

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.311.3

С. ВЕЙСОВ

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ УВЛАЖНЕННЫХ С ПОВЕРХНОСТИ
БАРХАННЫХ ЦЕПЕЙ

Исследование влияния природных факторов на динамику эолового рельефа песков в конкретной географической обстановке является одним из важнейших требований песковедения. В этом плане изучение особенностей движения барханных цепей при влажном состоянии поверхности песка представляет особый интерес, тем более что этот вопрос до сих пор остается дискуссионным.

У исследователей песчаных пустынь и приморских дюн сложились различные мнения по поводу влияния влажности на перемещение песков.

Известный исследователь дюнных песков Н. А. Соколов считал, что передвигается только рыхлый сухой песок. По его мнению, «...мокрый песок не подвергается действию даже весьма сильного ветра (1884, стр. 7). Такого же мнения придерживаются С. Г. Заозерский В. Н. Кунин, Э. М. Мурзаев, Е. Г. Михельсон, Ю. Л. Раунер, Б. П. Орлов и др. Исходя из того, что влажный песок неподвижен, некоторые исследователи при обработке метеорологических данных для определения зависимости движения рельефа песков от режима ветров исключали из расчета не только дни с осадками, но и следующие за ними дни, независимо от скорости ветра и интенсивности осадков (С. Г. Заозерский, Б. П. Орлов, Л. Г. Добрин).

Противоположного мнения придерживаются И. П. Смирнов М. П. Петров, Б. А. Федорович, И. М. Островский, С. Байрамов, В. Минквичюс.

По наблюдениям Смирнова (1934), при скорости ветра около 20 м/сек поверхность влажного бархана оказалась изрытой траншеями длиной в несколько метров, ориентированными вдоль действующего ветра.

И. М. Островский (1960), наблюдая за перемещением влажного песка в районе Давали, установил, что с гребня бархана, в зависимости от скорости ветра за сутки было выдано от 8 до 30 см влажного песка. Инструментальные наблюдения показали, что объем перемещенного влажного песка бывает меньше объема перевезаемого сухого песка примерно в 1,5 раза.

С. Байрамов (1958) в Западной Туркмении неоднократно наблюдал раздувание даже отдельных барханов, увлажненных атмосферными осадками. Это явление он объясняет тем, что ввиду затрудненности отрыва зерен от поверхности влажного песка ветровой поток в пределах данной формы не насыщается песком. В результате этого преобладают

Таблица 1

Скорость ветра (*м/сек*), необходимая для передвижения частиц песка при различной влажности (по Гензеле) *

Размер частиц, <i>мм</i>	Воздушно-сухой песок.	Влажность песка (% по объему)			
		1	2	3	4
2,0—1,0	9,0	10,1	12,0	—	—
1,0—0,5	6,0	7,0	9,5	12,0	—
0,5—0,25	4,8	5,8	7,5	12,0	—
0,25—0,175	3,8	4,6	6,0	10,5	12,0

* Таблица заимствована у Т. Ф. Якубова (1946).

явления выноса, что приводит к дефляции и даже к полному разрушению увлажненных песчаных форм рельефа.

В. Минкявичюс (1966), изучая движение песчаной ряби при влажном состоянии поверхности дюн, установил, что рябь после соприкосновения с влажной поверхностью разрушается и слагающие ее песчинки переносятся над этой поверхностью во взвешенном состоянии или скачкообразно.

Перенос почвенных частиц во влажном состоянии наблюдали А. Н. Киселев, А. Е. Дьяченко и Л. Т. Земляницкий, Е. А. Чекветадзе. Экспериментально изучая выдувание карбонатных черноземов в зависимости от влажности почвы, А. Н. Киселев (1958) установил, что почва, имеющая влажность 4,2% при скорости ветра 12 *м/сек*, в течение двух минут была выдута на 45,4%; при влажности 27,2% выдувание было в 3 раза меньшим и составило за то же время 15,6% от веса образца почвы. Карбонатные сероземы Башкирии начинают выдываться при влажности верхнего слоя почвы в 10—12% (Дьяченко и Земляницкий, 1946).

Периодическое увлажнение песков атмосферными осадками оказывает сильное влияние на динамику их рельефа, хотя и проявляется косвенно, поскольку в рельефе оголенных песков отсутствуют условия для возникновения водной эрозии.

Выпавшие осадки, увлажняя верхний слой песка, усиливают поверхностное натяжение между песчинками. Известно, что такие пески трудно поддаются развеванию, и для переноса их частиц необходимы большие скорости ветра. Так, по данным Гензеле (Hensele), для выдувания мелкого кварцевого песка (меньше 0,25 *мм*) при влажности 4% необходима скорость ветра 12 *м/сек* или в 3 раза более высокая, чем для воздушно-сухого песка (табл. 1).

В Репетеке пески межбарханных понижений в зимне-ранневесенний период года имеют в среднем 2—3% влаги (Леонтьев, 1941). При этой влажности зимой в Каракумах, где пески крупностью 0,25 *мм* и меньше составляют 90%, согласно данным Гензеле, для перемещения песчинок необходима скорость ветра в пределах от 6 до 10,5 *м/сек*. Отметим, что в этот период в юго-восточных Каракумах многолетняя среднемесячная скорость активных ветров колеблется от 6,2 (Репетек, Уч-Аджи) до 7,5 *м/сек* (Керки). В летне-осенний сезон, когда песок даже в самом «стабильном» элементе рельефа подвижных песков — в межбарханных понижениях — высыхает до воздушно-сухого состояния на глубину более 50 *см*, влияние влажности на передвижение песка практически равно нулю.

Исследованиями М. П. Петрова и автора установлено, что в процессе переноса влажный песок высыхает до воздушно-сухого состояния. Так, по нашим наблюдениям, песок, имеющий влажность 2,5—3,0%, начал перевеваться при скорости ветра 7 *м/сек* на высоте 1 *м*. При этом

пески, переносимые в воздухе во взвешенном состоянии, имели влажность 0,16%. Однако наблюдения показывают, что при больших скоростях ветра возможен перенос песка даже во влажном состоянии и со снегом. Так, например, 10 февраля 1965 г. в районе Репетека при скорости ветра 14—16 м/сек, во время морозящего дождя, с поверхности влажного песка наблюдалось повсеместное перемещение влажных комочков, состоящих из нескольких песчинок. Такое же явление нами наблюдалось и в марте 1966 г., 10 апреля 1967 г. и 11 января 1968 г. А 27 декабря 1965 г. и 22 января 1967 г. наблюдалось перемещение песка со снегом при скорости ветра 7,0 м/сек. В результате на подветренных склонах барханов и в понижениях рельефа отлагалась смесь песка и снега светло-шоколадного цвета. Перенос песков со снегом был отмечен Б. А. Федоровичем (1956) в условиях пустыни, В. Минкявичюсом (1966) в приморских дюнах.

Таким образом, движение влажного песка вполне возможно и далеко не всегда дни с осадками соответствуют дням без передвижения песков. Тем не менее механизм перемещения форм песчаного рельефа при влажном состоянии их поверхности оставался неизученным.

В связи с периодическим увлажнением песка атмосферными осадками ветровая эрозия песков в зимне-весенний период имеет особый характер. В сухой период поверхность песка бывает сыпучей, но шероховатой из-за наличия ряби; во влажный период песчинкам труднее оторваться, но легче передвигаться по гладкой поверхности, лишенной ряби. Поэтому структура ветропесчаного потока и движение барханных форм во влажный период года резко отличаются от динамики их в сухой период.

А. И. Знаменский (1958), изучая структуру ветропесчаного потока в аэродинамической трубе, а также и в полевых условиях, установил следующие особенности структуры ветропесчаного потока над гладкой (влажной) и шероховатой (сухой) поверхностями:

а) над влажной поверхностью песок перемещается лишь вблизи самой поверхности, тогда как сухой песок поднимается в более высокие слои потока;

б) мощный ветропесчаный поток, который характерен для сухого песка, оказывает значительное сопротивление ветру, снижая его скорость;

в) ветровой поток над влажной поверхностью на своем пути не насыщается песком, и транзит зерна принимает устойчивый характер, тогда как над сухой поверхностью наблюдается сплошное волочение зерен по всей площади.

Известно, что в зимне-весенний период часто наблюдается высыхание поверхностного слоя увлажненного песка мощностью в несколько сантиметров. В результате этого на поверхности наветренного склона с началом активного ветра образуется рябь, перпендикулярная ветру.

В результате прижимания к поверхности ветропесчаного потока по мере поднятия вверх по наветренному склону бархана скорость ветра и, следовательно, дефляция увеличиваются, становясь максимальными у гребня. Поэтому сухой слой, лежащий на поверхности влажного горизонта, в первую очередь выдувается в самой верхней части наветренного склона барханной цепи. В это время в нижней части наветренного склона переносится песок как во взвешенном состоянии в ветропесчаном потоке, так и при движении ряби. Ветропесчаный поток, когда доходит до влажной части наветренного склона, переходит в струйчатую форму.

Характер ветропесчаного потока и субстрата являются факторами, определяющими форму и движение песчаной ряби.

Песчаная рябь при движении по влажной поверхности песка теряет прежнюю вытянутую форму, так как она разбивается на отдельные

участки. Последние приобретают полулунную форму и напоминают миниатюрные одиночные барханы (рис. 1). Эти одиночные «барханчики» перемещаются по влажной поверхности с большей скоростью, чем по сухой. При удалении на 10—15 см от общей массы ряби обычной формы одиночная рябь «барханчиков» раздувается, и слагающий ее песок перемещается дальше уже в виде ветропесчаного потока. По мере выдувания сухого песка с поверхности влажного горизонта в движение вовлекаются все новые порции сухого слоя песка с нижерасположенных частей наветренного склона.



Рис. 1. Изменение конфигурации песчаной ряби на влажной поверхности песка

Ввиду небольшой мощности ветропесчаного потока, проходящего над влажной поверхностью при средних скоростях ветра, 90—95 % песка отлагается на верхней полуметровой части склона осыпания. При сухом состоянии поверхности наветренного склона такой же объем песка распределяется по подветренному склону длиной обычно более 150 см от линии гребня. Подобное распространение песка на склоне осыпания при влажном состоянии наветренного склона нарушается после образования шероховатой поверхности на вершине бархана. В результате непрерывного выноса влажного песка с верхней части наветренного склона на вершине бархана образуются небольшие борозды разветвления, продольные направлению ветра. При продолжительном ветре эти бо-

розды, одновременно углубляясь и расширяясь в стороны, соединяются между собой, и влажный горизонт выдувается до сухого слоя. Образуется новый очаг массового выноса песка в виде корытообразных понижений, расположенных по всей вершине.

При этом нарушается структура ветропесчаного потока. В результате образовавшихся в корытообразном понижении вихрей и шероховатости поверхности песка песчинки поднимаются в более высокие слои потока. Таким образом песок, выносимый с нижних частей наветренного склона, а также с поверхности нового очага, отлагается по всей длине склона осыпания и частично в межбарханном понижении, ближе к основанию склона осыпания.

Корытообразные дефляционные понижения, образовавшиеся на вершине бархана, постепенно расширяются вниз по пологому склону и имеют более крутые склоны ближе к влажной поверхности и плавные—вверх по направлению ветра. В это время бывший влажный склон осыпания, погребенный под новоотложенным песком, начинает выступать своим верхним краем и выполаживает новый склон. В результате этого уменьшается длина склона осыпания и гребень барханной цепи начинает двигаться быстрее. Это подтверждается нашими многочисленными инструментальными наблюдениями. Так, с 31 декабря 1965 г. по 6 января 1966 г. гребень барханной цепи, имеющий длину 250 м, при влажном состоянии наветренного склона продвинулся вперед на 130 см. При этом сумма скоростей активных ветров была равна 63 м/сек, в том чи-

сле наблюдалось три случая со скоростью 8 м/сек и один — со скоростью ветра 9 м/сек. Накануне выпало 9,7 мм осадков в виде дождя.

Второй пример — 22 января 1967 г. на влажную поверхность песка выпал слой снега толщиной в среднем 16 см. Снег в основном растаял в течение двух дней. Перемещение песка со снегом наблюдалось с 23 января при юго-восточном направлении ветра, имеющего скорость 6—

Таблица 2

Продвижение гребня барханной цепи при увлажненной поверхности песка за период с 26 по 31 января 1967 г. в Репетеке

Показатели	№ барханов				
	1	2	3	4	5
Длина склона осыпания, см	2,10	3,00	2,65	2,75	3,60
Перемещение линии гребня барханной цепи, см	130	120	135	130	95

7 м/сек. При этом гребни барханных цепей при средней высоте 2,5—2,7 м в период с 23 по 26 января 1967 г. продвинулись на северо-запад на 130—135 см.

26 января снова выпал снег и после стаивания увлажнил верхний слой сухого перемещенного песка на глубину 10—15 см. Однако перенос песка наблюдался уже на второй день после выпадения снега.

Материалы наблюдений за движением гребня барханной цепи представлены в табл. 2.

Преобладающие направления ветра в период наблюдений были ЮЮВ и ЮВ, при 8 случаях и сумме скоростей в 54 м/сек.

Анализ приведенных данных показывает, что в течение 9 дней (с 23 по 31 января 1967 г.) при достаточно влажном состоянии поверхности песка гребень барханной цепи, имеющий длину склона осыпания в среднем 2,5 м, продвинулся на северо-запад более чем на 250 см.

При сухом состоянии поверхности аналогичного бархана при длине склона осыпания 277 см с 8 по 11 августа 1961 г. его гребень продвинулся всего лишь на 57 см. За это время сумма скоростей активных ветров была равна 79 м/сек, причем ветров со скоростью 5 м/сек было 2 случая, 6 м/сек — 2 случая, 7 м/сек — 7 случаев и 8 м/сек — 1 случай.

Рассмотрим особенности движения барханной цепи при сухом и влажном состояниях поверхности песка при больших скоростях ветра. Наблюдения были проведены в районе Репетека с 4 по 14 января 1968 г.

Сухой период. Поверхность бархана была в воздушно-сухом состоянии. Длина склона осыпания, обращенного на север, была равна 3,5 м.

С 4 января до первого дождя, т. е. до 11 января, преобладали ветры юго-восточного и юго-юго-восточного направлений. За это время было 17 случаев активного ветра с суммой скоростей 115 м/сек. Скорость ветра колебалась в диапазоне от 5 до 14 м/сек. За это время гребень барханной цепи продвинулся на 86 см. При этом вынос и отложение на профиле барханной цепи происходили следующим образом. За этот период основание наветренного склона снизилось всего на 1 см, середина его — на 17 см, а гребень вырос в высоту на 14 см. В межбарханном понижении в полосе шириной в 4 м, прилегающей к подошве склона осыпания, толщина отложенного песка в среднем составляла 12—13 см.

Влажный период. 11 января утром выпало 2,4 мм дождя, промочившего сухой песок на глубину в 3—3,5 см. 12 января к концу суток (в 23 часа) подул сильный юго-восточный ветер, который продолжался до 8 часов утра 14 января. За этот период гребень барханной цепи продвинулся вперед на 141 см.

Следует отметить, что длина склона осыпания той же барханной цепи увеличилась до 4,5 м. При этом наблюдалось 12 случаев активных ветров с суммой скоростей в 95 м/сек. За этот период с основания наветренного склона был вынесен слой песка толщиной в 3 см, со сред-

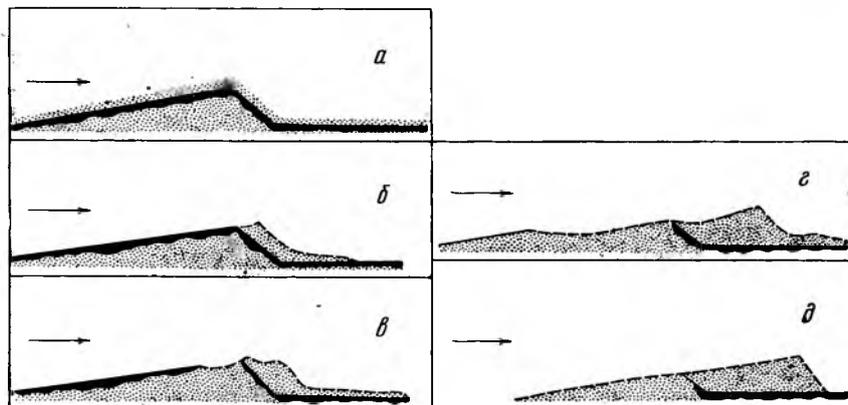


Рис. 2. Схема изменения поперечного профиля барханных цепей при влажном состоянии поверхности песка (влажный песок показан черным)

ней части склона — слой в 12 см, а гребень барханной цепи снизился на 16,5 см. За то же время четырехметровая полоса межбарханного понижения, примыкающая к тыльному склону цепи, поднялась в среднем на 15—17 см.



Рис. 3. Желоба выдувания, образовавшиеся на наветренном склоне барханной цепи при замерзшем состоянии поверхности песка.

Репетек, январь 1964 г.

Таким образом, пески, увлажненные атмосферными осадками, не только подвижны, но и более того, движение гребня барханной цепи идет в два раза быстрее во влажном состоянии, чем при сухом песке (при одинаковой сумме скоростей ветра), что связано с отсутствием ряби. Схема движения барханной цепи при влажной поверхности наветренного склона представлена на рис. 2.

Более того, в пустыне Каракумы иногда наблюдается *перемещение песка при замерзшей поверхности*. Известно, что при промерзании песка значительно усиливается связность песчинок и их перенос возможен только при больших скоростях ветра. Рельеф поверхности лобового склона во время движения замерзшего песка имеет причудливую форму. Образуются небольшие котловины выдувания, глубокие траншеи с крутыми боковыми склонами и корытообразные понижения. Между ними образуются небольшие «останцы» с бронированной замерзшей поверхностью (рис. 3).

Исходя из всего вышеизложенного, следует заключить, что движение песка происходит и во влажный период года, и в замерзшем состоянии, и поэтому при обработке метеорологических данных по ветру дни с осадками не всегда следует исключать из расчета.

Ввиду неравномерного выпадения осадков по сезонам года эффективность влияния их на перемещение песчаных форм становится максимальной в зимне-весенний период. Среднегодовое количество осадков на территории юго-восточных Каракумов увеличивается с северо-запада на юго-восток и изменяется в пределах 112—166 мм. Число дней с осадками различной величины колеблется от 92 до 116, из них дни с осадками, которые могли бы оказать существенное влияние на перемещение песков (более 1 мм), составляют 12—14.

ЛИТЕРАТУРА

- Байрамов С. Особенности динамики рельефа подвижных песков при периодическом их увлажнении. Изв. АН ТССР, 1958, № 5.
- Дьяченко А. Е. и Земляницкий Л. Т. Меры борьбы с черными бурями в Башкирии. М., Сельхозгиз, 1946.
- Знаменский А. И. Экспериментальные исследования процессов ветровой эрозии и вопросы защиты от песчаных заносов. Материалы исследований в помощь проектированию и строительству Каракумского канала, вып. 3. Ашхабад, 1958.
- Киселев А. Н. Ветровая эрозия и меры борьбы с ней. Вестн. с.-х. наук, № 3, 1958, Алма-Ата.
- Леонтьев В. Л. Об изменении влажности песка барханов и саксаульников Каракум. Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., 1941, № 2.
- Минкявичюс В. Эолодинамическая характеристика подвижных дюн Куршо Нерия. Автореф. на соискание ученой степени кандидата геогр. наук. Вильнюс, 1966.
- Островский И. М. Рельеф песков Западной части Низменных Каракумов. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Смирнов И. П. Борьба с песками на Нефтедаге, «Соц. х-во Туркмении», 1934, № 2—3.
- Соколов Н. А. Дюны, их образование, развитие и внутреннее строение. СПб, 1884.
- Федорович Б. А. Происхождение рельефа современных песков пустыни. Вопросы географии. Сб. статей для XVIII-го междунар. геогр. конгресса. М.—Л., 1956.
- Якубов Т. Ф. Ветровая эрозия почвы и борьба с нею. Сельхозгиз, М., 1946.

Институт пустынь АН ТуркмССР

Поступила в редакцию
19.XII.1969

PECULIARITIES OF THE DYNAMICS OF BARCHAN CHAINS WHEN THE SURFACE OF SAND IS WET

S. VEISOV

Summary

Field observations and experimental research in the sands of the South-East Kara Kum have shown that with the sum of velocities of active winds being equal, the rate of movement of the barchan chain's crest is two times as high when its surface is wet as when it is dry. At the same time, the structure of a wind-sand stream and the character of movement of eolian forms in the wet period of a year sharply differs from their dynamics in the dry period.