

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

УДК 551.89

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-2(3-12)

**МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦЕВЫХ ЗЕРЕН
КЫСЫЛ-СЫРСКОГО ДЮННОГО МАССИВА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)****А.А. Куть***Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; ankaurban@mail.ru*

Проведено микроморфологическое изучение кварцевых зерен Кысыл-Сырского дюнного массива, расположенного в нижнем течении р. Вилюй. Проанализировано распределение зерен по классам округленности и степени заматованности и выделены генетические группы диагностических элементов на поверхности частиц. На основе ранее выполненных комплексных исследований и приведенных в работе результатов выделено два этапа формирования рассматриваемого комплекса. Установлено, что на протяжении первого этапа накопления отложений, начавшегося около 40 тыс. лет назад, преобладали русловые процессы. Второй этап (конец позднего неоплейстоцена – голоцен) характеризуется эоловым осадко-накоплением.

*Эоловые отложения, неоплейстоцен, голоцен, микроморфологический анализ, Центральная Якутия***MICROMORPHOLOGICAL FEATURES OF QUARTZ GRAINS FROM
THE KYSYL-SYR DUNE MASSIVE, CENTRAL YAKUTIA****A.A. Kut***Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,
36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia; ankaurban@mail.ru*

The micromorphological study of quartz grains from the Kysyl-Syr dune massive in the lower reaches of the Vilyuy river included analyses for roundness and dullness and determinations of genetic groups of diagnostic elements on the quartz grain surface. The research results presented in this paper allowed to establish two stages in the formation of the Kysyl-Syr dune complex. During the first stage (begun about 40 ka BP) fluvial processes prevailed. The second stage of sedimentation (Late Neopleistocene – Holocene) is characterized by aeolian sedimentation.

*Aeolian sediment, Neopleistocene, Holocene, micromorphological analysis, Central Yakutia***ВВЕДЕНИЕ**

Уникальной особенностью криогенных ландшафтов Центральной Якутии является широкое распространение обширных массивов активно движущихся эоловых песков, формирующих сложностроенные комплексы дюн.

В морфоскульптурном отношении дюнные массивы наиболее близки к аридным (пустынным) образованиям, сформированным эоловыми процессами, и представлены преимущественно дюнами разных размеров. Однако, в отличие от современных дюнных пустынь более низких широт, они развиты в пределах криолитозоны сплошного типа в тесном окружении высокольдистых криогенных образований, именуемых собирательным термином “ледовый комплекс” и вмещающих мощные син- и эпигенетические ледяные жилы.

Один из таких дюнных массивов – Кысыл-Сырский – расположен в бассейне р. Вилюй в

нижнем течении, в 30 км от пос. Кысыл-Сыр. Разрез был детально опробован и изучен в ходе комплексных экспедиций в 2012–2016 гг. Для отложений проведены литологический, минералогический и палинологический анализы [Галанин и др., 2015б; Куть, 2015]. Выполнены палеогеографические реконструкции, которые базируются на результатах радиоуглеродного [Галанин и др., 2015а], спорово-пыльцевого [Павлова и др., 2016] и криофациального анализов, а также на данных о составе погребенных торфяников. Кроме того, выделены основные стадии формирования Кысыл-Сырского дюнного массива и этапы развития растительности в долине нижнего течения р. Вилюй [Галанин и др., 2016].

Несмотря на большой объем полученных результатов, остался еще ряд спорных вопросов. Один из них – вопрос фациального расчленения

разреза. А именно, следует установить, в каких условиях происходило накопление отложений и какие процессы принимали в этом участие. Цель данной работы – определить фациальную принадлежность песчаных отложений Кысыл-Сырского дюнного массива и восстановить условия его фор-

мирования с конца позднего неоплейстоцена и на протяжении голоцена.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кысыл-Сырский дюнный комплекс расположен в Центральной Якутии, в бассейне р. Вилюй в

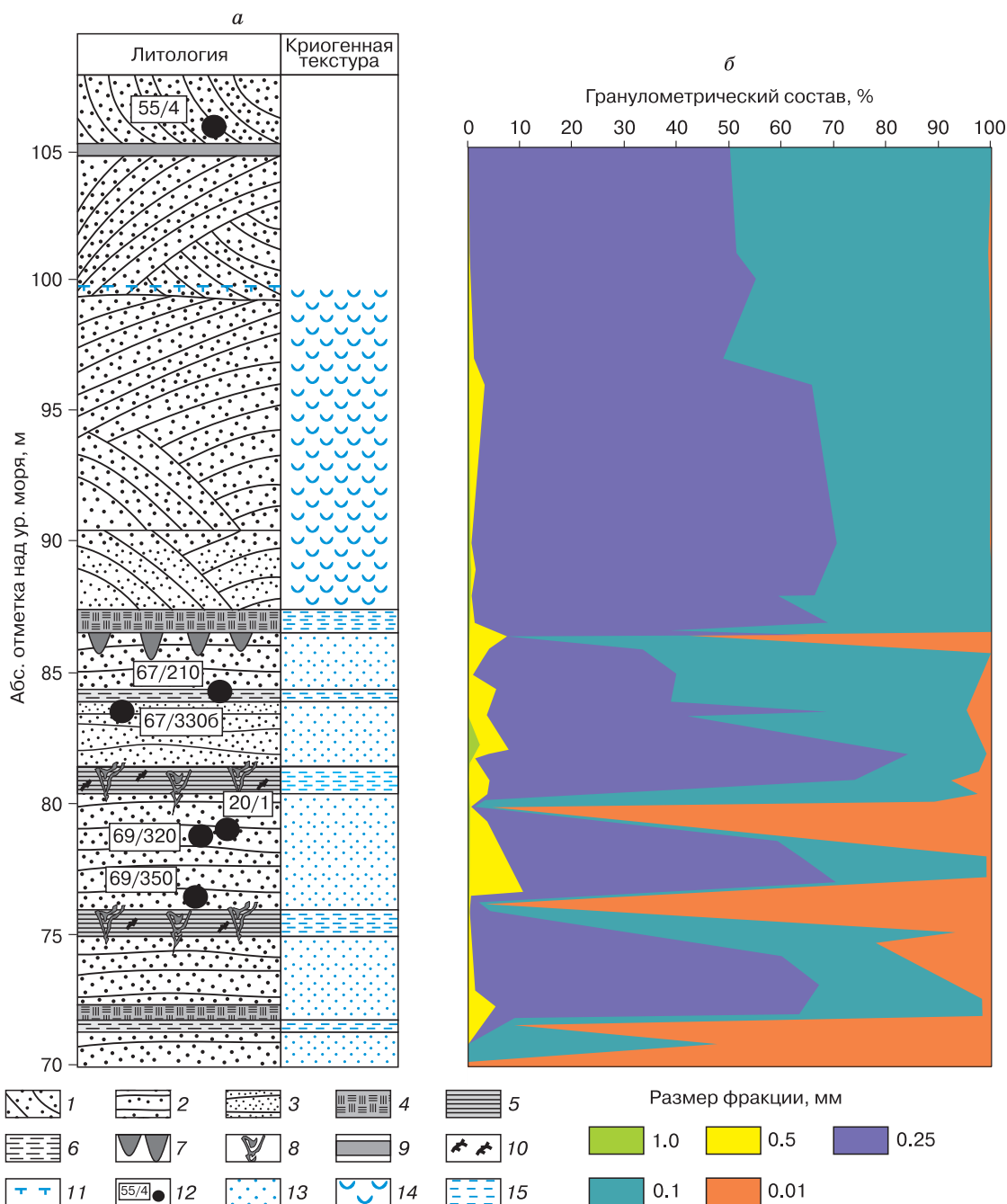


Рис. 1. Сводный разрез Кысыл-Сырского дюнного массива с точками отбора проб:

a – сводный разрез; *б* – распределение гранулометрического состава по разрезу. 1 – перекрестно-слоистые среднезернистые пески; 2 – горизонтально-слоистые среднезернистые пески; 3 – мелкозернистые пески; 4 – торф; 5 – супеси; 6 – суглинки; 7 – льдогрунтовые жилы; 8 – грунтовые жилы; 9 – погребенные почвенные горизонты; 10 – древесные остатки; 11 – кровля многолетнемерзлых пород; 12 – точка отбора пробы. Криогенные текстуры: 13 – массивная, 14 – контактовая, 15 – шлировая.

нижнем течении (63°54' с.ш., 123°16' в.д.). Здесь массив приурочен к поверхности первой надпойменной террасы высотой 8–10 м. Исследуемая терраса сложена озерно-аллювиальной супесчаной толщей и перекрыта сверху многоярусными дюнами с погребенными горизонтами торфа, почв, вертикально захороненных деревьев. В пределах террасы выделяется несколько разновозрастных типов рельефа: собственно низменная озерно-болотная поверхность с абсолютными высотами 84–90 м, протягивающаяся к югу от рассматриваемого комплекса; слабоволнистая песчаная поверхность со сглаженными элементами древнего дюнного рельефа, покрытая сосновым бором с абсолютными высотами 90–110 м; песчаный массив, наиболее молодое образование, представляющий собой дюну высшего порядка, образованную более мелкими комплексами дюн и междюнными понижениями [Урбан и др., 2013].

В основании разреза залегают чередующиеся прослой гравия и мелкой гальки, кослоистые пески и супеси. Перекрывает их торфяной горизонт, возраст которого 44 670–35 720 лет (МРІ-29) (рис. 1). Выше по разрезу расположена пачка отложений разнообразного состава и генезиса. Здесь песчаные осадки сменяются переслаиванием хорошо отсортированного крупнозернистого песка, песка мелкозернистого, супесей и суглинка гумусированного. Выше отмечается чередование светлых мелкозернистых песков и суглинков с горизонтальной слоистостью и единичными включениями древесных остатков. Завершается эта часть разреза маркирующим торфяным горизонтом, возраст которого изменяется от 9440–8640 до 3825–3370 лет (МРІ-42 и МРІ-43 соответственно). В этой части разреза, в зоне инфильтрации подземных вод, лед-цемент занимает все поровое пространство, формируя в песчаных отложениях массивную криотекстуру. Для суглинистых, супесчаных осадков и торфа повсеместно характерна шлировая криотекстура. Выше торфяного горизонта залегают 20-метровая пачка хорошо отсортирован-

ных среднезернистых песков с погребенными голоценовыми почвенными горизонтами и деревьями. Эта часть разреза характеризуется низкой льдистостью. Здесь отмечается развитие контактной криотекстуры, когда лед развит лишь на контакте отдельных песчаных частиц, на ребрах и вершинах.

МЕТОД МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Для анализа обстановки формирования толщи дюнного комплекса был использован метод микроморфологического анализа поверхности кварцевых зерен. Метод основан на утверждении, что каждая среда, через которую проходит материал, оставляет на поверхности частицы следы, характерные только для нее – элементы воздействия механических и химических процессов. Известен этот метод еще с конца XIX в. [Sorby, 1880], но свое развитие получил при появлении электронной микроскопии в 50-х гг. XX в. В 1951 г. геологи Р. Фолк и К. Вевер впервые использовали электронный микроскоп для изучения строения и состава сланца [Krinsley, Doomkamp, 1973]. В течение последующих нескольких лет седиментологи, палеонтологи и геологи начали использовать этот метод для различных геологических целей [Bull, 1978; Helland et al., 1997; Woronko, 2015].

В России микроморфологический метод для определения генезиса четвертичных отложений применяли В.П. Батурич [1947], В.П. Чичагов [1961], Л.Б. Рухин [1962], Е.В. Рухина [1973], Л.Р. Серебрянный [1980], А.А. Величко [Величко и др., 1997], В.В. Рогов [2000], В.Н. Конищев [Конищев и др., 2005], С.Н. Тимирева [Timireva, Velichko, 2006] и др.

В настоящей работе изучены кварцевые зерна в шести образцах песчаных отложений. Точки отбора и описание образцов приведены на рис. 1 и в табл. 1. Предварительно для проб проведен гранулометрический анализ со статистической обработкой результатов и минералогический анализ [Куть, 2015].

Таблица 1. Точки отбора и описание образцов

№ п/п	Номер образца	Номер разреза	Интервал отбора, м	Описание
<i>Современная пойма</i>				
1	20/1	20	77.5–77.4	Песок мелкозернистый, желтый, хорошо промытый с включением редкой гальки диаметром до 5 мм
<i>Перекрестно-слоистые незакрепленные дюнные пески</i>				
2	55/4	55	106.0–105.9	Песок мелкозернистый, серый с редкими охристыми пятнами
3	67/210	67	85.6–85.4	Песок светло-серый до белесого, среднезернистый, хорошо отсортированный
4	67/3306	67	84.4–84.3	Песок светло-коричневый, среднезернистый с включениями суглинка шаровидной формы и примесью неразложившейся органики
<i>Русловые пески, подстилающие перекрестно-слоистые эоловые пески</i>				
5	69/320	69	77.2–77.0	Песок светло-коричневый, среднезернистый
6	69/350	69	76.7–76.6	Песок среднезернистый, белесый; хорошо отсортированный

Была использована фракция 0.25–0.5 мм. Под бинокулярным микроскопом Carl Zeiss Jena изучены форма и степень матовости зерен. Далее для проведения морфоскопического анализа навеску пробы подвергли кипячению в слабом растворе соляной кислоты HCl в течение 10 мин для удаления железистых и карбонатных пленок, которые могут маскировать элементы поверхности. После этого образцы промывали в дистиллированной воде и сушили при комнатной температуре. Из навески было отобрано 30–40 зерен. Зерна из одного образца укладывали на индивидуальные алюминиевые токопроводящие столики с помощью двусторонней клейкой ленты и сверху напыляли тонкий слой (10 мкм) токопроводящего материала (в данном случае – золота).

По завершении всех подготовительных работ отобранные зерна были исследованы под микроскопом. Для изучения поверхности частиц использован электронный микроскоп марки JEOL JSM-6610LV (Япония) в режиме вторичных электронов на ускоряющем напряжении 15 кВ. Для просмотра зерен целиком было выбрано увеличение 150–300 раз, для изучения наиболее интересных участков – 500 раз. При изучении поверхности создавались микрографии. Просмотр проб под электронным микроскопом и создание микрографий были выполнены в Центре коллективного пользования “Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН инженером В.А. Шишковым.

На основе полученных микрографий произведено описание наиболее характерных и часто встречаемых особенностей, выделены диагностические признаки и объединены в группы, исходя из их генетической принадлежности.

РЕЗУЛЬТАТЫ МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕРЕН

Важными признаками среды седиментации, определяющими ее динамику, являются степень округленности и заматованности поверхности кварцевых зерен. Округленность характеризует изменение формы зерна вследствие истирания под влиянием его движения при переносе и аккумуляции. Для характеристики степени округленности была применена визуальная шкала А.В. Хабаква [Ананьева, 1998]. Анализ зерен из шести образцов показал, что в составе отложений присутствуют зерна II, III и IV классов окатанности – угловато-окатанные, хорошо окатанные и идеально окатанные соответственно. Это указывает на достаточно динамичную и подвижную среду. Неокатанные зерна практически отсутствуют. Преобладают зерна с полуматовой и глянцевой поверхностью. Менее всего отмечается содержание зерен с глянцевой поверхностью. Распределение

по классам окатанности и матовости представлено на рис. 2.

Для реконструкции условий переноса и накопления дюнных массивов на поверхности кварцевых зерен выделено 15 диагностических признаков (табл. 2). Признаки имеют механическую природу и встречаются в виде отдельных элементов или их комплексов.

Анализ распределения диагностических признаков на поверхности кварцевых зерен в отобранных образцах показал ярко выраженное преобладание некоторых из элементов. Наиболее распространенными являются: мелкоямчатый микрорельеф поверхности, сколы, как раковистые, так и с плоскими гранями, примеси кремнезема в виде прилипших частиц на поверхности частиц и сколов.

Образец 20/1 был отобран из отложений современной поймы, представленных мелкозернистым песком (см. табл. 1). Частицы имеют округленную форму различной степени окатанности – 84 % (см. рис. 2). Угловатые зерна практически отсутствуют. Отмечается равное соотношение зерен с матовой и глянцевой поверхностью – 52 и 48 % соответственно. Поверхность частиц осложнена сколами с раковистым изломом (рис. 3, а). Большинство сколов имеют небольшие размеры и занимают до 10 % поверхности частицы. На отдельных сколах присутствует параллельная полосчатость. Мелкоямчатый микрорельеф развит

Таблица 2. Диагностические признаки, выделенные на поверхности кварцевых зерен

Номер пробы	Мелкоямчатый микрорельеф										Сколы		Углубления		Сколы, раскалывающий частицу на части	Трещины химического растворения		Примеси	
	раковистые	с плоскими гранями	V-образные	блюдцеобразные	неправильной формы	Серпообразные	трещины	Борозды	Лунки травления	Ступени	Параллельная полосчатость	на поверхности частицы	на поверхн. сколов и углублений						
20/1	88	77	27	27	–	–	8	27	8	4	46	–	81	85	69				
55/4	96	56	41	33	37	15	26	37	7	15	15	4	41	15	78				
67/210	98	59	43	91	27	32	32	45	16	20	39	16	55	52	39				
67/3306	92	46	17	88	29	42	8	13	13	13	33	–	50	58	42				
69/320	85	54	58	81	19	46	38	38	19	15	62	8	38	81	8				
69/350	80	52	60	68	20	56	44	40	12	40	36	20	44	8	84				

Примечание. В процентах от количества изученных зерен в образце.

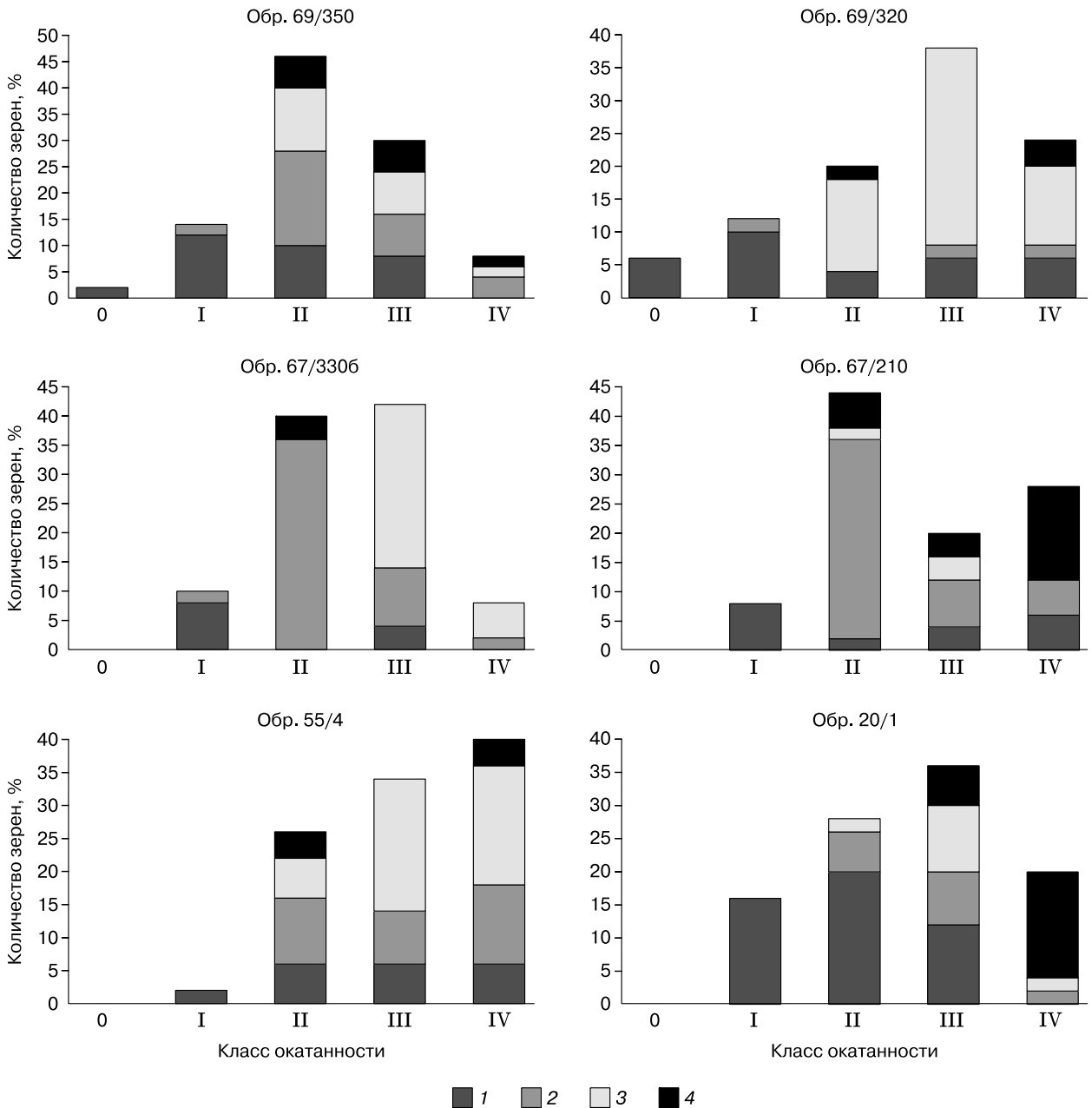


Рис. 2. Распределение кварцевых зерен по классам окатанности и степени заматованности поверхности (по А.В. Хабакову [Ананьева, 1998]).

1 – глянцевые; 2 – четвертьматовые; 3 – полуматовые; 4 – матовые.

на 60–70 % поверхности. Здесь он наложен на поверхность сколов и углублений. Помимо вышеуказанных элементов отмечается развитие серповидных трещин на 20–30 % видимой поверхности.

Образец 55/4 представлен мелкозернистым песком (см. табл. 1). Отобран из верхней части рассматриваемого массива, отложений современ-

ных дюн. Кварцевые зерна характеризуются преимущественно окатанной формой частиц – 98 % (см. рис. 2). Около 82 % зерен имеют матовую поверхность. Из первичных преобладающих элементов поверхности отмечены сколы как раковистые, так и с плоскими гранями. Сколы имеют различные размеры и развиты на 20 % поверхности частицы. Мелкоямчатый микрорельеф покрывает

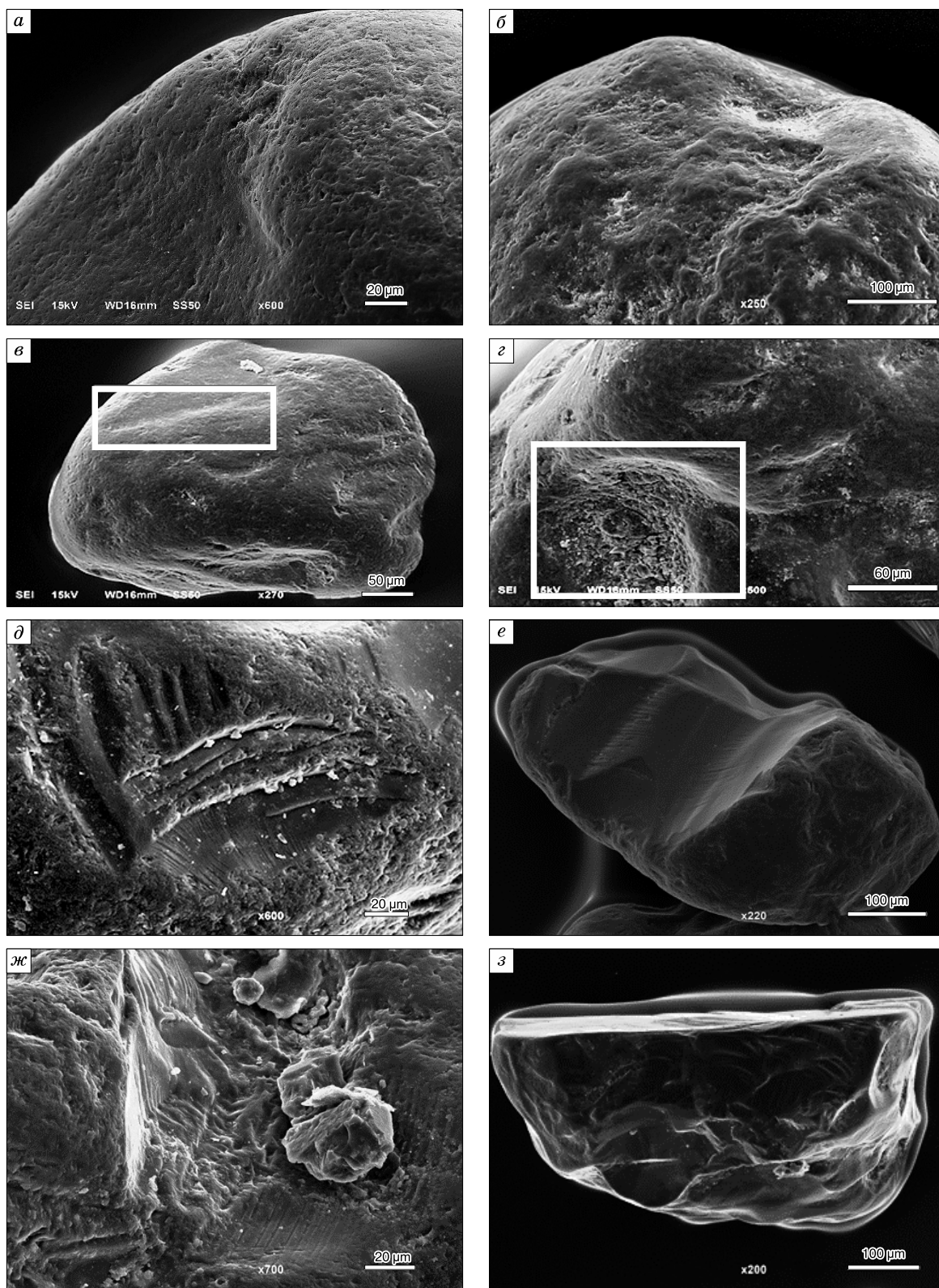


Рис. 3. Особенности поверхности кварцевых зерен:

а – раковистый скол; *б* – мелкочамчатый микрорельеф; *в* – борозды; *г* – блюдцеобразное углубление; *д* – ступенчатость со следами параллельной штриховки; *е* – параллельная полосчатость; *ж* – прилипшие частицы кремнезема; *з* – скол, раскалывающий частицу.

90 % поверхности частицы, в том числе поверхности сколов и углублений, и является наложенным элементом (см. рис. 3, б).

Образец 67/210 отобран из горизонта, подстилающего погребенный торфяник (см. табл. 1). Представлен среднезернистыми песками, в которых зерна имеют умеренно окатанную (полуокатанную) форму (44 %) и матовую поверхность (80 %) (см. рис. 2). Здесь также отмечаются сколы с раковистым изломом и плоскими гранями, занимающие 40–50 % видимой поверхности, и мелкоямчатый микрорельеф. Отличительная черта сколов – большие размеры по сравнению с образцами 55/4 и 20/1. Широкое развитие здесь получили V-образные микроуглубления (60–90 %) и борозды (20–30 %) (см. рис. 3, в).

Образец 67/330б был также отобран из горизонта, подстилающего погребенный торфяник (см. табл. 1). Представлен среднезернистыми песками. В образце отмечается равное соотношение зерен II и III классов окатанности – 40 и 42 % соответственно (см. рис. 2). Только 12 % частиц имеют глянцевую поверхность. Комплекс диагностических элементов представлен сколами и углублениями, а также мелкоямчатым наложенным микрорельефом. В образце 67/330б отсутствует параллельная полосчатость.

Образец 69/320 представлен среднезернистыми песками аллювиального горизонта каргинского термохрона (см. табл. 1). Поверхность кварцевых зерен здесь характеризуется преобладанием хорошо окатанных зерен (38 %) с матовой поверхностью (56 %) (см. рис. 2). Из диагностических элементов на поверхности были выделены раковистые сколы с прямыми гранями, имеющие большие размеры (до 50 %), мелкоямчатый рельеф (60–70 %) и V-образные микроуглубления (50–60 %). Наряду с указанными выше элементами здесь также отмечается образование углублений блюдцеобразной (см. рис. 3, з), чаще неправильной формы (20–30 %), ступени (см. рис. 3, д) и следы параллельной полосчатости (см. рис. 3, е). Частицы кремнезема наблюдаются только на поверхности частиц (см. рис. 3, ж), на поверхности сколов и углублений частиц не было отмечено.

Образец 69/350 также был отобран из аллювиальных отложений каргинского термохрона. Представлен среднезернистыми песками (см. табл. 1), частицы которого имеют преимущественно умеренно окатанную форму (46 %) и матовую поверхность (68 %) (см. рис. 2). Из выделенных диагностических признаков отмечаются раковистые сколы и сколы с прямыми гранями, имеющие разные размеры (40–50 %), мелкоямчатый микрорельеф и V-образные микроуглубления (100 %), углубления блюдцеобразной и неправильной формы (10–20 %), прямые и серпообразные трещины

(20–30 %), а также сколы, раскалывающие частицы (20 %) (см. рис. 3, з).

При изучении кварцевых зерен был выявлен сходный комплекс морфологических элементов поверхности. На основе этого автором выделены следующие группы зерен.

Гляциально-криогенная группа – это угловатые зерна с весьма слабыми или слабосглаженными очертаниями. Поверхность глянцевая. Для этой группы характерно развитие различных сколов и плоских поверхностей расколов. На многих зернах наблюдаются различные трещины, царапины, ступени и параллельная полосчатость. Такая комбинация диагностических элементов на поверхности указывает на ледниковые условия формирования, а также на образование зерен в результате механического разрушения обломков коренных пород и криогенного выветривания.

Эоловая группа – окатанные зерна изометричной формы. Поверхность таких зерен, как правило, матовая и осложнена мелкоямчатым микрорельефом (60–100 % поверхности), различными сколами, чашевидными (блюдцеобразными) углублениями.

Водная группа – окатанные и угловатые зерна с различной степенью сглаженности рельефа. Поверхность глянцевая. В результате взаимодействия частиц в водной среде на поверхности отмечается развитие V-образного микрорельефа, мелких сколов, прямых желобков.

Кроме того, выделены еще две группы: **водно-гляциальные** и **эолово-гляциальные** зерна. Это угловатые зерна с весьма слабыми или слабосглаженными очертаниями, которые подверглись воздействию водной или эоловой среды, но при этом сохранили черты исходной группы. Часть зерен этой группы имеет матовую поверхность, которая осложнена мелкоямчатым микрорельефом, сколами и углублениями (типично для эоловых условий), но также присутствуют зерна с глянцевой поверхностью и развитым на поверхности V-образным микрорельефом (характерно для водной обстановки). На поверхности всех зерен этих групп помимо описанных выше элементов отмечена также параллельная полосчатость.

Практически на всех зернах наблюдались следы эпигенетических изменений, образование которых связано как с химическими, так и с криогенными процессами.

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КЫСЫЛ-СЫРСКОГО ДЮННОГО МАССИВА

На основе проведенных ранее исследований и полученных в работе результатов автором выделены два этапа формирования Кысыл-Сырского дюнного массива в бассейне р. Вилой.

Первый этап относится к позднему неоплейстоцену. В этот период сформировалась пачка, за-

легающая в нижней части разреза в интервале высот 70–86 м. Неоднородность состава в этой части разреза указывает на сменяющие друг друга условия их накопления. Разрез представляет собой переслаивание крупнозернистого песка аллювиального происхождения, пойменных мелкозернистых песков и супесей, озерных и болотных гумусированных суглинков со следами криотурбации и эоловых хорошо отсортированных кварцевых песков. Пачка аллювиальных отложений (71–72 м), подстилающая разрез, характеризуется косо-слоистым залеганием и включениями гравия и мелкой гальки. По некоторым данным, эта фация сформировалась в русле Палеовилля в каргинское межледниковье [Галанин и др., 2016]. В этот период гипсометрический уровень торфяника, перекрывающего аллювиальные пески, был примерно на 8–10 м ниже современной поймы. Это дает основание полагать, что каргинский уровень Вилля был значительно ниже современного.

Формирование отложений, залегающих выше (72–86 м), автор относит к эпохе сартанского оледенения. Этот период (около 28 тыс. лет назад) характеризуется сильным похолоданием и сокращением количества выпадающих осадков. Так, в горизонтально- и слабослоистых песках и тонких прослоях супеси отсутствует как аллохтонная, так и автохтонная органика, что указывает на отсутствие растительного покрова в пределах поймы и близлежащих ландшафтов. Результаты комплексных исследований, проведенных ранее, показывают также большое сходство фациального состава с отложениями современных дюн [Куть, 2015]. Выше по разрезу залегает хорошо переработанная ветром пачка субгоризонтальных песков с охристыми включениями и цементацией отдельных частиц гидроокислами железа, тонкими прослоями мелкого хряща и гравия, среди которых попадает мелкая галька экзотического состава. По морфоскопическим признакам большое количество зерен (более 50 %) в этом горизонте имеет следы ветровой обработки, в том числе и зерна гляциально-криогенной группы (обр. 69/350). К таким признакам относятся матовая поверхность зерен, мелкоямчатый микрорельеф и блюдцеобразные углубления, полученные в результате соударения частиц в воздухе. По указанным признакам автор относит описанные выше отложения к эоловой фации. В этот период сократился сток Палеовилля, его уровень сильно упал и русло пересохло. Преобладающее влияние приобрели криогенные и эоловые процессы. Ветра преобразовали рельеф, в результате чего сформировались дюны и небольшие локальные водоемы.

Именно в таких понижениях происходило накопление двух выдержанных горизонтов сизых суглинков, отмеченных при описании песчаного массива (75–76 и 80–81 м). Горизонты несут при-

знаки формирования полигональной решетки, а также пучения и дробления кровли. О значительном похолодании и преобладании ветров свидетельствуют эпигенетические жилы (клинья), которыми разбиты рассматриваемые горизонты. Их формирование происходило в условиях промерзания и растрескивания при недостаточной обводненности. Возникающие трещины засыпались песком из эоловых охристых песков, залегающих выше.

О перераспределении гидрографической сети района свидетельствует также горизонт косо-слоистых песков с включениями мелкой гальки (79.0–79.5 м). Здесь увеличивается доля зерен со следами водной обработки с 16 до 35 % (обр. 69/320). Это может указывать на непродолжительные, но достаточно динамичные водные условия.

Об окончании сартанской части разреза свидетельствует горизонт, представленный эоловыми и, предположительно, пойменно-эоловыми фациями (84–86 м). Горизонт образован чередованием выдержанных слоев сухомерзлых кварцевых песков, гумусированной супеси, отвесных супесей и тонких прослоев хряща и мелкого гравия (1–2 мм), а также редкими включениями мелкой гальки экзотического состава. Здесь в перекрестно-слоистых кварцевых песках (обр. 67/3306) увеличивается доля гляциально-криогенных зерен со следами ветровой переработки (33 %) и эоловых частиц (33 %). Это свидетельствует о продолжающихся эоловых процессах. В свою очередь, прослойки средне- и мелкозернистого песка в верхней части пачки (обр. 67/210) характеризуются увеличением количества зерен со следами водной переработки (45 %). Здесь же отмечаются единичные корешки и тонкие прослойки дерна, что указывает на постепенное смягчение климата. Эоловые процессы постепенно затухают. Поверхность песчаного комплекса закрепляется растительностью. Формированием двухметровой толщи торфа, возраст которой (по данным радиоуглеродного датирования) составляет от 8690–9440 до 3360–3830 лет, отмечается в разрезе климатический оптимум голоцена [Галанин и др., 2016].

Со второй половины голоцена во всем мире началось постепенное похолодание климата. В интервале 4.5–2.0 тыс. лет назад в условиях всеобщего похолодания и увеличения сухости климата начался *второй этап формирования толщи* – современный комплекс дюнных отложений (87–106 м). В составе отложений представлены преимущественно кварцевый песок и незначительное количество тяжелой фракции, которая сосредоточена в тонких прослоях дефляциянных поверхностей. Напластованность – субгоризонтальная, перекрестно-слоистая и местами облегающая (на участках погребенных стволов деревьев). По дан-

ным морфоскопического анализа, здесь резко возрастает количество зерен эоловой группы (до 56 %, обр. 55/4), что указывает на высокую активность эоловых процессов. Значительная роль ветра в формировании этой части толщи подтверждается вскрытием множества почвенных горизонтов небольшой мощности и вертикально погребенных деревьев. Выполненные серии радиоуглеродных датировок показали, что возраст наиболее старых деревьев не превышает 200–300 лет (МР1-19, МР1-20). Это свидетельствует о том, что наиболее активная фаза развития эоловых процессов практически совпадает с глобальными климатическими событиями малого ледникового периода XI–XIX вв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по данным микроморфологического анализа кварцевых зерен установлено, что формирование Кысыл-Сырского дюнного массива происходило в меняющейся обстановке. Выделенные диагностические признаки указывают на водные и эоловые условия, механическое разрушение обломков коренных пород и криогенное выветривание. Преобладающими были водные и эоловые процессы.

Полученные результаты микроморфологического анализа вписываются в сценарий формирования дюнного массива, в котором выделяется два этапа. Первый этап относится к концу позднего неоплейстоцена и характеризуется значительными изменениями климата (каргинское межледниковье и сартанское оледенение) и перераспределением гидрографической сети бассейна Палеовилуя. В этот период в результате изменения гидрологического режима сформировалась подстилающая разрез пачка чередующихся аллювиальных и пойменных горизонтов. Их перекрывает горизонт эоловых и озерно-болотных отложений, сформировавшихся в период сартанского оледенения. Второй этап накопления отложений в разрезе отмечен торфяным горизонтом, формирование которого было отнесено к климатическому оптимуму голоцена. Перекрывает его мощная толща дюнных отложений, накопление которой происходило во второй половине голоцена в ходе постепенного похолодания климата и активизации эоловых процессов. Это, в свою очередь, согласуется с общепринятой схемой развития климата в конце позднего неоплейстоцена и голоцене.

Литература

- Ананьева Э.Г.** Литолого-минералогический анализ при геоморфологических и палеогеографических исследованиях. Смоленск; Москва, Изд-во СГУ, 1998, 140 с.
Ananieva, E.G., 1998. Lithological and Mineralogical Analysis in Geomorphological and Palaeogeographical Studies. Izd-vo SGU, Smolensk; Moscow, 140 pp. (in Russian)
- Батурин В.П.** Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1947, 339 с.
Baturin, V.P., 1947. Petrographic Analysis of the Geological Past from Terrigenous Components. Izd-vo AN SSSR, Moscow; Leningrad, 339 pp. (in Russian)
- Величко А.А., Грибченко Ю.Н., Тимирева С.Н.** Моделирование эоловой обработки песчаных зерен // Литология и полез. ископаемые, 1997, № 4, с. 431–439.
Velichko, A.A., Gribchenko, Yu.N., Timireva, S.N., 1997. Modelling of aeolian processing of sand grains. Litologia i Poleznye Iskopaemye, No. 4, 431–439.
- Галанин А.А., Дьячковский А.П., Лыткин В.М. и др.** Результаты определения абсолютного возраста образцов в радиоуглеродной лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН // Наука и образование, 2015а, № 4 (80), с. 45–49.
Galanin, A.A., Dyachkovskii, A.P., Lytkin, V.M., et al., 2015a. Results of absolute age dating of samples at the Radiocarbon Laboratory of Permafrost Institute SB RAS. Nauka i Obrazovanie, No. 4 (80), 45–49.
- Галанин А.А., Павлова М.Р., Дьячковский А.П., Павлов Б.А.** Феномен тукуланов Центральной Якутии: плейстоценовая криопустыня // Наука и техника в Якутии, 2015б, № 2 (29), с. 23–31.
Galanin, A.A., Pavlova, M.R., Diachkovskii, A.P., Pavlov, B.A., 2015b. The phenomenon of tukulans of the Central Yakutia: Pleistocene cryodesert. Nauka i Tekhnika v Yakutii, 29 (2), 23–31.
- Галанин А.А., Павлова М.Р., Шапошников Г.И., Лыткин В.М.** Тукуланы: песчаные пустыни Якутии // Природа, 2016, № 11, с. 44–55.
Galanin, A.A., Pavlova, M.R., Shaposhnikov, G.I., Lytkin, V.M., 2016. Tukulans: sand deserts of Yakutia. Priroda, No. 11, 44–55.
- Конищев В.Н.** Криогенез современных и позднеледниковых отложений Алтая и перигляциальных областей Европы / В.Н. Конищев, М.П. Лебедева-Верба, В.В. Рогов, Е.Е. Сталина. М., ГЕОС, 2005, 132 с.
Konishchev, V.N., Lebedeva-Verba, M.P., Rogov, V.V., Stalina, E.E., 2005. Cryogenesis of the Modern and Late Pleistocene Sediments of the Altai and Periglacial Regions of Europe. GEOS, Moscow, 132 pp. (in Russian)
- Кут А.А.** Эолово-мерзлотные образования (тукуланы) Центральной Якутии: строение, генезис, возраст, закономерности распространения: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Якутск, 2015, 230 с.
Kut, A.A., 2015. Aeolian-permafrost dune massifs (tukulans) in Central Yakutia: their structure, genesis, age and distribution patterns. Extended abstract of the Cand. Sci. (geol.-mineral.) Thesis. Yakutsk, 22 pp. (in Russian)
- Павлова М.Р., Галанин А.А., Рудая Н.А.** Палинологические и радиоуглеродные данные о верхнечетвертичных отложениях дюнного массива – тукулан Кысыл-Сырский (Центральная Якутия) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата, 2016, т. 7, № 1 (13), с. 100–107.
Pavlova, M.R., Galanin, A.A., Rudaya, N.A., 2016. Palynological and radiocarbon data on Upper Quaternary deposits of dune massifs–Kysyl-Syr tulukans (Central Yakutia). Din. okruzh. sredy i global. izmen. klimata, vol. 7, No. 1 (13), 100–107.
- Рогов В.В.** Особенности морфологии частиц скелета криогенного элювия // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 3, с. 67–73.
Rogov, V.V., 2000. Specific features of the morphology of skeletal particles of cryogenic alluvium. Earth's Cryosphere IV (3), 67–73.

Рухин Л.Б. Основы общей палеогеографии. Л., Гостоптехиздат, 1962, 557 с.

Rukhin, L.B., 1962. The Fundamentals of General Paleogeography. Leningrad, Gostoptekhizdat, 557 pp. (in Russian)

Рухина Е.В. Литология ледниковых отложений. Л., Недра, 1973, 76 с.

Rukhina, E.V., 1973. Lithology of glacial deposits. Nedra, Leningrad, 76 p. (in Russian)

Серебрянный Л.Р. Лабораторный анализ в геоморфологии и палеогеографии // Итоги науки и техники. Сер. Геоморфология. М., ВИНТИ, 1980, 152 с.

Serebryanniy, L.R., 1980. Laboratory analysis in geomorphology and paleogeography. Itogi Nauki i Tekhniki. Ser. Geomorphologii, vol. 6, VINITI, Moscow, 152 pp.

Урбан А.А., Галанин А.А., Чжан Т.Р. Литолого-минералогическая характеристика перевеваемого песчаного комплекса "Кызыл-Сырский" // Разведка и охрана недр, 2013, № 12, с. 23–27.

Urban, A.A., Galanin, A.A., Chzhan, T.R., 2013. Lithological and mineralogical characteristics of the Kysyl-Syr dune complex. Razvedka i Okhrana Nedr, No. 12, 23–27.

Чичагов В.П. К методике изучения поверхности песчаных зерен и ее значение для определения генезиса четвертичных отложений // Литология и полез. ископаемые, 1961, № 4, с. 431–439.

Chichagov, V.P., 1961. To the methodology for the study of sand grain surface and its importance for determination of the origin of Quaternary deposits. Materials on the origin and processing

of sand grains. Lithologia i Poleznye Iskopaemye, No. 4, 431–439.

Bull, P.A. A quantitative approach to scanning electron microscope analysis of cave sediments // Scanning electron microscopy in the study of sediments. W.B. Whalley (Ed.). Norwich, UK, Geo Abstracts, 1978, p. 201–227.

Helland, P.E., Huang, Pei-Hua, Robert, F. SEM Analysis of quartz sand grain surface textures indicates alluvial/colluvial origin of the quaternary "Glacial" Boulder clays at Huangshan (Yellow Mountain), East-Central China // Pap. Natural Res., 1997, p. 115.

Krinsley, D.H., Doomkamp, J.C. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1973, 91 p.

Sorby, H.C. On the structures and origin of noncalcareous stratified rocks // Quart. J. Geol. Soc. London, 1880, vol. 36, p. 46–92.

Timireva, S.N., Velichko, A.A. Depositional environments of the Pleistocene loess-soil series inferred from sand grain morphoscopy – A case study of the East European Plain // Quatern. Intern., 2006, vol. 152–153, p. 136–145.

Woronko, B., Zieliński, P., Sokołowski, Jan R. Climate evolution during the Pleniglacial and Late Glacial as recorded in quartz grain morphoscopy of fluvial to aeolian successions of the European Sand Belt // Geologos, 2015, vol. 21, No. 2, p. 89–103.

*Поступила в редакцию 28 февраля 2018 г.,
после доработки – 31 октября 2018 г.,
принята к публикации 15 ноября 2018 г.*