

УДК 551.515.3 (262.83)

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЕТРОВОГО ПЕРЕНОСА ПЕСКА
В АРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ**

О.С. Галаева
Канд. физ.-мат. наук О.Е. Семенов
А.П. Шапов

Для 11 метеорологических станций Аральского региона определены скалярные и векторные величины, переносимых ветром во время дефляционных процессов масс песка, исследована частота и длительность пыльных бурь и позежков за 27-летний временной интервал наблюдений. В этом ряду отмечено наличие фаз спада и подъема интенсивности дефляционных процессов. Уменьшение интенсивности эоловых процессов наблюдалось в 80-е годы.

Основным результатом взаимодействия ветра с дефлируемой подстилающей песчаной поверхностью является вынос песка в виде аэрозоля за контуры массива и наступление барханов на сопредельные территории. Отрицательное влияние этих явлений на экологическую обстановку общеизвестно. В КазНИИ-МОСК при изучении песчано-солевых бурь Приаралья определению концентрации, расхода, направления ветрового переноса аэрозоля и его дальности, перемещению подвижных форм рельефа уделялось и уделяется самое пристальное внимание.

Для расчетов массы песка, переносимой ветром в приземном слое атмосферы во время явлений дефляции, в 80-х годах (в КазНИГМИ) О.Е. Семеновым была создана модель, в которой в качестве исходной информации использовались стандартные наблюдения метеорологических станций за пыльными бурями, скоростью ветра и данные о среднем геометрическом размере частиц песка в исследуемом районе [4]. Модель позволяла получать скалярные и век-

торные оценки объемов переноса песка. По ней рассчитывались средние многолетние годовые массы песка, переносимые в приземном слое атмосферы через фронт шириной 1 км. Тогда же А.П.Шаповым, для этой модели была разработана программа расчета векторов переноса. Выполненные по этой модели исследования позволили впервые детально оценить интенсивность дефляции и вынос песчаного аэрозоля за пределы осушенной части дна Аральского моря, а так же построить карты роз векторов объемов переноса песка в этом регионе [2,4]. Расчеты характеристик переноса выполнялись по данным десяти станций за период с 1966 по 1979 гг. В 1988-1990 гг. аналогичная работа была проведена для песков Прибалхашья и результаты этих исследований опубликованы в монографии [1].

С появлением компьютеров РС/АТ стало возможно полностью автоматизировать расчеты скалярных и векторных характеристик переноса. С.К.Волковой была разработана программа "PESOK", которая позволяет осуществлять расчеты характеристик переноса, а так же архивацию, корректировку и пополнение базы данных.

Скалярные оценки переноса песка ветром

Нами были рассчитаны новые 27-летние ряды наблюдений за период с 1966 по 1992 г. для 11 метеорологических станций Аральского региона. Все рассматриваемые станции можно условно разделить на три категории - морские, прибрежные и континентальные. К морским относятся станции О.Лазарева и Барса-Кельмес, к прибрежным - Аральское Море и Уялы и к континентальным - Саксаульская, Монсыр, Джусалы, Кзыл-Орда, Казалинск, Чирик-Рабат, Карак. Станцию Уялы в начальный период наблюдений следует также рассматривать как морскую. Для этих станций получены скалярные оценки масс переносимого ветром песка за год во время пыльных бурь (ПБ) и пыльных поземков (ПП). В табл.1 приведены основные статистики этих рядов: средние многолетние годовые расходы песка ($M, т \cdot км^{-1} \cdot год^{-1}$), их стандартные отклонения (σ), коэффициент вариации (C_v).

Таблица 1

Основные статистические параметры рядов переноса песка по станциям Аральского региона: М ($\text{т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) - средняя многолетняя масса песка, б ($\text{т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) - среднее квадратическое отклонение, C_v - коэффициент вариации.

Станция	Пыльная буря (ПБ)			Пыльный поземок (ПП)			ПБ+ПП		
	М	б	C_v	М	б	C_v	М	б	C_v
Аральское									
Море	3189,2	1502,9	0,47	655,4	904,4	1,38	3844,6	1979,0	0,51
Уялы	1840,5	2796,5	1,52	1977,5	2870,4	1,46	3818,0	4541,0	1,19
Монсыр	287,9	460,3	1,60	624,4	410,5	0,66	875,5	740,4	0,85
Казалинск	87,4	171,8	1,97	241,7	388,6	1,61	329,3	499,8	1,52
Кзыл-Орда	474,7	405,1	0,85	701,0	500,0	0,71	1175,7	652,0	0,56
Саксауль- ская	304,5	390,5	1,28	228,4	157,7	0,69	532,8	512,9	0,96
Чирик-Ра- бат	492,5	605,0	1,23	1,7	5,5	3,20	494,2	605,0	1,22
Карак	669,4	1027,1	1,53	1,59	8,1	5,10	671,0	1026,8	1,53
Джусалы	1634,3	4402,0	2,7	29,8	135,1	4,5	1664,1	4399,8	2,6
О.Лаза- рева	1615,7	5443,2	3,37	194,4	707,95	3,6	1810,2	5464,0	3,01
Барса- Кельмес	1522,0	4501,0	2,96	37,7	130,2	3,45	1559,7	4504,2	2,89

На станции Аральское Море средняя многолетняя масса песка, переносимого обоими явлениями, равна $3844 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Это значение близко к величине средней многолетней массы ст. Уялы. Однако величина среднего квадратического отклонения на ст. Уялы в 2,3 раза больше, чем на ст. Аральское Море, поэтому коэффициент вариации на ст. Аральское Море равен 0,56, а на ст. Уялы - 1,19. Основной вклад в перемещение песка на ст. Аральское Море вносят пыльные бури. Ими переносится 83 % от средней многолетней массы и только 17 % - пыльными поземками. На ст. Уялы пыльными бурями переносится $1840 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, что составляет 48 % от средней многолетней массы ($3817,5 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) и $1977,5 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ - пыльными поземками (52 %).

На ст. Монсыр, средняя многолетняя масса песка, составляет $875 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. При этом поземками перемещается в два раза больше песка, чем пыльными бурями: $624 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ для поземков и $288 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ для бурь. Коэффициент вариации многолетнего ряда по бурям составляет 1,6, а по поземкам - 0,7. На другой континентальной станции Казалинск среднее многолетнее значение массы составляет $329 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Пыльными поземками здесь переносится почти в три раза больше песка, чем бурями. Коэффициент вариации одинаково высок для обоих рядов явлений и достигает значений - 1,97 для бурь и 1,61 - для поземков.

На ст. Кызыл-Орда средняя многолетняя масса песка обоих явлений равна $1176 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. При этом пыльными поземками здесь переносится $701 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, а бурями $474,7 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Коэффициент вариации равен 0,56. Такой же величины коэффициент вариации на станции Аральское Море, на всех остальных станциях он значительно выше.

На станции Саксаульская средняя многолетняя масса песка равна $533 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Здесь массы песка, переносимые пыльными бурями и пыльными поземками, близки по величине и равны 304 и 228 $\text{т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ соответственно. Коэффициент же вариации для ряда пыльных бурь в два раза выше, чем для пыльных поземков.

На станции Чирик-Рабат практически вся масса

песка переносится во время пыльных бурь и равна $492 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, пыльными поземками перемещается всего лишь $1,7 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Коэффициент вариации этого ряда очень высок - 3,2. На станции Карак и Джусалы, так же как и на станции Чирик-Рабат, перенос песка осуществляется в основном пыльными бурями. Среднее многолетнее значение массы песка пыльных бурь на ст. Карак составляет $669 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, пыльных поземков - $1,6 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. В районе станции Джусалы пыльными бурями переносится $1634 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, пыльными поземками - $30 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. На станции Карак для ряда масс пыльных поземков получен самый высокий коэффициент вариации из всех станций 5,1.

Анализируя ряды наблюдения островных станций Лазарева и Барса-Кельмес несложно заметить, что дефляционные процессы на первой из них начались лишь с 1975 года. Средние многолетние значения массы песка на О. Лазарева обоих явлений составляют $1810 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Здесь основная масса песка переносится пыльными бурями и составляет $1616 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, пыльными поземками - $195 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Коэффициенты вариации этих рядов близки по своим значениям и равны 3,37 для пыльных бурь, 3,6 - для пыльных поземков. На ст. Барса-Кельмес среднее многолетнее значение масс песка составляет $1560 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Здесь тоже основной вклад в перенос вносят пыльные бури - $1522 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, на пыльные поземки приходится лишь $38 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Из одиннадцати станций Аральского региона только на четырех: Уялы, Монсыр, Казалинск и Кзыл-Орда средняя многолетняя масса песка, переносимого пыльными поземками, больше, чем пыльными бурями. На остальных же станциях основная масса песка переносится пыльными бурями.

Рассмотрим далее изменчивость интенсивности дефляционных процессов во времени. На рисунках 1 - 4 приведен многолетний ход масс песка, переносимого обоими явлениями, а так же сглаженная кривая, период сглаживания которой составил 5 лет. На рис. 1а показан многолетний ход для ст. Аральское Море.

М, т · км⁻¹ · год⁻¹

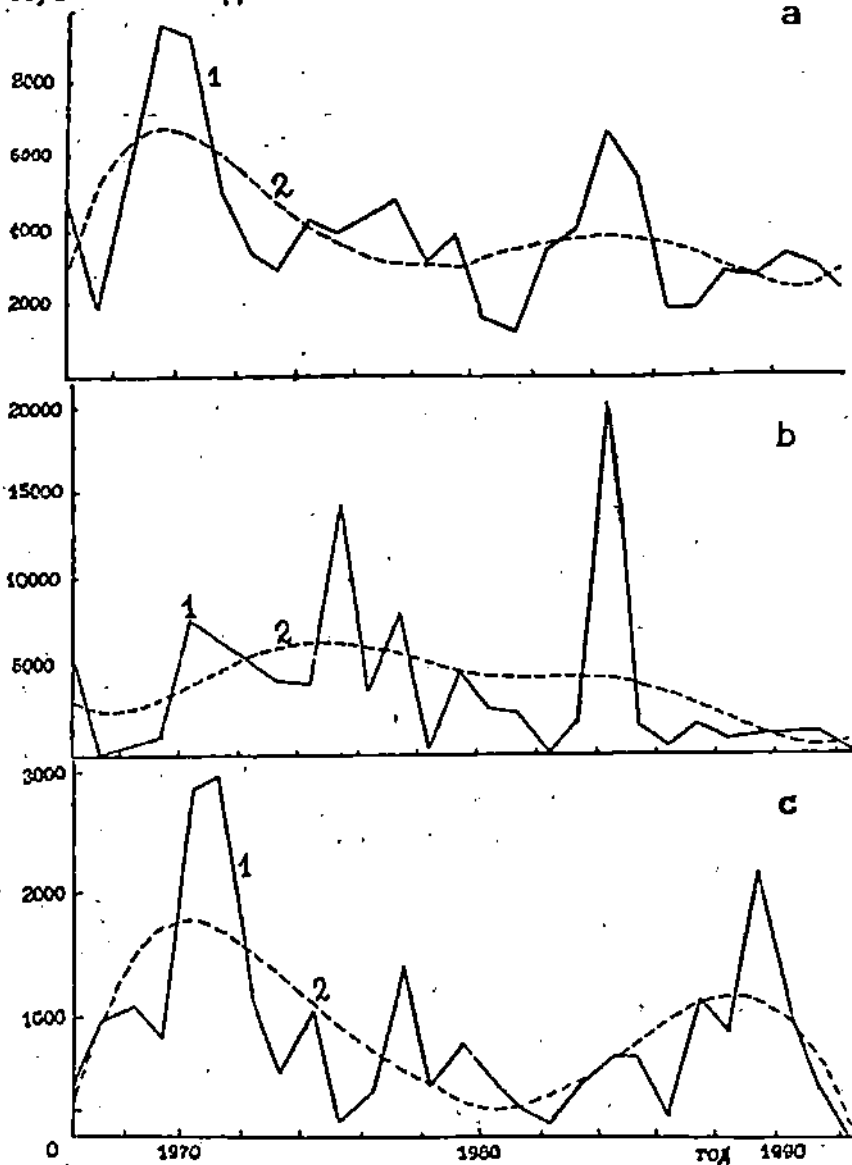


Рис. 1. Многолетний ход массы песка, переносимого пыльными бурями и позенками (1) и скользящая средняя (2) на ст. Аральское море (а), ст. Уялы (б), ст. Монсыр (с)

Здесь мы видим два пика, один из которых наблюдался в 1970-1971 годах и составил 9302 и второй 1983-1985 годах - 6500 т·км⁻¹·год⁻¹. Если рассматривать в целом 27-летний ряд, то видно, что с 1986 г. наблюдается тенденция на уменьшение массы переносимого песка.

На рис.1b представлены данные ст.Уялы, где максимальный перенос песка был в 1984 году и составил 20269 т·км⁻¹·год⁻¹, что в два раза выше максимального значения на ст.Аральское Море. Здесь также произошло устойчивое уменьшение переноса песка с 1986 г. Влияние островного периода существования ст.Уялы на дефляцию песков можно проследить до 1974 года, после которого ход процессов в её окрестностях стал подобен ряду ст.Аральское Море.

На рис.1с приведен многолетний ход переносимых масс песка для ст.Монсыр. На рисунке видны два максимума, один наблюдался в 1971 году и равен 2942 т·км⁻¹·год⁻¹, второй - в 1989 году и составил 2204 т·км⁻¹·год⁻¹. В последнее пятилетие также наблюдается уменьшение переноса песка.

На рис.2а показан многолетний ход масс песка для ст.Казалинск. Здесь, начиная с 1966 года наблюдается стойкая тенденция к уменьшению переноса, а с 1980 года сглаженная кривая стремится к нулю.

На ст.Кзыл-Орда (рис.2b) кривая многолетнего хода масс имеет пилообразную форму, но по сглаженной кривой можно судить об устойчивом уменьшении ветрового переноса начиная с 1966 года.

Максимальное проявление дефляции на ст.Саксаульская наблюдалось в 1972 году (рис.2с), второй максимум в два с половиной раза меньше первого был в 1985 г. Сглаженная кривая показывает на уменьшение переноса песка.

Уменьшение величин переносимых масс также наблюдается и на ст.Чирик-Рабат (рис.3а), Карак (рис.3b) и Джусалы (рис.3с). Максимальная масса песка на ст.Чирик-Рабат была перемещена в 1968 году и составила 2529 т·км⁻¹·год⁻¹. Аналогичный ход прослеживается и на ст.Карак, где максимум достиг в 1968 г. - 3210 т·км⁻¹·год⁻¹.

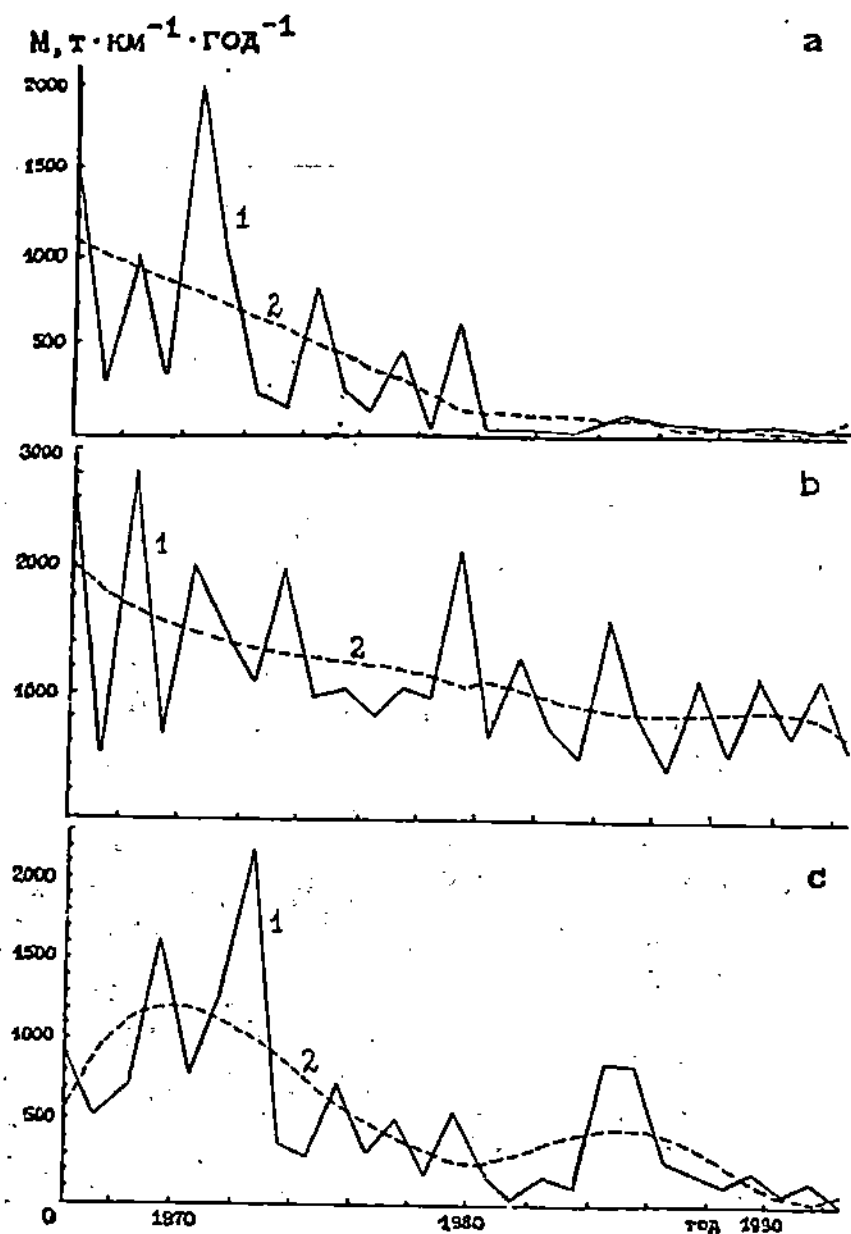


Рис. 2. Многолетний ход массы песка, переносимого пыльными бурями и поземками (1) и скользящая средняя (2) на ст.Казалинск (а), ст.Кзыл-Орда (б), ст.Саксаульская (с)

$M, \text{г} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$

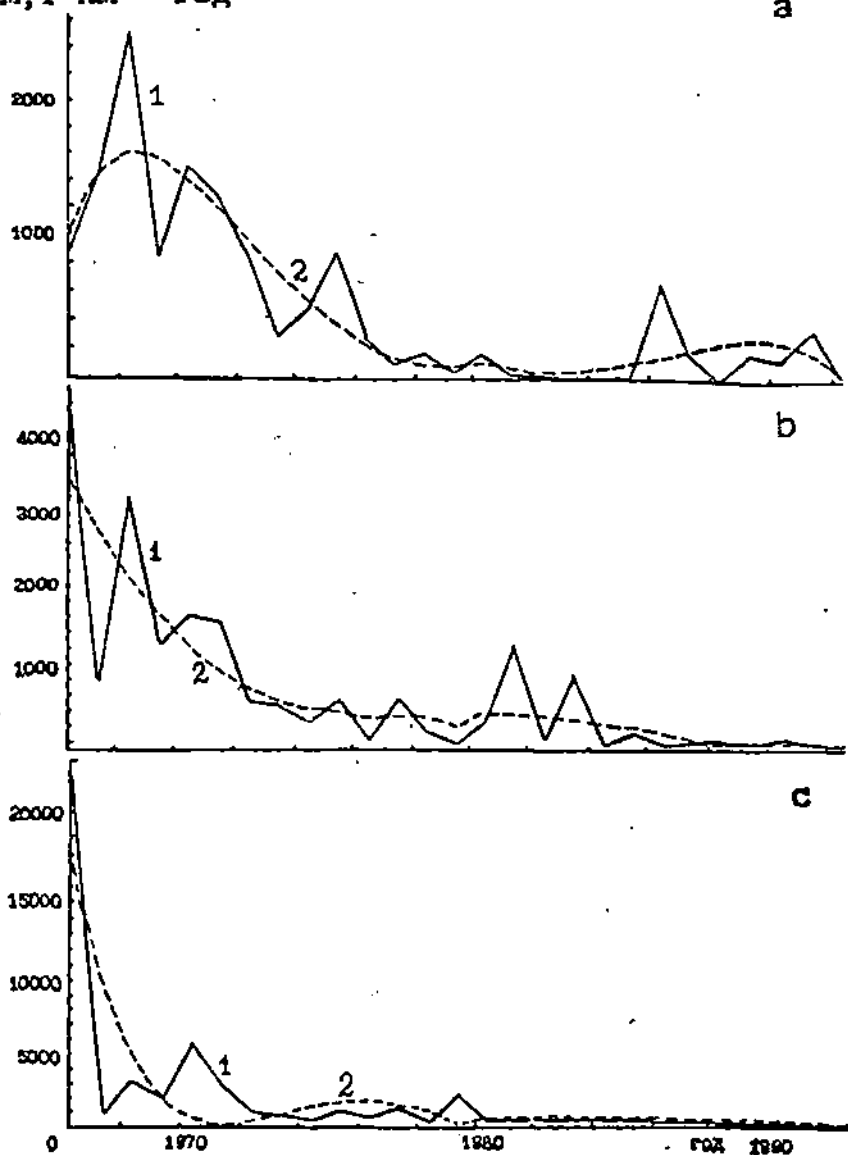


Рис. 3. Многолетний ход массы песка, переносимого пыльными бурями и поземками (1) и скользящая средняя (2) на ст. Чирик-Рабат (а), ст. Карак (b), ст. Джусалы (с)

Ст. О.Лазарева (рис.4а) - единственная из 11 станций, на которой явно выражена тенденция увеличения переносимых масс песка. На этой же станции зафиксирована и самая большая годовая величина массы - $29105 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Эта станция характеризует новый мощный очаг пыления на острове Возрождения.

На ст. Барса-Кельмес (рис.4б) можно выделить два максимума, первый в конце 60-х начале 70-х годов, наибольшее значение зафиксировано в 1970 году - $20647 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, второй максимум в 1966 году и его величина была равна $13253 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

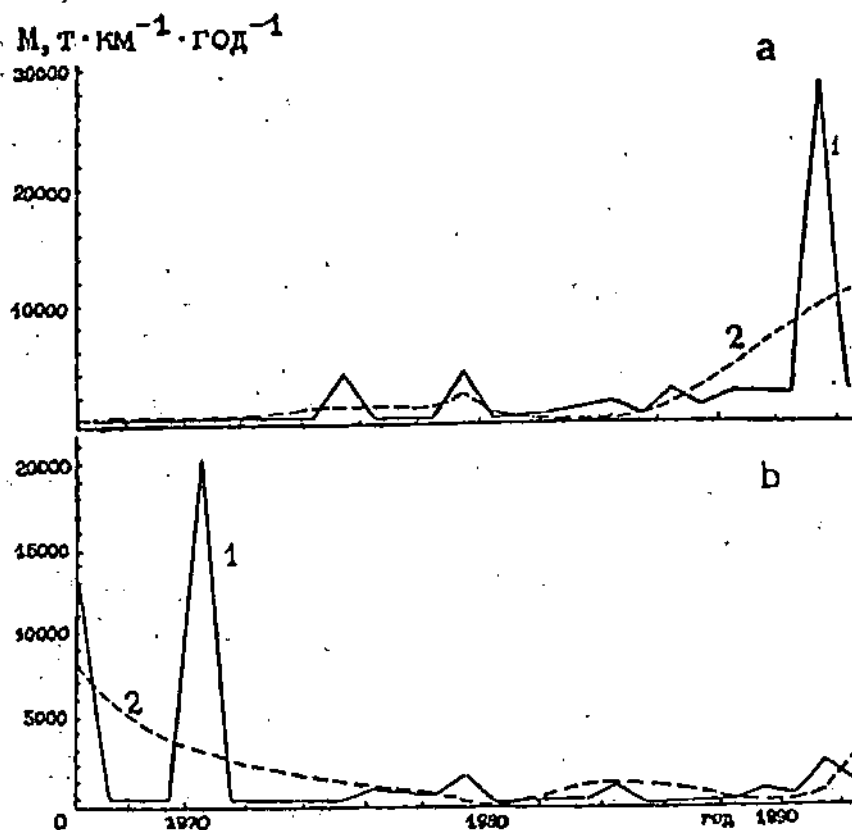


Рис.4. Многолетний ход массы песка, переносимого пыльными бурями и поземками (1) и скользящая средняя (2) на ст. о.Лазарева (а), ст. о.Барса-Кельмес (б)

Ряд станций таких как Аральское Море, Монсыр, Саксаульская, Чирик-Рабат имеют по два хорошо выраженных максимума и минимума. Особенно хорошо совпадает первый максимум, который был в 1970 году, второй максимум сдвинут по времени, на ст.Аральское Море и Саксаульская он был в 1985 году, на ст. Монсыр и Чирик-Рабат в 1989-1990 годах.

Продолжительность золowych процессов

Интересно сравнить многолетний ход процесса переноса масс песка ветром и числа суток с дефляционными явлениями. Оказалось, что экстремальное значение в ходе масс не всегда совпадает с максимумом числа суток. В табл.2 приведён многолетний ряд числа суток с пыльными бурями и поземками для всех станций рассматриваемого региона. Максимальное число суток на ст.Аральское Море наблюдалось в 1985 году и составило 137 суток. Каждый третий день в этом году наблюдался перенос песка. Это значение самое высокое из всех одиннадцати станций Аральского региона. Минимум в 1973 году составил 49 суток, среднее многолетнее значение для станции Аральское Море равно 84 суткам. Это также самый высокий показатель из рассматриваемых станций.

На ст.Уялы максимальное число суток с бурями и поземками было в 1975 году и достигло 85 суток, минимальное значение - 1 сутки в 1982 году. Среднее многолетнее значение равно 23 суткам. После активных дефляционных процессов, которые наблюдались с 1970 по 1977 год число суток с пыльными бурями и пыльными поземками на этой станции пошло на спад, который наблюдается до настоящего времени.

Среднее многолетнее значение числа суток с пыльными бурями и поземками на ст.Монсыр составляет 36 суток, максимум, равный 63 суткам, наблюдался в 1977 году. Период повышенной активности дефляционных процессов длился в течение десяти лет, начиная с 1970 года и пошел на спад с 1980 года. В 1989 году наблюдался второй максимум,

Таблица 2

Число суток с пыльными бурями и поземками для станций Аральского региона, 1966-1992 гг.

Год	Станция										
	Араль- ское Море	Уялы	Мон- сыр	Каза- линск	Кзыл- Орда	Сакса- ульс- кая	Чирик- Рабат	Карак	Джу- салы	О.Лаза- рева	Барса- Кель- мес
1966	109	5	12	55	62	82	15	30	30	0	5
1967	80	1	30	46	64	75	19	32	19	0	1
1968	86	3	21	36	70	66	26	36	31	0	0
1969	76	4	40	25	42	85	13	24	19	0	0
1970	77	35	51	30	61	80	19	16	37	0	7
1971	58	51	54	23	40	58	20	15	35	0	0
1972	99	83	50	10	41	78	29	15	13	0	0
1973	49	48	52	10	38	31	6	8	15	0	0
1974	59	27	52	22	60	52	12	6	8	0	0
1975	72	85	53	17	95	72	21	9	13	5	0
1976	79	39	27	14	47	58	9	4	16	0	3
1977	79	35	63	14	64	87	7	13	25	1	1
1978	105	5	49	3	69	35	2	2	13	1	3
1979	89	21	50	11	59	45	1	1	22	12	2
1980	59	17	39	5	55	48	2	4	18	3	0

Продолжение табл. 2

Год	Станция										
	Араль- ское Море	Уялы	Мон- сыр	Каза- линск	Кзыл- Орда	Сакса- ульс- кая	Чирик- Рабат	Карак	Джу- салы	О. Лаза- рева	Барса- Кель- мес
1981	51	6	22	1	58	14	2	4	9	0	0
1982	59	1	18	0	51	42	1	2	4	3	0
1983	101	13	31	0	48	37	0	6	3	5	1
1984	115	48	39	4	72	74	0	0	6	9	1
1985	137	6	21	2	71	91	0	2	10	1	0
1986	85	12	17	1	69	43	8	1	18	10	0
1987	77	9	21	0	60	25	5	0	13	3	1
1988	93	10	43	0	111	26	0	2	15	17	0
1989	85	10	56	2	122	16	3	1	13	13	6
1990	96	18	49	0	93	7	9	4	16	14	4
1991	115	14	16	0	99	13	4	0	11	17	2
1992	69	6	0	0	110	0	0	1	7	9	5
М	83,7	22,6	36,1	12,3	67,8	49,6	8,6	8,8	16,2	4,6	1,5
Max	137	85	63	55	122	91	29	36	37	17	7
Min	49	1	0	0	38	0	0	0	3	0	0

лишь не значительно меньше первого - 56 суток. На ст.Монсир хорошо выражен волнообразный ход с двумя максимумами и минимумом. Такой же ход был характерен и для многолетних масс переносимого песка.

На ст.Казалинск картина кардинально отличается от предыдущих станций. Здесь мы видим неуклонное снижение числа суток с дефляционными процессами. Максимум здесь наблюдался в 1966 году и составил 55 суток, среднее многолетнее значение равно 12 суткам. За последние 10 лет на этой станции среднее значение уменьшилось до 0,9 числа суток с пыльными бурями и поземками. Здесь с большой вероятностью можно констатировать, что развитие орошения на Казалинском массиве привело к благоприятным изменениям природной среды.

На ст.Кзыл-Орда среднее многолетнее число суток с дефляционными процессами равно 48. Эта вторая по величине в регионе средняя многолетняя после ст.Аральское Море. По максимуму ст.Кзыл-Орда также стоит на втором месте после ст.Аральское Море. Здесь максимальное значение достигало 122 суток в 1989 году. Минимальное значение числа суток с дефляционными процессами равно 38 и отмечалось в 1973 году.

Среднее многолетнее значение числа суток с дефляционными процессами по ст.Саксаульская составляет 50 суток. Абсолютный максимум за 27-летний рассматриваемый период наблюдался в 1985 году - 91 суткам. Близкие к этому значению экстремумы наблюдались в 1969 и 1977 годах. Здесь наблюдается уменьшения числа суток с пыльными бурями и поземками за рассматриваемый 27-летний период.

Чирик-Рабат относится к станциям, где среднее многолетнее значение числа суток с пыльными бурями и поземками невелико - всего 8 суток. Максимальное число суток с дефляционными процессами наблюдалось в 1972 и равно 29.

Многолетний ход числа суток с пыльными бурями и пыльными поземками на ст.Карак хорошо сопоставим с аналогичным ходом на ст.Казалинск. Среднее многолетнее число суток с дефляционными процессами на ст.Карак равно 9. Максимальное значе-

ние отмечено в 1968 году и составило 36 суток.

Среднее многолетнее число суток с переносом песка составляет на ст. Джусалы 18, максимальное значение наблюдалось в 1970 году - 37 суток, минимальное - 3 суток отмечено в 1983 году.

Ст. О. Лазарева, единственная из одиннадцати рассматриваемых станций, где, начиная с середины 70-х годов, наблюдается неуклонный рост числа суток с дефляционными процессами. Среднее значение за 27-летний ряд наблюдений равно 4,6. Если брать последние десять лет наблюдений (с 1982-1992 годов) то среднее значение за этот интервал времени достигло 10. Максимальное значение равно 17 суткам и отмечено в 1991 году. Это новый мощный очаг пыления образовался в результате падения уровня моря и осушения больших площадей дна.

Ст. Барса-Кельмес имеет наименьшую среднюю многолетнюю повторяемость явления - она равна 1,5 суткам. За последнее рассматриваемое десятилетие среднее значение увеличилось незначительно - до 2 суток. Максимум наблюдался в 1971 году и составил 7 суток. Второй экстремум, близкий к первому - 6 суток, был зарегистрирован в 1989 году.

Векторные характеристики переноса песка

При решении задач по перемещению песков ветром и изучении влияния бурь на окружающие территории ветропесчаные потоки следует рассматривать в качестве векторных величин, так как наряду со скалярной характеристикой (массой) они имеют и кинематический параметр - направление в пространстве. Примерами такого векторного подхода к исследованиям бурь могут служить задачи по определению скорости и направления перемещения золотых форм рельефа (барханов, песчаных гряд), по выносу песка на прилегающие территории, взаимодействию песчаного потока с различными сооружениями.

Основными векторными характеристиками дефляции песков являются годовая роза векторов, представляющая собой суммы масс песка, переносимых за год в направлениях каждого из 16 румбов, и годо-

вой результирующий вектор, показывающий конечное направление передвижения эоловых форм рельефа в результате многочисленных случайных перемещений в пространстве и во времени. Средняя многолетняя роза векторов исключительно важна при оценке выноса песка за границы контуров изучаемого песчаного массива и для разработки проектов противодефляционных мероприятий. Средний многолетний результирующий вектор может служить для прогноза направления перемещения массива подвижных песков или отдельных форм песчаного рельефа.

На рис. 5 и 6 приведены средние многолетние розы векторов годовых объемов переноса и средние многолетние годовые результирующие векторы переноса для Приаральского региона.

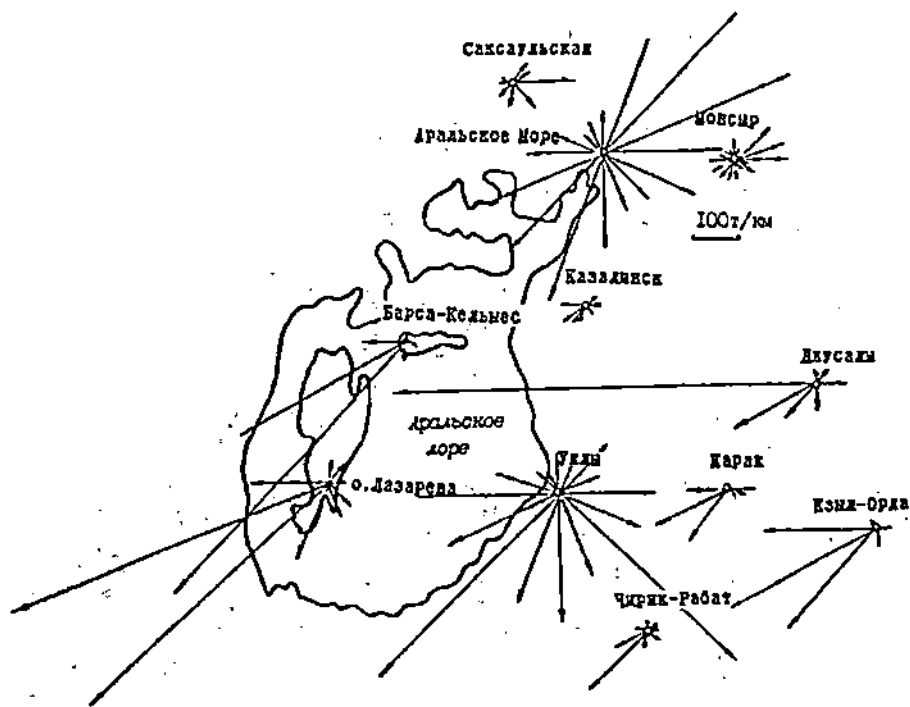


Рис. 5. Средние многолетние розы векторов переноса песка в Приаралье

Представленные величины являются суммарными для пыльных бурь и поземков.

На рисунках хорошо видны, в первую очередь по результирующим векторам, различия в выносе твердой фазы в северных и южных регионах Восточного Приаралья. На севере преобладает перенос в направлении восточных румбов. На юге превалирует перенос в направлениях от западного до юго-западного. Условная граница этих зон может быть определена по 46° с.ш.. Кроме того, обращает на себя внимание более интенсивный перенос в юго-западном направлении на островных и прибрежных станциях.

На ст. Аральское Море максимальный перенос наблюдается в направлениях северо-восточной и юго-западной четвертей - $462 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ на северо-восток и $465 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ на юго-запад. В других направлениях перенос значительно меньше. Минимальный модуль имеет северо-западный вектор и равен $65 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

На соседних с нею станциях Саксаульская и Монсыр, но являющихся континентальными, преобладает перенос в восточном направлении. На ст. Саксаульская на восток переносится $145 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, а на ст. Монсыр - $125 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. В других направлениях перенос значительно меньше.

На ст. Казалинск, Джусалы, Кзыл-Орда, Карак и Чирик-Рабат, а так же на прибрежной ст. Уялы преобладает перенос в направлениях юго-западной четверти. Ст. Карак и Чирик-Рабат являются континентальными и расположены в регионе, где антропогенное влияние на процессы генерации пыли минимально, незначительно так же здесь и влияние выносов из районов осушки дна Аральского моря. Поэтому с высокой степенью достоверности данные о переносе по этим станциям можно считать фоновыми. При рассмотрении тенденции климатического хода процессов на ст. Карак векторы румбов с максимальным переносом имеют следующие значения: ЮЗ - $210 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, ЮЗ - $172 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, З - $125 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Чирик-Рабат - самая южная из рассматриваемых станций. На ней выделяется один хорошо выраженный вектор юго-западного направления - $200 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, по остальным направлениям перенос очень слабый. На станции Кзыл-Орда роза векторов аналогична розе векторов станции Карак, но

модули векторов примерно в два раза больше. Максимальный перенос наблюдается в ЗЮЗ направлении и равен $402 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, на ЮЗ переносится $331 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, на З - $284 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Для станции Джусалы характерно подавляющее преобладание переноса в западном направлении - модуль этого вектора равен $984 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ и существенно превосходит величины всех других румбов. Станция Казалинск находится в районе закрепления подвижных песков растительностью, поэтому здесь получены самые низкие величины переноса. Максимальный перенос здесь наблюдается в З и ЮЗ направлениях и составляют $75 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

На ст. Уялы максимальный модуль имеют юго-западный ($633 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) и юго-восточный ($592 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) векторы. Отличительной особенностью переноса в районе этой станции является большая величина юго-восточного вектора. Значительная доля его обусловлена очень интенсивной пыльной бурей 15-17 июня 1984 года. Тогда в юго-восточном направлении было перенесено около $1900 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, что составляет 12 % от среднего многолетнего модуля вектора.

Две островные станции О.Лазарева и Барса-Кельмес имеют подобные розы векторов. Максимальные величины здесь имеют векторы юго-западного и запад-юго-западного направлений. На ст. О.Лазарева при ЗЮЗ направлении переносится $1094 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, при ЮЗ - $800 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. На ст. Барса-Кельмес при ЗЮЗ румбе - $460 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, при ЮЗ - $840 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. По другим румбам переносимые массы на несколько порядков меньше.

Подводя итог рассмотрению средних многолетних роз векторов переноса песка в Приаралье можно сделать вывод, что большинство станций этого региона имеет максимальные значения модуля в направлениях юго-западной четверти и лишь некоторые станции имеют максимальные значения векторов, направленные на восток и северо-восток.

Средние многолетние результирующие векторы переноса песка (рис.6) включают в себя значения, полученные как для пыльных бурь, так и для пыльных поземков и показывают, в каком направлении

идет перемещение подвижных песков за рассматриваемый период времени. Анализируя рис.6, можно констатировать, что станции, расположенные севернее Аральского моря (Саксаульская, Аральское море, Монсыр), имеют средний многолетний результирующий вектор, близкий к восточному румбу, а именно: ст. Саксаульская - 115° , при модуле $226 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, ст. Аральское море - 116° , модуль равен $569 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ и ст. Монсыр - 76° , модуль - $150 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

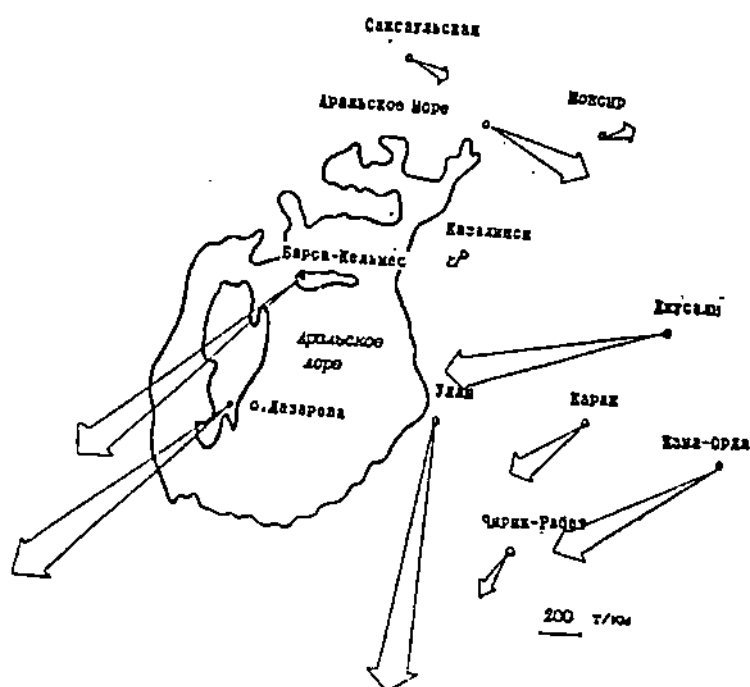


Рис.6. Средние многолетние годовые результирующие векторы переноса песка ветром в Приаралье

Следует отметить, что на станции Аральское Море

направление результирующего вектора не совпадает с направлениями максимального переноса, так как векторы северо-восточной и юго-западной четверти, практически, полностью компенсируют друг друга. Оставшиеся восемь станций рассматриваемого региона имеют направление многолетнего результирующего вектора, близкое к южному, юго-западному и западному румбам. Как видим, эти направления практически противоположны направлению на северных станциях. Возможно это связано с определенными синоптическими процессами, происходящими в этом регионе. Детально остановимся на полученных результатах каждой станции. Самый большой средний результирующий вектор наблюдается на ст. О.Лазарева, его величина равна $2331 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, при направлении переноса 232° . Второй по величине вектор на ст. Уялы ($189^{\circ} - 1413 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) и на ст. Барса-Кельмес ($231^{\circ} - 1403 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$). Данные станций хорошо отражают картину дефляционных процессов, происходящую в районах, где они расположены. Это новые обширные, песчаные массивы, образовавшиеся в ходе падения уровня моря и осушки значительных площадей, подверженные выветриванию.

К станциям, на которых ветром перемещаются несколько меньшие массы песка, относятся Джусалы, где модуль вектора равен $1142 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ при направлении 260° , и Кызыл-Орда, модуль равен $973 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ при направлении 243° .

На ст. Карак модуль равен $424 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ при направлении результирующего вектора 236° , здесь переносимая масса песка сопоставима с ее величиной на ст. Аралское Море.

На ст. Чирик-Рабат величина модуля равна $285 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ при направлении 221° . Эта масса сопоставима с модулем вектора ст. Саксаульской.

Ст. Казалинск имеет наименьший модуль вектора из всех одиннадцати станций, он равен $124 \text{ т} \cdot \text{км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ при направлении 234° . Его величина в десять с лишним раз меньше максимальных значений в этом регионе.

Таким образом, выполненные исследования направления переноса песка позволяют сделать вывод,

что перемещение подвижных песков севернее 46° параллели идет в восточном направлении. Движение песков, расположенных южнее этой параллели, наблюдается на востоке региона в западном направлении, а в районах, примыкающих к Аралу, и на островах - в юго-западном и южном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья / Под ред. И.И.Скоцеляса. - СПб.: Гидрометеоиздат, 1995.- 269 с.
2. Семёнов О.Е. Оценка ветрового выноса песка и солей с осушенной части дна Аральского моря // Тр.КазНИИ Госкомгидромета. - 1988. - Вып.102. - С. 39-54.
3. Изменчивость климата Средней Азии / Под ред. Ф.А.Муминова, С.А.Иногамовой.- Ташкент: Изд-во САНИГМИ, Главгидромет РУз. 1995.- 215 с.
4. Гидрометеорологические проблемы Приаралья / Под ред. Г.Н.Чичасова. - Л.: Гидрометеоиздат, 1990. - 276 с.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

АРАЛ АЙМАҒЫНДА ҚҰМНЫҢ ЖЕЛМЕН АУЫСТЫРЫЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Физ.-мат. ғ. канд. О.С.Галаева
О.Е.Семенов
А.П.Шалов

Арал аймағындағы 11 метеорологиялық станса үшін дефляциялық процесстер кезінде скалярлық және векторлық құм массаларының ауысу мөлшерлері анықталды, 27 жылғы бақылау арқылы шаңды дауыл мен сырманың ұзақтағы, оның жиілігі зерттелді. Бұл қатарда дефляциялық процестің төмен түсу және көтерілу қарқынының кездесетіндігі белгіленді. 80-ші жылдары золов процесі қарқынының азаюы бақыланды.