–700 см^{-1} существенные отличия в ИК-спектрах почв выявлены для проб почв из отдаленных районов. В спектрах проб из Рушана и Ак-Архара полоса с ν_{max} при $(1410 \pm 10) \text{ см}^{-1}$ не проявляется, а для проб из Истаравшана соотношение интенсивностей полос (1410 ± 10) и $(1020 \pm 10) \text{ см}^{-1}$ уменьшается.

Наблюдаемые более четко выраженные ИК-полосы поглощения при $(1610 \pm 10) \text{ см}^{-1}$ относятся к деформационным колебаниям ОН-групп, а полоса при 1420 см^{-1} к деформационным колебаниям группы CH_2 и CH_3 . Интенсивную полосу с ν_{max} при $(1005 \pm 10) \text{ см}^{-1}$ приписывают к колебаниям $-\text{C}-\text{C}-$ и $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$ групп органических соединений, входящих в состав почв, а полосу с ν_{max} при 780 см^{-1} – к деформационным колебаниям ОН-групп.

Согласно [12, 16, 17] наблюдаемые в спектрах ИК-полосы поглощения свидетельствуют о присутствии в составе исследованных почв следующих основных компонентов:

1) силикатов (широкая полоса в области $1100-900 \text{ см}^{-1}$ с максимумом поглощения около 1030 см^{-1} относится к валентным колебаниям $\text{Si}-\text{O}$, а полосы в области $550-500 \text{ см}^{-1}$ – к деформационным колебаниям $\text{Si}-\text{O}$);

2) кварца, характерного для группы SiO_2 , входящего в состав более сложного вещества;

3) карбонатов (характеристические полосы поглощения группы CO_3 в области частот $1450-1430$ и 875 см^{-1}).

Гидроксильная группа ОН и кристаллизационная вода, входящие в состав частиц, дают полосы поглощения в области $3700-3300 \text{ см}^{-1}$ (валентные колебания группы ОН) и в области частот $1700-1600 \text{ см}^{-1}$

(деформационные колебания $\text{H}-\text{O}-\text{H}$), которые также проявляются в указанном спектре.

Слабые полосы поглощения в области $2950-2800 \text{ см}^{-1}$, присущие углеводородной группе CH_2 , свидетельствуют о наличии в составе почв органических веществ [12].

Состав ПБ (ПМ) непосредственно связан с физико-химическими компонентами почв зон происхождения, а состав атмосферного аэрозоля в различных географических зонах обусловлен главным образом различием в их источниках образования. Следовательно, сравнительный анализ состава почв вероятных зон происхождения и осадков ПБ (ПМ) позволит определить вероятные места происхождения ПБ (ПМ). Исходя из этого, были исследованы спектральные характеристики проб осадков ПБ (ПМ), собранных в различные периоды их образования.

Для ИК-спектров осадков ПБ (ПМ) характерны практически те же полосы, что и для ИК-спектров почв, только они отличаются по форме, интенсивности и количеству полос. На рис. 3, а (кривые 1–5) приведены ИК-спектры осадков ПБ (ПМ), собранных в разные периоды, в области частот $4000-2600 \text{ см}^{-1}$: № 22 (1 – 19.03.2010, п. Айвадж); № 28 (2 – 29.08.2009, п. Айвадж); № 15 (3 – 25.09.2009, п. Айвадж); № 24 (4 – 23.11.2007, г. Душанбе); № 13 (5 – 15.08.2008, г. Душанбе).

Видно, что ИК-полосы поглощения отличаются друг от друга по форме и интенсивности. ИК-спектры (рис. 3, осадки № 15, кривая 3) имеют широкую полосу средней интенсивности с ν_{max} при 3400 см^{-1} со следами слабого пика в высокочастотном крыле и очень слабую полосу в низкочастотном крыле (табл. 3).

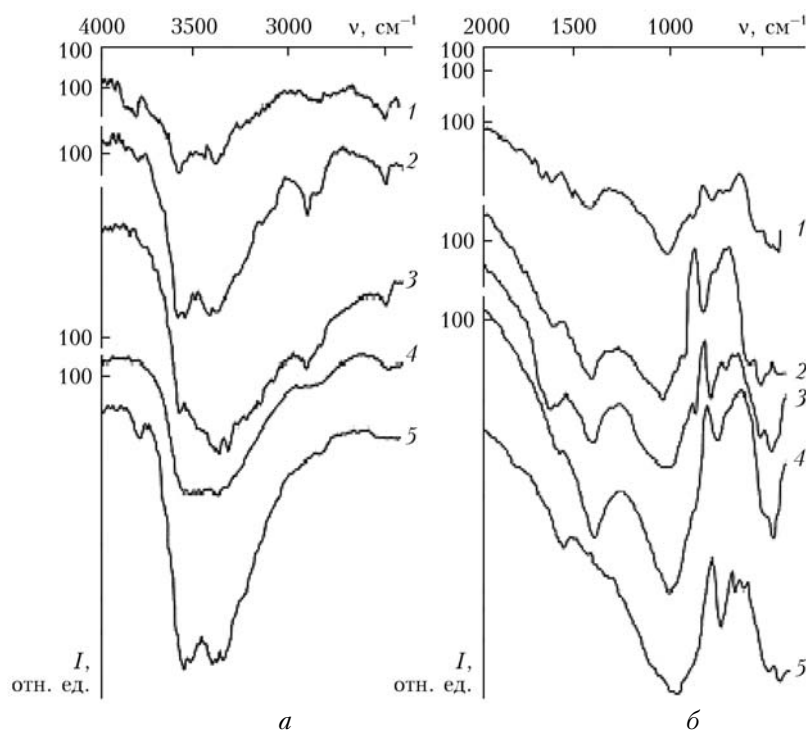


Рис. 3. ИК-спектры проб осадков пылевой мглы: № 22 (1); 28 (2); 15 (3); 24 (4); 13 (5)

Таблица 3

Положения ν_{\max} (см^{-1}) ИК-полос поглощения осадков ПБ (ПМ)*

Осадок ПБ (ПМ)				
№ 22 (1)	№ 28 (2)	№ 15 (3)	№ 24 (4)	№ 13 (5)
3820 о.сл.	–	–	–	3710 о.сл.
3600 сл.	3560 ср.	3600 сд.	3560 ср.	3597 с.
3470 сд.	–	–	–	3532 с.
3400 сл.	3400 ср.	3400 с.	3400 ср.	3478 сд.
–	2906 сл.	2915 о.сл.	2920 сд.	–
–	2850 сд.	–	–	2850 сд.
2502 о.сл.	2500 о.сл.	2500 о.сл.	2500 сд.	–
1630 о.сл.	1610 сд.	1650 с.	1610 сд.	1625 ср.
1410 сл.	1420 о.с.	1420 о.с.	1420 с.	–
1005 с.	1035 о.с.	1030 о.с.	1030 о.с.	1025 о.с.
870 сд.	807 с.	870 сд.	850 ср.	–
770 о.сл.	–	790 ср.	–	–
680 о.сл.	–	700 сд.	–	730 с.
–	570 сд.	640 сд.	–	640 о.сл.
508 сд.	500 с.	510 о.с.	500 сд.	510 о.сл.
440 с.	–	465 с.	462 с.	465 с.
–	420 сд.	430 сд.	–	–

* См. примечание к табл. 1.

ИК-полоса поглощения пробы № 24 (кривая 4) имеет размытый характер. ИК-спектры проб № 22 (кривая 1), № 28 (кривая 2) и № 13 (кривая 5) в данной области максимума расщеплены на дублет, в высокочастотном крыле наблюдаются очень слабые полосы (табл. 3). Слабые полосы с ν_{\max} при 2910 и 2850 см^{-1} более четко проявляются в спектрах проб № 28.

В области частот 1800–400 см^{-1} в исследованных спектрах проб осадков ПБ (ПМ) (рис. 3, б, кривые 1–5) наблюдается ряд ИК-полос поглощения различной формы и интенсивности (положения ν_{\max} приведены в табл. 3). В спектрах проб осадков ПБ (ПМ) (№ 13) полоса с ν_{\max} при частоте 1420 см^{-1} не наблюдается, а полоса 1030 см^{-1} уширена и весьма интенсивна. В пробе № 24 очень слабые пики в области частот 700–600 см^{-1} не проявляются. В пробе № 22 интенсивности полос, проявляющиеся в области частот 1550–400 см^{-1} , почти в 2 раза ниже, чем в других пробах, интенсивность полосы при 810 см^{-1} уменьшается почти в 3 раза, в низкочастотном крыле проявляется очень слабая полоса с ν_{\max} при 670 см^{-1} . Обнаруженное различие в спектрах проб осадков ПБ (ПМ) свидетельствует о том, что осадки имеют разные места образования.

Наблюдаемая в пробах аэрозоля полоса в области частот 1100–900 см^{-1} с ν_{\max} при 1030 см^{-1} относится к валентным колебаниям Si–O, а полоса в области частот 550–500 см^{-1} – к деформационным колебаниям Si–O. Полосы, проявляющиеся в области частот 1500–1400 и 950–840 см^{-1} , относятся к характеристическим полосам группы CO_3 . Наблюдаемые ИК-полосы поглощения в области частот 1100–400 см^{-1} свидетельствуют о том, что в исследованных фракциях аэрозоля содержатся карбонаты и силикаты почвенного происхождения.

Сравнительный анализ полученных ИК-спектров образцов осадков пыльной бури, собранных в г. Душанбе и в Айвадже, показал, что они почти совпадают и лишь незначительно отличаются по интенсивности, а слабые по интенсивности полосы с ν_{\max} в области частот 1695 и 870 см^{-1} в спектрах пробы из Душанбе отсутствуют. Совпадение ИК-спектров по форме и положению ν_{\max} свидетельствует о том, что они имеют одинаковую физико-химическую природу, только отличаются по соотношению концентрации отдельных групп элементов, входящих в состав почв.

Во фракциях аэрозоля содержатся карбонаты и силикаты почвенного происхождения. Присутствие же в пробах широкой полосы в области 1100–900 см^{-1} с ν_{\max} около 1030 см^{-1} можно отнести к валентным колебаниям Si–O, а полосу в области частот 550–500 см^{-1} – к деформационным. ИК-полосы поглощения, проявляющиеся в области частот 1500–1400 и 950–840 см^{-1} , – к характеристическим полосам группы CO_3 [12].

Сравнительный анализ ИК-спектров почв из Шаартуза, Термеза и Айваджа и осадков ПБ (ПМ) № 24 показывает, что они по форме ИК-полос поглощения в области частот 1800–400 см^{-1} идентичны и отличаются только по интенсивности.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования спектров почв вероятных зон и осадков ПБ (ПМ) показали, что сравнительный анализ полученных результатов методом ИК-спектроскопии в диапазоне частот 4000–400 см^{-1} позволяет оперативно определять источник образования ПБ (ПМ), при этом необходимо создавать банк спектральных данных. Преимущество предлагаемого способа в отличие от известных способов состоит в том, что он более точный, быстрый и экономичный.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (проект Т-1688).

1. Мак-Кинон Д. Спутниковые данные о пыльных бурях в Таджикистане // Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля / Под ред. Г.С. Голицына. СПб.: НПО «Тайфун», 1992. С. 25–26.
2. Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Сакерин С.М., Терпугова С.А., Толмачев Г.Н. Самолетное зондирование параметров атмосферы в пылевом эксперименте // Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля / Под ред. Г.С. Голицына. СПб.: НПО «Тайфун», 1992. С. 26–38.
3. Пацаева С.В., Фадеев В.В., Филлипова Е.М., Чубарова В.В., Южков В.И. Изменение полосы флуоресценции природного растворенного органического вещества в воде под воздействием лазерного ультрафиолетового излучения // Вестн. МГУ. Сер. 3. Физ. и астроном. 1991. Т. 32, № 4. С. 76–80.
4. Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. Оценка возможности дистанционной диагностики РОВ пылевого аэрозоля методом лазерной флуориметрии // Мат-лы научной сессии «Развитие физических наук в Таджикистане», посвященной 90-летию С.У. Умарова. Душанбе, 1998. С. 107–111.

5. Назаров Б.И., Голицын Г.С., Шукуров А.Х., Абдуллаев С.Ф. Температурный эффект пылевого аэрозоля в период прохождения «афганца» в Таджикистане // Докл. АН РТ. 1999. Т. XLII, № 10. С. 59–63.
6. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Исследования температурных эффектов пылевых бурь // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2010. Т. 46, № 4. С. 512–518.
7. Абдуллаев С.Ф., Шукуров Т., Марупов Р. Исследование пылевого аэрозоля методом ИК-спектроскопии // XVII Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 28 июня – 1 июля 2011 г. Томск, 2011. С. 57–60.
8. Любовева Ю.С., Габелко Л.Б., Яскович Л.Г. Аэрозольное поглощение в области спектра 0,25–25 мкм // Оптика атмосферы и аэрозоль. М.: Наука, 1986. 280 с.
9. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Изд-во МГУ, 1977. 302 с.
10. White J.L. Interpretation of infrared spectra of soil minerals // Soil. Sci. 1971. V. 112, N 1. P. 45–49.
11. Шукуров А.Х., Шукурова Л.М., Назаров Б.И. Сопоставление ИК-спектров пропускания проб пылевого аэрозоля различных географических зон // Всесоюз. конф. по трансформации и дальнему переносу загрязнений. Вильнюс, 1986. С. 123–125.
12. Шукурова Л.М., Назаров Б.И. О молекулярном составе атмосферного аэрозоля аридной зоны // Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля / Под ред. Г.С. Голицына. СПб.: НПО «Тайфун», 1992. С. 103–109.
13. Смирнов В.В. Морфологические, структурные и химические особенности аэрозолей пыльных бурь в Таджикистане // Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля / Под ред. Г.С. Голицына. СПб.: НПО «Тайфун», 1992. С. 110–118.
14. Шукурова Л.М., Полиссар А.В. О молекулярном составе арктического аэрозоля по данным измерений на о-ве Врангеля // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1992. Т. 28, № 7. С. 774–778.
15. Shukurova L.M., Gruzdev A.N., Elokho A.S., Ol'shanskii D.I. Experimental study of the relationship between the nitric acid constituents of atmospheric aerosol and the nitric oxide pollution of the lower troposphere // Izvestiya RAN. Atmospheric and Oceanic Physics. 2001. V. 37, supp. 1. P. S71–S80.
16. Шукурова Л.М. Некоторые результаты исследования временной изменчивости молекулярного состава проб приземного аэрозоля методом ИК-спектроскопии // 6-я Междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли». 8–10 октября 2008 г., Санкт-Петербург: Сб. докладов / Под ред. Л.С. Ивлева. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010.
17. Шукурова Л.М., Груздев А.Н. Временная изменчивость химического состава приземного аэрозоля в Подмоскowie в 1999–2005 гг. по результатам ИК-спектроскопии аэрозольных проб // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2010. Т. 46, № 3. С. 332–346.

S.F. Abdullaev, T. Shukurov, R. Marupov, B.I. Nazarov. Research of samples of soil and dust aerosol by method of IR spectroscopy.

The studies have shown that the proposed method of determining the likely areas of dust storms by IR spectroscopy in the frequency range 4000–400 cm⁻¹ can quickly determine the source of the dusty haze formation (dust storms) in a comparative analysis of infrared spectrum of the data bank. When they coincide with the spectrum of a zone, the origin of dust storms (dust haze is determined). The advantage of the proposed method is technically simpler, accurate, faster, and more economical as compared to others.