

А.А. КУТЬ*, В.В. СПЕКТОР*, Б. ВОРОНКО**, Х. ЦЗИНЬ***

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, Мерзлотная, 36, Россия, ann.urban@mail.ru, vvspektor@mpi.ysn.ru

**Университет Варшавы, PL-02-089,

Варшава, ул. Жвирки и Вигуры, 93, Польша, bworonko@uw.edu.pl

***Северо-Западный институт экологии и природных ресурсов Китайской академии наук,
730000, Ланьчжоу, Дунган-Вест-Роуд, 320, Китай, hjjin@lzb.ac.cn

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АБАЛАХСКОЙ АККУМУЛЯТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Рассмотрены перигляциальные отложения высокой аккумулятивной Абалахской поверхности в пределах междуречья Лены и Амги (Центральная Якутия). Установлен генезис рыхлых отложений и выявлена роль различных седиментационных процессов в их формировании. Результаты получены на основании криолитоологического описания разреза 94,5-метровой скважины, пробуренной в 2018 г. Выполнен анализ степени окатанности и заматованности поверхности кварцевых зерен. Выделены диагностические элементы на поверхности частиц, характерные для различных седиментационных процессов. Проведена оценка соотношения в составе зерен кварца и полевого шпата. Установлено, что рассматриваемая толща имеет аллювиальный (тобольский и самарско-тазовский горизонт) и озерно-аллювиальный генезис (зырянский горизонт). Отмечено, что в накоплении отложений тобольского горизонта принимали участие также эоловые процессы. Источником отложений, слагающих разрез Абалахской поверхности, стали рыхлые осадки ближнего переноса, прошедшие обработку в флювиальной среде. Выявлены признаки постседиментационных процессов криогенного выветривания в отложениях зырянского и самарско-тазовского горизонтов. Установлено, что суглинистые отложения ледового комплекса формировались в результате сложного ряда процессов, включающих криогенное выветривание, эоловый перенос во взвешенном состоянии и аккумуляцию в условиях застойного водоема.

Ключевые слова: реконструкция обстановки осадконакопления, ледовый комплекс, микроморфология кварцевых зерен, Центральная Якутия.

А.А. КУТ*, V.V. SPECTOR*, B. WORONKO**, H. JIN***

*Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
677010, Yakutsk, ul. Merzlotnaya, 36, Russia, ann.urban@mail.ru, vvspektor@mpi.ysn.ru

**University of Warsaw, PL-02-089, ul. Żwirki i Wigury, 93, Warsaw, Poland, bworonko@uw.edu.pl

***Northwest Institute of Eco-environment Resources, Chinese Academy of Sciences,
730000, Lanzhou, Donggang West Road, 320, China, hjjin@lzb.ac.cn

MICROMORPHOLOGICAL INVESTIGATIONS INTO PERIGLACIAL DEPOSITS OF THE ABALAKH ACCUMULATIVE PLAIN (CENTRAL YAKUTIA)

This paper considers periglacial sediments of the high accumulative Abalakh plain located in the interfluvium of the Lena and Amga rivers (Central Yakutia). The genesis of loose deposits is determined, and the role of various sedimentation processes in their formation is revealed. Results were obtained on the basis of the cryolithological description of 94.5-meter borehole drilled in 2018. An analysis was made of the degree of roundedness and frosting of the surface of quartz grains. Diagnostic elements on the particle surface characteristic for different sedimentation processes are identified. An assessment of the relationship in the composition of quartz and feldspar grains was made. It was established that the layer under consideration has an alluvial (Tobolsk and Samara-Taz horizon) and lacustrine-alluvial genesis (Zyryanka horizon). It is pointed out that aeolian processes were also involved in sedimentation of the Tobolsk horizon. The source for deposits in the profile of the Abalakh plain was provided by loose deposits of short-range transport which were processed in the fluvial environment. Evidence for post-sedimentation processes of frost weathering was discovered in deposits of the Zyryanka Samara-Taz horizons. It was established that loamy deposits of the ice complex were produced as a result of a complicated set of processes including frost weathering, aeolian transportation in a suspended state, and accumulation in stagnant basin conditions.

Keywords: sedimentation environment reconstruction, ice complex, quartz grain microtexture, Central Yakutia.

ВВЕДЕНИЕ

Абалахская аккумулятивная поверхность (200–300 м над ур. моря) занимает центральную, наиболее высокую часть Лено-Амгинской равнины. Формирование этой поверхности произошло после завершения цикла накопления слагающих ее отложений озерного комплекса в результате денудационных процессов. Ее характерной особенностью является широкое развитие ледового комплекса, роль которого возрастает в долинах и ближе к краевым частям Таттинско-Тандинского водораздела. Положение Абалахской поверхности и рельеф претерпели достаточно сильные изменения. В эпоху накопления толщи озерных отложений уровень поверхности был существенно более низким, чем современный, и ненамного выше существовавшего тогда базиса эрозии. Причиной этого предположительно стала ледниковая нагрузка на краевую часть Сибирской платформы. Подъем аккумулятивной поверхности произошел в каргинское время в результате дегляциации. Это привело к наблюдаемым в настоящее время пологим изгибам Абалахской поверхности, развитию на ней термоденудационных и термоэрозионных явлений [1].

Генезис отложений, слагающих Абалахскую поверхность, рассматривается в работах П.А. Соловьёва [2], Е.М. Катасонова с соавтором [3], М.С. Иванова [4]. Распределение минералогических параметров в зависимости от гранулометрического состава показало, что в нижней части разрез представлен аллювиальными песчаными осадками мощностью 20–30 м, в верхней — озерно-аллювиальной толщей суглинков мощностью до 60 м, верхние слои которой пронизаны жилами повторно-жильного льда. По мнению П.А. Соловьёва [2], озерно-аллювиальная толща пылеватых суглинков Абалахской поверхности мощностью от 15 до 60 м не представляет собой пойменную фацию в чистом виде. Эти отложения формировались в течение длительного периода в условиях медленного опускания территории. В нижней части преобладают более тяжелые суглинки озерного типа; в верхней, включающей жилы льда, — легкие суглинки пойменного типа. Таким образом, в настоящее время мы имеем представление о происхождении четвертичных отложений Абалахской поверхности.

Один из методов фациального анализа, используемый для реконструкции обстановки осадконакопления, — метод микроморфологического анализа поверхности кварцевых зерен. Этот метод позволяет уточнить, как происходил перенос отложений и в какой обстановке протекали процессы накопления на последнем этапе седиментации. Результаты изучения микростроения глинистых агрегатов в суглинках сезоннопротаивающего слоя и ледового комплекса, а также минералообразования в условиях многолетней мерзлоты в Центральной Якутии приведены в работах Х.Г. Зигерт [5, 6]. Но эти данные относятся к концу XX в., более современных работ отмечено не было.

Таким образом, цель настоящей работы — анализ обстановки осадконакопления отложений, слагающих разрез Абалахской аккумулятивной поверхности, при сопоставлении текстурных элементов поверхности кварцевых зерен и соответствующих им условий среды транспортировки и аккумуляции осадка.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение поверхности кварцевых зерен проводилось для разреза отложений аккумулятивной Абалахской поверхности Центрально-Якутской низменности. Абалахская поверхность занимает центральную, наиболее высокую часть Лено-Амгинского междуречья. Абсолютные отметки равнины — 260–280 м, рельеф умеренно расчлененный. На поверхности террасы в связи с высокой льдистостью отложений отмечается широкое развитие процессов термокарста с образованием озерных котловин (аласов), количество которых существенно возрастает к ее периферийной части [7].

Для описания разреза в окрестностях пос. Борогонцы в марте 2018 г. была пробурена скважина 18/1 глубиной 94,5 м. Скважина (62,659659° с. ш., 131,386478° в. д.) расположена на водоразделе Абалахской поверхности Лено-Амгинского междуречья (рис. 1). Поверхность в этой части горизонтальная и слабопологонаклонная.

На основании криолитологического описания разреза и анализа стратиграфического положения толща была разделена на пять комплексов [8].

I. Современные (голоценовые) отложения. Интервал 0–0,48 м. Отложения, подверженные ежегодному сезонному промерзанию и протаиванию, представлены в верхней части супесью светло-коричневой. Предположительный возраст — голоцен (МИС-1). Мощность — 0,48 м.

II. Отложения ледового комплекса. Интервал 0,48–26,15 м. Представлены суглинками массивными, преимущественно со шлировой криотекстурой, вмещающими повторно-жильные льды мощностью

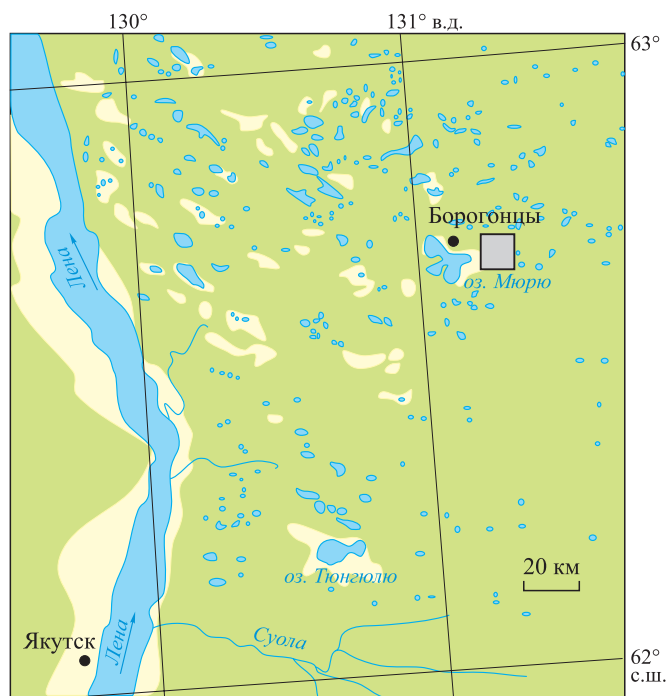


Рис. 1. Местоположение скважины 18/1 (показано прямоугольником).

до 2 м. Предположительный возраст — поздний плейстоцен, каргинско-сарганский горизонт (МИС-2, МИС-3). Мощность — 25,67 м.

III. Отложения озерного комплекса. Интервал 26,15–63,45 м. Представлены алевритами горизонтально- и волнисто-слоистыми, реже пологонаклонно-слоистыми. Периодически отмечаются включения раковин пресноводных моллюсков, растительные остатки. Криотекстура массивная. В отложениях встречаются отдельные «слепые» (выклинивающиеся сверху и книзу) трещины, заполненные льдом. Предположительный возраст — поздний плейстоцен, зырянский горизонт (МИС-4). Мощность — 37,3 м.

IV. Озерно-аллювиальный комплекс. Интервал 63,45–78,9 м. Пачка представлена переслаиванием алевритов и песков. Криотекстура массивная. Предположительный возраст —

средний плейстоцен, самаровско-тазовский горизонт (МИС-6, МИС-8). Мощность — 15,45 м.

V. Аллювиальный комплекс. Интервал 78,9–94,5 м. Представлен песками средне- и крупнозернистыми. Разрез завершается горизонтом галечника, залегающим, предположительно, на коренных породах. Криотекстура массивная. Предположительный возраст — средний плейстоцен, тобольский горизонт (МИС-9, МИС-11). Видимая мощность — 15,6 м.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ текстурных особенностей поверхности кварцевых зерен проводился для разреза скважины 18/1, пробуренной в пределах Абалахской аккумулятивной поверхности Лено-Амгинской части Центральной Якутии (окрестности пос. Борогонцы) (табл. 1).

Методика изучения микроморфологических особенностей поверхности кварцевых зерен включает проведение морфометрического и морфоскопического анализа.

Для выполнения морфометрического анализа песчаные зерна предварительно были разделены на фракции, так как форма обломков и интенсивность изменения ее при переносе в значительной мере определяются их размером. Наиболее подходящей, по мнению российских и зарубежных авторов, для песчаных отложений считается фракция 0,5–0,25 мм [9–12]. По завершении всех подготовительных работ, включающих промывку в растворе соляной кислоты и сушку, отобранные зерна были исследованы при помощи оптического стереомикроскопа Carl Zeiss Stemi 305.

Таблица 1

Описание образцов в скважине 18/1

Номер	Интервал отбора керна, м	Интервал отбора образца, м	Описание керна	Дата отбора при бурении
1	19,75–20,3	20,03–20,05	Суглинок светло-коричневый массивный с микрошлировой криотекстурой	21.03.2018
2	29,9–30,3	30,02–30,05	Алеврит с примесью тонкозернистого песка	22.03.2018
3	49,9–50,3	50,28–50,30	Алеврит серый	23.03.2018
4	70,4–70,8	70,72–70,75	Чередование алеврита и песка мелкозернистого и тонкозернистого коричневого	26.03.2018
5	79,7–80,1	79,93–79,96	Песок среднезернистый	28.03.2018
6	91,2–91,7	91,32–91,38	Песок серый среднезернистый	29.03.2018

Морфометрический анализ заключается в определении степени округленности и матовости поверхности кварцевых зерен. Каждое зерно было рассмотрено под бинокулярным микроскопом, где визуально оценивается класс округленности и степень заматованности частицы по классификации А. Калле [13] и Е. Мичельской-Довгалло и Б. Воронко [14]. Согласно классификации [14], выделяют следующие типы зерен: RM — эоловые, идеально окатанные, поверхность матовая; EM/RM — эоловые, хорошо окатанные, матовые только на выпуклых частях зерна; EL — зерна высокодинамичной водной среды, хорошо окатанные глянцевые; EL/EM — высокоэнергичная водная среда, слабо окатанные; NU — свежие сколы и острые ребра и грани, без следов химического выветривания и следов транспортировки; C — развиты поверхности расколов, на 30 % поверхности исходного зерна сохранились следы среды транспортировки и накопления; O — поверхность зерен очень сильно затронута следами химического выветривания или растворения *in situ*.

Морфоскопический анализ кварцевых зерен проводился при помощи растрового электронного микроскопа Zeiss SUPRA 25 в режиме вторичных электронов. Для просмотра зерен и создания цифрового изображения используется увеличение от 150–300 раз (изучение зерен целиком) до 3 тыс. раз (для наиболее интересных участков). Разрешение может меняться в зависимости от текстурных особенностей поверхности зерен. Для каждого зерна определяется набор текстурных элементов поверхности и их процентное содержание. Учитываются те элементы, которые занимают не менее 5 % площади поверхности. Образцы, состоящие преимущественно из мелкодисперсной фракции, морфометрическому анализу не подвергались ввиду малого размера зерен. После промывки таких проб и напыления зерна были исследованы при помощи растрового электронного микроскопа. Для данных образцов возможно установить условия последнего этапа накопления отложений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение зерен различных генетических классов достаточно равномерное (рис. 2). Зерна класса EM/EL в нижней части разреза значительно преобладают. Для среднезернистых песков в интервалах 91,18–91,65 и 79,66–80,1 м их содержание достигает 94 и 88 % соответственно. Также 52 % частиц этого класса было установлено в переслаивающихся алевритах, песках мелко- и тонкозернистых в интервале глубин 70,37–70,75 м. Выше по разрезу их содержание значительно сокращается (до 4–12 %) и возрастает количество зерен класса O до 64 % на глубине 20 м. В нижней части разреза зерна класса NU отсутствуют. Выше по разрезу их содержание составляет 24–28 %. Разрушенные зерна (C), как видно на графике (см. рис. 2), встречаются в верхней части разреза, их содержание изменяется на разных глубинах от 4 до 20 %.

Для отложений рассматриваемого разреза был установлен широкий набор диагностических элементов. Здесь были отмечены раковистые сколы, поверхность истирания, блоки расклинивания, аркообразные ступени, серпообразные трещины и V-образные микроуглубления (табл. 2). Раковистые сколы различного размера имеются как на хорошо окатанных зернах (EM/EL), так и на поверхности угловатых и разрушенных зерен. В целом по разрезу содержание частиц с раковистыми сколами изменяется в следующих пределах: сколы, размер которых не превышает 10 мкм, встречаются на 66,7–42,9 % (NU), 7,7–42,9 (O) и 30,8–52,9 % (EM/EL) зерен. Сколы, размер которых больше 10 мкм, были отмечены уже на 50–83,3 % (NU), 6,3–84,6 (O), 22,1–83,3 (EM/EL) и 33,3–100 % (C) зерен. Распространенность аркообразных ступеней по разрезу весьма неравномерна. Она достигает для зерен класса EM/EL, преимущественно в основании разреза, 70,6 %; на поверхности зерен классов NU и C — 16,7–71,4 и 66,6 % соответственно. Для зерен *in situ* (O) проявление незначительно — 6,3–7,1 %. Блоки расклинивания имеются более чем на половине изученных зерен, преимущественно в основании разреза: блоки размером <10 мкм — на 23,1–55,6 % зерен, блоки размером >10 мкм — на 27,8–64,7 % зерен класса EM/EL. Этот же элемент встречается на поверхности зерен класса NU и C — 14,3 и 33,3 % соответственно. Ступенчатость развита менее чем на 50 % зерен различных классов: 14,3–42,9 % (NU), 6,3–15,4 (O), 20–33,3 (C) и 23,1–47,1 % (EM/EL). Значительно распространены серпообразные углубления. Они встречаются более чем на 60 % зерен всех классов. На 100 % изученных зерен имеются V-образные углубления и поверхность истирания. Здесь также важно отметить, что вторичные диагностические элементы, описанные выше, дублируют элементы, сохранившиеся от предыдущей обстановки осадконакопления.

В основании разреза, в интервале глубин 91,18–91,7 м, все текстурные элементы имеют механическую природу образования и указывают на обработку зерен в водной среде (рис. 3, а) [15]. Неболь-

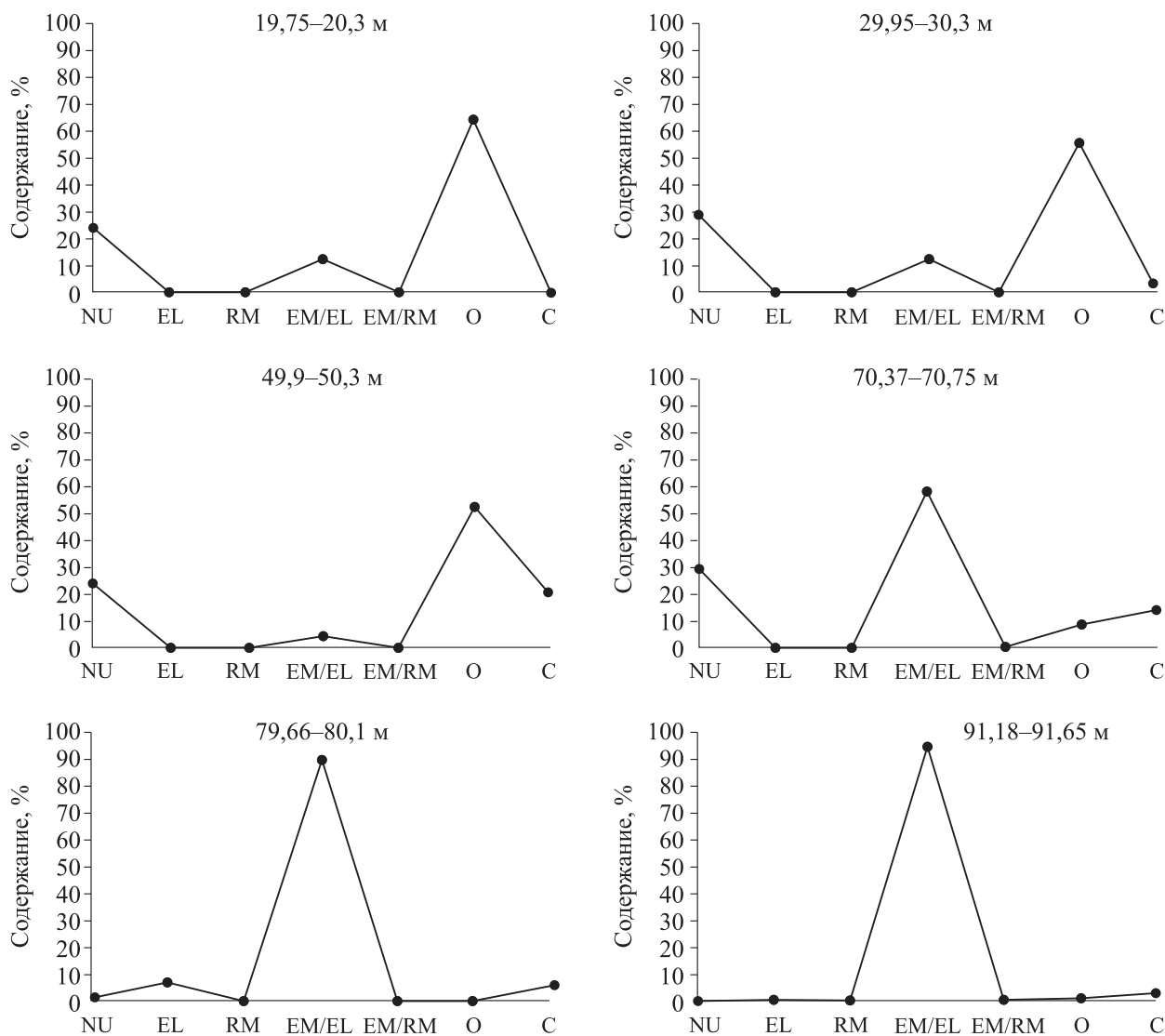


Рис. 2. Распределение генетических классов кварцевых зерен по разрезу в указанных интервалах взятия образца.

шое количество зерен в среднезернистых песках с отмеченными блоками расклинивания указывает на слабодинамичную среду, обработка продолжалась длительное время (к примеру, поток большой реки). Источником этих отложений, судя по сохранившимся (сглаженным, но хорошо просматриваемым элементам) раковистым сколам стали отложения водных потоков [16]. Кроме этого, в составе присутствуют зерна угловатой формы со слабо сглаженными ребрами. Это указывает на то, что в процессе переноса основного материала водным потоком произошли привнос частиц и их непродолжительная обработка. Источником этих зерен могли быть коренные породы, подвергшиеся эрозионному размыву.

Интервал 79,66–80,1 м характеризуется преобладанием таких признаков, как аркообразные ступени и параллельная полосчатость (см. рис. 3, б, в), указывающих на водную низкодинамичную обстановку в течение продолжительного времени [15]. Это подтверждается также и наличием раковистых сколов (см. рис. 3, г) и блоков расклинивания небольшого размера. Источником стали пески, залегающие ниже по разрезу, что подтверждается наличием сохранившихся раковистых сколов размером более 10 мкм. Кроме того, на этом этапе произошел привнос хорошо окатанных частиц со следами золотой обработки.

Таблица 2

Распределение текстурных элементов, отмеченных на поверхности кварцевых зерен

Интервал, м	Диагностический элемент												
	поверхность растворения	матовая поверхность	ориентированные ямки травления	гребни	растворения ямки	травления ямки	поверхность истирания	прилипшие частицы	аркообразные ступени	блоки расклевывания (>10 мкм)	блоки расклевывания (<10 мкм)	раковистый скол (>10 мкм)	раковистый скол (<10 мкм)
19,75–20,3	●						●	●	●			●	●
29,95–30,02	●						●	●				●	●
49,9–50,3	●						●	●				●	●
70,37–70,75	●						●	●				●	●
79,66–80,1	●						●	●				●	●
91,18–91,65	●						●	●				●	●
	поверхность растворения	матовая поверхность	ориентированные ямки травления	гребни	растворения ямки	травления ямки	поверхность истирания	прилипшие частицы	аркообразные ступени	блоки расклевывания (>10 мкм)	блоки расклевывания (<10 мкм)	раковистый скол (>10 мкм)	раковистый скол (<10 мкм)
	вытянутые ямки	свежие поверхности сколов	линейная штриховка	микроступени	параллельные хребты	острые ребра и грани	субпараллельная штриховка	V-образные микроуглубления	налоготные элементы				

Примечание. ● — менее 25 %, ● — 26–50 %, ● — 51–75 %, ● — 76–100 %.

Следующий рассмотренный интервал (70,37–70,75 м) несколько отличается от нижезалегающих среднезернистых песков. Здесь кварцевых зерен в составе отложений содержится гораздо меньше по сравнению с полевыми шпатами. Зерна имеют преимущественно угловатую форму со слабо сглаженными очертаниями и матовую поверхность (см. рис. 3, д), в то время как полевые шпаты более окатанные (см. рис. 3, е). Это указывает на то, что кварц был привнесен в эти отложения, но привнос произошел в течение непродолжительного времени, так что зерна не успели принять хорошо сглаженные очертания [16]. Это подтверждается также тем, что V-образные микроуглубления не имеют такого широкого распространения на поверхности зерен, как при длительной обработке в водной среде [18]. Среди текстурных элементов преобладают поверхность растворения и аркообразные ступени. В меньшей степени отмечена ступенчатость (см. рис. 3, и). Раковистые сколы здесь как сохранившийся элемент от предыдущей обстановки, и их наличие указывает на то, что источником отложений стал материал, прошедший водную обработку.

При высоком содержании полевых шпатов в интервалах 49,9–50,53 и 29,95–30,3 м доля кварца меньше. Кварц неокатанный со свежими сколами и острыми ребрами, с плоскими поверхностями раскола, в отличие от более окатанных зерен полевого шпата (см. рис. 3, ж). На частицах отмечены поверхность растворения и истирания и раковистые сколы. Большая часть зерен покрыта корочкой, предположительно глинистой. Эти признаки указывают на водные условия седиментации, причем накопление отложений происходило во взвешенном состоянии (вероятно, в условиях застойного водоёма) [19]. На поверхности угловатых обломков корочки, как правило, нет. Это говорит о том, что неокатанные кварцевые зерна были привнесены в отложения через некоторое время после накопления отложений. Источником привнесенного кварца, вероятнее всего, были коренные породы, размываемые выше по течению реки. Перенос происходил в водном потоке непродолжительное время.

В составе отложений в интервале 19,75–20,3 м полевые шпаты преобладают над кварцем. Все минеральные частицы имеют угловатую форму, раковистые сколы и поверхности истирания, характерные для водной среды. Отсутствие в данном случае параллельной полосчатости на поверхности сколов ука-

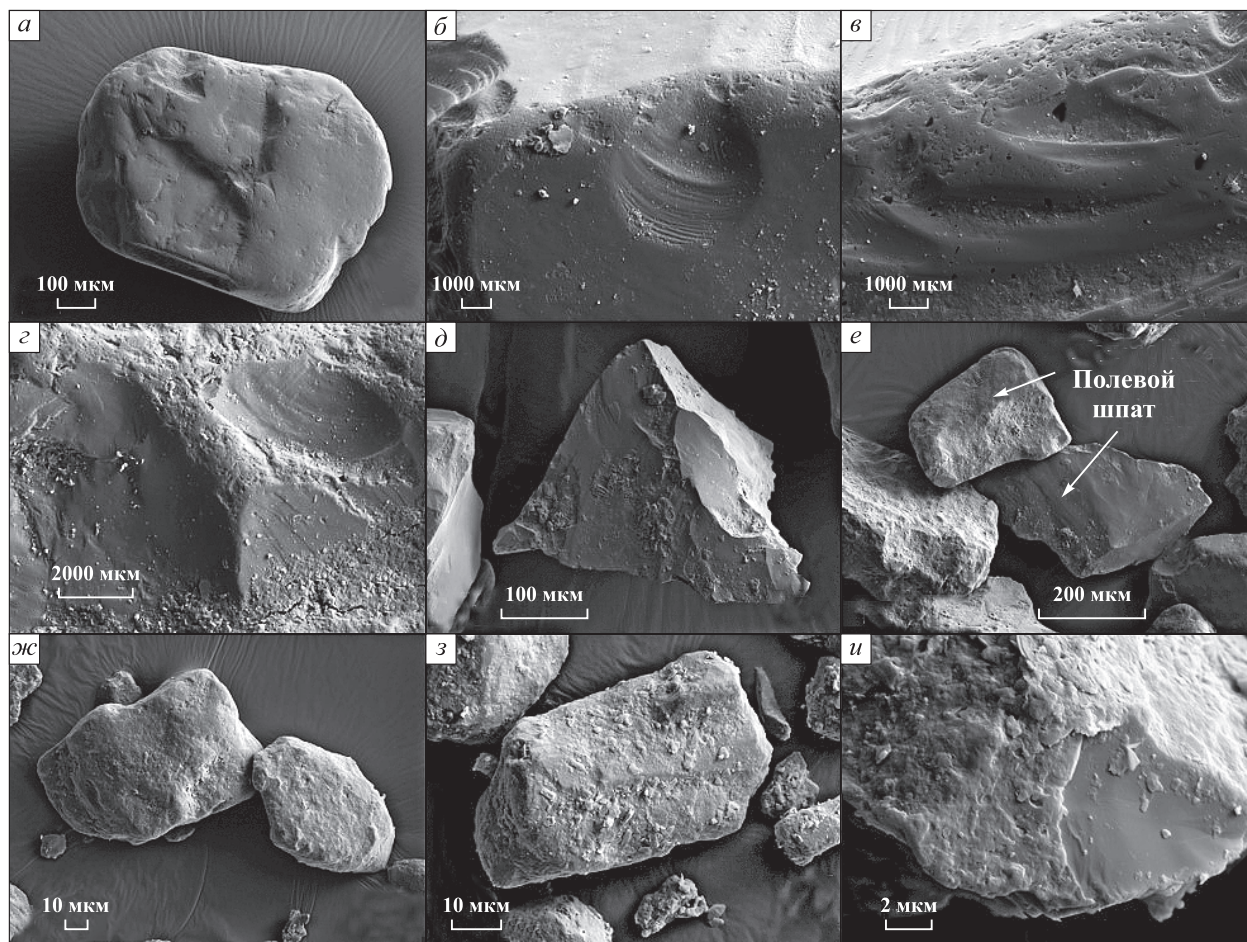


Рис. 3. Диагностические текстурные элементы на поверхности кварцевых зерен.

a — зерно кварца со сглаженными ребрами и глянцевою поверхностью; *б* — аркообразные ступени на поверхности кварцевого зерна; *в* — V-образные микроуглубления на ребрах зерна и параллельные ступени, характерные элементы для водной обстановки; *г* — раковистые сколы; *д* — кварцевое зерно угловатой формы со свежими сколами; *е* — окатанные зерна полевого шпата и угловатый кварц; *ж* — хорошо окатанные зерна полевого шпата; *з* — кварц слабоокатанный с постседиментационной глинистой корочкой; *и* — поверхность растворения и раковистый скол на поверхности кварца.

зывает на низкую динамику среды [20]. Зерна, как кварца, так и полевых шпатов, покрыты предположительно глинистой корочкой (см. рис. 3, *з*). Процесс образования корочки на поверхности части носит постседиментационный характер.

Исходя из особенностей распределения основных диагностических элементов по разрезу, можно сказать следующее. Вся рассматриваемая толща сформировалась в водной обстановке, динамика которой время от времени менялась. Источник — переработанные рыхлые осадки, залегающие ниже по разрезу, прошедшие водную обработку. В процессе переработки осадка в толщу вовлекался новый материал, предположительно из размываемых коренных пород неизменно водным потоком. Нижняя часть разреза в интервалах 91,18–91,7 и 79,66–80,1 м сформировалась при переносе сольвацией в водном потоке (русло реки). Процесс характеризуется продолжительным переносом. Чередующиеся алевриты и мелкозернистые пески (70,37–70,75 м) в условиях низкодинамичной водной обстановки — во взвешенном состоянии. Накопление алеврита (49,9–50,3 и 29,95–30,3 м) произошло в водных условиях, вероятно в условиях застойного водоема. И наконец, суглинистые отложения (19,75–20,3 м), подвергшиеся криогенному выветриванию, затем во взвешенном состоянии были принесены, предположительно, ветром, после чего были отложены в условиях водоема.

ВЫВОДЫ

Изложенные выше данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Полученные результаты микроморфологического анализа поверхности кварцевых зерен позволяют говорить об аллювиальном генезисе песчаной пачки в нижней части разреза и озерно-аллювиальном генезисе алевроитов и суглинков в верхней части. Эти результаты в целом вписываются в схему развития осадконакопления Лено-Амгинского междуречья.

2. Рассматриваемый разрез представляет собой толщу, сложенную осадками, переработанными в водной обстановке, динамика которой менялась от руслового потока до застойного водоема с последующим накоплением. Источником стали рыхлые осадки ближнего переноса и прошедшие обработку в водной среде.

3. На этапе формирования пачки аллювиальных песков в основании разреза был отмечен значительный привнос частиц со следами золотой обработки. Это может указывать на тот факт, что золотые процессы имели место в период формирования отложений тобольского горизонта в среднем плейстоцене.

4. Появление частиц группы С (до 30 % поверхности зерен покрыто свежими сколами и поверхностями раскола) может указывать на развивающиеся в отложениях озерного комплекса, накопление которого относится к позднему плейстоцену (зырянский горизонт), и в среднеплейстоценовых отложениях озерно-аллювиального комплекса (самаровско-тазовского горизонта) постседиментационные процессы криогенного выветривания.

5. Преобразование и перенос суглинистых отложений, слагающих толщу ледового комплекса, происходили в различных условиях. Сначала осадки подверглись криогенному выветриванию, затем во взвешенном состоянии были перенесены, вероятнее всего, ветром, после чего в течение длительного времени были отложены в условиях застойного водоема.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Государственного фонда естественных наук Китая (18-55-53054, NSFC 41811530093).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Спектор В.В.** Происхождение криолитогенных комплексов высокой равнины Лено-Амгинского междуречья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Якутск, 2003. — 23 с.
2. **Соловьёв П.А.** Четвертичные отложения северной части Лено-Амгинского междуречья // Материалы Всесоюз. совещ. по изучению четвертичного периода. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — Т. 3. — С. 186–194.
3. **Катасонов Е.М., Иванов М.С.** Криолитология Центральной Якутии (Экскурсия по Лене и Алдану): Путеводитель. — Якутск, 1973. — 37 с.
4. **Иванов М.С.** Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. — Новосибирск: Наука, 1984. — 126 с.
5. **Зигерт Х.Г., Турбина М.И.** О постседиментационных изменениях субэразальных криолитогенных отложений средней Лены // Проблемы криолитологии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. — Вып. 6. — С. 130–140.
6. **Зигерт Х.Г.** Минералого-петрографическая характеристика отложений ледовых комплексов Центральной Якутии // Проблемы геокриологии. — М.: Наука, 1988. — С. 101–107.
7. **Спектор В.В., Спектор В.Б., Бакулина Н.Т., Парфёнов М.И.** Роль ледников в преобразовании рельефа Лено-Амгинской равнины в плейстоцене и голоцене // Наука и образование. — 2015. — № 1. — С. 42–49.
8. **Спектор В.В., Цзинь Х., Торговкин Н.В., Максимов Г.Т., Спектор В.Б., Сыромятников И.И.** Строение плейстоценовых криогенных отложений Лено-Амгинской равнины (Центральная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. — 2020. — № 3. — С. 49–62.
9. **Wally W.W., Crinsley D.H.** A scanning electron microscope study of surface textures of quartz grains from glacial environments // Sedimentology. — 1974. — Vol. 21. — P. 87–105.
10. **Eyles N.** Scanning electron microscopy and particle size analysis of debris from a British Columbian glacier: a comparative report // Scanning Electron Microscopy in the Study of Sediments. — Norwich, 1978. — P. 227–242.
11. **Артёмова Н.Л.** Микроморфология лессовидных образований области вечной мерзлоты как показатель их генезиса. — М., 1988. — 195 с.
12. **Алексеева В.А.** Микроморфология поверхности кварцевых зерен как индикатор условий формирования ледникового рельефа (на примере бассейна р. Протвы в среднем ее течении): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2004. — 22 с.
13. **Cailleux A.** Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. — Paris: Société géologique de France, 1942. — 41 p.

14. **Mycielska-Dowgiallo E., Woronko B.** Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej i jej wartość interpretacyjna // Przegląd Geologiczny. — 1998. — S. 1275–1281.
15. **Krinsley D.H., Donahue J.** Environmental interpretation of sand grain surface features by electron microscopy // Geological Society of America Bulletin. — 1968. — Vol. 79, N 6. — P. 743–748.
16. **Margolis S.V., Kennett J.P.** Cenozoic paleoglacial history of Antarctica recorded in Subantarctic deep sea cores // American Journ. of Science. — 1971. — Vol. 271. — P. 1–36.
17. **Woronko B., Rychel J., Karasiewicz M.K., Ber A., Krzywicki T., Marks L., Pochocka-Szwarc K.** Heavy and light minerals as a tool for reconstructing depositional environments: an example from the Jaływka site (northern Podlasie region, NE Poland) // Geologos. — 2013. — Vol. 19. — P. 47–66.
18. **Lindé K.** Scanning electron microscope studies of different sands and silts // Acta Universitatis Upsaliensis. — 1984. — P. 1–10.
19. **Mahaney W.C.** Atlas of sand grain surface textures and applications. — Oxford: Oxford University Press. — 2020. — P. 26–34.
20. **Sharp M., Gomez B.** Processes of debris comminution in the glacial environment and implications of quartz sand-grain micromorphology // Sedimentary Geology. — 1986. — Vol. 46. — P. 33–47.

Поступила в редакцию 06.08.2020

После доработки 02.02.2021

Принята к публикации 29.12.2021