

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.74(470.67)

© 2016 г. А.В. ГУСАРОВ

**ЭОЛОВО-АККУМУЛЯТИВНЫЙ КОМПЛЕКС “САРЫКУМ” –
УНИКАЛЬНЫЙ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ РОССИИ:
СТРОЕНИЕ, ГЕНЕЗИС И ИСТОЧНИКИ ПЕСКОВ**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
e-mail: avgusarov@mail.ru*

“...Эффект этот изумителен. Кажется, никакой самый фантастический ландшафт не в состоянии сравниться по оригинальности и могучей красоте с необыкновенной панорамой. Над нами на всем протяжении поднималась с левой стороны долины и блестела на солнце огромная масса летучих песков. ... Могучий передовой барханный вал производил грозное впечатление...”

А.А. Майоров [1]

Эолово-аккумулятивный комплекс “Сарыкум” – один из высочайших в Евразии изолированных (т. е. сформированных вдали от пустынь) песчаных массивов. На основе гранулометрического и минералогического анализ 59-ти образцов установлено неоднородное строение комплекса. Наиболее грубый песчаный материал (модальные величины – 352 мкм и выше) слагает центральный дюнно-грядовый сегмент Сарыкума (т. н. Большой (Западный) Сарыкум). Чем дальше от дюнных построений к периферии, тем тоньше становится средневзвешенная размерность песчаных частиц и меньше модальные величины (249 мкм и ниже) их гранулометрических спектров. Данное распределение зернистости объясняется не только ветровой сортировкой песчаного материала при эоловой постройке и дальнейшей переработке дюнного комплекса, но и пространственными особенностями первоначальной аккумуляции разнофациальных песков в период формирования, а также различиями в составе коренных пород, послуживших источниками их сноса. В вертикальном строении Сарыкума также выражена неоднородность, которая связана со сменой во времени условий седиментации песка в регионе. Так, дюнный сегмент Большого Сарыкума можно представить как систему последовательно аккумулярованных пластов (линз?) разных по составу и возрасту песков (в том числе гравийных), имеющих, по-видимому, наиболее грубый гранулометрический состав в средней части. Указанная структура Сарыкума обусловлена сложным сочетанием гравийных песков дельтового происхождения, образованных рекой Шура-Озень в позднечетвертичное время, и гравийно-галечных песчаных делювиальных и пролювиальных отложений, поступивших на территорию современного массива Сарыкум со склонов хр. Нарат-Тюбе. Смещение разных по генезису и составу наносов, сформировавших массив Сарыкум, имело, скорее всего, и непростую историю, следуя за определенной стадийностью смены перигляциальных ландшафтно-климатических условий в позднечетвертичное время.

Ключевые слова: дюна, песок, эоловые формы рельефа, эоловые отложения, гранулометрический анализ, Сарыкум, Дагестан, Кавказ.

Эолово-аккумулятивный комплекс “Сарыкум” (далее – Сарыкум (*кумык* – “желтый песок”), или Кумторкалинские пески) – крупнейший в России и один из высочайших в Евразии изолированных (т.е. сформированных вдали от пустынь) песчаных массивов, расположенный на Терско-Сулакской низменной равнине у северо-восточного подножия горного Кавказа в 16–17 км на ЗСЗ от Махачкалы (Республика Дагестан). О природных особенностях, истории изучения и существующих гипотезах происхождения песков Сары-

кума мы рассказывали ранее [2], выдвигая версию их дельтового генезиса, нуждающуюся в верификации, в том числе с применением целого комплекса количественных методов. В данной статье использованы результаты сопряженного анализа гранулометрического и минерального составов песков массива, дающие ценную информацию о происхождении и условиях седиментации этого рыхлого материала.

Материал исследования

В пределах массива Сарыкум в июне и ноябре 2014 г. автором были отобраны образцы (обр.) рыхлых обломочных пород преимущественно песчаного состава. Принцип их отбора – охватить как можно более разнообразный фациальный спектр песков, обнажающихся в естественных дефляционных котловинах и карьерах, а также формирующих поверхности различных морфологических сегментов Сарыкума – дюнных, бугристо-котловинных и периферийных песков [2]. Для генетической интерпретации результатов анализа этих образцов дополнительно отобраны фрагменты коренных песчаников, слагающих близлежащий хр. Нарат-Тюбе. Во всех случаях отбора каждый итоговый образец породы представлял собой смесь четырех проб (метод квартования), взятых через равный дистанционный интервал в обнажении породы в пределах 5–6 м согласно ее простиранию. Схема расположения точек отбора представлена на рис. 1. В общей сложности отобрано 59 обр. (включая тт. 7а–в); точки 51–56 в пределах хр. Нарат-Тюбе (северный склон хребта, расположенный близ Сарыкума (тт. 51–52), и Атлы-Боюнский перевал близ Махачкалы (тт. 53–56)) не нашли отображения на рис. 1. Наибольшая плотность расположения точек отбора приурочена к дюнному сегменту Большого (Западного) Сарыкума.

Методика исследования

Собранный полевой материал анализировался гранулометрически и минералогически на базе соответственно НИЛ “Экологические инновации” кафедры прикладной экологии Института экологии и природопользования (отв. исполнитель – И.В. Выборнова) и литологической лаборатории кафедры минералогии и литологии Института геологии и нефтегазовых технологий (ответственный исполнитель – к.г.-м.н. доцент А.Н. Кольчугин) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Гранулометрический состав (ГМС) всех 59 обр. определялся методом лазерной дифракции на анализаторе Microtrac Bluewave S3500 с технологией трех лазеров¹. Рубежи замеров внутри ГМС-фракций анализатор выбирает по программе в зависимости от характера суспензионного материала. Их количество на одну пробу составило стандартно 70 единиц: в песчаной фракции (2000–50 мкм) 22 замера, в алевритовой фракции (50–5 мкм) 13 замеров, в глинистой фракции (менее 5 мкм) 35 замеров². Здесь, в 17 обр. из 59 (29%), гранулометрические спектры являются открытыми в сторону более крупной фракции (гравия/дресвы). В 4 из этих 17 обр. указанная открытость весьма заметна: частота встречаемости гранулометрических элементов пограничной (между песками и гравием/дресвой) размерности в 2000 мкм составляет в них более 10% (т. 25 – около 13.9%, т. 33 – 13.4%, т. 52 – 27.0%, т. 53 – 11.1%); у остальных 12 обр. – не более 1–3%, и у одного образца (т. 22) – 6.7%. Присутствие в песках более грубых фракций (более 2000 мкм в диаметре) фиксировалось лишь визуально в период отбора образцов в отложениях. ГМС-анализ не охватил супертонкие коллоидные глины с размерностью

¹ Подготовка проб проводилась в соответствии со стандартной методикой ISO 11277:2009 (Soil Quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material / Method by sieving and sedimentation).

² Средний “шаг” учета размера частиц для любого гранулометрического ряда составляет 28.6 мкм; с наибольшей плотностью учет размерности гранулометрических элементов проведен в глинистой фракции – 0.1316 мкм (в частности, для коллоидной глины – 0.0099 мкм).

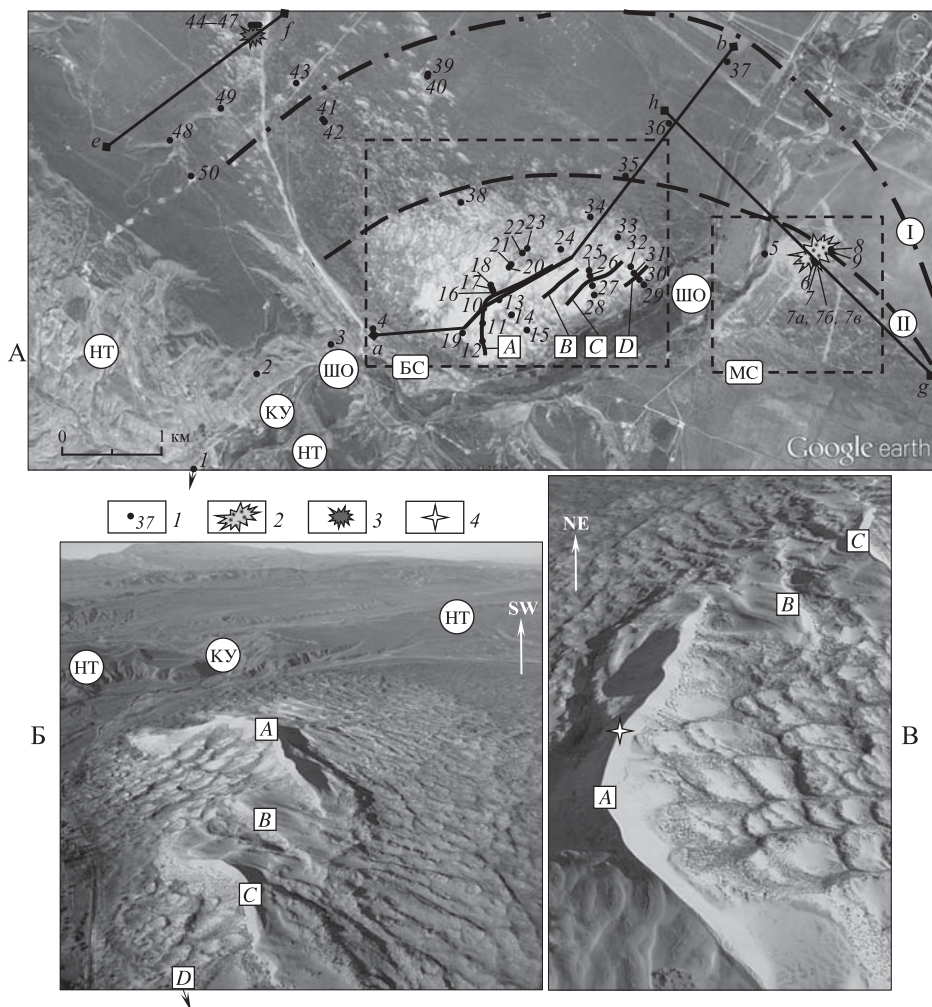


Рис. 1. Схема расположения точек отбора образцов в пределах комплекса Сарыкум и его окрестностей (на основе снимка [3]) – (А) и снимки дюнно-грядового сегмента Бол. Сарыкума, сделанные с летательного аппарата (октябрь 2012 г.) – (Б-В) (предоставлены зам. директора заповедника “Дагестанский” Г.С. Джамирзоевым).

1 – номера точек, 2 – карьер Мал. Сарыкума, 3 – северо-западный карьер в зоне бугристо-котловинных песков, 4 – наивысшая точка комплекса: $\varphi = 43^{\circ}00'30.76''$ с. ш., $\lambda = 47^{\circ}14'27.39''$ в. д. (по [3]).

A, B, C и D – наиболее крупные дюны комплекса; БОС – Бол. Сарыкум; МС – Мал. Сарыкум; НТ – хр. Нарат-Тюбе; ШО – долина р. Шура-Озень; КУ – Капчугайское (Кумторкалинское) ущелье; *внешняя граница предполагаемой области аккумуляции*: темных (I) и светлых (II) косослоистых песков с модальной величиной гранулометрического состава $M_o = 249$ мкм – т. 6 ($M_o = 296$ мкм – т. 7), обнажающихся в карьере Мал. Сарыкума; a–b, e–f, g–h – линии обобщенных профилей

менее 0.0128 мкм. Итоговый ГМС каждого образца определялся как средний по трем испытаниям, и его номенклатура далее дана согласно В.Т. Фролову [4].

По полученным гранулометрическим спектрам (*кривым частотного распределения* гранулометрических элементов по их размерности) строились и рассчитывались: *кумулятивная кривая*; *мода* (M_o – размерность частиц, наиболее часто встречаемая в конкретном гранулометрическом спектре)³; *средневзвешенный размер* гранулометрических элементов спектра (D_{cp}); *коэффициент сортировки* (S_o) по форму-

³ Мы полагаем, что территориально близкие песчаные фации с равномодальными гранулометрическими спектрами могут иметь и общие источники материала при их формировании.

ле П. Траска ($So \geq 1$); коэффициент асимметрии (Sk); эксцесс (Ku)⁴. Чем совершеннее сортировка ГМС, тем ближе So к 1: в очень хорошо сортированных песках и алевритах $So = 1-1.5$, в хорошо сортированных – $So = 1.5-2.0$, при средней степени сортировки – $So = 2.0-3.5$, в плохо сортированных осадках $So = 3.5-5.0$, порода не сортирована – $So > 5.0$ [5]. В общем случае, как отмечает Л.Б. Рухин [6], по мере перетолжения обломочного материала он приобретает все меньшие значения средней размерности зерен и улучшает свою сортировку. По данным Л.Б. Рухина [6], при одинаковой средней зернистости и сравнительно близкой сортировке речные пески имеют практически постоянное положительное значение эксцесса, у эоловых песков – отрицательное; хотя часть эоловых песков может иметь и положительный эксцесс, однако его величина при этом невелика ($Ku \rightarrow +0$). К.К. Гостинцев и др. [7], напротив, считают, что для эоловых отложений характерны наиболее высокие величины эксцесса (при отрицательной асимметрии распределения ГМС). Генетическая интерпретация соотношений гранулометрических коэффициентов и форм кривых распределения, нося вероятностный характер⁵, имеет определенную ценность лишь в комплексном сочетании с другими методами литологических исследований (анализ слоистости, ряби, окатанности и ориентировки включенной гальки и т. д.).

Минеральный состав 46 (из 59) обр. определялся рентгенографической съемкой на дифрактометре XRD-700 (Shimadzu) в диапазоне брегговских углов $3-40^\circ$ по 2Θ (шаг сканирования углов – 0.02° , скорость – $1^\circ/\text{мин}$, ток на трубке 20 мА, напряжение 30 кВ, излучение – $\text{CuK}\alpha$). Результаты представлены по одному замеру средней пробы образца с верификацией близкой к 100%. Классификационная принадлежность образцов по минеральному составу дана согласно Г.Ф. Крашенинникову [13]. Дополнительно описывались шлифы при помощи поляризационного микроскопа ПОЛАМ Л-213М: по мере инструментальной возможности и по характеру материала образцов устанавливались степень окатанности гранулометрических элементов (по В.Д. Шутову) присутствие налета, механический характер поверхности (глянцеватость (матовость), наличие борозд, царапин и сколов) и т. д.

На базе лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии ИГ РАН (отв. исполнитель к.г.н. Э.П. Завозская), проведено радиоуглеродное установление возраста (сцинтилляционный метод) двух образцов погребенных почв, вскрытых в стенке карьера Мал. Сарыкума.

Результаты исследования

Основные результаты исследования можно обобщить следующими положениями.

1. Рыхлые кластические отложения комплекса Сарыкум являются гранулометрически сравнительно неоднородными. По классификации рыхлых обломочных пород В.Т. Фролова [4], подавляющее большинство образцов (40 из 48), отобранных в пределах собственно комплекса, относится к категории *песков чистых*, с содержанием гранулометрических элементов песчаной размерности (50–2000 мкм) более 90%. Именно этот факт создает общее впечатление о Сарыкуме как едином песчаном массиве, чьи отдельные участки имеют лишь морфологические различия. Однако при более детальном ГМС-анализе в пределах главным образом самих песчаных фракций получается не столь однородная картина. Это, прежде всего, касается дифференциации средневзвешенной размерности частиц (D_{cp}) гранулометрического спектра, что серьезно затрудняет группировку образцов. Благодаря фиксированному рубежам-замерам при лазерном анализе ГМС, можно сгруппировать образцы по их модальным величинам (Mo), что показано в табл. 1, а также в табл. 2 – для коренных песчаников соседнего хребта.

⁴ Эксцесс и коэффициент асимметрии рассчитывались согласно стандартным формулам статистического блока редактора электронных таблиц *Microsoft Excel* 2010.

⁵ Несмотря на многочисленность попыток [6–12 и др.], так и не согласованы количественные критерии связи ГМС рыхлого обломочного материала с характером среды его накопления.

Таблица 1

**Группировка по модальным величинам (M_o) образцов
рыхлого кластического материала, слагающего собственно
массив Сарыкум (положение точек см. рис. 1)**

M_o , мкм	Номера точек	D_{cp} , мкм	Средний по группе D_{cp} , мкм		
176	3	76*	126±58**		
	5	84			
	44	176			
	49	168			
	7a	251			
209	7б	248	222±14		
	35	212			
	36	214			
	45	209			
	46	201			
	47	223			
	249	6		270	241±18
		7в		229	
8		272			
9		268			
37		190			
39		253			
40		229			
41		216			
43		244			
296		4	316	317±7	
		7	312		
	34	324			
352	10	361	395±41		
	11	381			
	12	411			
	13	375			
	14	374			
	15	371			
	16	371			
	17	363			
	18	384			
	20	411			
	25	742			
	26	340			
	27	389			
	28	377			
	29	347			
	30	353			
	31	409			
38	356				
419	21	389	541±140		
	22	642			
	24	452			
	32	451			
	33	771			
498	19	440	–		
592	23	592	–		

Примечание. * – здесь и далее округлено до целых чисел, ** – здесь и далее при доверительном уровне 95%.

И опять-таки здесь мы ориентируемся на общность модальных значений песков, что, как говорилось ранее, может указывать и на единый источник (и, в определенной степени, синхронность) их формирования. Так, в северо-восточном основании дюнного комплекса в высотном интервале 100–150 м абс. располагаются насыщенные

Анализ табл. 1 позволяет сделать следующий общий вывод: наиболее грубозернистые пески Сарыкума, как по модальному показателю ($M_o = 352$ мкм и выше), так и по средневзвешенной размерности частиц, слагают преимущественно дюнный сегмент Сарыкума и его внутренний каркас – косослоистые пески, обнажающиеся в дефляционных котловинах подножий крупных дюн (рис. 1). Чем дальше от дюнного ядра к периферии, тем тоньше становится средневзвешенная размерность песчаных частиц и меньше модальные величины ($M_o = 249$ мкм и ниже) гранулометрических спектров. Данное распределение зернистости можно объяснить, на наш взгляд, не столько ветровой сортировкой песчаного материала при эоловой постройке и дальнейшей переработкой дюнного комплекса, сколько пространственными особенностями первоначальной аккумуляции разнофациальных песков в период их формирования, а также различиями в составе коренных пород, послуживших источниками их сноса.

Седиментация преимущественно песчаного материала имела помимо отмеченной горизонтальной еще и вертикальную закономерность распре-

Таблица 2

Группировка по модальным величинам (M_o) образцов коренных песчаников, слагающих склоны хр. Нарат-Тюбе (положение точек 1 и 2 см. рис. 1)

M_o , мкм	Номера точек	D_{cp} , мкм
148	2	56
209	56	167
249	51	199
	54	174
	55	251
352	1	364
419	53	730
2000	52	917

гравием косослоистые пески, отличающиеся наибольшей грубостью средневзвешенной размерности – модальные значения 419 мкм и выше (т. 22, 23, 25 и 33). Также относительно грубый материал вскрывается в глубокой (около 115 м абс.) дефляционной котловине у западного подножия дюны “А” – т. 19 (рис. 1, табл. 1). Здесь, среди дефляционно-остаточной россыпи гравия можно даже встретить редкие хорошо окатанные экземпляры мелкой гальки. Судя по модальной величине ($M_o = 498$ мкм), эти пески⁶ с хорошо выраженным на дне котловины косослоистым рисунком, образующие,

по-видимому, обособленный пласт аккумуляции, имели иной источник сноса, чем большинство отмеченных косослоистых песков в северо-восточных котловинах дюнного сегмента, образующих прослойки с общей модой 419 мкм.

В одной из дефляционных котловин, расположенных у северного подножия дюны “А”, были встречены естественные выходы косослоистых песков, залегающих на более высоких гипсометрических уровнях, выше которых подобные образования уже более нигде открыто не обнаруживаются. Нами зафиксирована фациальная смена (по текстурным признакам и окраске) косослоистых песков на рубеже около 164 м абс. высоты между т. 21 и 20 (рис. 1, 2). Между этими точками отбора образцов происходит, судя по ГМС-анализу, смена модальности их гранулометрического спектра, что указывает на гетерогенность этих формаций. При одинаковом мономинеральном (кварцевом) их составе нижние слои несколько более кальцинированы, что отражается в их более плотной цементации, лучше окатаны⁷ и имеют “добавку” среднезернистого песка (рис. 2). Однако по сравнению с нижележащими толщами пески т. 20 и 21 характеризуются, в целом, несколько более тонким составом, исходя из средневзвешенной размерности их гранулометрических элементов. Эолово-переработанные пески (современная эоловая “покрышка”), венчающие и “обволакивающие” сверху пески косослоистые, имеют во всем дюнном сегменте, в целом, наименьшую не только модальную ($M_o = 352$ мкм), но и средневзвешенную величину $D_{cp} = 397 \pm 46$ мкм (табл. 1).

Таким образом, дюнный сегмент Бол. Сарыкума можно представить как систему последовательно аккумулярованных пластов (линз?) разных по составу и возрасту песков (в том числе гравийных), имеющих наиболее грубый ГМС в средней части разреза. Наиболее высоко расположенные слоистые отложения, уже не доступные визуально, интенсивно переработаны более поздними эоловыми процессами. Более того, в пределах Сарыкума, за границами его дюнного сегмента, мы нигде более не встречаем песчаные разности с $M_o = 352$ мкм и грубее. Схематично строение дюнного сегмента Бол. Сарыкума можно отобразить в виде обобщенного профиля $a-b$ (рис. 1, 3).

Судить о вертикальном строении зоны бугристо-котловинных и периферийных песков позволяют всего несколько обнажений. Наиболее глубокими и полными из них являются карьеры, заложенные в пределах Мал. Сарыкума и северо-западнее дюнного

⁶ Прозрачные и полупрозрачные зерна (кварц) составляют здесь до 95% от общего количества, окатанные – 40%, полуокатанные – 55% и угловатые – 5%; следы механической коррозии поверхности зерен надежно установить не удалось; $S_o = 1.22$.

⁷ В песках т. 21 окатанные зерна составляют 60%, а в т. 22 – лишь 45%. В т. прозрачные и полупрозрачные зерна составляют 95%, а для песков т. 20, напротив, характерны высокая отсортированность и средняя прозрачность зерен – большая их часть полупрозрачна вплоть до матового характера поверхности с нередкими бороздами, выполненными глинистым материалом.

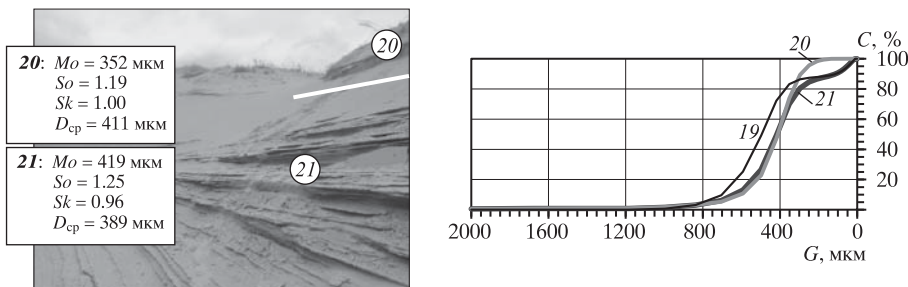


Рис. 2. Разнофациальные косослоистые пески, вскрывающиеся в дефляционной котловине у северного подножия дюны "А" Бол. Сарыкума
20 и 21 – точки отбора образцов (см. рис. 1); сплошная белая линия – условная граница между установленными песчаными разностями (фото автора, июнь 2014 г.); график – кумулятивная кривая ГМС песков (19–21 – образцы песков, соответствующие точкам отбора), C – накопленные (кумулятивные) частоты ГМС, G – размерность ГМС

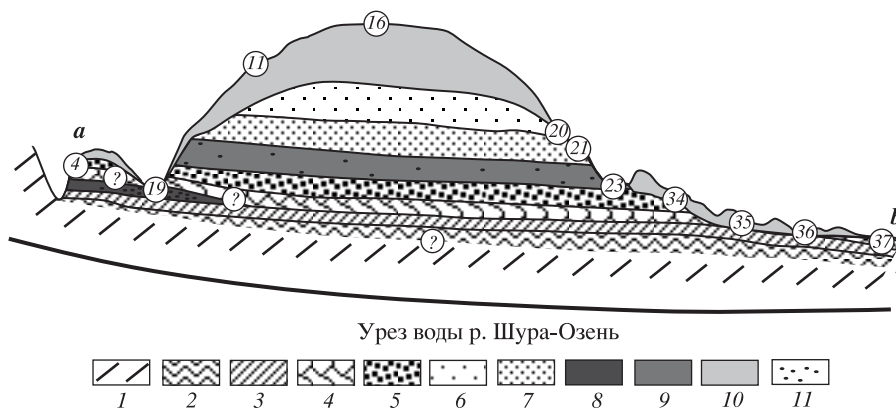


Рис. 3. Принципиальная (внемасштабная) схема строения Бол. Сарыкума по линии обобщенного профиля $a-b$ (см. рис. 1)

1 – коренные морские (дохазарские) отложения и осадки морских (хазарских) террас Каспийского моря; 2 – древнеаллювиальные песчаные отложения с $Mo = 176$ мкм; косослоистые песчаные отложения: 3 – с $Mo = 209$ мкм (предположительно делювиальные), 4 – с $Mo = 249$ мкм (предположительно делювиальные), 5 – с $Mo = 296$ мкм (дельтовые), 6 – с $Mo = 352$ мкм (дельтово-эоловые), 7 – с $Mo = 419$ мкм (дельтовые), 8 – с $Mo = 498$ мкм (предположительно дельтово-пролювиальные), 9 – с $Mo = 592$ мкм (предположительно дельтовые); 10 – переветренные (эоловые) пески с $Mo = 352$ мкм; 11 – включения гравия и мелкой среднеокатанной гальки; цифры в кружочках – номера точек отбора образцов (см. рис. 1)

комплекса Бол. Сарыкума (рис. 1). Так, в пределах первого карьера в южной стенке разреза отчетливо обнажаются несколько различных по возрасту и составу генераций песков – косослоистые нижние олигомиктовые темные (т. 6 – $Mo = 249$ мкм, $D_{cp} = 270$ мкм) и неясно слоистые верхние мономинеральные светлые (т. 7 – $Mo = 296$ мкм, $D_{cp} = 312$ мкм). Светлые пески сверху постепенно, без выраженной границы, переходят в сравнительно более тонкие формации т. 7а ($Mo = 209$ мкм, $D_{cp} = 251$ мкм) и т. 7б ($Mo = 209$ мкм, $D_{cp} = 248$ мкм), разделенные двумя хорошо выраженными горизонтами погребенных позднеголоценовых (менее 2.5 тыс. л.) почв (рис. 4). Вся эта толща венчается (поверх наиболее молодой погребенной почвы возраста около 1.9 тыс. л.) продуктами эоловой переработки (т. 7в – $Mo = 296$ мкм, $D_{cp} = 312$ мкм). При этом в одной из восточных стенок карьера на поверхности обнажается лишь темная пачка (тт. 8 и 9 на рис. 1), что указывает на быстрое выклинивание светлой пачки песков в этом направлении. Более того, темная пачка

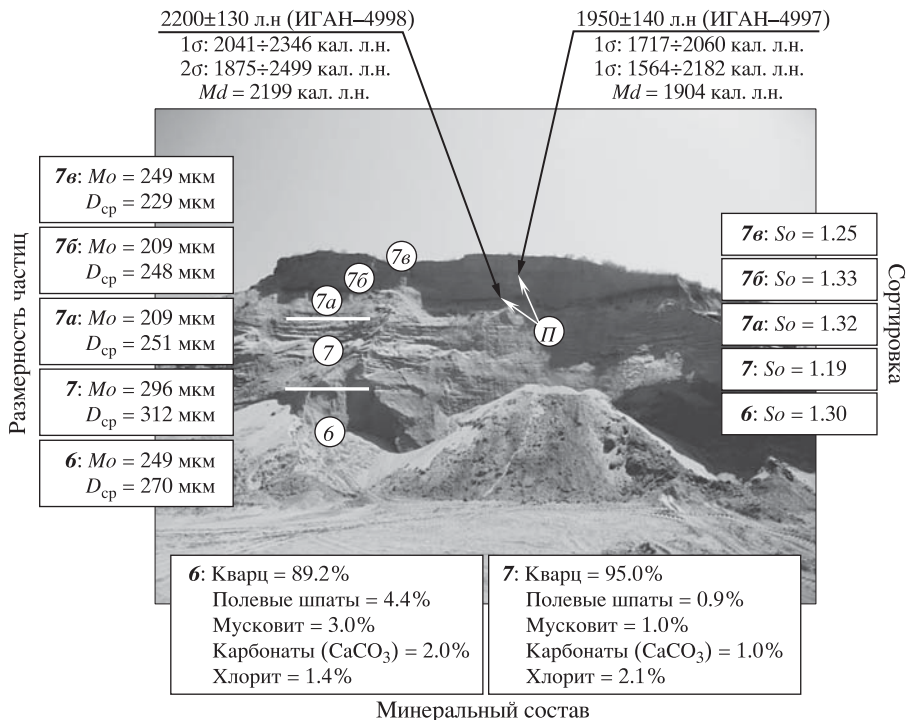


Рис. 4. Вертикальное строение Мал. Сарыкума по обнажению в южной стенке песчаного карьера 6, 7, 7a–в – точки отбора образцов (см. рис. 1), П – горизонты позднеголоценовых погребенных почв с результатами их радиоуглеродного датирования (фото автора, июнь 2014 г.)

с $M_o = 249$ мкм широко простирается в виде шлейфа на С и СЗ, по другую сторону долины р. Шура-Озень, образуя целое семейство песчаных разностей, различных по величинам D_{cp} , но объединяемых этой общей модой распределения ГМС (тт. 37, 39–41 и 43) (рис. 1). Такое распределение указывает, во-первых, на единый ареал аккумуляции наносов данного состава. Во-вторых, уменьшение средневзвешенной размерности частиц в этом семействе равномодальных песков на С и СЗ от Мал. Сарыкума говорит об общем направлении миграции наносов. Однако пески могли ранее поступать в СЗ часть бугристой зоны Сарыкума также и с близлежащего склона хр. Нарат-Тюбе, на что здесь указывает ГМС песка т. 50, расположенного на поверхности этого склона ($M_o = 249$ мкм, $D_{cp} = 243$ мкм). Иными словами, источником денудации песков этой группы могла быть пачка песчаников с тем же модальным распределением ГМС, широким фронтом развитая в пределах хр. Нарат-Тюбе. Ареал распространения же светлой пачки песков, по-видимому, более ограничен (рис. 1). Мы обнаружили равномодальные им пески лишь в т. 4 (потенциальная вершина дельты палеореки Шура-Озень) и в т. 34, что говорит о возможном присутствии этой пачки песков под днами Бол. Сарыкума.

В наиболее удаленной части бугристо-котловинных песков, обнажающих свое внутреннее строение в северо-западном карьере, картина иная. Здесь аккумулирован наиболее тонкий материал во всем массиве (тт. 44–47 – табл. 1). Причем отмечается общая тенденция огрубения материала снизу вверх: здесь, в верхней части стенки карьера (т. 46) очень характерны линзы и прослои слабооглаженного щебня (дресвы) и грубоокатанной гальки (гравия), что следует из делювиально-пролювиального характера седиментации наносов и тесную связь с соседним склоном хр. Нарат-Тюбе. Перевеянные пески верхней пачки сформировали эоловые бугры, но несколько более грубого ГМС (за счет ветрового удаления тонко- и мелкозернистых песков), если

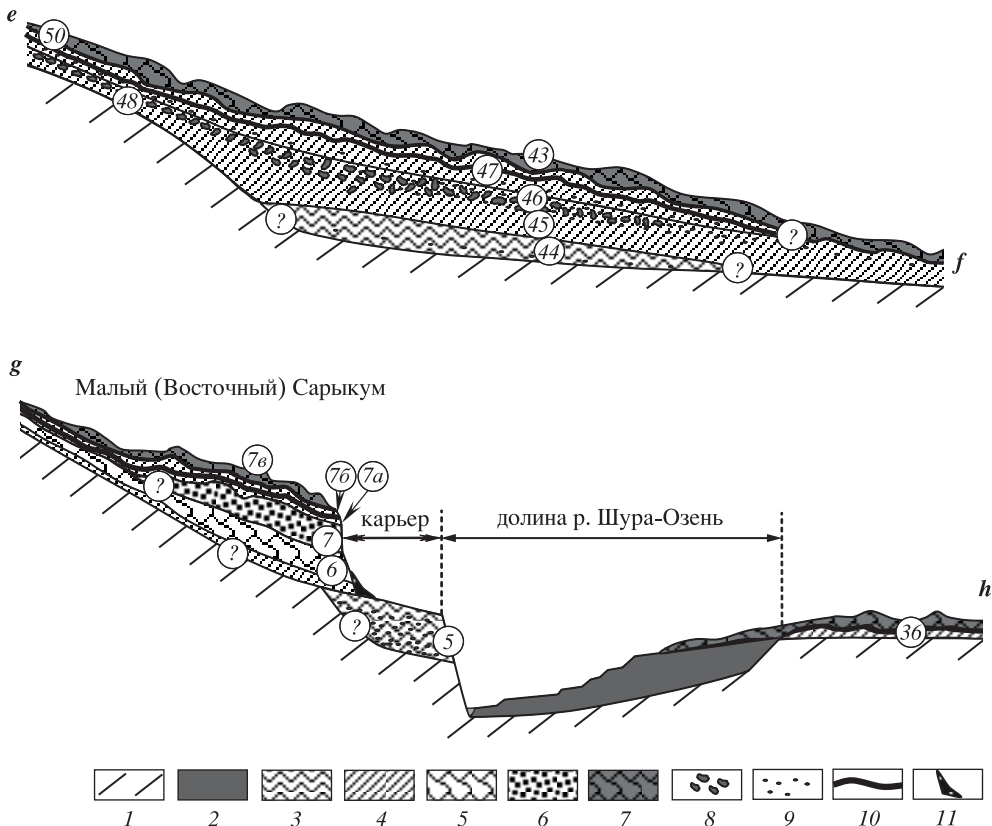


Рис. 5. Обобщенные (внемасштабные) профили в пределах зоны бугристо-котловинных и периферийных песков комплекса Сарыкум по линиям *e-f* и *g-h* (см. рис. 1)

1 – коренные морские (дохазарские) отложения и отложения морских (хазарских) террас Каспийского моря; 2 – нерасчлененный аллювиальный комплекс долины р. Шура-Озень; 3 – древнеаллювиально-пролювиальные песчаные отложения с $Mo = 176$ мкм; *косослоистые песчаные отложения*: 4 – с $Mo = 209$ мкм (под пачкой темных песков – предположительно делювиальные, между горизонтами погребенных почв – золотые), 5 – с $Mo = 249$ мкм (предположительно делювиальные), 6 – с $Mo = 296$ мкм (дельтовые), 7 – с $Mo = 249$ мкм (перевейанные (золотые) пески); 8 – прослои и линзы щебня (дресвы) и плохо окатанной гальки (гравия); 9 – включения гравия и мелкой среднеокатанной гальки; 10 – погребенные почвы; 11 – осыпь у подножия стенки карьера (цифры в кружочках – номера точек отбора образцов).

Примечание: модальность ГМС перевейанных песков над т. 36 указана как предположительная; содержащиеся в песках т. 44–47 карбонаты – кальцит и доломит

судить по средневзвешенной размерности их гранулометрического спектра. Схематично строение бугристо-котловинных и периферийных песков Сарыкума можно изобразить в виде обобщенных профилей *e-f* и *g-h* (рис. 1, 5); изменения вещественного состава песков северо-западного карьера представлены в табл. 3.

2. Рыхлые кластические отложения комплекса Сарыкум являются сравнительно однородными по минеральному составу и представлены преимущественно мономинеральными кварцевыми песками. Материал подавляющего большинства отобранных образцов принадлежит к минеральной группе кварцевых песков (содержание кварца более 90%) и подгруппе кварцевого субаркоза (содержание кварца 80–90%)⁸. Причем золотые

⁸ Полученные рентгенографическим методом оценки долевого содержания кварца песков Сарыкума в целом меньше тех, что получены ранее путем визуально-ручного подсчета – более 98% (по Е.В. Тулышевой [14]).

Сравнительная характеристика гранулометрического и минерального составов образцов песков, вскрытых в северо-западном карьере Бол. Сарыкума (рис. 1, 5)

Характеристики		Номера точек (образцов)			
		44	45	46	47
Гранулометрический состав, %	песок	100	100	100	100
	алеврит	–	–	–	–
	глина	–	–	–	–
Гранулометрические коэффициенты	M_o , мкм	176	209	209	209
	D_{cp} , мкм	176	209	201	226
	S_o	1.23	1.24	1.20	1.19
	S_k	2.30	0.86	0.72	0.88
	K_i	4.26	–0.81	–1.08	–0.73
Минеральный состав, %	кварц	81.7	82.0	69.3	88.5
	альбит	8.2	4.4	5.3	4.4
	мушкетит	2.0	2.6	5.1	1.8
	микроклин	5.4	7.3	15.5	2.4
	клинохлор	1.4	1.0	1.7	0.5
	амфиболы	0.0	0.9	0.0	2.1
	карбонаты	1.3	1.8	3.1	0.3

Таблица 4

Группировка по минеральному составу (содержанию кварца) образцов рыхлого кластического материала, слагающего массив Сарыкум и хр. Нарат-Тюбе (положение точек см. рис. 1)

Минеральная группа*	Подгруппы по содержанию кварца, %	Номера точек
Кварцевый песок	100–99	52, 53
	99–97	1, 17, 25, 27, 28
	97–95	4, 7, 11
	95–93	19–21, 23, 32, 38, 51
	93–90	14, 26, 29, 30, 22, 24, 33, 34, 39, 40, 55
Субаркоз	90–80	2, 6, 8, 9, 31, 35–37, 41, 42, 44, 45, 47, 54, 56
	80–70	–
	70–60	46
	60–50	5
Аркоз	50–40	3

Примечание. * – по Г.Ф. Крашенинникову [13].

(перевеянные) пески дюнного сегмента и подстилающие их косослоистые пески Бол. Сарыкума относятся практически нацело к первой группе; пески же бугристо-котловинные и периферийные, отличающиеся, как было сказано ранее, сравнительно более тонким ГМС, принадлежат ко второй подгруппе (табл. 4). Этот факт связан, с одной стороны, с меньшей дефляционной трансформацией ГМС (выдуванием тонких фракций) гипсометрически более низких бугристо-котловинных и периферийных песков, и, с другой стороны, напротив, аккумуляцией этих же самых тонких фракций, вынесенных ветрами из дюнного сегмента Бол. Сарыкума, достаточно хорошо очищенного, таким образом, от сравнительно более тонких примесей. Не исключено, что субаркозовый состав бугристых и периферийных песков мог быть также унаследован от породы – источника денудации. Свою роль здесь, возможно, сыграла и протяженность пути транспортировки материала, в зависимости от дальности которой наблюдается та или иная степень его сортировки. Так, на примере уже рассмотренных ранее темной и светлой пачек песков,

вскрытых в карьере Мал. Сарыкума, можно сделать предварительный генетический вывод: для преимущественно мелкозернистых субаркозовых песков нижней (темной) пачки, являющихся хуже сортированными, возможным источником происхождения являются коренные песчаники, слагающие соседние склоны хр. Нарат-Тюбе, в то время как пески верхней (светлой) пачки, преимущественно среднезернистые, несколько лучше сортированные и с большей долей кварца испытали более длительный путь миграции и, следовательно, сортировки, и могут быть привнесены сюда из верхней и средней частей бассейна р. Шура-Озень, расположенных по другую сторону данного хребта.

3. Рыхлае кластические отложения комплекса Сарыкум являются генетически неоднородными и имеют разные источники формирования. На совокупной по всем образцам диаграмме $D_{cp} - Ku$, построенной для разных категорий сортировки (So) песчаного материала (рис. 6), отчетливо видно обособление самой большой группы точек (образцов) в категории песков очень хорошо сортированных ($So < 1.5$) с величинами $D_{cp} < 500$ мкм (в основном мелко- и среднезернистые пески). Сам факт хорошей сортировки песков этой группы указывает либо на их тесную связь с коренными материнскими породами (изначально хорошо сортированными мелко- и среднезернистыми морскими песчаниками), производными которых эти пески являются, либо на достаточно длительный период самой сортировки (направленная миграция в водном или воздушном потоках, прибрежно-морская сортировка). В этой хорошо отсортированной группе выделяются три подгруппы (*I*, *II* и *III*), различающиеся по величине эксцесса (Ku) ГМС. При этом в каждой подгруппе можно выделить условно опорные (базовые) точки, к которым тяготеют остальные. Если в подгруппе *I* таковыми можно считать коренные песчаники тт. 1 и 51 (менее выражено влияние т. 2 – песчаника Капчугайского ущелья), то в подгруппе *II* – образцы одной из пачек коренных песчаников, вскрытых на Атлы-Боюнском перевале хр. Нарат-Тюбе. Третью подгруппу с самыми высокими значениями Ku образуют как рыхлае пески бугристой зоны (тт. 44 и 49), так и косослоистые пески основания Бол. Сарыкума (тт. 19 и 21). Большие величины эксцесса при одинаковой средней размерности частиц могут быть связаны с достаточно динамичной средой их седиментации, в которой происходит жесткое разделение гранулометрических элементов по фракциям, и наиболее резкое обособление узкого участка ГМС-спектра, седиментация частиц которого наилучшим образом соответствует условиям этой среды. Следовательно, можно предположить,

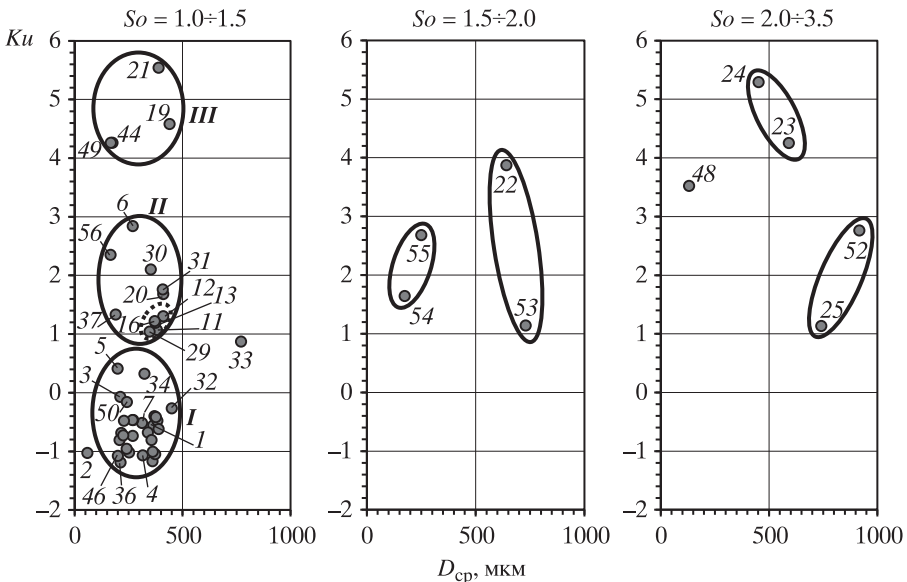


Рис. 6. Соотношения средневзвешенных диаметров гранулометрических элементов (D_{cp}) и величин эксцесса (Ku) их ГМС-распределения по категориям сортировки (So , по [5]) для всех анализируемых образцов комплекса Сарыкум и его окрестностей

что рыхлые пески указанных выше трех подгрупп формировались в различных динамических условиях. Напротив, рыхлые пески Сарыкума, попадающие в категории хорошо- ($So = 1.5 \div 2.0$) и среднесортированных ($So = 2.0 \div 3.5$) песков – тт. 22–25 (рис. 6), имеют худшую сортировку (при относительно высоких значениях Ku), унаследованную от хорошо- (т. 53) и среднесортированных (т. 52) коренных песчаников⁹, прямыми продуктами которых они и являются. И, скорее всего, степень их слабой сортировки связана с непродолжительной миграцией на пути от источника их денудации до области аккумуляции¹⁰. Иными словами, эти пески могли быть отложены либо в предгорных пролювиальных шлейфах у внешнего подножия склона хр. Нарат-Тюбе, либо как продукты речной седиментации в условиях относительно динамичного потока, чья гидродинамика и транспортирующая способность не благоприятствовали улучшению сортировки наносов ($D_{cp} \approx 500$ мкм и более). На всех остальных диаграммах связи коэффициентов (рис. 7) видно устойчивое обособление групп точек, явно имеющих генетическое родство и/или общие специфические условия седиментации этих песков, на которые необходимо обратить особое внимание. Так, на $Sk-Ku$ диаграмме отчетливо выделяется главная последовательность степенной формы связи этих коэффициентов, от которой обособляются все те же точки (22–25, 33 и др.). Аналогичное обособление видно и на $So-D_{cp}$ - и $Mo-D_{cp}$ -диаграммах. Однако важно помнить, что диаграммы гранулометрических коэффициентов сами по себе являются малоинформативными вне анализа песков по родственным группам, выделяемым, в том числе, на основе модального распределения ГМС.

Источники золотых песков дюнного сегмента Бол. Сарыкума. Все отобранные образцы песка с поверхности дюн Бол. Сарыкума (тт. 10–18, 25–32), переработанные эоловыми процессами, имеют модальные величины ГМС $Mo = 352$ мкм. Следовательно, единым источником их поступления в эту область могли быть коренные песчаники со сходным модальным распределением. Близлежащими песчаниками, напрямую открывающимися к этой части Сарыкума, является пачка, слагающая внешний склон хр. Нарат-Тюбе и обнажающаяся в 2.5 км южнее исследуемого массива (образец т. 52). Но участвуют ли продукты денудации этих песчаников напрямую в формировании дюнных песков? На рис. 8 на $So-Sk$ -, $So-Ku$ - и $Sk-Ku$ -диаграммах видно, что песчаники т. 52, несмотря на общую модальность¹¹, заметно отличаются от рыхлых эоловых песков поверхности дюн. Единственной рыхлой толщей Бол. Сарыкума, тесно связанной с этими песчаниками, являются косослоистые пески, обнажающиеся у северного подножия дюны “С” (т. 25). При сопоставлении кривых ГМС образцов тт. 25 и 52 видна их высокая сходимость при значениях зернистости менее 1500 мкм, и сравнительно слабая – выше этой величины (рис. 8). Отсюда можно предположить, что косослоистые пески (т. 25) в одном из участков основания дюнного комплекса – это в том числе продукты денудации песчаников данной пачки хр. Нарат-Тюбе, аккумулярованные здесь в виде пролювиального шлейфа (его периферийная часть?). Их слабая сортировка была, скорее всего, унаследована от коренных песчаников, и относительно непротяженный путь миграции (первые километры) этих наносов не способствовал ее улучшению. Сортировка здесь наиболее заметно проявилась лишь в грубозернистой фракции: по мере перемещения наносов весьма ощутимая доля грубого песка осела на пути миграции (преимущественно у подножия склона), не достигнув области современного дюнного комплекса, что сказалось и на общем уменьшении средневзвешенного диаметра частиц

⁹ Крупный средневзвешенный диаметр их ГМС при достаточно хорошей сортировке указывает на прибрежно-морской генезис этих образований, в значительной мере очищенных от мелких зерен.

¹⁰ Образец песков т. 48, отобранный в днище небольшой балки на внешнем склоне хр. Нарат-Тюбе, также характеризуется несортированностью, что, впрочем, свойственно аллювию балочного типа.

¹¹ В реальности проба т. 52 имеет модуль распределения $Mo = 2000$ мкм, хотя с резко выраженным вторым максимумом в $Mo = 352$ мкм, что можно рассматривать как определенный репер при генетических реконструкциях.

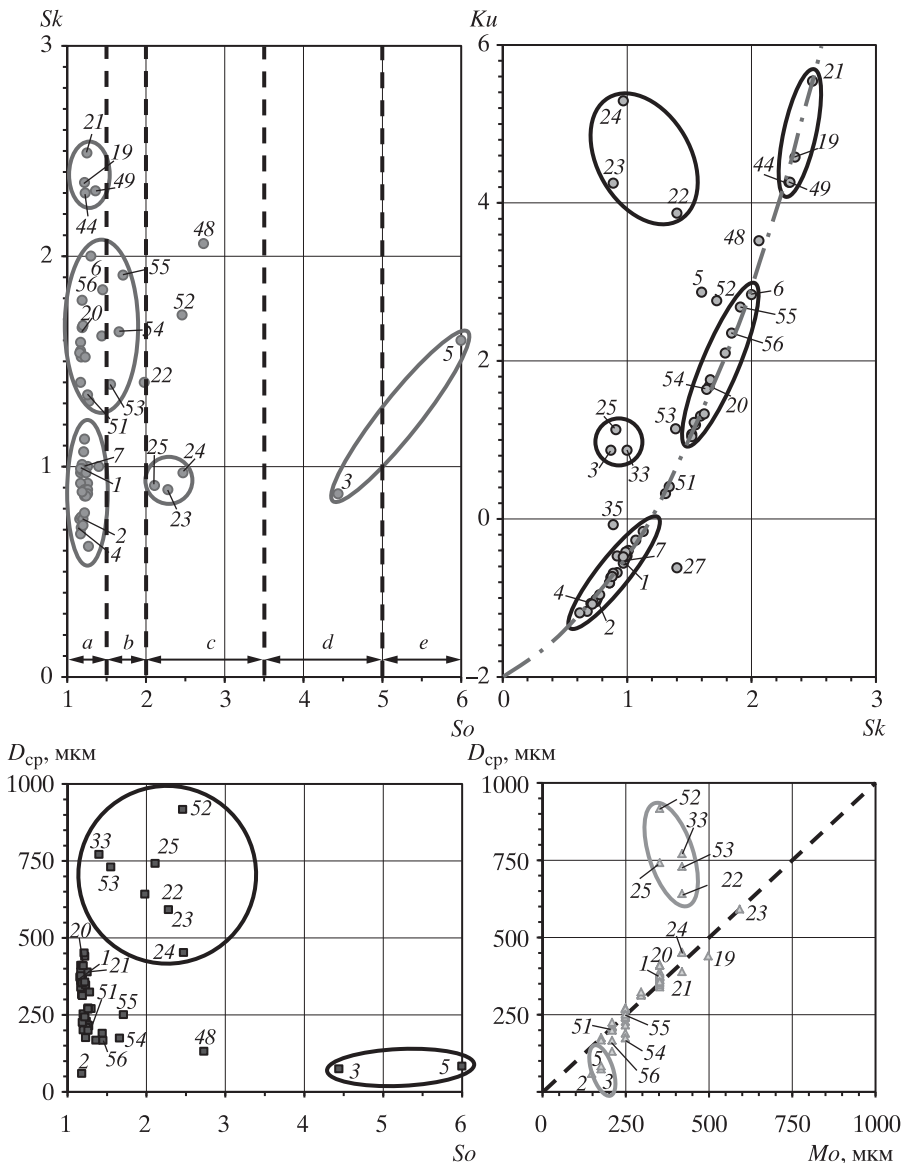


Рис. 7. Соотношения гранулометрических коэффициентов для всех анализируемых образцов комплекса Сарыкум и его окрестностей; интервалы (категории) сортировки ГМС (по [5]): очень хорошая (а), хорошая (б), средняя (с), плохо сортированные (д) и несортированные (е)

песчаной фракции т. 25 (рис. 8). В минеральном же составе песков этой точки появляются следы альбита и кальцита, отсутствующих в песках т. 52. Увеличение эксцесса фракции 200–500 мкм в т. 25 должно указывать на сортировку материала во все еще достаточно активном поверхностном водном потоке, способном на транспортировку и последующую аккумуляцию грубозернистой фракции песка.

Светлые (т. н. палевые) песчаники (т. 1), выходящие на поверхность по другую от Сарыкума сторону хр. Нарат-Тюбе в днище долины р. Шура-Озень выше Капчугайского ущелья (в 1.5–2 км на ЮЗ), полностью подходят на роль источников песков, слагающих поверхность дюн Сарыкума. В табл. 5 видна почти 100%-ная корреляция гранулометрического состава этих песчаников и дюнных песков Сарыкума. Наносами,

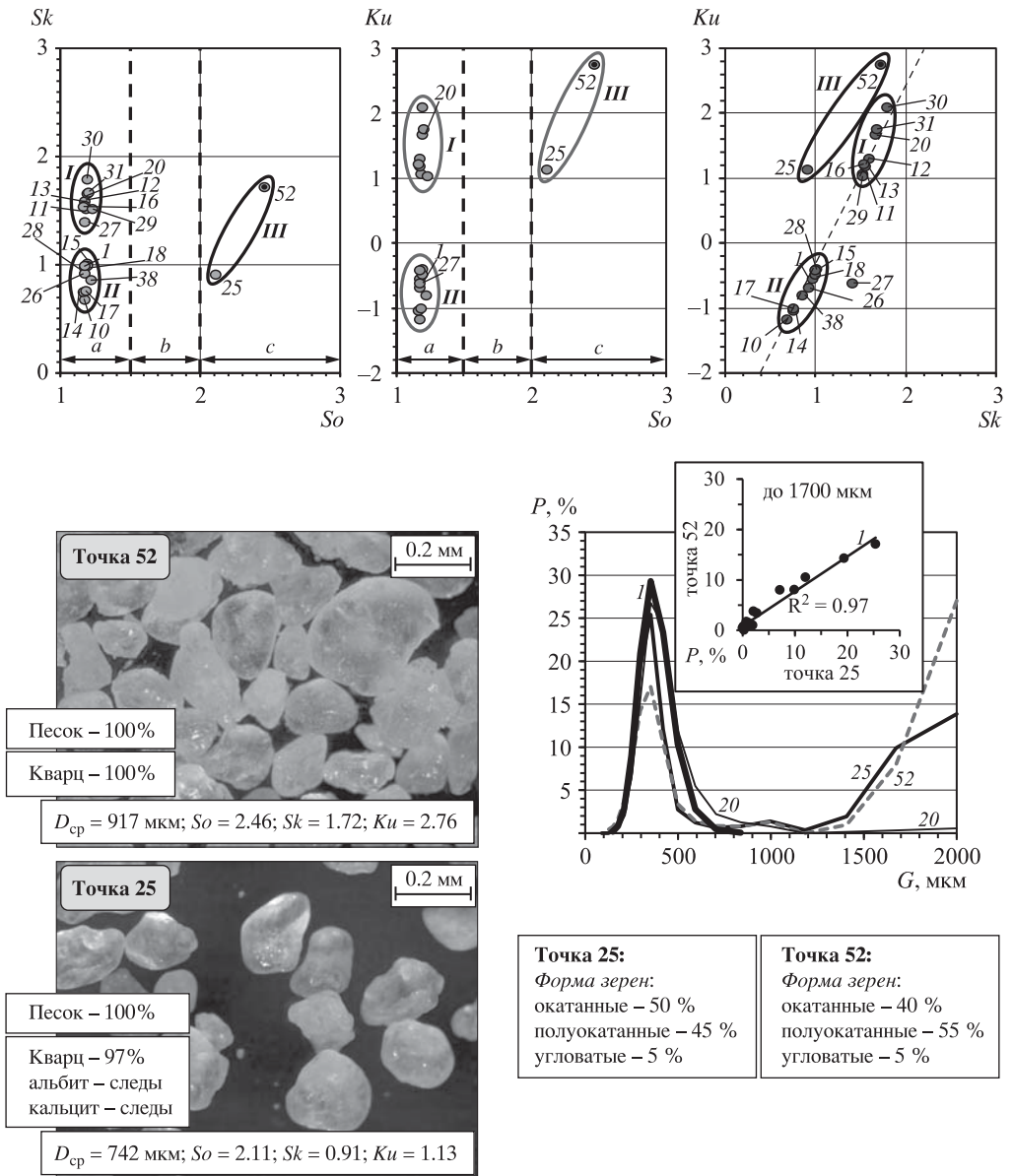


Рис. 8. Соотношения гранулометрических характеристик по всем образцам с $Mo = 352$ мкм (вверху) и сопоставление этих характеристик и минерального состава, кривых распределения частот ГМС (P , %) и коэффициентов их взаимной корреляции по образцам тт. 25 и 52 комплекса Сарыкум и его окрестностей (внизу) l – линейный тренд, R^2 – коэффициент аппроксимации линейного тренда, G – размерность ГМС. Остальные усл. обозначения см. рис. 7

из которых собственно и образовались перевеянные пески дюн, явились описанные ранее косослоистые пески т. 20 (рис. 2) – самые верхние из обнажающихся слоистых песков в пределах Бол. Сарыкума. Корреляция их ГМС с таковым дюнных песков также близка к 100% (табл. 5). На рис. 9 в качестве примера приведено сравнение гранулометрического и минерального составов этих песчаников с таковыми дюнных песков т. 28, наиболее близких к ним по свойствам. В процессе последующей ветровой переработки продуктов денудации и, вероятно, дельтового перееотложения этих палевых

Коэффициенты линейной корреляции гранулометрических спектров образцов с $M_0 = 352$ мкм массива Сарыкум и его окрестностей (положение точек см. рис. 1)

Номера точек	Номера точек											
	1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	25
1	–	0.98	1.00	0.98	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99	0.98	1.00	0.89
20	0.96	0.96	1.00	0.99	0.98	0.99	0.97	0.98	0.97	0.99	–	0.55
52	0.91	0.96	0.912	0.81	0.47*	0.90	0.96	0.44*	0.95	0.91	0.21**	0.74

Примечание. * – статистически умеренная связь, ** – слабая связь.

$\varphi = 42^\circ 59' 13.11''$ с.ш., $\lambda = 47^\circ 11' 32.91''$ в.д. (по [3])

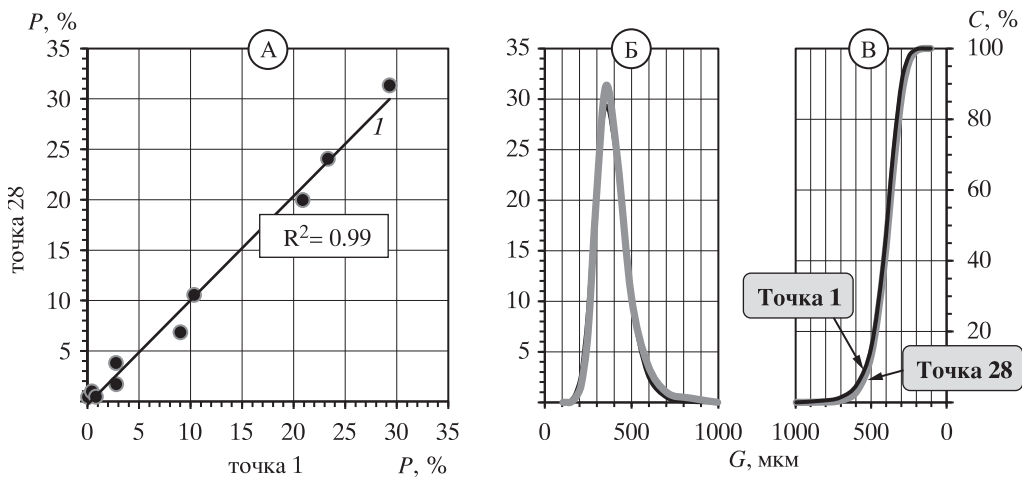
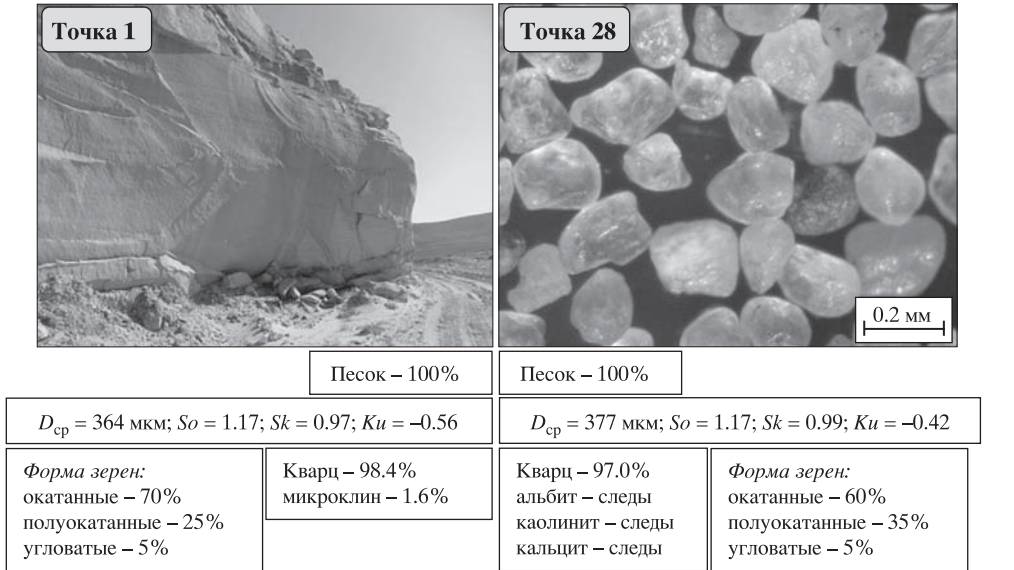


Рис. 9. Коренный песчаник т. 1 (фото автора, июль 2013 г.) и соотношения характеристик гранулометрического и минерального составов для образцов тт. 1 и 28 комплекса Сарыкум и его окрестностей, взаимная корреляция (А), распределение частот ГМС (Б, P, %) и кумулятивные кривые образцов (В)

Усл. обозначения см. рис. 7–8

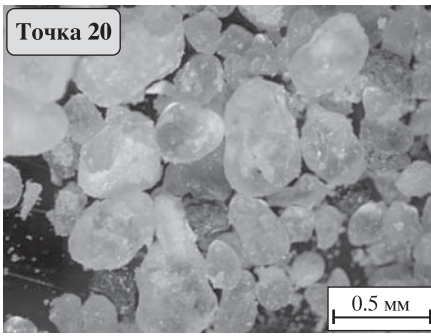
песчаников постепенно укрупнялся средний диаметр их частиц (за счет выноса более тонких продуктов в периферийную область дельты?) и появились признаки образования вторичных минералов (следы глинистых минералов и кальцита)¹². Очевидно также, что сами “палевые” пески и продукты их водного переотложения, образующие изначально слоистые пески т. 20 (также лишенные гравийно-галечного материала), не являются абсолютно идентичными. Переотложение наносов отразилось в различных асимметрии и эксцесса распределения их ГМС (рис. 8). Более высокое положение на диаграммах группы т. 20 по отношению к группе т. 1, особенно по шкале эксцесса Ku , указывает на активное участие транспортирующего потока в дифференциации их свойств. Однако возникает вопрос: почему часть песков донного комплекса тяготеет по своим свойствам к т. 1, а другие – к т. 20? Ответ кроется в особенностях гранулометрического спектра этих песков: в образце т. 20 имеется второй, очень близко расположенный к моде ($Mo = 352$ мкм – 26.8%) максимум распределения (419 мкм – 24.3%, его повторяют переветренные пески дюн (рис. 10)), в то время как для песчаника (т. 1) распределение более симметричное: Mo (352 мкм) – 29.3%, второй максимум распределения (419 мкм) – 24.3%. Увеличение частоты распределения в размерности 419 мкм у косослоистых песков т. 20 может быть связано с дополнительным поступлением более грубых наносов (в т. ч. и с той же модой) в дельту со стороны временных водотоков, размывающих внешние и внутренние склоны хр. Нарат-Тюбе. Это как раз заметно (см. рис. 8) по длинному грубозернистому “хвосту” песков т. 20 (небольшой привнос крупно- и грубозернистых фракций песка – до 1%). Источниками их могут быть песчаники (обр. т. 53) как раз с $Mo = 419$ мкм (табл. 2). Именно разной комбинацией наносов, образованных смешением продуктов денудации палевых песков, привносимых сюда из бассейна р. Шура-Озень, и частичного их “разбавления” склоновыми наносами хр. Нарат-Тюбе, сформировались разные фации песков Сарыкума, из которых впоследствии образовались несколько различающиеся по гранулометрическим распределениям пески дюн Бол. Сарыкума.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод: основным источником песков, ныне образующих эоловую “покрышку” Бол. Сарыкума, являются т. н. палевые или генетически близкие к ним разновидности песчаников, вскрываемые в разных частях Буйнакской котловины (выше Капчугайского ущелья, в районе г. Буйнакск и т. д.), и изначальный генезис песков верхней толщи Бол. Сарыкума (т. 20 и выше) – дельтовый (продукты дельтовой седиментации пра-Шура-Озень)¹³. Образование их как исключительно продуктов денудации песчаников внешних склонов хр. Нарат-Тюбе не подтверждается фактическим материалом.

Источники косослоистых песков, залегающих в основании эоловых песков дюнного сегмента Бол. Сарыкума. Косослоистые пески, образующие основание (внутренний остов) донного комплекса Бол. Сарыкума (т. 21–24, 32 и 33), также имеют гетерогенное происхождение. При модальном родстве косослоистых песков этой толщи пути их поступления различались. Одни пачки этих песков – продукты смыва песчаников непосредственно со склонов хр. Нарат-Тюбе, другие, по всей видимости, – продукты позднеплейстоценовой речной седиментации, поступившие из бассейна р. Шура-Озень выше Капчугайского ущелья. Это хорошо видно на рис. 11. Здесь реперной точкой являются песчаники внешней (нижней по склону) пачки хр. Нарат-Тюбе (т. 53), куэстообразно обращенные к Терско-Сулакской равнине, кривая распределения ГМС которых позволяет в толще косослоистых песков Сарыкума обособить две группы. В первой из них (т. 33 и, особенно, т. 22) косослоистые пески – это преимущественно продукты

¹² Не исключено, что под толщей эоловых песков, поверх пачки т. 20, могут залежать фации ныне не обнажающихся песчаных генераций, более близких по своим характеристикам к пескам эоловой “покрышки” дюн Бол. Сарыкума.

¹³ Согласно [7], учитывая соотношения коэффициентов Sk и Ku (рис. 10), песчаный материал генетически можно отнести к фациям широких устьев рек, прибрежных мелководий или пляжей.

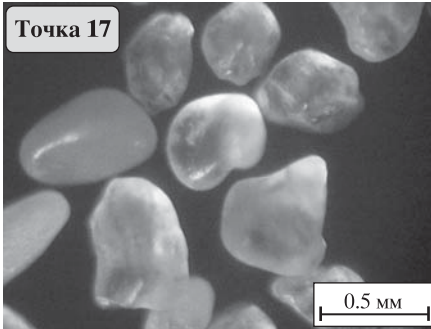


Точка 20

$D_{cp} = 411 \text{ мкм}; S_o = 1.19; S_k = 1.66; K_u = 1.68$

Форма зерен:
окатанные – 45%
полуокатанные – 50%
угловатые – 5%

Кварц – 93.0%
мусковит – 3.0%
альбит – следы
каолинит – следы
кальцит – следы
доломит – следы

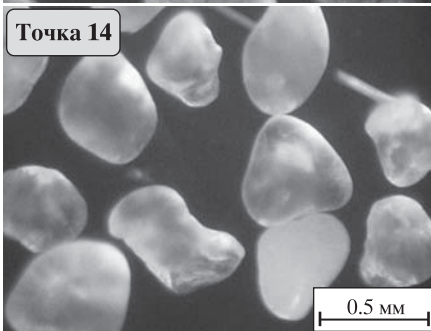


Точка 17

$D_{cp} = 363 \text{ мкм}; S_o = 1.18; S_k = 0.76; K_u = -1.01$

Форма зерен:
окатанные – 40%
полуокатанные – 55%
угловатые – 5%

Кварц – 97.2%
кальцит – 1.6%
альбит – 1.2%



Точка 14

$D_{cp} = 374 \text{ мкм}; S_o = 1.16; S_k = 0.75; K_u = -1.05$

Форма зерен:
окатанные – 30%
полуокатанные – 65%
угловатые – 5%

Кварц – 91.5%
мусковит – 3.4%
альбит – 2.1%
клинохлор – 1.9%
кальцит – 1.1%

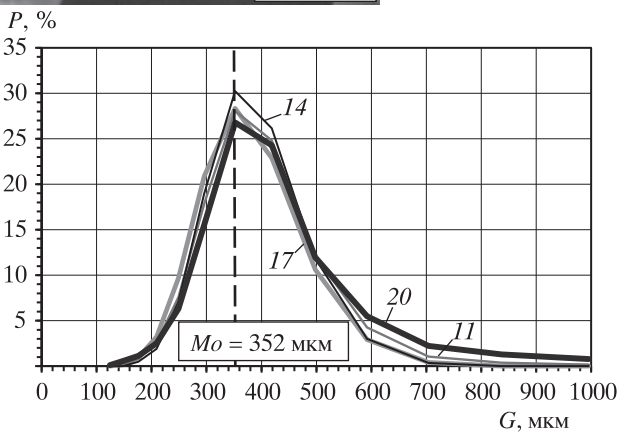


Рис. 10. Соотношения характеристик гранулометрического и минерального составов образцов тт. 14, 17 и 20, а также сопоставление кривых распределения частот ГМС (P , %) образцов с $M_o = 352 \text{ мкм}$ по доне "А" (тт. 11, 14 и 17 – средние части склонов) и в т. 20 комплекса Сарыкум; G – размерность ГМС

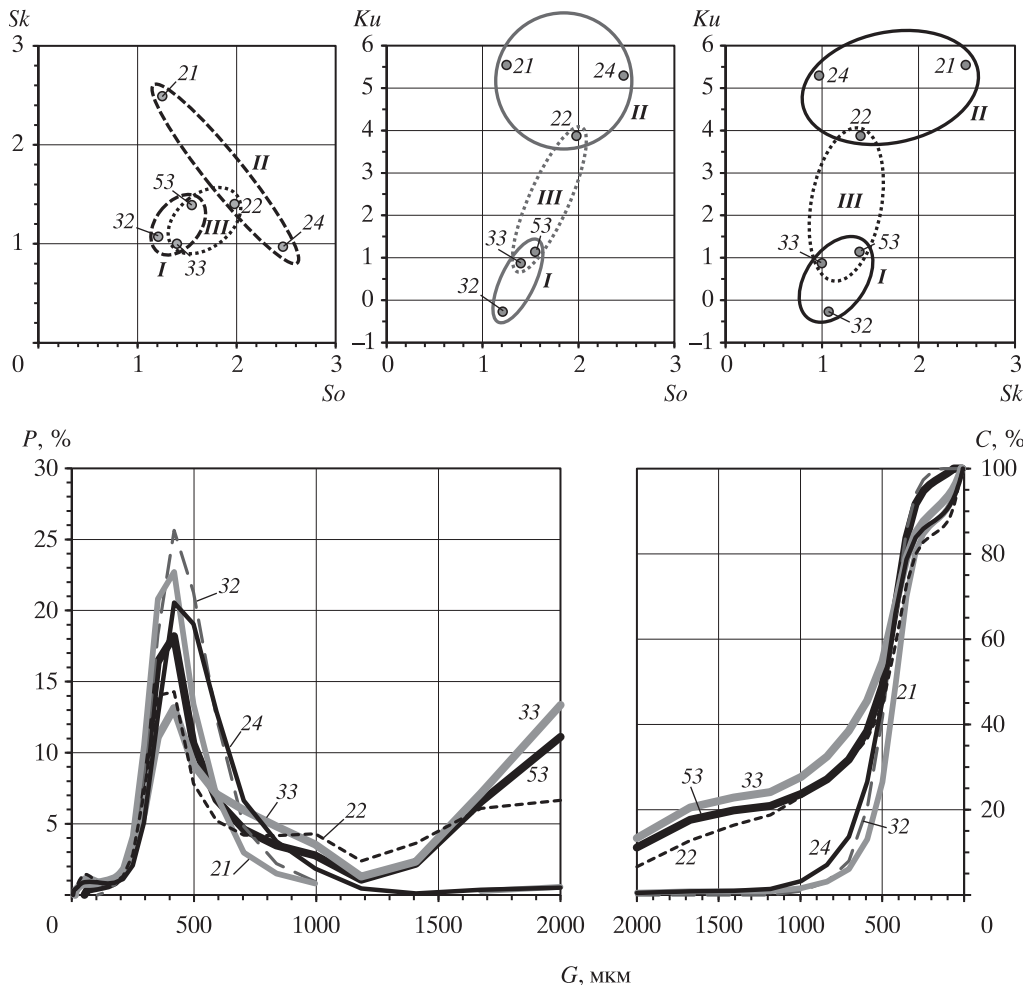


Рис. 11. Соотношения гранулометрических характеристик, кривых частотного ($P, \%$) и кумулятивного ($C, \%$) распределений ГМС для всех образцов песков с $M_o = 419$ мкм комплекса Сарыкум и его окрестностей; G – размерность ГМС

непосредственного смыва со склона Нарат-Тюбе, ибо кривые их ГМС распределения графически либо практически полностью повторяют, либо очень близки (коэффициенты корреляции по всему гранулометрическому спектру – выше 95%) (табл. 6) к распределению ГМС в отмеченных песчаниках (т. 53). Слабая трансформация их спектров – это, по всей видимости, следствие относительно короткой дистанции их миграции. Причем заметно некоторое снижение в кослоистых песках доли гранулометрических элементов в диапазоне менее 300–500 мкм, но увеличение их (т. 33) в диапазоне грубозернистых песков (для т. 22 характерно некоторое увеличение доли гранулометрических элементов в диапазоне 1000–1500 мкм).

Вторая группа (тт. 21, 24 и 32) также имеет весьма хорошую корреляцию (табл. 6) в области распределения частиц размером менее 1200 мкм (хотя и несколько худшую, чем в первой группе), но отличается весьма резко выраженным дефицитом гранулометрических элементов в области грубозернистой части песчаного спектра по сравнению с реперными песчаниками – т. 53 (рис. 11). Данный факт указывает на лучшую сортировку песка в направлении от области денудации до области их накопления, которая выразилась в потере грубозернистой фракции песчаных наносов на пути их миграции.

Коэффициенты линейной корреляции гранулометрических спектров образцов с $M_0 = 419$ мкм массива Сарыкум и его окрестностей (положение точек см. рис. 1)

Номера точек	D_{cp} , мкм	Номера точек				
		22	24	32	33	53
21	389	0.90	0.90	0.94	0.72	0.87
22	642	–	0.81	0.90	0.92	0.98
24	452		–	0.98	0.73	0.79
32	451			–	0.95	0.95
33	771				–	0.95
53	730					–

Следовательно, пески этой группы – продукты более длительной транспортировки (продуктами речного их перемещения из бассейна р. Шура-Озень, где вскрыты денудацией те же пачки песчаников). Менее вероятен сценарий, при котором они являются продуктами местного пролювиального смыва сравнительно маломощным поверхностным стоком, в процессе которого со склонов мог быть вынесен и аккумулярован в донной области современного Сарыкума лишь наиболее тонкий материал, отделенный от более грубого, который отложился на склонах и у подножия хр. Нарат-Тюбе. В пользу первого варианта говорит наличие в дефляционных котловинах, где вскрываются эти пески, россыпей гравийно-галечного материала, чья хорошая окатанность вряд ли свидетельствует о пролювиальной аккумуляции относительно непротяженным временным водотоком, и указывает скорее на работу речного потока (если только эти гравий и галька не являются продуктами местного переотложения материала морских террас Каспия).

Что касается рассмотренных в первой части нашей статьи гравийно-галечных кослоистых песков т. 19 с $M_0 = 498$ мкм ($\approx 24\%$), то в них хорошо просматривается второй пик ГМС – 419 мкм, который совпадает с модой вышеописанных песчаников (т. 53). Другой проблемной толщей в сарыкумском массиве являются пески т. 23, выделяющиеся достаточно грубым составом, спектр которого имеет два пика: первый (уникальный в сарыкумском массиве) – $M_0 = 592$ мкм ($P = 17.8\%$), второй пик – 837 мкм (16.5%) и разделяющая их “седловина” ГМС-спектра в 704 мкм (16.3%).

Источники песков бугристо-западных и периферийных участков комплекса Сарыкум. Как было показано ранее (рис. 5) эти пески характеризуются сложным (слоистым) строением. Так, их нижние пачки (с $M_0 = 176, 209$, а также 249 мкм) – т. н. темные пески, вскрытые в карьере Мал. Сарыкума (рис. 4), имеют здесь, предположительно, делювиальное (делювиально-пролювиальное) происхождение, являясь продуктами денудации внешнего склона хр. Нарат-Тюбе, которые широким шлейфом аккумулярованы у его подножия в зоне Сарыкума. Генетическое их родство с одной из пачек песчаников хребта просматривается по гранулометрическому и минеральному составам (рис. 12 и 13): пески тт. 37 и 39, имеющие $M_0 = 249$ мкм, являются окраинами такого гипотетического шлейфа, где наносы потеряли значительную часть минеральных частиц крупно- и грубозернистой части ГМС-спектра по мере движения их из области денудации (склон хребта Нарат-Тюбе, т. 54 и т. 55), хотя в остальной части ГМС-спектра идентичность этих продуктов аккумуляции с коренными песчаниками хребта более чем очевидна (коэффициент корреляции свыше 0.95). При этом в образцах песка тт. 37 и 39 отмечается даже увеличение концентрации частиц размерностью 100–300 и 150–350 мкм соответственно (рис. 12, 13). Считаем, что так называемые темные пески в карьере Мал. Сарыкума – это лишь одно из аккумулятивных звеньев в этой денудационно-аккумулятивной цепи: здесь все еще сохраняются те грубозернистые фракции песка, что свойственны песчаникам хр. Нарат-Тюбе (тт. 54 и 55), но уже с резко выраженным их дефицитом (не более 1%) (рис. 13). В направлении от области денудации (склоны) к зоне периферийных песков Сарыкума происходит также истирание мало-

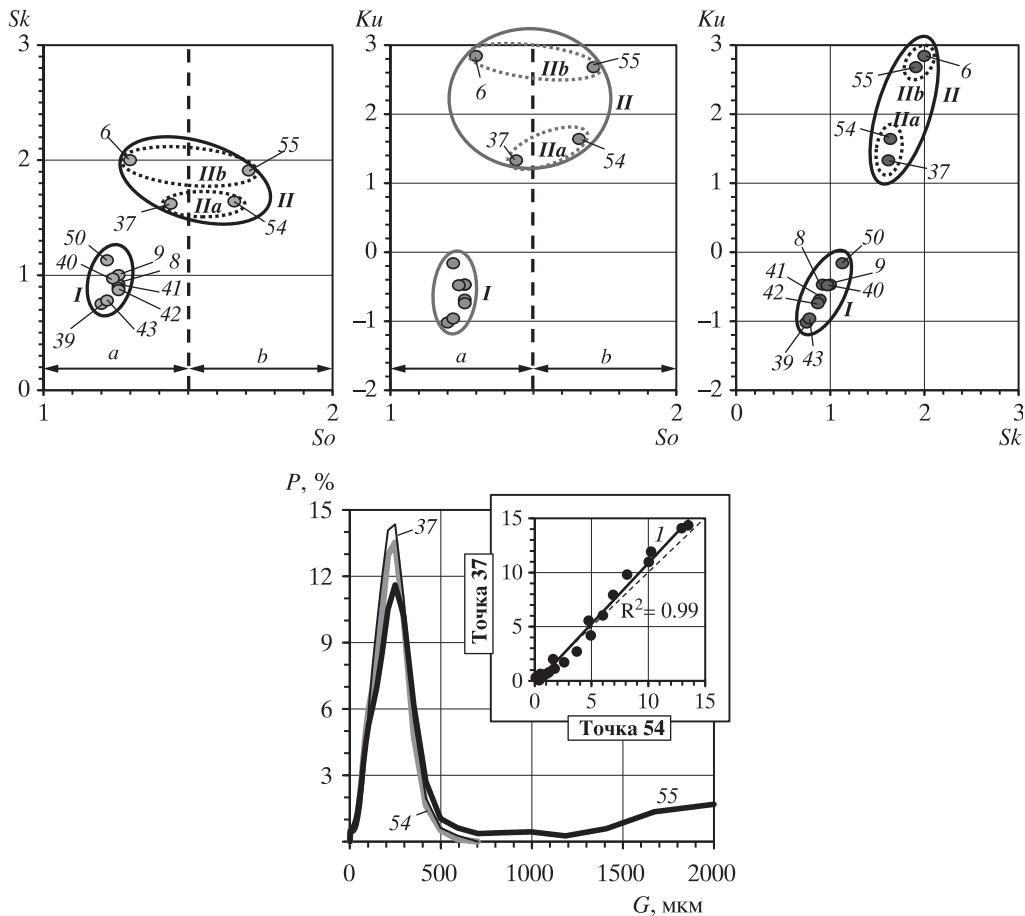


Рис. 12. Соотношения гранулометрических характеристик для всех образцов песков с $Mo = 249$ мкм (вверху), кривых распределения частот ГМС (внизу) и их взаимной корреляции для образцов тт. 37 и 54 комплекса Сарыкум и его окрестностей. Усл. обозначения см. рис. 7–8

устойчивых минералов, постепенное возрастание доли кварца и некоторое ухудшение окатанности (табл. 7). В делювиальном (делювиально-пролювиальном) потоке, формировавшем эти шлейфы, возрастала и доля частиц с угловатыми поверхностями. В отложениях, вскрытых в карьере Мал. Сарыкума, в толще этих песков встречаются прослой цементированного гравийного материала (см. [2, рис. 7]). Темные пески Мал. Сарыкума фашиально очень изменчивы, о чем свидетельствуют заметные различия в гранулометрических коэффициентах образцов т. 6 и т. 8, отобранных в карьере на расстоянии не более 0.3 км. Согласно этой гипотезе, формирование делювиального шлейфа с $Mo = 249$ мкм (тт. 6, 39 и др.) происходило до заложения долины р. Шура-Озень.

Лежащая поверх них пачка т. н. светлых песков, напротив, имеет ограниченную область распространения (рис. 1) и весьма редкую модальную величину гранулометрического спектра ($Mo = 296$ мкм), которая не характерна для песчаников внешнего склона хр. Нарат-Тюбе. Следовательно, пески этой пачки для комплекса Сарыкум чуждые, привнесенные извне (из бассейна р. Шура-Озень), и имеют речное (вероятно дельтовое) происхождение. На такую мысль, в частности, наводит факт почти тождественного гранулометрического состава песков этой пачки с песками из т. 4, которые потенциально можно считать вершиной этой большой дельты пра-Шура-Озень (рис. 14).

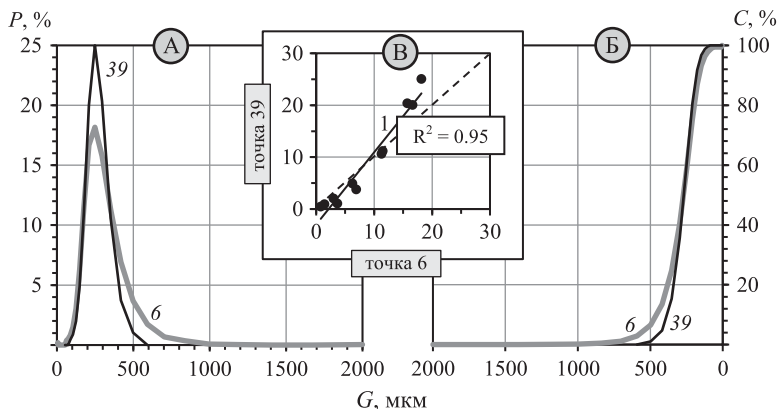
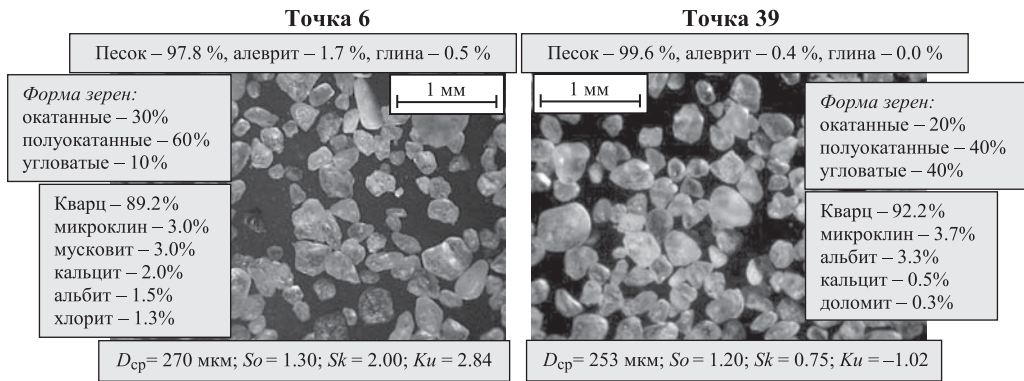


Рис. 13. Соотношения характеристик гранулометрического и минерального составов образцов песков тт. 6 и 39 с $M_o = 249$ мкм комплекса Сарыкум

А – частотные и Б – кумулятивные кривые распределения ГМС, В – диаграмма корреляции частот распределения ($P, \%$). Остальные усл. обозначения см. рис. 8

Таблица 7

Сравнительная характеристика гранулометрического и минерального составов образцов песков комплекса Сарыкум (т. 37) и песчаников хр. Нарат-Тюбе (тт. 54 и 55) с $M_o = 249$ мкм (см. рис. 12)

Характеристики		Номера образцов		
		37	54	55
Гранулометрический состав, %	песок	83.4	75.0	74.7
	алеврит	13.9	19.9	19.8
	глина	2.7	5.1	5.5
Гранулометрические коэффициенты	D_{cp} , мкм	190	174	251
	So	1.44	1.66	1.71
	Sk	1.62	1.64	1.91
	Ku	1.33	1.64	2.68
Форма зерен, %	окатанные	10	20	20
	полуокатанные	70	40	70
	угловатые	20	40	10
Минеральный состав, %	кварц	87.1	83.0	80.0
	альбит	3.3	4.0	7.0
	мусковит	4.3	9.0	6.0
	микроклин	3.4	–	3.0
	каолинит	–	4.0	4.0
	клинохлор	1.9	–	–

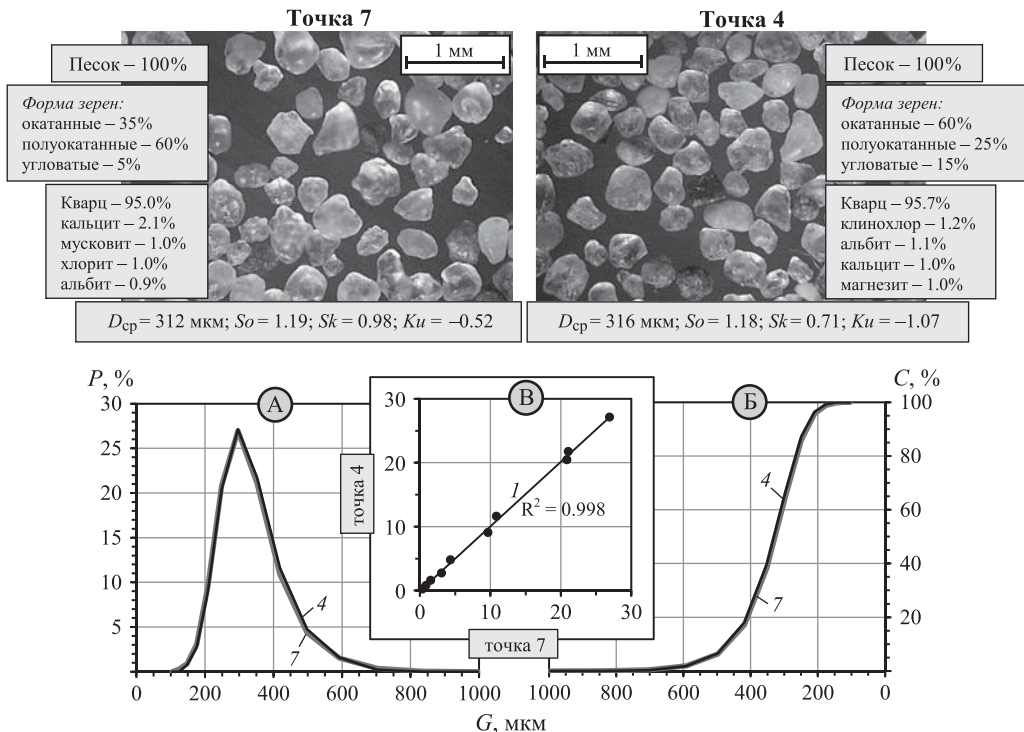


Рис. 14. Соотношения характеристик гранулометрического и минерального составов образцов песков т. 4 и 7 с $M_o = 296 \text{ мкм}$ комплекса Сарыкум
А – частотные и Б – кумулятивные кривые распределения ГМС, В – диаграмма корреляции частот распределения ($P, \%$). Остальные усл. обозначения см. рис. 7–8

Именно здесь, в отличие от светлых песков в карьере Мал. Сарыкума, имеется в обилии гравий и даже не крупная среднеокатанная галька, отложенные с песками до растекания дельтовых потоков пра-Шура-Озень по равнине, когда их транспортирующая способность уже была недостаточной для перемещения столь грубого материала в восточную область современного Сарыкума (Мал. Сарыкум), т.е. направление миграции осадков шло с запада на восток. О том, что эти пески могут встречаться под всем Бол. Сарыкумом в виде косослоистых образований, свидетельствует образец т. 34 с той же модальной величиной и с гравием. Все указанные песчаные пачки с поверхности были в последующем перевезены на разную глубину с образованием на них форм бугристо-котловинного эолового рельефа.

4. Под массивом Мал. Сарыкум предполагается наличие более древних эрозионных врезов, в настоящее время заполненных рыхлыми отложениями. Заполненные эрозионные врезы боковой вражно-балочной сети пра-Шура-Озень прослеживаются вдоль современного правого борта долины реки. Анализ состава материала-заполнителя этих врезов, отобранного в т. 5 непосредственно на борту долины под карьером Мал. Сарыкума, показывает их крайне плохую сортировку, глинисто-алевритово-песчаный слабосцементированный состав и сравнительно малое содержание кварца, что резко контрастирует с остальными вышележающими песками массива. Отложения эти в Сарыкумском массиве уникальны и являются, на наш взгляд, привнесенными из бассейна р. Шура-Озень. Данный вывод неоднозначен, но мы обнаружили следы почти сходных по составу песков на одном из останцов высокой (эрозионной?) террасы в Капчугайском ущелье (т. 3), хотя возрастное единство этих генераций не доказано. Отмечается лишь хорошее сходство их гранулометрического и минерального составов (рис. 15). Обращает

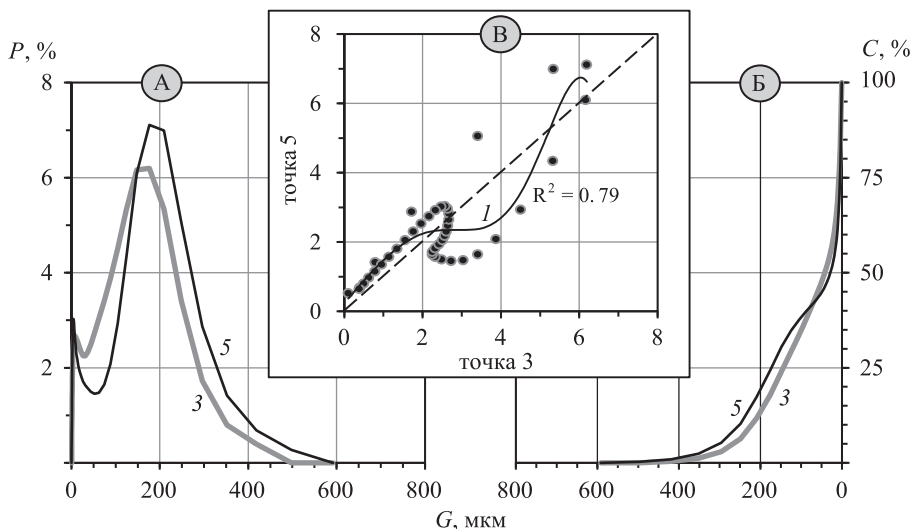


Рис. 15. А – частотные и Б – кумулятивные кривые распределения ГМС, В – диаграмма корреляции частот распределения (P , %) песков окрестностей комплекса Сарыкум в тт. 3 и 5 с $M_o = 176$ мкм
 I – линия полиномиального тренда 6-й степени. Остальные усл. обозначения см. рис. 7–8

Таблица 8

Сравнительная характеристика гранулометрического и минерального составов образцов песков окрестностей Сарыкума (тт. 3 и 5) с $M_o = 176$ мкм (см. рис. 15)

Характеристики		Номера образцов	
		3	5
Гранулометрический состав, %	песок	33.9	37.7
	алеврит	34.8	23.4
	глина	31.3	38.9
Гранулометрические коэффициенты	D_{cp} , мкм	76	84
	So	4.44	6.01
	Sk	0.87	1.60
	Ku	0.87	2.87
Форма зерен, %	окатанные	10	10
	полуокатанные	40	80
	угловатые	50	10
Минеральный состав, %	кварц	49	57
	альбит	5	11
	мусковит	4	15
	микроклин	38	5
	каолинит	следы	5
	хлорит	следы	4
	кальцит	–	3

на себя внимание также меньшее содержание кварца и большее количество зерен микроклина в т. 3 по сравнению с т. 5, а также лучшая степень окатанности частиц песков т. 5 и присутствие небольшого количества кальцита (табл. 8). Согласно В.С. Верещагиной [15], пониженное содержание устойчивых минералов (кварца, ильменита и пр.) при повышенной доле неустойчивых (амфиболы, полевые шпаты (в т. ч. микроклин)) в аллювиальных отложениях указывает на ледниковые условия их образования. По

соотношению кварц/микроклин (табл. 8) этим условиям в большей мере соответствует песок в т. 3, т. е. его можно рассматривать как фрагмент древнего перигляциального аллювия р. Шура-Озень¹⁴. Более того, в песках т. 5 фиксируется присутствие большого количества среднеокатанной мелкой гальки (гравия), не характерной для т. 3, что указывает, скорее всего, на аллювиально-пролювиальный характер (привнос грубого материала боковым притоком пра-Шура-Озень) отложений материала т. 5. Описанные выше равномодалные им ($M_o = 176$ мкм) пески т. 44, вскрытые в нижней части стенки северо-западного карьера Сарыкума (рис. 1), имеют куда более сортированный состав ($S_o = 1.23$), что позволяет отнести их к категории песков чистых (по классификации [4]), а также в них заметно большее содержание кварца (около 82% (рис. 5)) и более выраженный эксцесс распределения ($K_u = 4.26$), что указывает на иную динамическую среду (предположительно делювиальную) и источники их формирования.

Обсуждение

Все вышеизложенное, включая нашу работу [2], обобщим следующим образом.

1. Центральное ядро массива Сарыкум, локализованное под его дюнно-грядовым сегментом, сложено наиболее грубым песчаным материалом с включением гравия и мелкой гальки, который к периферии, однако, утончается, теряя гравийно-галечный материал. Чем данное распределение ГМС обусловлено? Если рассматривать его с позиции эоловой гипотезы формирования песков Сарыкума, согласно которой их образование происходило путем выветривания и последующего развевания ветрами разных направлений местных песчаников и морских каспийских террас вне отрыва от формирования рельефа массива, то каким образом наиболее крупный и, соответственно, более тяжелый ГМС оказался у песков именно в центре сарыкумского комплекса? Один из коллективов исследователей Сарыкума [16] предположил, что повышение высот песков Бол. Сарыкума в сторону хр. Нарат-Тюбе связано с ветровым надуванием песчаного материала на его склон или даже на гипотетический выступ коренных песчаников среди морских террасовых отложений, якобы имеющийся под современными дюнами. Согласно такой гипотезе, здесь, в центральном сегменте Сарыкума, можно было бы ожидать как раз наиболее тонкий материал, периферийно оконтуренный материалом более грубым, без тонких примесей. Наличие же гравийно-галечного материала в песках под дюнами вообще делает эту гипотезу ничтожно вероятной. Да, ветер принимал участие в указанном выше перераспределении ГМС, усиливая его через вынос из дюнно-грядового сегмента тонкого материала на периферию при формировании дюнных, грядовых и бугристо-котловинных песков. Мы даже можем видеть небольшие чехлы навейного на подножиях склонов хр. Нарат-Тюбе негрубого песка (западнее Бол. Сарыкума). Более того, благодаря развеваящей работе воздушных потоков, современный массив Сарыкум (область песчаной аккумуляции) стал больше по площади. Тем не менее ветровая дефляция и аккумуляция не явились главной причиной этого распределения ГМС, при котором, что важно отметить, общее утончение материала происходит в том же направлении, что и уменьшение абс. отметок высоких террас Каспия (на которых, собственно, и залегает комплекс) – от подножия хр. Нарат-Тюбе и Капчугайского ущелья веерообразно на СЗ, С, СВ и В. И такое распределение ГМС могли создать только радиально расходящиеся от “ядра” Сарыкума водные потоки.

2. Какова была природа этих потоков? Расположение Сарыкума у выхода р. Шура-Озень из Капчугайского ущелья ясно говорит, что без ее участия данный массив не образовался бы в принципе. Но, с другой стороны, столь близкое расположение его у подножия хр. Нарат-Тюбе не могло также не сказаться на фациальном разнообразии материала, слагающего массив, ибо мы видим вдоль всего подножия хребта достаточно мощные

¹⁴ Сходная тенденция соотношения кварца/микроклина зафиксирована в песках т. 46 (см. табл. 3 и рис. 5), что также (помимо наличия глыбового материала) указывает на суровые климатические условия формирования этой толщи песков.

языки делювиально-пролювиальных шлейфов. Следы работы современных и более древних временных водотоков имеются всюду как на внешнем, так и на внутреннем склонах хребта. По данным В.У. Мацапулина с соавторами [16], в песках Сарыкума встречен даже валунный и глыбовый материал, который, однако, эти авторы считают перешедшим из хазарской террасы Каспия в процессе выдувания, хотя в ходе наших исследований мы ни разу не встречали подобных находок под дюнами Сарыкума, но они имеются вблизи подножия хребта, например, в стенке описанного карьера севернее Бол. Сарыкума (рис. 5). В этой связи, исходный материал Сарыкума, который послужил ареной более поздних эоловых рельефообразующих процессов, есть продукт дельтовой стадийной аккумуляции наносов пра-Шура-Озень, в разной степени смешанных с более грубыми и менее сортированными наносами временных водотоков, впадавших в нее, либо напрямую с внешнего склона хребта, либо с его сложно устроенных внутренних склонов.

3. Смещение разных по генезису и составу наносов обусловило сложную пространственную структуру каркаса Сарыкума. Также оно имело, скорее всего, и непростую историю изменения во времени, следуя за определенной стадийностью смены ландшафтно-климатических условий в позднечетвертичное время. Считаем, что данная стадийность как раз и зафиксирована в строении Бол. Сарыкума – от более грубых песков с гравием и галькой (возможно с привнесенными пролювиальными валунами и глыбами) в средней части его вертикального разреза до относительно более тонких фаций песка без гравийно-галечного материала в верхних ярусах его каркаса. Вполне очевидно и то, что свою роль сыграли особенности вертикального строения денудированной песчаниковой толщи, слагающей хр. Нарат-Тюбе. Так, в криогигротическую фазу перигляциала Кавказа, когда поверхностный сток воды мог быть все еще достаточен для эрозионной работы временных водотоков, возрастала роль процессов пролювиальной аккумуляции и разбавления речных осадков более грубым материалом (крупный песок, гравий и галька)¹⁵. В начале криоксеротической фазы с интенсивной плоскостной эрозией усиливалась роль делювиальной аккумуляции (о чем говорят описанные ранее пачки темных песков, вскрываемых в карьере Мал. Сарыкума) и питания реки наносами более тонкого состава¹⁶. К среднему этапу криоксеротической фазы роль делювиального смыва была практически доминирующей в питании реки наносами, приводя к перегрузке ее продуктами плоскостного смыва, сортированными лучше, нежели в предшествующие влажные фазы. Однако это происходило уже на фоне общего подавления интенсивности процесса при усиливавшемся иссушении климата. К концу криоксеротической фазы оледенения и в последующую термксеротическую фазу послеледниковья усиливался (видимо также стадиями) эоловый литоморфогенез, сформировавший основные черты современного облика Сарыкума.

Заключение

На основе гранулометрического и минералогического анализов 59 образцов песков установлено неоднородное строение комплекса. Наиболее грубый песчаный материал ($M_o = 352$ мкм и выше) слагает центральный дюнно-грядовый сегмент Сарыкума (т.н. Большой (Западный) Сарыкум). Чем дальше от дюнных построений к периферии, тем тоньше становится средневзвешенная размерность песчаных частиц и меньше ($M_o = 249$ мкм и ниже) их гранулометрических спектров. В вертикальном строении Сарыкума также выражена неоднородность, которая связана со сменой во времени условий седиментации песка в регионе. Так, дюнный сегмент Бол. Сарыкума можно представить как систему последовательно аккумулярованных пластов (линз?) разных

¹⁵ Встречаемый в косослоистых песках гравийный и галечный материал имеет в большинстве случаев уплощенную и хорошо окатанную форму, указывающую на его формирование (полировку) скорее в водном потоке речного типа, нежели в потоке пролювиальном.

¹⁶ Нижний ярус основания Бол. Сарыкума, равно как и схожие с ним по строению делювиальные(?) пески к северу (см. рис. 5), формировались, по-видимому, в аналогичную ландшафтно-климатическую фазу, но по времени предшествующую вышеописанной криогигротической фазе перигляциала.

по составу и возрасту песков (в т. ч. гравийных), имеющих, по-видимому, наиболее грубый гранулометрический состав в средней части. Материал подавляющего большинства отобранных образцов принадлежит к минеральной группе кварцевых песков (содержание кварца более 90%) и подгруппе кварцевого субаркоза (содержание кварца 80–90%). Причем эоловые (перевейные) пески дюнного сегмента и подстилающие их косослоистые пески Бол. Сарыкума относятся практически целиком к первой группе. Бугристые и периферийные пески, которые характеризуются более тонким гранулометрическим составом, относятся ко второй минералогической подгруппе.

Указанная структура Сарыкума обусловлена сложным сочетанием гравийных песков дельтового происхождения, образованных р. Шура-Озень в позднечетвертичное время, и гравийно-галечных песчаных пролювиальных отложений того же возраста, поступивших на территорию современного массива Сарыкум со склонов соседнего хр. Нарат-Тюбе. Смешение разных по генезису и составу наносов, сформировавших массив, имело непростую историю, следуя за определенной стадийностью смены перигляциальных ландшафтно-климатических условий в позднечетвертичное время.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14–05–00018-а) и при содействии администрации Государственного природного заповедника “Дагестанский” (официальный сайт заповедника – <http://www.dagzapoved.ru>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Майоров А.А.* Эоловая пустыня у подножия Дагестана. Махачкала: Изд-во ДагНИИ, 1927. 116 с.
2. *Гусаров А.В.* Эолово-аккумулятивный комплекс “Сарыкум” – уникальный геоморфологический объект России: история изучения, гипотезы происхождения // *Геоморфология*. 2015. № 2. С. 54–71.
3. ГИС Google Планета Земля (<http://www.google.ru/intl/ru/earth>).
4. *Фролов В.Т.* Литология. М.: Изд-во МГУ, 1993. Т. 2. 432 с.
5. *Япаскерт О.В.* Литология / Уч. для студ. вузов. М.: ИЦ “Академия”, 2008. 336 с.
6. *Рухин Л.Б.* Основы литологии / Учение об осадочных породах (изд. 3-е, перераб. и доп.). Л.: Недра, 1969. 703 с.
7. Методические указания по дробному гранулометрическому анализу седиментационным способом / Под. ред. К.К. Гостинцева. Л.: ВНИГРИ, 1989. 191 с.
8. *Folk R.L. and Ward W.C.* Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters // *Journ. of Sedimentary Petrology*. 1957. Vol. 27. No. 1. P. 3–26.
9. *Passega R. and Byramjee R.* Grain-size image of clastic deposits // *Sedimentology*. 1969. Vol. 13. No. 3–4. P. 233–252.
10. *Рожков Г.Ф., Соловьев Б.С.* Результаты систематизации дробных ситовых анализов // *Литология и полезные ископаемые*. 1974. № 5. С. 110–117.
11. *Романовский С.И.* Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.
12. *Котельников Б.Н.* Реконструкция генезиса песков. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 132 с.
13. *Крашенинников Г.Ф.* Учение о фациях / Уч. пособие. Л.: Высш. шк., 1971. 368 с.
14. *Тульшиева Е.В.* Речные долины Дагестана и их неотектоническая обусловленность: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГ РАН, 2002. 26 с.
15. *Верещагина В.С.* Стратиграфия четвертичных отложений западного склона Среднего Урала и Приуралья // *Стратиграфия четвертичных (антропогенных) отложений Урала*. М.: Недра, 1965. С. 106–129.
16. *Мацапулин В.У., Тульшиева Е.В., Хлопкова М.В.* О геологических условиях формирования песчаной горы Сарыкум и геохимических особенностях ее карбонатных отложений // *Аридные экосистемы*. 2013. Т. 19. № 1(54). С. 19–27.

Поступила в редакцию 05.12.2015

AEOLIAN-ACCUMULATIVE COMPLEX SARYKUM AS A UNIQUE GEOMORPHIC OBJECT OF RUSSIA: STRUCTURE, GENESIS AND SANDS SOURCES

A.V. GUSAROV

*Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
e-mail: avgusarov@mail.ru*

Summary

Aeolian-accumulative complex Sarykum is one of the highest isolated (i.e. formed away from the deserts) sandy landforms in Eurasia, located within the Terek-Sulak lowland plain at the north-eastern foothill of the Caucasus Mountains, 16–17 km towards WNW of the Makhachkala City port of Caspian Sea (Republic of Dagestan, Russia). On the basis of particle size distribution and mineralogical analysis of 59 sandy samples, the heterogeneous structure of the complex is defined. The coarsest sandy material (modal values are 352 micron and more) composes the central dune-ridge segment of Sarykum (of so-called Great (or West) Sarykum). The further from the dune constructions to the periphery, the thinner the average dimension of the sand particles and smaller the modal values (249 micron and less) of their granulometric spectra. This grain size distribution can be explained not only by windy sorting of the sands and further aeolian recast of dune-ridge segment, but also by spatial features of the facial changes during the period of initial sandy accumulation, and also by the differences in composition of rocks, which were the sources of denudation. In the vertical structure of Sarykum the heterogeneity is also expressed. It is associated with temporary changes of sandy sedimentation conditions in the region. So, the dune-ridge segment of Great Sarykum can be represented as a system of consistently accumulated sandy layers (lenses?) (which includes the gravelly sands), which differ in composition and age, having apparently the coarsest content in the middle part of its vertical geological cross-section.

The material of overwhelming majority of the selected samples belongs to mineral group of quartz sands (quartz content is over 90%) and subgroup of quartz subarkose (quartz content is 80–90%). Moreover, the aeolian (deflated) sands of the dune-ridge segment and its underlying cross-bedded sands of Great Sarykum entirely belong to the first group; the hilly and peripheral sands, which characterized by fine granulometry, refer to the second mineral subgroup.

The Sarykum's structure is due to the combination of gravelly sands, formed by the river Shura-Ozen' deltaic accumulation in the Late Quaternary, and sandy (with gravels and pebbles) deposits proluvially and deluvially dislocated to the recent Sarykum massif territory from the slopes of the nearby Narat-Tube mountain range. The mixing of originally and compositionally different sediments that formed the Sarykum complex, likely have the complicated history, following by the staged changes of the periglacial landscape-climatic conditions in the Late Quaternary.

Keywords: dune, sand, aeolian landforms, aeolian deposits, granulometric analysis, Sarykum, Dagestan, Caucasus.

doi:10.15356/0435-4281-2016-3-52-78

УДК 551.435.14:551.432.7

© 2016 г. Е.В. ЛЕБЕДЕВА

ВЛИЯНИЕ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ НА СТРОЕНИЕ ДОЛИН И РАЗВИТИЕ РЕЧНОЙ СЕТИ

*Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: Ekaterina.Lebedeva@gmail.com*

Наблюдения в различных вулканических регионах позволили выявить особенности взаимодействия лавовых покровов и речных потоков. Специфическое строение лав – наличие в них туннелей-лаводоов иногда значительной протяженности – делает возможным формирование на таких участках внутрилавового стока, а в некоторых случаях функционирование водотока продолжается и под лавой, заполнившей его долину. В результате молодой аллювий может залегать не только над, но и под более древними лавами, а также в их полостях. В связи с этим необходимо с осторожностью судить о возрасте лав и аллювия по их взаимному залеганию. Новые врезы на поверхности лавовых покровов формируются не только в их краевых частях – на контакте с менее устойчивыми породами, что хорошо изучено, но и в: 1) эмбриональных долинах – ориентированных вниз по склону понижениях между языками лав, 2) в местах обрушения кровли лаводоов, 3) в трещинах, которые способствуют концентрации подлавового стока.

Ключевые слова: лавовый поток, лавовый туннель, эмбриональная долина, водопад, под-лавовый сток.