

УДК 551.5.539.215.2 (262.83)

Канд. геогр. наук Н.У. Бултеков \*  
Канд. физ.-мат. наук О.Е. Семенов \*  
А.П. Шапов \*

## ДИСПЕРСНЫЙ И СОЛЕВОЙ СОСТАВ ДОННЫХ АЛЕВРИТОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОСУШЕННОЙ ЧАСТИ ДНА БОЛЬШОГО АРАЛА

*ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, АЛЕВРИТОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, ОСУШЕННОЕ ДНО АРАЛЬСКОГО МОРЯ*

*Для определения дисперсного и химического состава алевритовых отложений на дне Арала проведена экспедиция. Выполнены два маршрута, отобраны 9 образцов грунта из поверхностного 5 см слоя и из слоя 0...20 см. Анализ полученных материалов показал, что пески подвижных барханов имеют логарифмически нормальное распределение со средним геометрическим размером частиц 90...128 мкм. Часть алевритовых отложений также имеет логарифмически нормальное распределение, другие необходимо описывать композицией двух функций. Средний геометрический размер этих частиц от 5 до 12 мкм. Засоленность почв составила от 4 до 6,5 %.*

Мощным источником поступления аэрозолей в атмосферу вот уже на протяжении около сорока лет являются осушенные части дна Аральского моря. Процессы дефляции в настоящее время широко распространены на всей территории осушки. Эоловая переработка поверхности охватывает в пределах бывшей береговой области Аральского моря практически все площади, занятые песчаными отложениями. Эти процессы активны на всем протяжении восточного побережья Большого моря – от Казалинской дельты Сырдарьи до дельты Амударьи. На территории дна моря можно условно выделить две зоны. Это зона бывших лагун, ограниченная с востока бывшей береговой линией, с запада – полосой островов и баров, протянувшейся от дельты Сырдарьи до острова Узункаир, и далее включающую в себя Акпеткинский архипелаг. Территория сложена, главным образом, барханными и барханно-рядовыми песками с высотой барханов и гряд 1...2 м, а также супесчаными поверхностями. Начало их образования относится к 1980 году. Пески в различной сте-

---

\* КазНИИЭК, г. Алматы

пени закреплены растительностью. Осушка этих территорий произошла до 1990 г. Дисперсный состав песков, геоморфология и песчаные бури в этом районе достаточно хорошо изучены [4, 7, 8].

Вторая зона, заостровная, расположена на запад от первой зоны и занимает территорию, ограниченную с запада полосой островов и баров, а с востока – современной береговой линией водоемов Большого Арала. Следует отметить, что площадь зоны не постоянна и сильно зависит от площади водоемов, имеющих большую годовую и сезонную изменчивость. Поверхность территории сложена на востоке песчаными отложениями, на западе они постепенно сменяются алевритами и пелитами, сформировавшимися на бывших илистых донных отложениях. Значительные площади здесь занимают солончаки.

В заостровной части исследований характеристик поверхности и дисперсного состава практически не проводилось. Лишь во время выполнения вертолетных маршрутов в 1989 и 1990 гг. было отобрано несколько образцов для проведения дисперсного анализа с поверхности подвижных песков, образовавшихся на плоской поверхности песчано-алевритовых отложений. Для функции распределения частиц по размерам у этих образцов характерна положительная асимметрия, обусловленная значительным количеством пылевой фракции. Наблюдается закономерное уменьшение среднего геометрического размера частиц в южном направлении – от 110 мкм южнее дельты Сырдарьи, до 93 мкм восточнее бывшего о. Узункаир [8]. Из исследований выполненных после 1990 г. отметим работу [9], в которой приведены почвенные и ландшафтные данные исследований. Данные о дисперсном составе отложений не приведены.

В пределы зон источников современных пыльных бурь входят участки алевритовых отложений с размерами частиц 5...100 мкм, массивы мелкозернистых песков со средним геометрическим размером частиц  $\leq 100$  мкм и солончаки. Размеры частиц на пухлых солончаках Восточного Приаралья, по данным Орловой [6], составляют от 2,5 мкм до 25 мкм.

Из геологической литературы известно [1-3], что алевриты представляют собой тонкозернистые пылеватые породы с частицами размером от 100 до 10 мкм (0,1...0,01 мм). Отложения алевритов располагаются на большем удалении от береговой линии бассейна, окаймляя со стороны открытого моря область развития песчаных осадков. Обе эти субформации соответствуют мелководной зоне шельфа. Следует иметь в виду, что наряду с дифференциацией на поверхности дна водоема происходит и смешивание

осадочного материала (интеграция), поступающего из разных источников сноса. Между песчаными и алевритовыми отложениями, алевритовыми и глинистыми илами переход постепенный, что приводит к образованию переходных смешанных субформаций – песчано-алеваитовой, алеврито-пелитовой. Относительно чистые разности с содержанием алевритовой фракции (0,10...0,01 мм) 90 % и более наблюдаются сравнительно редко. В большинстве случаев отмечаются многочисленные вариации количественных соотношений алевритовой фракции с песчаными и пелитовыми фракциями. Поэтому по гранулометрическому составу алевриты, как правило, разнообразны.

С целью определения дисперсного и химического состава алевритовых отложений подготовлены и проведены экспедиционные исследования на дне Арала. Экспедиция сотрудников КазНИИЭК работала с 17 по 31 мая 2012 года. Эти работы проводились на территории Барсакельмесского природного заповедника западнее и южнее песчаной поверхности донных отложений бывшего о. Каскакулан. Было получено разрешение на экспедиционные работы на территории заповедника и создания базового лагеря на бывшем о. Каскакулан. Выполнены два маршрута для отбора грунтов на анализ дисперсного и химического состава, а так же описания местности.

Первый – от поселка Каратерень до бывшего о. Каскакулан, где был создан базовый лагерь, и далее, пересекая зону эоловых песков, в направлении на бывший остров-заповедник Барсакельмес с возвратом на о. Каскакулан. По этому, северному, маршруту удалось пройти песчаные донные отложения и достичь поверхности алевритовых отложений с координатами  $\varphi = 45^{\circ}49'58''$  и  $\lambda = 60^{\circ}52'27''$ . Отобраны образцы алевритовых отложений с описанием геоморфологии мест их взятия, фотоснимками ландшафтов. Удаление от острова около 14 км. Дальнейшее продвижение на запад было остановлено барханной грядой, закрепленной высоким и плотно расположенным кустарником. Выполнен почвенный разрез донных алевритовых поверхностей.

Второй, южный, вариант – от о. Каскакулан на юг, пересекая зону эоловых песков. По южному маршруту была достигнута точка с координатами  $\varphi = 45^{\circ}36'07''$  и  $\lambda = 60^{\circ}55'09''$ . Дальнейшее продвижение на запад через подвижные пески оказалось невозможным.

На обоих маршрутах были определены участки, характерные для вновь образовавшейся суши. Это бывшие илистые поверхности, представленные алевритами и алевропелитами. Координаты и характеристика ме-

ста отбора проб приведены в табл. 1. Были отобраны 9 образцов грунта из поверхностного 5 см слоя методом конверта для исследования дисперсного состава, и из слоя 0...20 см – грунт для определения состава и содержания солей (рис. 1 – 3). Ниже приводятся результаты анализа механического состава донных отложений и содержания растворимых солей в грунте (табл. 2 – 4). Анализы выполнены в Институте почвоведения МОН РК.

Таблица 1

Координаты и характеристика места отбора проб на высохшем дне Аральского моря

Проба	Координаты	Характеристика места отбора пробы
1	$\varphi = 45^{\circ}39'16,38''$ $\lambda = 60^{\circ}57'23,14''$	<b>23.05.2012 г. (Рис. 1)</b> Подвижные пески юго-западнее бывшего о. Каскакулан. Высота барханов 0,5...1 м. На поверхности редкие кусты саксаула высотой 0,5...2 м. Поверхность подвержена интенсивной дефляции. Глубина дефляции (определено относительно останцов водорослей зостера марина) составляет 0,7 м.
2	$\varphi = 45^{\circ}40'16,18''$ $\lambda = 60^{\circ}52'21,27''$	<b>24.05.2012 г.</b> Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Подвижные барханно-грядовые пески с редкими кустами саксаула и участками занятыми сарсазаном, площадь проективного покрытия около 20 % песок с ракушечниками, высота барханов – 2,5...3 м.
3	$\varphi = 45^{\circ}40'16,18''$ $\lambda = 60^{\circ}52'21,27''$	<b>24.05.2012 г.</b> Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Проба взята с супесчаной солончаковой поверхности в межбарханном понижении.
4	$\varphi = 45^{\circ}40'16,18''$ $\lambda = 60^{\circ}52'21,27''$	<b>24.05.2012 г. (Рис. 2)</b> Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Проба взята с высохшей пелито-алевритовой поверхности.
5	$\varphi = 45^{\circ}39'16,23''$ $\lambda = 60^{\circ}53'21,30''$	<b>24.05.2012 г.</b> Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Песок мелкий, высота барханов 1...1,5 м.

Проба	Координаты	Характеристика места отбора пробы
6	$\varphi = 45^{\circ}39'16,23''$ $\lambda = 60^{\circ}53'21,30''$	<p><b>24.05.2012 г.</b>  Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Проба взята из 3-х см слоя, пелитовые отложения, верхний слой супесь, слоистая структура со следами оглеения светло-серого и желтовато-коричневого цвета. Увлажнение наблюдается с глубины 2 см. 0...13 см – каштановый цвет; 13...25 см – светло-каштановый цвет; Ниже цвет серый.</p>
7	$\varphi = 45^{\circ}39'16,43''$ $\lambda = 60^{\circ}53'21,49''$	<p><b>24.05.2012 г.</b>  Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Проба отобрана из отложения алеврита на глубине 0...3 см. Место ровное, окружающие барханы закреплены селитрянкой, слой дефляции достигает 30 см (по остаткам водорослей зостера марина). 0...9 см алеврито-пелит, отложение мелкослоистое, серого цвета. 9...24 см глина плотная, серо-коричневого цвета. Глубже – песок светло-желтого цвета, средний.</p>
8	$\varphi = 45^{\circ}39'16,43''$ $\lambda = 60^{\circ}53'21,49''$	<p><b>24.05.2012 г. (Рис. 3)</b>  Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Солончак белый, пухлый. Образец отобран в слое 0...1 см. Почва влажная. Поверхность пологоволнистая. Окружающие солончак барханы закреплены селитрянкой.</p>
9	$\varphi = 45^{\circ}40'16,50''$ $\lambda = 60^{\circ}54'22,32''$	<p><b>24.05.2012 г.</b>  Высохшее дно Большого Арала западнее бывшего о. Каскакулан. Полоса бывших баров. Хорошо закрепленная поверхность, проба взята на незакрепленном участке поверхности. Высота барханов достигает 5 м, наблюдаются отдельные участки подверженные дефляции. Полоса баровой гряды имеет ширину 40...60 м.</p>



*Рис. 1. Место отбора пробы №1. Слева останцы водорослей зостера марина, по которым определялась глубина дефляции*



*Рис. 2. Место отбора пробы №4. Высохшая пелито-алевритовая поверхность солончака.*



*Рис. 3. Место отбора пробы №8. Солончак.*

Таблица 2

Результаты ситового анализа образцов песка, отобранных на массивах осушенной части дна Аральского моря в 2012 г.

Номер пробы	Доля частиц, размером меньше $x$ (мкм), в %										Параметры логарифмически нормального распределения	
	50	73	100	140	200	250	315	400	500	1000	$x_0$ , мкм	$\sigma_{lg x}$
1	1,3	3,6	7,0	12,4	23,5	37,5	58,0	79,1	91,2	99,9	128	0,15
2	2,0	5,4	10,4	18,3	31,4	44,7	62,7	80,8	91,4	99,9	90	0,12
5	4,0	10,8	20,9	36,1	54,9	66,5	77,0	85,9	91,8	99,9	90	0,10
9	2,7	7,2	13,9	24,2	39,2	51,9	67,5	82,5	91,5	99,9	154	0,14

Таблица 3

Результаты механического анализа образцов почвы, отобранных на массивах осушенной части дна Аральского моря в 2012г.

Номер пробы	Доля частиц, размером меньше $x$ (мкм), в %						Параметры логарифмически нормального распределения	
	1	5	10	50	250	1000	$x_0$ , мкм	$\sigma_{lg x}$
3	8,5	13,3	16,2	45,7	98,0	99,9	не определены	
4	9,3	17,8	21,1	43,3	97,5	99,9	не определены	
6	19,9	46,1	65,2	96,8	99,0	99,9	5	0,71
7	17,9	40,2	54,0	95,4	98,9	99,9	5,5	0,67
8	12,7	31,6	45,2	76,4	93,0	99,9	12,3	0,87

Таблица 4

Результаты химических анализов водной вытяжки из образцов почвы, отобранных на высохшем дне Большого Арала в 2012 г.

Номер пробы	Сумма солей в %	Единица измерения	Щелочность		Cl'	O'' <sub>4</sub>	Ca''	Mg''	Сумма		Na'	K'
			Общая в HCO <sub>3</sub> '	От нормальных карбонатов в HCO <sub>3</sub> '					анионов	катионов		
3	4,0	%	0,02	0,00	1,66	0,98	0,22	0,18			0,93	0,04
		$\frac{мг}{экв}$	0,25	0,07	46,7	20,5	11,0	14,7	47,0	67,4	40,6	1,10
4	0,47	%	0,02	нет	0,03	0,28	0,09	0,02			0,91	0,26
		$\frac{мг}{экв}$	0,28		0,85	5,92	4,40	1,48	1,13	7,05	1,31	0,06

Номер пробы	Сумма солей в %	Единица измерения	Щелочность		Cl'	O'' <sub>4</sub>	Ca''	Mg''	Сумма		Na'	K'
			Общая в HCO <sub>3</sub> '	От нормальных карбонатов в HCO <sub>3</sub> '					анионов	катионов		
6	5,91	%	0,02	нет	2,48	1,43	0,27	0,34			1,31	0,06
		$\frac{мг}{экв}$	0,28		70,0	29,8	13,5	28,2	70,3	100,1	57,0	1,46
7	0,60	%	0,02	нет	0,128	0,25	0,03	0,01			0,14	0,01
		$\frac{мг}{экв}$	0,33		3,61	5,21	1,70	0,99	3,94	9,15	6,26	0,20
8	6,42	%	0,02	0,00	2,346	1,85	0,29	0,21			1,64	0,07
		$\frac{мг}{экв}$	0,25	0,07	66,16	38,6	14,7	17,2	66,4	105,0	71,3	1,77

По данным ситового и механического анализа для всех отобранных образцов в программе Origin были построены эмпирические интегральные кривые распределения частиц по размерам, вычислены параметры функции логнормального распределения частиц по размерам, три из них приведены на рис. 4 – 6 (табл. 5). Для образцов 3 и 4 параметры функции не были определены, так как эти образцы представляют собой суперпозицию двух различных распределений.

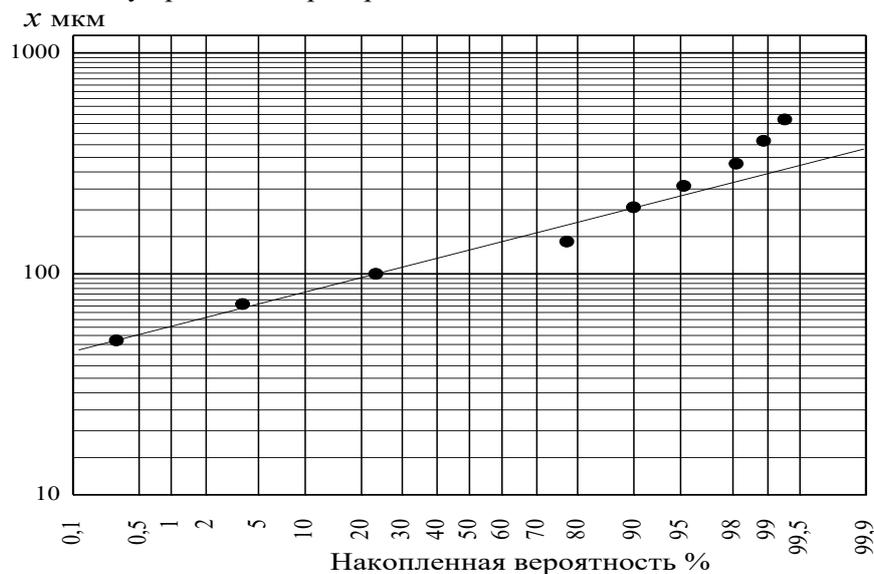


Рис. 4. Эмпирическая интегральная кривая распределения частиц песка по размерам, образец №1.

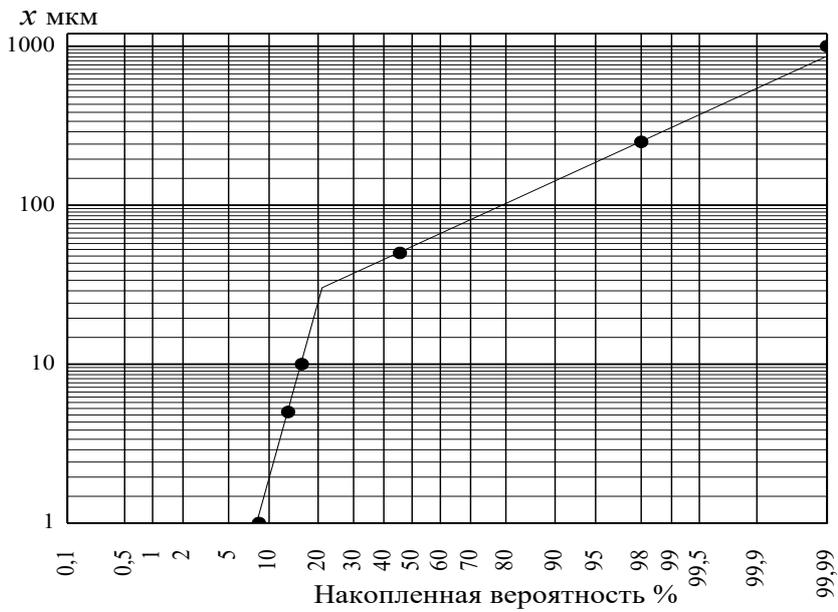


Рис. 5. Эмпирическая интегральная кривая распределения алевритовых частиц по размерам, образец №3. Композиция из двух функций распределения.

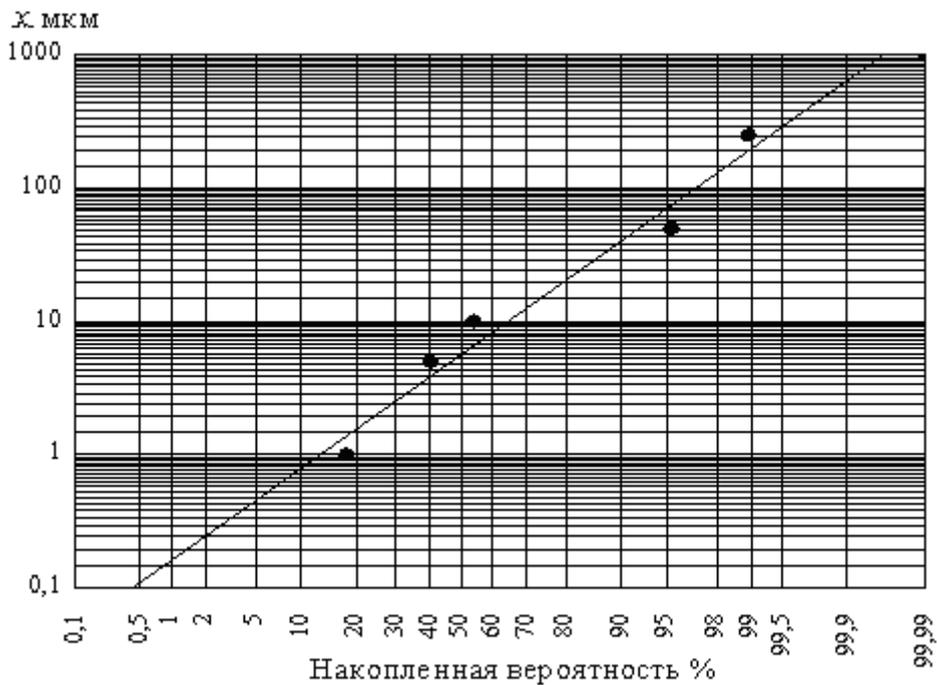


Рис. 6. Эмпирическая интегральная кривая распределения алевритовых частиц по размерам, образец №7.

Параметры функции логнормального распределения частиц по размерам

Номер образца	Место взятия образца	Параметры логнормального распределения	
		$x_0$ , мкм	$\sigma_{lgx}$
1	$\varphi = 45^\circ 39' 16,38''$ $\lambda = 60^\circ 57' 23,14''$	128	0,15
2	$\varphi = 45^\circ 40' 16,18''$ $\lambda = 60^\circ 52' 21,27''$	90	0,12
3	$\varphi = 45^\circ 40' 16,18''$ $\lambda = 60^\circ 52' 21,27''$	не определены	
4	$\varphi = 45^\circ 40' 16,18''$ $\lambda = 60^\circ 52' 21,27''$	не определены	
5	$\varphi = 45^\circ 39' 16,23''$ $\lambda = 60^\circ 53' 21,30''$	90	0,10
6	$\varphi = 45^\circ 39' 16,23''$ $\lambda = 60^\circ 53' 21,30''$	5	0,71
7	$\varphi = 45^\circ 39' 16,43''$ $\lambda = 60^\circ 53' 21,49''$	5,5	0,67
8	$\varphi = 45^\circ 39' 16,43''$ $\lambda = 60^\circ 53' 21,49''$	12,3	0,87
9	$\varphi = 45^\circ 40' 16,50''$ $\lambda = 60^\circ 54' 22,32''$	154	0,14
10	$\varphi = 45^\circ 03' 01,59''$ $\lambda = 69^\circ 45' 18,12''$	96	0,08

Анализ полученных материалов показывает, что пески подвижных барханов имеют логарифмически нормальное распределение со средним геометрическим размером частиц 90...128 мкм. Песок с такой функцией распределения является наиболее подвижным. Образец №9 отобран в полосе бывших баров,  $x_0$  здесь равно 154 мкм. Эти пески относятся к малоподвижным.

Алевритовые и пелитовые поверхности представляют собой слабосвязанные грунты со средним геометрическим размером 5...15 мкм. Эти поверхности подвержены корразии, т.е. дефляции под воздействием бомбардировки частицами песка с окружающих барханов. Засоленность для образцов почвы 3, 6 и 8 составила от 4 до 6,5 %. Такие почвы относятся к солончакам.

В будущем необходимо дальнейшее проведение экспедиционных исследований дисперсного состава алевритов, в виду неопределенности полученных нами результатов вычислений выноса массы частиц во время сильной пыльной бури 5 мая 2007 г., при априорном задании функции распределений частиц по размерам источника выноса аэрозоля [5]. Как видим, перед исследователями стоят очень сложные задачи, для решения которых потребуется значительное время и вложение больших инвестиций в проекты научных исследований [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахлестина Е.Ф., Малышев В.В., Иванов А.В. Нефтегазаносная терригенная формация палеогена юго-востока Русской плиты // Геология нефти и газа. – 2001. – № 4. – 9 с.
2. Геологический словарь: в 2-х томах / Под ред. К.Н. Паффенгольца – М.: Недра, 1978. – Т. 1 (А – М). – 486 с.
3. Геологический словарь: в 2-х томах / Под ред. К.Н. Паффенгольца – М.: Недра, 1978. – Т. 1 (Н – Я). – 446 с.
4. Гидрометеорологические проблемы Приаралья. / Под ред. Г.Н. Чичасова. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 276 с.
5. Каипов И.В., Семенов О.Е., Чередниченко А.В., Шапов А.П. Оценка выноса массы алевритовых частиц с осушенного дна Большого Арала с использованием данных дистанционного спутникового зондирования и мезомасштабной гидродинамической модели // Гидрометеорология и экология. – 2012. – № 1. – С. 7 – 40.
6. Орлова М.А. Роль эолового фактора в солевом режиме территорий. – Алма-Ата: изд-во «Наука КазССР», 1983. – 230 с.
7. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. – Алматы: «ИП Волкова Е.В.», 2011. – 580 с.
8. Семенов О.Е., Шапов А.П. Геоморфологические условия развития дефляционных процессов и дисперсный состав песков Восточного Приаралья // Гидрометеорология и экология. – 1995. – № 4 – С. 76 – 98.
9. Томина Т.К. Почвы обсохшего дна Аральского моря // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 1 – С. 60 – 75.

Поступила 05.11.2012

Геогр. ғылымд. канд.	Н.У. Бултеков
Физ.-мат. ғылымд. канд.	О.Е. Семенов
	А.П. Шапов

## **ҮЛКЕН АРАЛДЫҢ КЕПКЕН БӨЛІГІНІҢ ТҮПКІ АЛЕВРИТТІ ШӨГІНДІЛЕРІНІҢ ДИСПЕРСИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТҰЗДЫҚ ҚҰРАМЫ**

*Аралдың түбіндегі алевритті шөгінділердің дисперсиялық және химиялық құрамын анықтау үшін экспедициялық жұмыстар жүргізілді. Жұмыстар 2 маршрутта орындалды, жер бетінің 5 см қабатынан және 0...20 см қабаттарынан топырақтың 9 үлгісі алынды. Алынған материалдарды талдау нәтижесі бөлшектерінің геометриялық орташа көлемі 90...128 мкм болатын барқандар логарифмді қалыпты түрде таралатындығын көрсетті. Сонымен қатар, алевритті шөгінділердің қандай да бір бөлігі логарифмді қалыпты таралады, ал қалғандарын екі функцияның үйлесімділігімен сипаттау керек. Бұл бөлшектердің геометриялық орташа көлемі 5 до 12 мкм құрайды. Құмдардың тұздану көрсеткіші 4 до 6,5 % аралығында.*