

Природный песок – несвязанная смесь зёрен крупностью 0,05...5 мм, образовавшаяся в результате разрушения твердых горных пород. В зависимости от условий залегания, пески могут быть различного происхождения: эоловые, речные, морские и горные. Эоловые, речные и морские пески имеют округлую форму зёрен, горные пески содержат остроугольные зёрна.

Грунт является грубодисперсной системой. Основные его параметры – размеры слагающих частиц и характер их распределения по размерам. Для полидисперсных почвенных систем, т.е. таких, у которых частицы имеют различный размер, полную картину дисперсности (гранулометрического состава) можно охарактеризовать кривой распределения массы дисперсной твёрдой фазы по размерам частиц. Для грубодисперсных почвенных систем и песков для определения кривой распределения используется метод ситового анализа, в котором выделение фракций происходит между ситами с последовательно уменьшающимися размерами отверстий. Практически массу частиц определяют для конечных интервалов размеров. Поэтому вместо непрерывных кривых распределения $F(x)$ получают гистограммы распределений или проводят построение интегральных (накопленных) кривых распределений [4, 8].

Изучение пыльных, песчаных и солевых бурь невозможно без углубленных знаний о закономерностях распределений частиц твёрдой фазы по размерам. Проведенные исследования песчаных массивов в районе Аральского моря и южном Прибалхашье показали, что в подавляющем числе случаев распределение частиц по размерам у подвижных и полужакрепленных песков хорошо аппроксимируется логарифмически нормальной функцией с плотностью

$$f(x) = \frac{0,43429}{\sigma_{\lg x} x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lg x - \lg x_0)^2}{2\sigma_{\lg x}^2} \right], \quad (1)$$

где x – размер песчинок, мкм; x_0 – средний геометрический размер песчинок, мкм; $\sigma_{\lg x}$ – среднее квадратическое отклонение логарифмов размеров частиц (стандартное геометрическое отклонение). Это распределение полностью описывается двумя параметрами x_0 и $\sigma_{\lg x}$, легко определяемыми по результатам ситового анализа размеров частиц [2, 3, 7, 8].

Средний геометрический размер частиц песка в пустынях Казахстана изменяется на большинстве массивов от 90 до 270 мкм, стандартное гео-

метрическое отклонение – от 0,1 до 0,3. Изредка встречаются пески очень крупного размера с x_0 , достигающими 300 и более мкм, по-видимому, аллювиального происхождения. Следует отметить одну закономерность – у подвижных песков наблюдается увеличение среднего геометрического размера частиц x_0 и уменьшение дисперсии распределения $D = \sigma_{\lg x}^2$ по сравнению с закреплёнными и полужакреплёнными близлежащими песками за счет более интенсивного ветрового выноса мелких частиц.

Стандартное геометрическое отклонение $\sigma_{\lg x}$ у подвижных песков укладывается обычно в интервале значений от 0,08 до 0,15; но у крупных песков ($x_0 > 220$ мкм) оно может возрастать до 0,2. У закреплённых песков $\sigma_{\lg x} > 0,15$ и может достигать 0,3...0,45. У них часто отмечается асимметрия логарифмически нормального распределения частиц по размерам за счет повышенного содержания крупных частиц.

У некоторых подвижных песков среднее квадратическое отклонение логарифмов размеров частиц составляет величины менее 0,1 и в этих случаях логарифмически нормальное распределение уже мало отличается от нормального. Наконец, сравнительно редко встречаются пески с повышенным содержанием кварца, что говорит об очень длительных в геологическом временном масштабе процессах их дефляции, распределение частиц по размерам, которых аппроксимируется нормальным (Гаусса) распределением с плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right], \quad (2)$$

где \bar{x} – средний размер частиц (математическое ожидание), мкм; σ_x – среднее квадратическое отклонение размеров частиц песка (стандартное отклонение), мкм. Распределение этого типа полностью определяется значениями этих двух параметров: \bar{x} и σ_x [8].

По методу сит определяется масса частиц Δm_i , выделенных в каждом интервале размеров Δx_i . Вычисляется относительное содержание частиц данного размера в пробе – $\Delta m_i / m_0 \cdot 100\%$, где Δm_i – масса частиц в интервале размеров от x_i до $x_i + \Delta x$, а m_0 – масса исследуемого образца. Затем

рассчитывается накопленная (интегральная) эмпирическая функция распределения частиц в пробе $F(x)$ от наименьшего к наибольшему размеру.

Применимость логарифмически нормального распределения к эмпирической выборке просто и наглядно устанавливается на клетчатке вероятностей для кривых со значительной асимметрией, по осям координат которой отложены значения $\lg x$ и $\Phi^{-1}[F(x)]$ [1, 8].

Здесь $F(x)$ – функция распределения выборки, а Φ^{-1} – функция, обратная нормированной функции Лапласа нормального распределения. На клетчатке против каждого значения $\Phi^{-1}[F(x)]$ наносятся соответствующие значения $F(x)$. Если на такой график нанести экспериментальные точки, взяв в качестве $F(x)$ накопленную относительную долю частиц, размер которых меньше x , то в случае применимости логарифмически нормального закона все точки должны располагаться около прямой линии.

Величины x_0 и $\sigma_{\lg x}$ легко определяются графоаналитическим методом Алексеева [1, 8]. Для этого по сглаженному графику распределения находят значения $x_{5\%}$, $x_{50\%}$ и $x_{95\%}$, соответствующие накопленным долям частиц в пробе в 5 %, 50 % и 95 %. Величина x_0 на графике равна ординате точки прямой, соответствующей 50 % уровню вероятности, т.е. $x_{50\%}$ дает величину x_0 . Среднее квадратическое отклонение распределения $\sigma_{\lg x}$ вычисляется по формуле

$$\text{или } \sigma_{\lg x} = 0,304 \cdot \lg \frac{x_{95\%}}{x_{5\%}}, \quad (3)$$

$$\sigma_{\lg x} = 0,5 \cdot \lg \frac{x_{84\%}}{x_{16\%}}, \quad (4)$$

где $x_{95\%}$, $x_{84\%}$, $x_{16\%}$ и $x_{5\%}$ – размер частиц (мкм), накопленная доля которых в пробе равна 95 %, 84 %, 16 % и 5 %.

Формулу (4) целесообразно использовать лишь в тех случаях, когда не требуется большой степени соответствия эмпирической выборки с асимметрией логарифмически нормальному распределению в области крупных частиц. То есть в тех случаях, когда в концевой части распределения экспериментальные точки могут отклоняться от теоретической линии, но для практических целей это отклонение не будет слишком существенным и им можно пренебречь.

Нормальное распределение спрямляется на клетчатке вероятностей для кривых с умеренной асимметричностью. Она отличается от описанной выше клетчатки для логарифмически нормального распределения масштабом одной из осей координат, ось ординат берется не в логарифмическом масштабе, а равномерной [1, 8]. Величина $x_{50\%}$ определяет в этом случае \bar{x} , а среднее квадратическое отклонение размеров частиц можно вычислить по формуле

$$\sigma_x = 0,304(x_{95\%} - x_{5\%}). \quad (5)$$

Наибольшее распространение в Казахстане имеют пустынные пески с x_0 равным 110...130; 150...180 и 200...220 мкм и более [2, 3, 7, 8]. При описании размеров песков в статье не будет использован ГОСТ 25100 и классификации, используемые в других странах [6]. Если использовать этот ГОСТ или зарубежные классификации размеров частиц грунтов, то все пески пустынь Казахстана должны быть отнесены к мелким, тогда как взаимодействие с ветром у выделенных выше средних геометрических размеров песков значительно отличается. Поэтому для эоловых процессов удобнее разделять по следующей классификации.

Классификация размеров частиц песка для песчаных пустынь Казахстана по Семенову [6]:

x_0 , мкм	размер песка
< 110	очень мелкие
110...130	мелкие
150...180	средние
200...220	крупные
> 220	очень крупные

Для исследования размеров частиц песка пробы отбирались методом конверта из тщательно перемешанной массы поверхностного слоя толщиной 2...5 см, который после высушивания просеивался через набор сит с отверстиями 50, 73, 100, 140, 200, 250, 315, 400, 500, 720 мкм, 1 и 1,25 мм.

Ранее проводились исследования распределений частиц песка по размерам в различных регионах Казахстана [2, 3, 7, 8]. К сожалению, до настоящего времени, в Актюбинской области изучение дисперсности песчаных массивов не делалось. В этой статье этот пробел частично ликвидирован, и выполнено описание дисперсного состава песков в бассейнах рек Эмба, Темир и Сагыз.

Исследование частиц по размерам велось в песках Аккум, в песчаном массиве между поселками Булакшы и Ильинским – бассейн реки Те-

мир, в песках Кумжарган, Кокжиде, Акжарсай и в поселках Жаркамыс, Каражар – бассейн реки Эмба, по территории бассейна реки Сагыз – в песках Аккумсагыз, Баршакум, Аяккум. Отбор проб песка выполнялся с вершины бугров. Параметры распределения размеров частиц песка приведены в табл.

Таблица

Параметры распределения размеров частиц песка в Актюбинской области

Место отбора проб	Район	Координаты места отбора		Параметры распределения			
		долгота	широта	логарифмически нормального		нормального	
				x_0 , МКМ	σ_{lgx}	\bar{x} , МКМ	σ_x , МКМ
пески Аккум	Т	57°11,327'	48°53,080'			250	53
7 км на СВ от пос. Жаркамыс	Б	56°33,490'	47°59,26,2'	317	0,32		
восточная окраина пос. Жаркамыс	Б	56°29,244'	47°56,775'			193	62
пески Аккумсагыз	Б	55°47,340'	48°20,191'			228	56
пески Аяккум	Б	55°33,45,0'	48°04,404'	179	0,15		
пос. Каражар	Б	56°12,336'	47°51,270'			249	101
пески Баршакум пос. Ебейты	Б	55°13,330'	48°05,420'	213	0,20		
пески Акжарсай, запад пос. Кемерши	Б	56°42,288'	48°04,273'			236	97
пески Акжарсай, юго-восток пос. Кемерши	Б	56°47,149'	48°04,467'			175	50
пески Кумжарган	М	57°39,916'	48°34,061'	156	0,18		
пески Кокжиде, СЗ	М	57°13,855'	48°31,377'			290	91
пески Кокжиде, СВ	М	57°58,814'	48°07,050'			187	64
между пос. Булакшы и пос. Ильинским	М	58°24,287'	49°10,726'	194	0,12		

Примечание: Т – Темирский район, Б – Байганинский район, М – Мугалжарский район.

Пески Аккум расположены на левом берегу р. Темир в Темирском районе. Песчаный массив близко подходит к реке. Общая площадь песчано-

го массива составила 0,10 тыс. км². Пески бугристые, полужакрепленные. Вершины бугров хорошо закреплены кустарниковой растительностью.

Пробы отобраны на северной окраине песчаного массива между закрепленными вершинами из язвы выдувания, высота бугра 0,90 м. Функция распределения песка – нормальная, средний арифметический размер частиц песка \bar{x} на вершине бугра составила 250 мкм, $\sigma_x = 53$ мкм и коэффициент вариации $C_v = 0,21$. Песок очень крупный.

Пески Кумжарган расположены на правом берегу р. Эмба в Мугалжарском районе. Пески бугристые полужакрепленные, вершины бугров хорошо закреплены. Общая площадь песчаного массива составила 200 км². Песок отобран рядом с населенным пунктом Берлик, высота бугра в точке отбора проб составила 0,35 м, функция распределения – логарифмически нормальная. Средний геометрический размер частиц песка x_0 на вершине бугра – 156 мкм, $\sigma_{lgx} = 0,18$ и $C_v = 0,43$. Песок по размеру относится к средним.

Поселок Жаркамыс. Песчаный массив расположен на правом берегу р. Эмба в Байганинском районе. Общая площадь песчаного массива составила 70 км². Песок полужакрепленный, высота бугров местами достигает 2 м. Пески наступают на поселок Жаркамыс. Пробы отобраны в двух местах.

Первая проба взята в 7 км СВ поселка, высота в точке отбора проб – 0,45 м, функция распределения – логарифмически нормальная. Средний геометрический размер x_0 частиц песка на вершине бугра – 317 мкм, $\sigma_{lgx} = 0,32$ и $C_v = 0,84$. Песок очень крупный.

Вторая – на песчаном массиве, расположенном на правом берегу р. Сагыз в районе поселка Жаркамыс. Пески наступают на поселок. Проба взята в 1,5 км восточнее поселка, ближе к пойме реки. Песок полужакрепленный, высота бугра достигает 0,4 м. Высота в точке отбора – 0,20 м, функция распределения – нормальная. Средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 193 мкм, $\sigma_x = 62$ мкм и $C_v = 0,32$, песок средний.

Пески Аккумсагыз расположены на правом берегу р. Сагыз в Байганинском районе. Песок полужакрепленный, встречаются участки с подвижными песками. Общая площадь песчаного массива составила 140 км². Высота бугров местами достигает 3 м, высота барханов 8 – 10 м. Высота бугра в месте отбора проб равнялась 0,15 м, функция распределения – нор-

мальная, средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 228 мкм, $\sigma_x = 56$ мкм и $C_v = 0,28$. Песок очень крупный.

Пески Аякум расположены на правом берегу р. Сагыз в Байганинском районе, песок незакрепленный. Общая площадь песчаного массива составила 50 км². Пески наступают на поселок. Проба отобрана возле аула Баршакум. На теле бугра отчетливо видна эоловая рябь. В точке отбора проб высота бугра составила 0,40 м. Функция распределения – логарифмически нормальная, средний геометрический размер x_0 частиц песка на вершине бугра – 179 мкм, $\sigma_{\lg x} = 0,15$ и $C_v = 0,35$. Песок средний.

Поселок Каражар (Байганинский район). Песчаный массив расположен на правом берегу р. Сагыз, общая площадь которого составила 5,36 км². Песок полужакрепленный. Высота бугров достигает 1 м. Проба отобрана возле поселка, высота бугра в точке отбора составила 0,3 м. Функция распределения – нормальная, средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 249 мкм, $\sigma_x = 101$ мкм и $C_v = 0,41$. Песок очень крупный.

Пески Баршакум расположены на правом берегу р. Сагыз в Байганинском районе, песок полужакрепленный. Площадь песчаного массива 5,36 км². Высота бугров достигает 0,8 м, пески наступают на поселок Ебейты. Песок отобран в 900 м северо-западнее поселка. Функция распределения – логарифмически нормальная. Средний геометрический размер частиц песка x_0 на вершине бугра – 213 мкм, $\sigma_{\lg x} = 0,20$ и $C_v = 0,49$. Песок крупный.

Пески Акжарсай. Песчаный массив расположен на правом берегу р. Эмба в Байганинском районе. Общая площадь песчаного массива 30 км². Песок полужакрепленный. Пробы отобраны в двух местах.

1. Проба взята в 5 км западнее поселка Кемерши, вершины бугров хорошо закреплены, высота в точке отбора проб – 0,30 м. Функция распределения – нормальная. Средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 236 мкм, $\sigma_x = 97$ мкм и $C_v = 0,41$. Песок очень крупный.

2. Пески плохо закреплены, вся пойма реки покрыта песками. Пески наступают на поселок, по телу бугров отчетливо видна эоловая рябь. Проба отобрана юго-восточнее поселка Кемерши, на вершине бугра, высота которого равнялась 0,40 м, функция распределения – нормальная. Средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 175 мкм, $\sigma_x = 50$ мкм и $C_v = 0,28$. Песок средний.

Пески Кокжиде расположены на правом берегу р. Темир в Мугалжарском районе, полужакрепленные. Общая площадь песчаного массива составила 350 км². Пески бугристые, встречаются участки с барханами. Песок отобран в двух точках.

1. Песок отобран на северо-западной окраине песчаного массива, на бугре. Вершина бугра составила 1,5 м, функция распределения – нормальная. Средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 290 мкм, $\sigma_x = 91$ мкм и $C_v = 0,31$. Песок очень крупный.

2. Песок отобран на левом берегу р. Темир на северо-восточной окраине песчаного массива, на бугре. Пески хорошо закреплены. Вершина бугра составила 0,4 м, функция распределения – нормальная. Средний арифметический размер \bar{x} частиц песка на вершине бугра – 187 мкм, $\sigma_x = 64$ мкм и $C_v = 0,34$. Песок средний.

Песчаный массив между поселками Булакшы (Родники) и Ильинской; песок полужакрепленный. Площадь песчаного массива составила 0,35 км². В пункте отбора проб высота бугра – 0,20 м. Функция распределения – логарифмически нормальная. Средний геометрический размер частиц песка x_0 на вершине бугра – 194 мкм, $\sigma_{lg x} = 0,12$ и $C_v = 0,28$. Песок средний.

Таким образом, изменение размеров частиц песка и их дисперсии в пространстве рассматриваемого региона имеет определенные закономерности. Подвижные и полужакрепленные пески здесь встречаются с двумя видами функций распределений – логарифмически нормальной и нормальной. Пески рассматриваемого бассейна отличаются значительной пространственной неоднородностью, как по размерам частиц, так и по виду функции распределения. Рельеф песков бугристый, встречаются участки с отдельными барханами, пески в основном закреплены растительностью. Высота эоловых форм рельефа изменяется от 0,15 до 10 м.

В табл. видно, что очень крупные размеры частиц характерны для песчаных массивов Аккум, Аккумсагыз, Акжарсай (запад поселка Кемерши), Кокжиде (северо-запад), северо-восточнее поселка Жаркамыс и песков в поселке Каражар. Крупные размеры – пески Баршакум (поселок Ебейты). Средние размеры – Аяккум, Кумжарган, восточная окраина поселка Жаркамыс, Акжарсай (юго-восток поселка Кемерши), между поселками Булакшы и Ильинским, Кокжиде (северо-восток).

Пески Аккум, Акжарсай (запад, юго-восток пос. Кемерши), Кокжиде, Аккумсагыз, восточной окраины поселка Жаркамыс и в поселке Каражар имеют нормальное распределение, а пески Кумжарган, Аяккум, Баршакум (пос. Ебейты), в пос. Жаркамыс и в песчаном массиве между поселками Булакшы и Ильинским – имеют логарифмически нормальное распределение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.А. Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределений // Тр. ГГИ. – 1960. – Вып.73. – С. 90-140.
2. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья / Под ред. И.И. Скоцеляса. – СПб.: Гидрометеоздат, 1995. – 254 с.
3. Гидрометеорологические проблемы Приаралья // Под ред. Г.Н. Чичасова. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 277 с.
4. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
5. Новикова А.Г. и др. Почвы Казахской ССР. Вып.11. Актюбинская область. – Алма-Ата: Издание АН КазССР, 1968. – 374 с.
6. Семенов О.Е. Об особенностях ветрового переноса песка при бурях // Гидрометеорология и экология. – 1993. – Вып. 3. – С. 23 – 44.
7. Семенов О.Е., Шапов А.П. Геоморфологические условия развития дефляционных процессов и дисперсный состав песков Восточного Приаралья // Гидрометеорология и экология. – 1995. – Вып. 4. – С. 76-98.
8. Семенов О.Е. О распределении почвенных частиц по размерам на юге Казахстана вследствие эоловых процессов // Тр. КазНИГМИ. – 1970. – Вып. 36. – С. 153-165.

КазНИИЭК, г. Алматы

АҚТӨБЕ ОБЛЫСЫНЫҢ ҚҰМДЫ МАССИВТЕРІНДЕГІ ҚҰМДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН БАҒАЛАУ

Н.У. Бултеков

Физ.-мат. ғылымд. канд. О.Е. Семенов

А.П. Шапов

Ақтөбе облысындағы құм бөліктерінің дисперсиялық құрамы қарастырылды. Мұнда көшпелі және жартылай ашық жерлердегі құмдар (өсімдік жамылғысы бар жерлердегі құмдар) көлемдері бойынша екі түрлі таралу функциясы түрінде кездеседі: дұрыс және логарифмдік дұрыс функциялар. Дұрыс таралатын орташа көлемді құм бөліктері территория бойынша 175...290 мкм интервал аралығында өзгереді. Ал орташа геометриялық көлемді, логарифмдік дұрыс таралатын құм бөліктері 156...317 мкм аралығында өзгереді.