

Санкт-Петербургский государственный университет

МАНСУРОВА Диана Рустамовна

Выпускная квалификационная работа

Текстуры поверхности кварцевых зерен из кембрийских и четвертичных отложений окрестностей Путиловского карьера (Ленинградская область)

Уровень образования: бакалавриат

Направление 05.03.02 «*География*»

Основная образовательная программа СВ.5019.2018 «*География*»

Профиль: «Геоморфология и палеогеография»

Научный руководитель:

к. г.-м. н., доцент кафедры осадочной геологии

П.В. Федоров

Рецензент:

Геолог 1 категории, Отдел
четвертичной геологии и геоморфологии ФГБУ «ВСЕГЕИ»,

к.г.-м. н. М.В. Шитов

Санкт-Петербург

2022

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК	4
1.1. Географическое описание района.	4
1.2. Рельеф.....	4
1.3. Гидрография.....	5
1.4. Климат.....	6
1.5. Почвы и растительный покров.....	7
ГЛАВА 2. КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК	9
ГЛАВА 3. СТРАТИГРАФИЯ	11
ГЛАВА 4. СТРЕОНИЕ И ОПРОБОВАНИЕ РАЗРЕЗА.....	14
ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	18
5.1. Гранулометрический анализ.....	18
5.2. Метод морфоскопии и морфометрии кварцевых зерен	19
ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	23
6.1. Гранулометрия	23
6.1.1. <i>Кембрийские отложения.</i>	23
6.1.2. <i>Морена.</i>	24
6.1.3. <i>Озерно-ледниковые и перелевянные эоловые отложения.</i>	25
6.2. Текстуры поверхности кварцевых песчаных зерен.....	26
6.2.1. <i>Кембрийские отложения.</i>	26
6.2.2. <i>Ледниковые отложения квартера.</i>	38
6.2.3. <i>Озерные отложения квартера и перелевянные эоловые отложения.</i> 38	
ГЛАВА 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
ЛИТЕРАТУРА	46

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Метод морфоскопии и морфометрии кварцевых зерен, применяемый для определения генезиса отложений, который привнесен в российскую геологию совсем недавно, имеет некоторые тонкости. Метод основывается на изучении структуры поверхности кварцевых зерен песчаной размерности, которые формируются при выветривании, транспортировке и диагенезе зерен. Зерна, сформированные в одних обстановках, могут быть повторно переотложены в других обстановках. Соответственно, при изучении терригенных песчаных отложений необходимо учитывать возможность переотложения и перезахоронения зерен из предшествующих обстановок.

Объектом исследования являются коренные породы (кембрийские песчаники) и последовательно их перекрывающие четвертичные отложения трех генетических типов.

Предмет исследования – морфология поверхности кварцевых частиц в кембрийских и четвертичных отложениях.

Целью настоящей работы является установить в какой мере наследуются структуры поверхности кварцевых зерен при переотложениях из древних отложений в молодые.

Основными **задачами** являлись:

1. Полевая документация представительного разреза с дочетвертичными и перекрывающими их четвертичными отложениями;
2. Установление взаимоотношения этих отложений;
3. Изучение поверхности кварцевых зерен из различных отложений данного разреза и выявление преобладающих структур в коренных породах и четвертичных отложениях разных генетических типов.
4. Выявление основных наследуемых структур поверхности кварцевых зерен.

Фактическим материалом для настоящей работы послужили данные, собранные на разрезе у восточной водоотводной канавы Путиловского плитного карьера. (Ленинградская область, Кировский район). Было отобрано 16 образцов из отложений различных генетических типов, в том числе песчаники саблинской и ладожской свит, четвертичные моренные образования и палеопочвы в коренных породах, а также флювиогляциальные и озерные осадки. **Автором были** выполнены: отмывка песчаной фракции, гранулометрический анализ отмытой 16 проб с помощью гравиметрического и ситового методов в лаборатории пробоподготовки ИНоЗ СПбГУ. Фракция 0,04-0,315 была подвергнута морфоскопическому и морфометрическому анализу на СЭМ Hitachi TM3000 в ресурсном центре Микроскопии и микроанализа на базе научного парка СПбГУ.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

1.1. Географическое описание района.

Район исследования располагается в северо-западной части России южном обрамлении Ладожского озера. Изучаемый разрез в административном отношении находится в Кировском районе Ленинградской области в окрестностях Путиловского карьера. Карьер уже долгое время используется для добычи ордовикских известняков. Месторождение было открыто в 1712 году по указу Петра I. Изученный разрез расположен на Балтийско-Ладожском глинте ниже карьера, где в долине восточной водоотводной канавы на поверхности обнажаются кембрийские и ордовикские отложения.

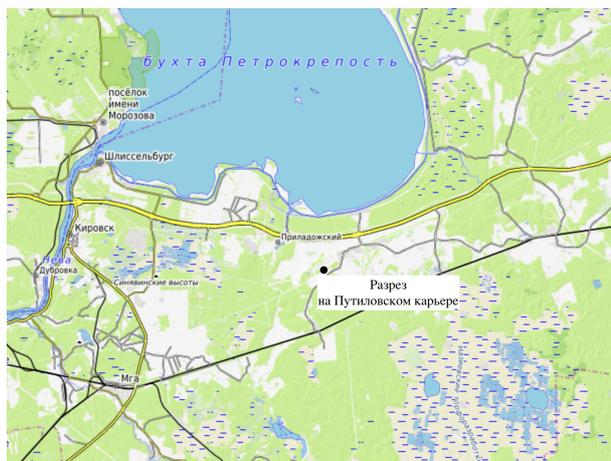


Рисунок 1. Расположение разреза на топографической карте.

1.2. Рельеф.

Геоморфология Ленинградской области формировалась под воздействием процессов, характерных для геологической истории всего Северо-Запада России. В окрестностях Путиловского карьера рельеф, который сформировался в результате четвертичных оледенений, наложился на более древний рельеф, сформированный процессами пещерной эрозии на протяжении кайнозоя. На территории представлены результаты неоднократных оледенений в виде озовых гряд и камовых плато. Также проявлены влияние водно-ледниковой и озерной деятельности. Уже в голоцене рельеф видоизменялся под воздействием эрозионно-аккумулятивной деятельности поверхностных вод, биогенных и золовых процессов (Геология СССР т.1, 1971).

В рельефе хорошо выражен эрозионный уступ, сложенный на вершине ордовикскими известняками, так называемый Балтийско-Ладожский глинт. Именно у его подножия расположен изученный разрез. Он протягивается вдоль побережий Финского залива, южного побережья Ладожского озера от р. Нарвы на западе до р. Сяси на востоке (Геология СССР т.1, 1971). Максимальная относительная высота бровки может достигать 160 м.

С севера от глинта расположена Предглинтовая низменность с отдельными изолированными возвышенностями. На ней распространены аккумулятивные террасовые поверхности, их максимальная высота достигает 100 м (Геология СССР т.1, 1971).

Террасовые поверхности наклонены в сторону Финского залива и Ладожского озера соответственно. Возвышенности, о которых говорилось выше, сформировались здесь за счет четвертичных моренных сооружений (оз, кам и др.). Отдельные камовые массивы могут достигать в высоту 50-137 м (Геология СССР т.1, 1971).

Южнее Балтийско-Ладожского глинта простирается Ордовикское плато, к которому примыкает обширная девонская равнина. Ордовикское плато - это плоская выровненная равнина, которая имеет плавный переход от западной (Ижорская возвышенность) к восточной (Волховское плато) частям. Западная часть наиболее приподнятая и обширная, но имеет преимущественно плоскую поверхность, полого наклоненную к юго-западу от Глинта. Здесь относительные колебания высоты обычно не превосходят 5 м, при этом абсолютные высоты на Ижорской возвышенности достигают 100 м и более. К востоку наблюдается уменьшение высоты вплоть до перехода к Волховскому плато. Абсолютные отметки на Волховском плато от 30 до 60 м, при этом его центральная часть более приподнятая, чем окраинные. Отдельно здесь встречаются камовые холмы и озовые гряды длиной не более 1 км и относительной высотой до 10 м.

1.3. Гидрография.

В районе исследования расположено три крупных водоема: Ладожское озеро, Онежское озеро и Финский залив.

Разрез находится недалеко от южного берега *Ладожского озера* в 4,7 км от бухты Петрокрепость. Озеро крупное, его площадь составляет около 17,87 тысяч км², высота над уровнем моря — 4,84 м.

Из-за больших размеров озера и незначительной годовой вариацией поступающей воды сезонные колебания уровня воды в ней невелики. На территории водозбора Ладожского озера расположено много крупных озер и гидроузлов на основных притоках, это создает условия для равномерного притока воды.

Глубина озера увеличивается с юга на север. В южной части она варьируется от 20 до 70 м, а в северной — от 70 до 230 м. При этом средняя глубина озера 50 м, а максимальная 233 м.

Площадь *Онежского озера* без островов составляет 9690 км, а высота над уровнем моря — 33,3 м. Режим озера характеризуется весенним подъемом уровня воды в течение 1,5-2 месяцев. Годовые колебания уровня воды составляют около 1 м: наивысший уровень наблюдается в июне-августе, наименьший - в марте-апреле. Привнос воды происходит в

основном благодаря рекам, но значительная часть (25%) также приходит с атмосферными осадками. Сток из озера регулируется Верхне-Свирской ГЭС.

Средняя глубина озера составляет 31 м, наибольшая глубина в северной части озера достигает 127 м. Средняя глубина в центральной части составляет 50—60 м, ближе к югу дно поднимается до 20—30 м. При этом для Онежского озера характерны многочисленные резко выраженные повышения и понижения дна.

Ладожское и Онежское озера представляют собой остатки крупных приледниковых озер, существовавших в послеледниковье и голоцене.

Финский залив — залив в восточной части Балтийского моря, площадь которого — 29,5 тыс. км². Финский залив мелководен. Профиль дна уменьшается по направлению от горла к вершине. Особенно резкое изменение происходит близ Нарва-Йыэсуу, из-за чего это место называют Нарвской стенкой. Средняя глубина — 38 м, максимальная глубина 121 м, глубина Невской губы — 6 м и менее, а в береговой полосе — до 1 м.

В связи с большим притоком пресной воды из рек, в частности из Невы, вода залива имеет очень небольшую солёность от 0,2 до 9,2 ‰ у поверхности и от 0,3 до 11,0 ‰ у дна. Средняя температура воды зимой около 0 °С, летом 15—17 °С на поверхности и 2—3 °С у дна. Залив замерзает с конца ноября до конца апреля. Характерны сильные ветровые волнения и нагоны воды при западных ветрах, приводящих к наводнениям.

Южные берега Финского залива подтоплены, вдоль них проходит Балтийско-Ладожский глинт высотой до 40 м.

В районе исследования расположено несколько рек. К западу от Путиловского карьера в северном направлении протекает р. Назия, которая впадает в Ладожское озеро. Ее протяженность 48 км. Это одна из самых крупных рек Кировского района. Вторая по протяженности река находится к востоку от п. Путилово - р. Лава (35 км). Она огибает бухту Петрокрепость и впадает в нее с восточной стороны. Через поселок Путилово протекает небольшая р. Рябиновка, впадающая в Староладожский канал.

1.4. Климат.

Территория исследования расположена в умеренных широтах на северо-западе Восточно-Европейской равнины, где проявляется преимущественно влияние Атлантического океана, а также Северо-Ледовитого океана. Кроме того, на территории расположены два крупных озера – Ладожское и Онежское – которые смягчают климат.

Здесь преобладает западный перенос воздушных масс. Со стороны Атлантического океана поступает влажный морской воздух умеренных широт. Зимой он теплый и восполняет

недостаток солнечного тепла, вызывая оттепель, дождь и мокрый снег. Летом приход этого воздуха вызывает дождь и прохладную погоду.

С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда холодный арктический воздух. Вторжения этого воздуха сопровождаются наступлением ясной погоды и резким снижением температуры.

С северо-запада поступает морской арктический воздух, он менее холодный, но более влажный.

Вся территория Ленинградской области находится в зоне избыточного увлажнения. Относительная влажность воздуха всегда высокая - от 60% летом до 85% зимой. Среднегодовая сумма осадков, составляющая 550-650 мм, на 200-250 мм больше количества испаряющейся влаги. Это способствует заболачиванию почв. Основная масса осадков выпадает в период с апреля по октябрь.

Среднегодовая температура в п. Путилово 5,4°C, при этом зимние значения около -5,6°C, а летние в 16,9°C. Вегетационный период составляет 5 месяцев.

Вследствие малой высоты стояния солнца, короткого дня и отсутствия снежного покрова суша в начале зимы сильно охлаждается. Морской воздух, поступающий с циклонами, также быстро охлаждается и достигает состояния насыщения, содержащийся в нем водяной пар конденсируется, что вызывает облачность и частые туманы. В течение декабря бывает 18-20 пасмурных дней и лишь 2 ясных дня.

Вторая половина зимы в Ленинградской области почти всегда значительно холоднее первой. Поступающий с запада морской воздух становится более холодным и менее влажным, ослабляется циклоничность. Вследствие этого облачность уменьшается. Вместе с тем чаще вторгается арктический воздух, резко понижающий температуру.

Лето в Ленинградской области умеренно теплое. В связи с преобладанием континентальных воздушных масс облачность в большинстве случаев небольшая, особенно в начале лета. Во второй половине лета ясную и теплую погоду все чаще прерывают циклоны. Они приносят пасмурную, ветреную и дождливую погоду. В годы с сильной циклонической деятельностью такая погода преобладает в течение всего лета.

1.5. Почвы и растительный покров.

Почвы на территории Северо-Запада России определяются в первую очередь зональными и климатическими особенностями региона. Здесь наибольшее распространение имеют подзолистые почвы. В прилегающей к Путиловскому карьеру территории, преобладают ползолисто-глеевые, дерново-подзолистые и дерново-карбонатные почвы.

Почвенный покров тесно связан с растительностью, которая на нем развивается (Исаченко и др., 1965). Леса являются наиболее распространенным типом растительности. В их составе из древесных преобладают ольха серая, береза и сосна (Карта-Схема Кировского лестничества, 2013).

ГЛАВА 2. КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Геологическое строение всего Северо-Запада России представлено разнообразными горными породами. В нем участвуют архей-нижнепротерозойские метаморфические и магматические образования, которые слагают кристаллический фундамент, палеозойские (начиная от кембрийских, заканчивая пермскими), повсеместно распространены четвертичные отложения платформенного чехла (Вербицкий и др., 2012).

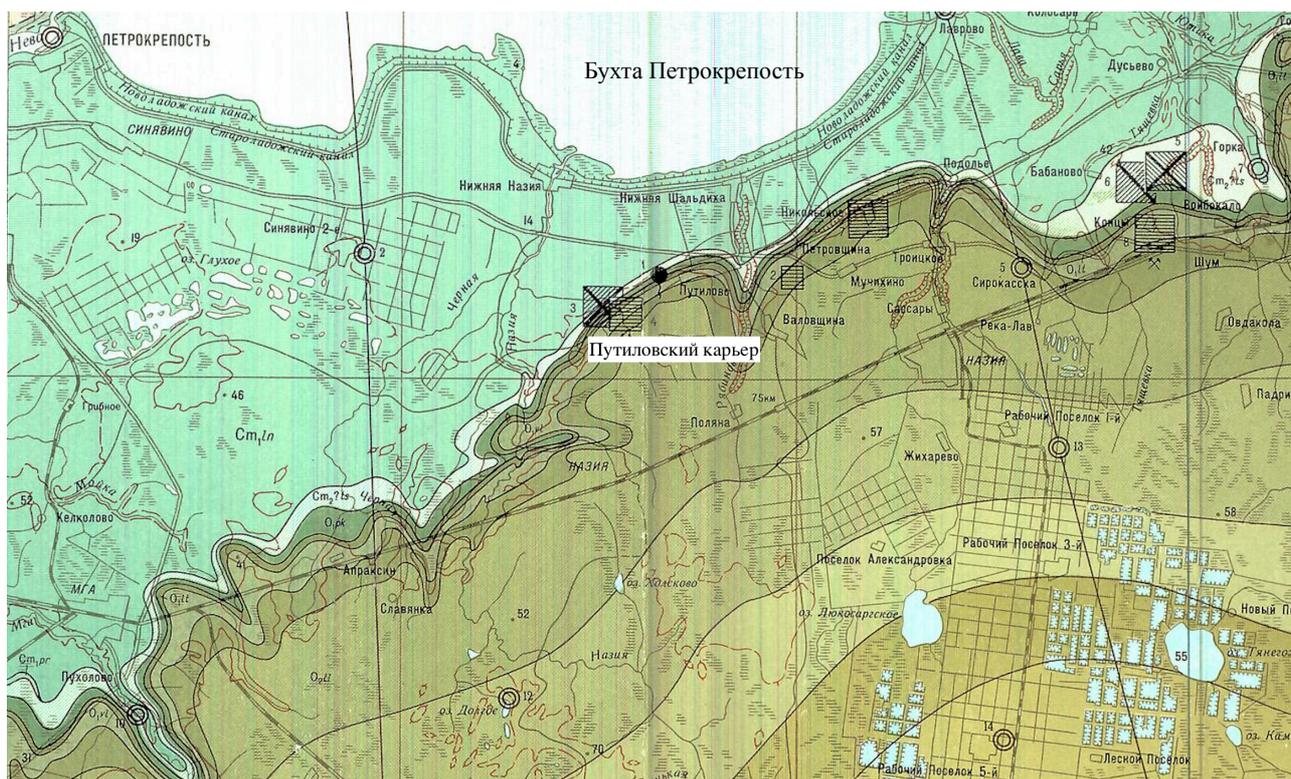


Рисунок 2. Расположение разреза на геологической карте южного Приладожья (Соколова Т.Н., 1976).

Для геологической структуры данной области характерно полого-моноклинальное залегание слагающих ее образований со слабым падением к югу и юго-востоку под углом 6-12'. Кристаллический фундамент также характеризуется пологим и относительно неглубоким (500-600 м) погружением в данном направлении под углом 9-14' или 2,5-4 м на 1 км (Геология СССР т.1, 1971).

В юго-восточном направлении происходит смена более древних отложений более молодыми. На геологической карте прослеживается закономерность, как к юго-востоку породы кембрия сменяются породами ордовика. Между отложениями нижнего и среднего кембрия наблюдается стратиграфическое несогласие. Таким образом, после накопления нижнекембрийских отложений (ломаносовская, сиверская свиты) наступил перерыв в

осадконакоплении. Далее на данной территории стали накапливаться уже верхнекембрийские отложения, соответствующие кварцевым песчаникам саблинской свиты (Геология СССР т.1, 1971)..

Выше кембрийских отложений следуют ордовикские, которые слагают Ордовикское плато. Северная граница Ордовикского плато представляет собой уступ, называющийся Балтийско-Ладожским глинтом. Он протянулся в широтном направлении, в 20—25 км к югу от Невы и Финского залива, от реки Сяси в Ленинградской области, на запад до города Палдиски в Эстонии. Глинт, преимущественно, сложен нижнеордовикскими известняками. Ордовикское плато сложено известняками и доломитами нижнего и среднего ордовика (Геология СССР т.1, 1971).

В течение палеозоя данная территория неоднократно подвергалась воздействию тектонических движений, что создавало изменчивые условия для осадконапления. Например, все вендские и нижнепалеозойские отложения накопились в эпиконтинентальном море, покрывавшем значительную часть континента Балтика. Геологи Северо-Западной Европы традиционно считают, что море было разделено на два связанных друг с другом бассейна Балтийский и Московский (Sliapura, 2006). Оба палеобассейна охватывали сравнительно глубокие впадины и разделявшие их мелководные участки. Покров кембрийских песчаников был сформирован на северо-западном мелководном обрамлении Московской впадины (Kheraskova, 2005).

Значительное участие в формировании геологии данной территории приняли четвертичные оледенения. Помимо распространенных здесь ледниковых, озерно-ледниковых, флювиогляциальных и прочих отложений, большое влияние оказывал процесс гляциоизастазии, сопровождавшийся неотектоническими движениями. Данное явление играло большую роль в формировании озерной котловины Ладожского озера, которое во время голоцена испытало локальную трансгрессию в южной части. Кроме того, особое внимание уделяется долинам рек, которые могут свидетельствовать о локальных тектонических нарушениях. Для них характерны коленчатые изгибы, ориентированные в северо-западном и северо-восточном направлении (Геология СССР т.1, 1971).

ГЛАВА 3. СТРАТИГРАФИЯ

В данной главе приводятся сведения о стратиграфической последовательности осадочного чехла платформы в пределах восточной части Балтийско-Ладожского Глинта. Здесь представлены архей-протерозойские метаморфические и магматические породы, которые слагают кристаллический фундамент, осадочные породы венда, нижнего палеозоя, верхнего палеозоя и квартера (Вербицкий и др., 2012).

Верхнепротерозойская эонотема.

Вендская система. Отложения этого возраста распространены на рассматриваемой территории повсеместно и на дочетвертичную поверхность выходят в акватории Финского залива, включая Приневскую низменность. Отложения верхнего венда несогласно залегают на кристаллическом фундаменте и представлены песчано-алевро-глинистыми морскими осадками. В частности, здесь выделяют снизу-вверх: *старорусскую, василеостровскую и воронковскую свиты*, которые представлены сероцветными глинами с прослоями песчников и алевролитов. Суммарная мощность отложений достигает 250 м (Вербицкий и др., 2012).

Палеозойская эратема.

Кембрийская система. Отложения кембрия широко распространены на изучаемой территории.

Нижнекембрийские отложения подразделены на ломоносовскую и сиверскую свиты.

Ломоносовская свита залегает с размывом на породах воронковской и василеостровской свит венда. Она выходит на поверхность вдоль узкой полосы в северо-восточном направлении. На рассматриваемой территории полоса начинается от юго-западного побережья Ладожского озера, продолжается вдоль южных окраин Санкт-Петербурга и заканчивается на южном побережье Финского побережья. Свита сложена разномерным базальным и вышележащим мелкозернистым кварцевым песчаником с переслаивающимся с алевролитом и глиной голубовато-серой окраски. Переход в глины сиверской свиты постепенный. Мощность свиты увеличивается на восток от 4 до 23 м (Вербицкий и др., 2012).

Сиверская свита сложена однородными глинами голубовато-зеленовато-серыми алевролитами, гидрослюдистыми, редко монтмориллонитовыми. В нижней части отмечаются тонкие слои песчаников и алевролитов. На плоскостях напластования присутствуют бурые пиритизированные следы ползания червеобразных, местами сверху - скопления мелких глинистых окатанных галечек. В сиверской свите появляются древнейшие дотрилобитовые

окаменелости с минеральным скелетом. Мощность сиверской свиты около 120 м (Вербицкий и др., 2012).

Среднекембрийские отложения представлены саблинской свитой, которая сложена уплотненными разнозернистыми, преимущественно мелкозернистыми кварцевыми песками. Окраска песков может быть светло-серой, желтоватой и розовой. Слоистость горизонтальная или косая. Местами встречаются линзы кремнистых песчаников, глин и алевроитов, прослойки и гнезда красноватых и бурых песчаников, кольца Лизеганга, а также «бобовины» окислов железа в кровле. Данные отложения с размывом залегают на глинах сиверской свиты и обнажаются вдоль глинта. Их мощность может достигать 28 м (Вербицкий и др., 2012). В верхней части саблинской свиты появляются первые органические остатки: створки раковин органико-фосфатных брахиопод.

Верхний отдел кембрийской системы соответствует ладожской свите и нижней части тосненской свиты.

Ладожская свита выходит на поверхность в восточной части глинта. К западу в районе Красного Села она выклинивается. Ладожская свита представлена песками и песчаниками светло-серыми, желтоватыми, иногда ожедезненными, кварцевыми с примесью полевых шпатов (до 16%). В средней части отмечаются прослойки глин с переходом в глинистые алевролиты мощностью 0,3 м. Слоистость горизонтальная и наклонная. В качестве примесей присутствуют фосфатные и железистые стяжения и остатки беззамковых брахиопод. В районе Путиловского карьера мощность свиты около 1 м (Попов и др., 1989).

Граница кембрия и ордовика условно проводится внутри тосненской свиты.

Тосненская свита представлена средне-мелкозернистыми светло-коричневыми кварцевыми косослоистыми песками. В подошве свиты отмечают «карманы» глубиной до 10 см, заполненные фосфатными гальками и оболочевым детритом. В отложениях наблюдаются остатки беззамковых брахиопод и конодонтов. Пески тосненской свиты с размывом залегают на отложениях ладожской свиты. Ее мощность в среднем 2,5–3 м (Вербицкий и др., 2012).

Вышележащие *нижнеордовикские отложения* представлены копорской и лэйтсеской свитами.

Копорская свита сложена переслаивающимися мелкозернистыми песчаниками и битуминозными аргиллитами (диктионемовые сланцы). В песчаных прослоях наблюдается редкий детрит беззамковых брахиопод. В верхней части разреза наблюдаются рассеянные конкреции антраконита коричневатого-белого цвета, диаметр которых достигает 10 см. Средняя

мощность свиты составляет 2,5-3 м (Вербицкий и др., 2012). На Глинте под Путиловским карьером мощность свиты 0,45 м.

Лезтсеская свита представлена мелкозернистыми глинистыми песчаниками, состоящими на 50% из зерен глауконита, которые придают отложениям ярко-зеленую окраску. В верхней части разреза встречаются стяжения известняков и доломитов, в которых содержится небольшое количество беззамковых брахиопод. В самих песчаниках также встречаются конодонты, брахиоподы и трилобиты (Вербицкий и др., 2012). Мощность лезтсеской свиты в районе Путиловского карьера 1,7 м (Попов и др., 1989).

Среднеордовикские отложения представлены волховской, обуховской и медниковской свитами. В районе Путиловского карьера известняки, начиная с медниковских, отсутствуют.

Волховская свита в нижней части сложена известняками, местами мергелевидными, местами с глауконитом. В средней части она представлена мелкокристаллическими, тонкоплитчатыми и глинистыми известняками с яркой охристо-красной и фиолетово-бурой окраской. Встречаются прослои доломитов и мергелистых глин. В верхней части разреза известняки зеленовато-серые с примесью глауконита, местами доломитизированные и с редкими прослоями мергелей и глин (Вербицкий и др., 2012). Мощность волховской свиты в районе Путиловского карьера 4,7 м (Попов и др., 1989).

Обуховская свита представлена известняками и доломитами, тонкоплитчатыми светло-серыми с прослоями известковистых глин и мергелей. Мощность свиты варьируется в пределах от 5,5 до 9,5 м (Вербицкий и др., 2012).

Медниковская свита сложена известняками доломитизированными и известковистыми доломитами с редкими прослоями глин и мергелей (Вербицкий и др., 2012). Низы свиты обнажаются в канавах южнее Путиловского карьера.

Квартер. Выше по стратиграфической последовательности в окрестностях Путиловского карьера представлены четвертичные образования. Здесь развиты среднечетвертичные (московский ледниковый горизонт), верхнечетвертичные (микулинский межледниковый горизонт и валдайский надгоризонт) и современные отложения (Геология СССР т.1, 1969). Из верхнечетвертичных отложений наибольшее распространение имеют ледниковые, флювиогляциальные, озерно-ледниковые отложения и отложения балтийского ледникового озера. Современные осадки соответствуют болотным в низинах, аллювиальным вдоль рек и озерным отложениям вокруг Ладожского озера.

ГЛАВА 4. СТРОЕНИЕ И ОПРОБОВАНИЕ РАЗРЕЗА

В Кировском районе Ленинградской области в окрестностях Путиловского карьера в 2 км на запад от п. Путилово (59°51'8,002"N; 31°24'0,165"E) был изучен разрез с кембрийскими и четвертичными образованиями (абсолютная высота разреза 44 м). Работы проводились на маленьком песчаном карьере на восточной водоотводной канаве, на склоне Глинта в его основании.



Рисунок 3. Фотография разреза на Путиловском карьере

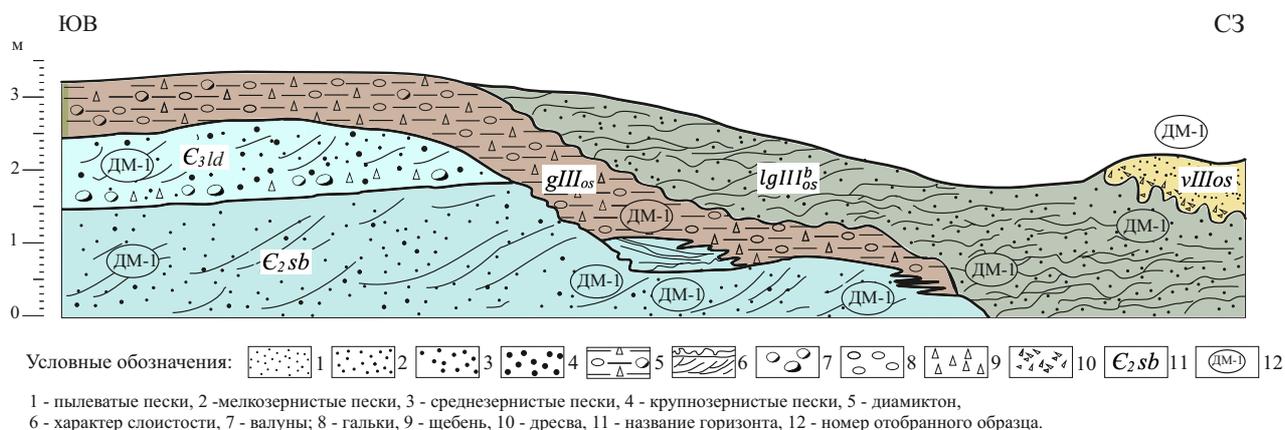


Рисунок 4. Схема строения разреза на Путиловском карьере.

В расчистке протяженностью 4,3 м снизу вверх обнажаются:

1. Уплотненные желтоватые светло-серые среднезернистые кварцевые песчаники саблинской свиты (C_2sb). По всей толще развита косая слоистость. Песчаник слабосцементированный рыхлый. Встречаются песчаные полосы рыжего и иногда бурого цвета, а также мелкие черные и минеральные включения пирита и оксидов железа. Песчаные полосы имеют субгоризонтальное или наклонное залегание, секущее по отношению к слоистости, которые представляют собой классические песчаные



Рисунок 5. Отторженец в морене на границе с саблинскими песками (фото автора).

палеопочвы (рис. 5). Кровля толщи размыта, представляет из себя неровную, резкую линию. Видимая мощность 1,5 м. С данной пачки было отобрано 3 пробы: образец ДМ-1 соответствует основной части толщи саблинских песчаников, образец ДМ-5 отобран у кровли песчаников ниже границы с отторженцем, а образец ДМ-10 у кровли рядом с границе с вышележащим тиллом.

2. Светло-серые грубозернистые песчаники ладожской свиты (E_{3ld}). Цвет выше по разрезу приобретает бежевый оттенок. Слоистость горизонтальная и наклонная. В подошве присутствуют гальки и валуны плотноцементированного кварцитовидного песчаника, вымытого из саблинских отложений (рис. 6), а также скопления раковин брахиопод. В самой толще отмечаются прослойки такого же песчаника, но рыжего цвета, ниже которых отмечены прослойки аргиллита темно-серой, голубоватой окраски. Мощность 1 м. Опробование ладожских песчаников происходило из основной части толщи (проба ДМ-3).

3. Диамиктон (донная морена позднего плейстоцена $gIII_{vd}$) с резким угловым несогласием, перекрывающий саблинские и ладожские песчаники. Он представлен суглинком тяжелым, плотным, неслоистым, коричневого цвета с включениями галек, щебня и валунов. Диамиктон выветрелый, вблизи от поверхности пронизан множеством нор насекомых, местами раскалывается на блоки. Выше по разрезу приобретает охристый оттенок и перекрывается косослоистым песком. Над границей с саблинскими песчаниками содержит отторженец (рис. 5), который представлен саблинскими песчаниками с

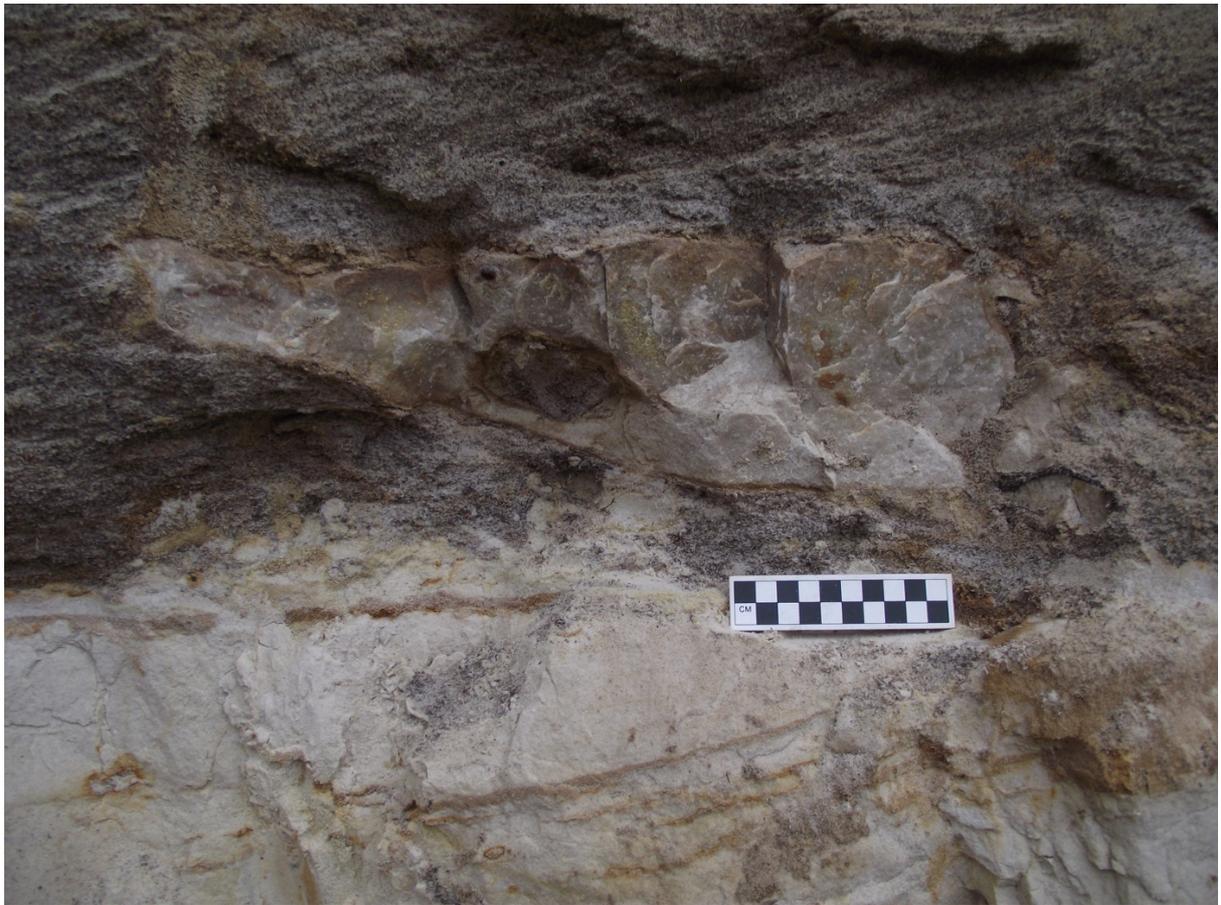


Рисунок 6. Граница саблинских и ладожских песчаников (фото автора).



Рисунок 7. Граница саблинских песчаников, внизу морены и озерно-ледниковых песков с проникновением морены в песчаник (фото автора).

наложенными песчаными палеопочвами бежевого цвета с темно-серыми и коричневыми прослойками суглинка с включениями обломков. Данные прослойки диамиктона развиваются наклонно, и их мощность достигает 15 см. Кроме этого, на границе между мореной и саблинскими песками отмечается проникновение клиньев морены в песчаники (рис. 7). Мощность морены достигает 1 м, а мощность отторженца 0,5 м. Был проведен пробоотбор отторженца с песчаными палеопочвами (ДМ-6). А морена была отобрана на двух участках: выше от границы, где происходит проникновение клиньев морены в нижележащие кембрийские песчаники (ДМ-11), и в основной части пачки (ДМ-8).

4. Пески (озерно-ледниковые отложения послеледниковья *ldIII^b_{vd}*) светло-рыжего цвета, плотные, цементированные. По всей толще развита косая слоистость. В подошве данной толщи отмечены фрагменты нижележащего тилля. Видимая мощность песчаника достигает 2 м. С озерно-ледниковых песков было отобрано две пробы: ДМ-12 с основной части пачки и ДМ-13 ниже от границы с эоловыми песками.

5. Пылеватый песок (эоловые отложения *eoIV*) серого цвета с гальками и неокатанными обломками песчаника и дресвой. Структура легкая, пористая. Видимая мощность до 0,5 м. Эоловый пылеватый песок был также опробован выше от границы с озерно-ледниковыми песками (ДМ-14).

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Гранулометрический анализ

Гранулометрический анализ - это процедура, которая позволяет определять содержание частиц различной крупности в осадках или породах (Рухин, 1969). В зависимости от вида пород по гранулометрическому составу применяются разные методики. Например, при гранулометрическом анализе галечников, где содержание фракций крупной размерности больше, используются грохоты, при анализе глин - гидравлические методы.

Применение гранулометрического анализа в работе объясняется тем, что при подготовке песчаных зерен исследуемых пород к морфометрическому анализу, прежде всего, было необходимо отмыть пробы и разделить их по фракциям.

Комбинированный гранулометрический анализ, который подходит для алевритов и глин, по используемым методам делится на две части: гидравлический и ситовый (Рухин, 1969).

Первый необходим для удаления пылеватых частиц диаметром менее 0,01 мм. Глинистые частицы наиболее трудно изучить с помощью данного анализа, поскольку они образуют агрегаты, и количество агрегатов для различных по генезису отложений разное. Поэтому прежде чем начать сам анализ, необходимо диспергировать образцы. Для этого образец намачивают и оставляют на 12-24 ч и далее растирают в чаше (Рухин, 1969). Чтобы не повредить сами частицы, это делается очень аккуратно. Гидравлический метод, который применяется далее после подготовительного этапа, основан на том, что частицы разной крупности осаждаются в воде с разной скоростью. Расчеты скорости осаждения основываются на формуле Стокса, которая приведена ниже. Она подходит частицам менее десятых долей миллиметра.

$$v = \frac{2r^2(d_1 - d)g}{9\mu}$$

где v - скорость осаждения частиц сферической формы, см/сек; r - радиус частиц, мм; d_1 - удельный вес частиц; d - удельный вес воды; g - ускорение силы тяжести; μ - вязкость среды осаждения.

Для сохранения одинаковой вязкости для всех образцов была использована дистиллированная вода температурой 15°C. Также были отмечены одинаковые расстояния на колбе. Первая черточка на колбе отмечалась на расстоянии 4 см от дна, вторая на 8 см выше первой. По расчетам для осаждения на частиц менее 0,01 мм с первой отметки до второй необходимо 480 секунд. После прохождения этого времени вода сливается специальной трубкой и процесс повторяется до прозрачности воды. Взвешиваются уже сухие пробы, и с

Таблица 1. Встречаемость элементов морфологии поверхности зерен в отложениях разного генезиса (К. Vos et al., 2014).

		Механические																			Химические						Механические и химические									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Субэвaporальная	Флювиальная	Высокоэнергетическая	▲	▲	▲	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	▲	▲	▲	●	-	-	-	-	-	-	-
		Низкоэнергетическая	●	▲	▲	▲	▲	●	▲	▲	▲	▲	●	■	▲	●	●	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	▲	▲	▲	●	-	-	-
Морская	Приливно-отливная	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●	■	▲	●	●	-	-	-	-	-	▲	▲	▲	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Сублиторальная	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-	-	-	-	■	▲	▲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Эвaporальная	Цунами	-	▲	▲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Прибрежная дюна	-	▲	▲	▲	●	-	▲	●	▲	●	▲	●	■	▲	●	■	▲	-	-	-	-	-	-	-	▲	▲	-	-	▲	▲	-	-	●	-	
	Дюна в пустыне	-	-	▲	▲	●	-	●	●	▲	●	▲	●	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-	●	▲	▲	●	-	-	▲	▲	-	-	●	●
	Ледниковая	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	▲	●	-	-	-	▲	▲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Диагенетическая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

помощью разности веса до веса после отмучивания высчитывается содержание пылеватых частиц в навеске.

Вторая часть анализа позволяет разделить по размерности частицы более 0,01 мм. Для этого образец просеивается через сита. В данной работе был использован набор из 8 сит размерностью: 2,5 мм; 2,0 мм; 1,6 мм; 0,8 мм; 0,63 мм; 0,5 мм; 0,4 мм; 0,315 мм; 0,125 мм; 0,08 мм; 0,063 мм; 0,05 мм; 0,04 мм и 0,01 мм.

Таким образом комбинированный метод гранулометрического анализа позволяет не только вычислить содержание частиц разной крупности, но также отмыть пробы песчаной размерности для работы на СЭМ.

5.2. Метод морфоскопии и морфометрии кварцевых зерен

Морфоскопия кварцевых зерен - это определение различных типов кварцевых зерен по особенностям их макро- и микрорельефа в песчаных отложениях (Cailleux, 1942). Данный метод широко используется зарубежом для решения проблем в четвертичной геологии, палеоклиматологии и геоморфологии (Krinsley, Doornkamp, 1973; Krinsley and Donahue, 1968; Campbell, 1963; Higgs, 1979 et al.), и недавно начал применяться в регионе отечественными учеными (Fedorov, Palkina, 2015). Он основывается на том, что мелкие частицы в ходе транспортировки различными агентами (водными потоками, ветром, ледовым переносом и проч.) приобретают и сохраняют форму и структуры на поверхности. Этот процесс похож на более знакомый в литологии с крупными гальками и валунами в теле ледника, когда материал приобретает утюжковую форму. Таким образом, изучив морфологию обломка или частицы можно рассуждать о ее происхождении.

В более мелкозернистом материале наиболее стабильными, прочными и массовыми частицами являются зерна кварца (Mahaney, 2002). Именно они используются для метода морфоскопии и морфометрии. После изучения их формы возможным становится реконструкция условий транспортировки, захоронения и постседиментологических процессов (Krinsley and Doornkamp, 1973). Кроме того, метод морфоскопии и морфометрии песчаных зерен применяется при работах криминалистов для судебно-медицинской экспертизы (Bull, P., Morgan, R., 2006).

В начале истории использования данного метода применялись обычные световые микроскопы или бинокулярные лупы (Рухин, 1969). Но современные сканирующие-электронные микроскопы оказались гораздо удобнее и сейчас при изучении поверхности кварцевых зерен применяются, в основном, они. Такие микроскопы позволяют получать детальные изображения с большим увеличением. Кроме этого, данный прибор способен генерировать получаемую информацию в трехмерное изображение в хорошем качестве. Это помогает исследователю рассмотреть самые крошечные элементы на поверхности зерен.

Форма зерен в отложениях зависит от многих факторов:

- Первоначальная форма зерен;
- Физические и химические характеристики зерна;
- Продолжительность процесса переноса;
- Характеристики среды во время переноса;
- Тип и интенсивность выветривания после осаждения.

Таким образом, перенос и осаждение в различных средах приводит к формированию разных структур на поверхности зерна. Более подробная информация о встречаемости структур поверхности кварцевых зерен представлена в таблице 1. Ниже описаны основные элементы морфологии, которые формируются в четырех обстановках: эоловых, субаквальных, ледниковых, а также диагенетических.

Эоловые обстановки. Наибольшее значение на формирование зерен во время эолового переноса имеют столкновения зерен между собой и с поверхностью камней. От силы таких столкновений зависит итоговая форма зерен кварца. Если процесс энергичный, то зерна могут разбиться или расколоться. Но, преимущественно, они приобретают различные углубления и трещины. Если процесс менее энергичен, то зерна не разрушаются, а наоборот становятся более окатанными. Для зерен эолового происхождения характерны так называемые перевернутые пластины, многоугольные трещины, удлиненные углубления, сглаженные впадины, низкий рельеф и гребни (Krinsley, Doornkamp, 1973; Mahaney, 2002).

Перевернутые пластины описаны Mahaney (2002) как поверхность, которая в результате механических процессов стала более «рыхлой». Whalley и Krinsley (1974) описывает эти структуры как «маленькие пластины, выступающие с поверхности». Они присутствуют в прибрежных дюнах и песках, отложенных в приледниковой среде (Margolis, Krinsley 1971; Mahaney et al. 1991).

Субаквальные обстановки. К самому яркому диагностическому признаку подводного переноса относят V-образные ударные трещины. Они формируются при быстром, почти катастрофическом, течении. Однако зависимость частоты встречаемости таких трещин от скорости и длительности потока пока недостаточно изучена (Mahaney, 2002). Также во время водного переноса на поверхности зерен появляются серповидные выбоины (трещины Герца). Их размер зависит от силы ударов между зёрнами: чем больше сила удара, тем меньше выбоины (Akimune, 1990). Как и в ситуации с ветром, при водном переносе происходят соударения зерен и их истирание в результате этого. Причем режимы верхнего потока в большей степени приводят к образованию хорошей окатанности и полировке зерен. Если перенос материала происходит донными потоками, то форма зерен существенно не изменяется, и остаются формы из коренных отложений.

Ледниковые обстановки. В теле ледника зерна кварца находятся под огромным давлением, поэтому на их поверхности образуются более интенсивные следы транспортировки. К уникальным ледниковым структурам на поверхности кварцевых зерен относят угловатую форму, глубокие конхотальные и линейные трещины, глубокие борозды, а также зачастую цикличность впадин и бороздок (Mahaney, 2005).

Диagenетические обстановки. Одним из основных структур на поверхности кварцевых зерен для таких обстановок является обрастание зерен новыми гранями кристаллов кварца. Также, когда в континентальных условиях происходит выветривание, на зернах кварца появляются различные структуры растворения. Самыми распространенными являются мелкие ямки длиной от 1/10 до 1 микрон и борозды растворения длиной около 20 микрон (Krinsley, Donahue, 1969). Среди структур химического происхождения примечательными являются ориентированные треугольные ямки растворения (Manker, Ponder, 1978). Эти особенности, как полагают, формируются на дефектах в кристаллической решетке кварцевых зерен (Margolis, 1968). Их размеры варьируются от 1 до 30 микрон (Vos et al. 2014).

Исходя из множества факторов, влияющих на формирование рельефа зерна кварца, в задачи исследователя входит детально изучение структур поверхности зерен, и умение

определить, в какую стадию частица приобрела ту или иную структуру. Это становится еще более актуальным, если песчинки кварца имеют следы различных типов транспортировки. Например в работе W. B. Whalley (1980) об исследовании структур зерен кварца из морены, отобранной под ледником в Гренландии, говорится, что в заведомо ледниковых отложениях половина зерен была представлена частицами с типично эоловыми следами транспортировки (хорошая или средняя окатанность, перевернутые пластины и проч.). Авторы сделали вывод, что материал из области с эоловыми отложениями был захвачен ледником и перемешан с другим материалом.

ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

6.1. Гранулометрия

Гранулометрический анализ был проведен для 10 проб из отложений различных генетических типов в разрезе на Путиловском карьере. В первую очередь, гидравлический и ситовой методы подзволили подготовить материал для дальнейших исследований на СЭМ. Но также важны и сами результаты гранулометрического анализа, поскольку они дают представление о структуре осадочной горной породы, т.е. средний размер слагающих ее зерен.

6.1.1. Кембрийские отложения.

Из кембрийских отложений было отобрано и исследовано 5 проб. Три из них относятся к саблинской свите (ДМ-1, ДМ-5, ДМ-10), одна к ладожской свите (ДМ-3) и одна проба была взята из отторженца (ДМ-6), представленного песчаными палеопочвами, сформировавшегося на кембрийских породах (рис. 8).

Во всех трех пробах саблинских песчаников гранулометрический состав практически идентичен. Саблинская свита сложена мелкозернистым песчаником, поскольку от 87,7 до 94,3% материала имеет размерность 0,25-0,05 мм. При этом пик наблюдается по фракции 0,315-0,125 мм. В данной фракции содержится от 79,5 до 86,6% материала. Различие внутри данных отложений небольшое и заключается в смещении зерен из образца песчаника у

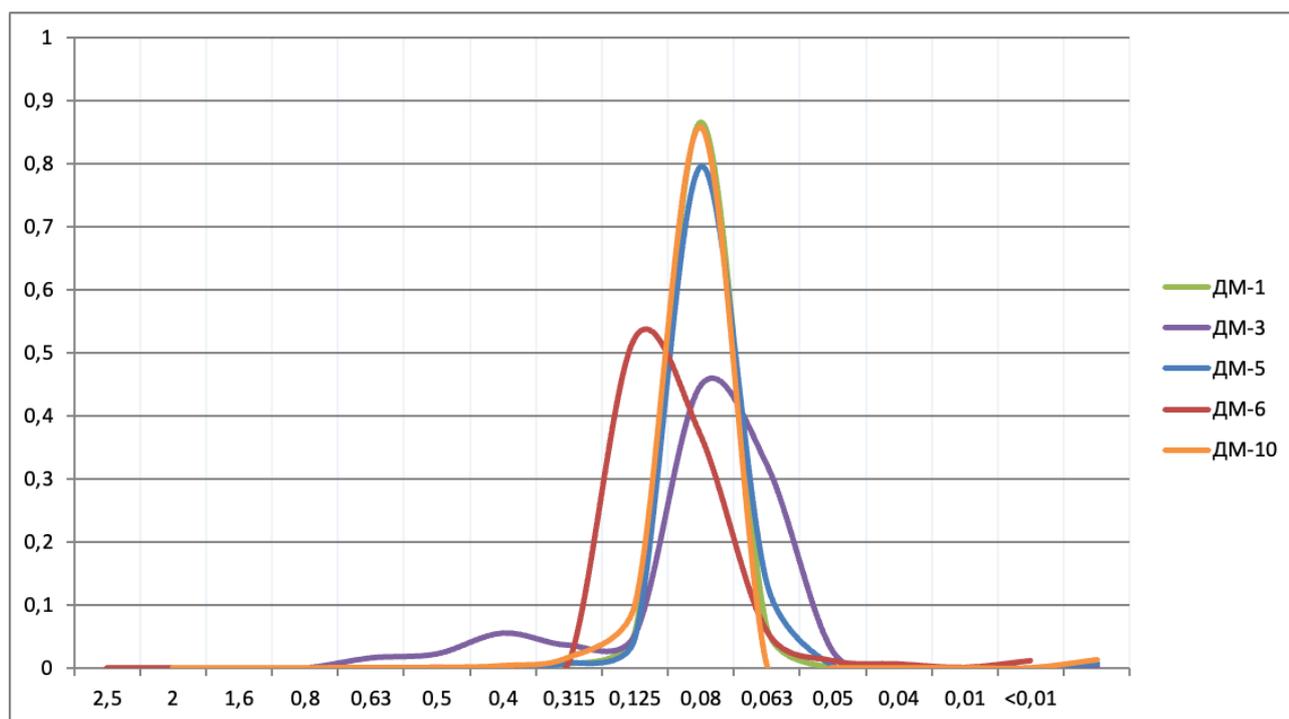


Рисунок 8. Гранулометрическое распределение кембрийских отложений.

кровли на границе с диамиктоном (ДМ-10) к более крупной фракции. Содержание фракции 0,4-0,315 мм у данного образца составляет 10%, при этом у двух других образцов содержится в пределах 5-6%. И наоборот, образцы ДМ-1 и ДМ-5 показывают более высокие значения во фракции 0,125-0,08 мм: от 6,4 до 13,3%; при этом значение содержания данной фракции в образце песчаника у границы с диамиктоном (ДМ-10) достигает первых долей процента.

Размерность зерен в песчаных почвах (ДМ-6) развивается примерно по тем закономерностям, что и в саблинских песчаниках. 98,8% зерен имеет размерность мелкозернистого песка в пределах 0,25-0,05 мм. При этом пик так же наблюдается во фракции 0,315-0,125 мм. Содержание зерен этой фракции составляет 52,3%. В следующей фракции 0,125-0,08 содержание материала понижается до 37%. А к размеру 0,063 мм остается уже 5,9% материала. Таким образом, по сравнению с саблинскими песчаниками, песчаные палеопочвы имеют пик в той же размерности, но при этом у них более сглаженные значения, которые стремятся к мелким фракциям.

Отложения ладожской свиты (образец ДМ-3) также относятся к мелкозернистым песчаникам, поскольку 80,9% материала находится во фракции 0,25-0,05 мм. При этом в среднезернистой и крупнозернистой размерностях содержится примерно равное количество зерен: 9,2 и 9,9% от общей массы соответственно. Пик на графике -//- не такой выраженный, как у саблинских песчаников, и приходится на более мелкую фракцию 0,125-0,08 мм, и содержание составляет всего 32,2%. Это объясняется меньшей сортированностью зерен. Оставшуюся часть массы составляют зерна крупнее 0,125 мм, причем без определенной закономерности.

6.1.2. Морена.

Образцы морены были отобраны с двух участков: ближе к основанию пачки на границе с саблинскими свитами (ДМ-11) и выше по разрезу (ДМ-8) (рис. 9). По графику видно, что в обоих пробах материал несортированный и содержит зерна разной крупности, что характерно для ледниковых отложений (Рухина, 1973). Но при этом образец, взятый у основания пачки содержит намного больше песчаного материала, поэтому имеет пик во фракции 0,08-0,063 мм (39,6%). Таким образом, у данного образца в песчаной размерности 2,0-0,05 мм находится 74,3% материала и большая часть из них имеет размер от 0,25 до 0,05 мм. Второй пик наблюдается в алевро-пелитовой размерности менее 0,01 мм и составляет 15% от массы всего образца.

В образце морены из средней части пачки преобладают зерна алевро-пелитовой размерности менее 0,01 мм: 51% от всей массы. Пик в размерности 0,08-0,063 мм не такой

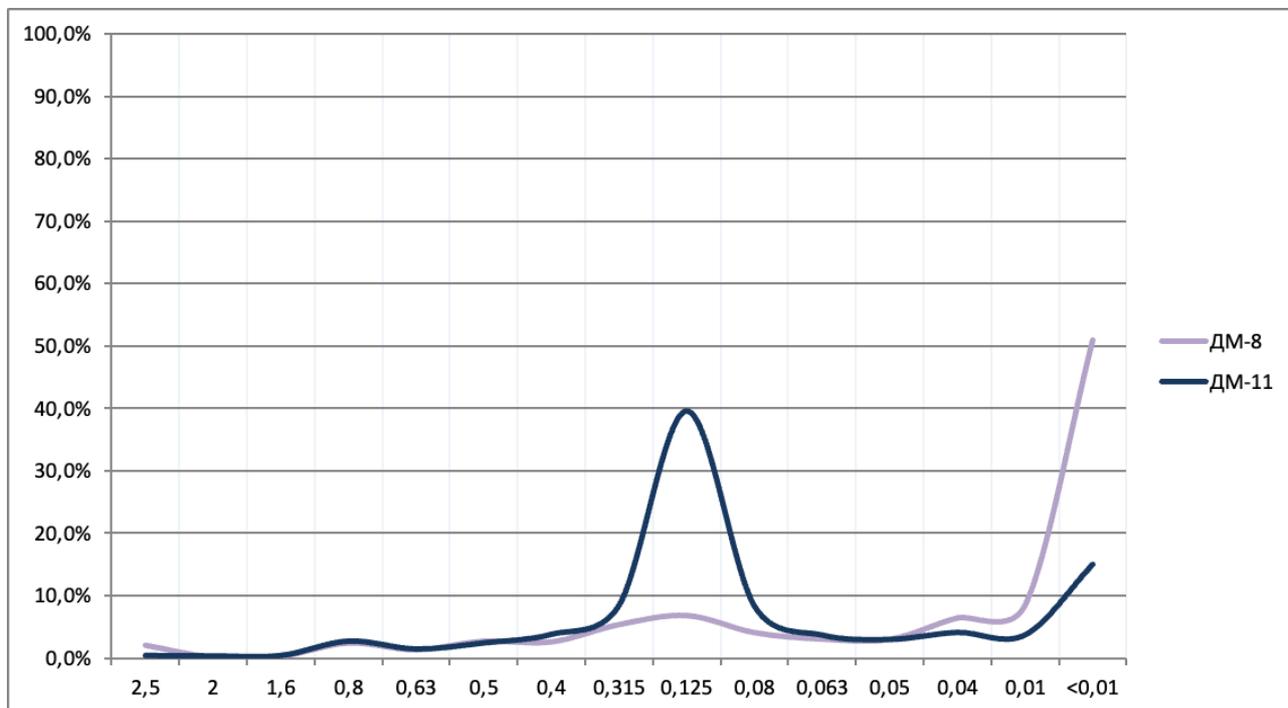


Рисунок 9. Гранулометрическое распределение ледниковых отложений.

ярко-выраженный как у предыдущего образца, но все же наблюдается. Содержание материала в этой фракции несильно превышает содержание в двух соседних фракциях и достигает 6,8%.

Таким образом, оба образца морены имеют два пика в мелкопесчаной и алевропелитовой размерности, но при этом на границе с песчаниками наблюдается больше песчаной фракции, в то время как основная морена в большей степени сложена частицами менее 0,01 мм.

6.1.3. Озерно-ледниковые и переветренные золовые отложения.

Отложениям озерно-ледниковым соответствуют пробы ДМ-12 и ДМ-13, при этом образец ДМ-12 был отобран с основной части, а образец ДМ-13 с кровли пачки. Выше по разрезу был также отобран образец современных почв ДМ-14 (рис. 10).

Озерно-ледниковые отложения без сомнений являются мелкозернистыми песками, поскольку в данной размерности содержится от 97,5 до 99% материала. Преобладание мелкозернистых песков и хорошая сортированность согласуется с общими представлениями о гранулометрическом составе озерно-ледниковых осадков (Рухина, 1973). Пик у образца ДМ-12 наблюдается во фракции 0,315-0,125 мм и составляет 48,9% от общей массы, во фракции 0,125-0,08 мм насчитывается чуть меньше материала: 39,8%. А вот пик у образца ДМ-13, то есть озерных отложений ближе к кровле, смещается в меньшую сторону: он наблюдается на фракции 0,125-0,08 мм и составляет 49,6%. Большая часть оставшегося материала в данном образце приходится на соседние фракции.

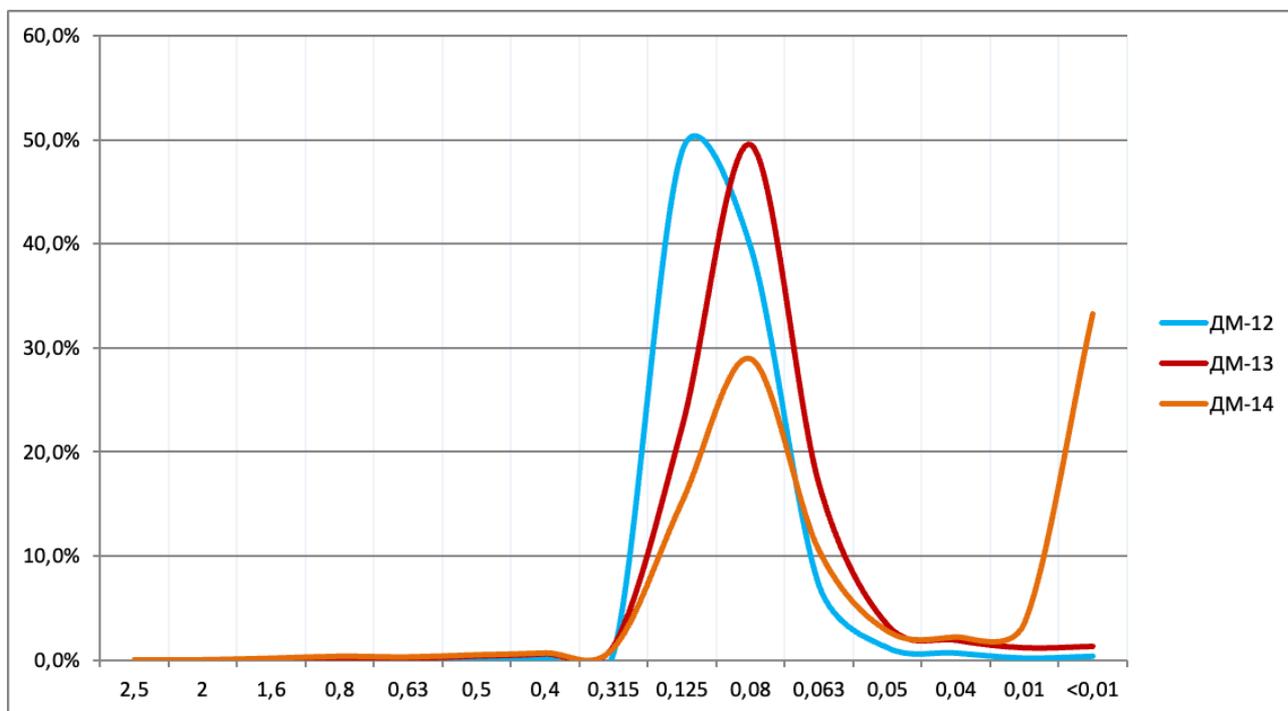


Рисунок 10. Гранулометрическое распределение озерно-ледниковых отложений и современных почв.

Эоловые пылеватые пески по гранулометрическому составу больше схожи с озерными осадками ближе к кровле, но при этом все же имеются некоторые различия. Схожесть состоит в том, что пик у почв приходится так же на фракцию 0,125-0,08 мм, и в соседних с ним фракциях содержится примерно одинаковое количество материала. А различие заключается в большем содержании алевро-пелитовой фракции (менее 0,01 мм): 33,3%.

6.2. Текстуры поверхности кварцевых песчаных зерен

6.2.1. Кембрийские отложения.

Кварцевые зерна из саблинских песчаников имеют окатанную форму и низкий, реже средний, рельеф (рис. 11). На зернах отмечается множество следов растворения, такие как трещины растворения, ямы и борозды. Кроме того, почти все зерна кварца имеют мелкоямчатую поверхность (рис. 11: Е). Это так же следы химического выветривания. Необходимо отметить, что большая часть трещин растворения развиваются по трещинам, которые были изначально, и выветривание лишь расширяет их. На некоторых песчинках отмечены новые грани, которые формирует кварц в ходе диагенетических процессов. Местами на регенерированных гранях тоже присутствуют следы растворения (рис. 11: Г), что говорит о чередовании растворения и регенерации. Вероятно, эти следы остались от раннего диагенеза саблинской свиты, происходившего в среднем-позднем кембрии, во время континентального перерыва на рубеже саблинского и ладожского времени.

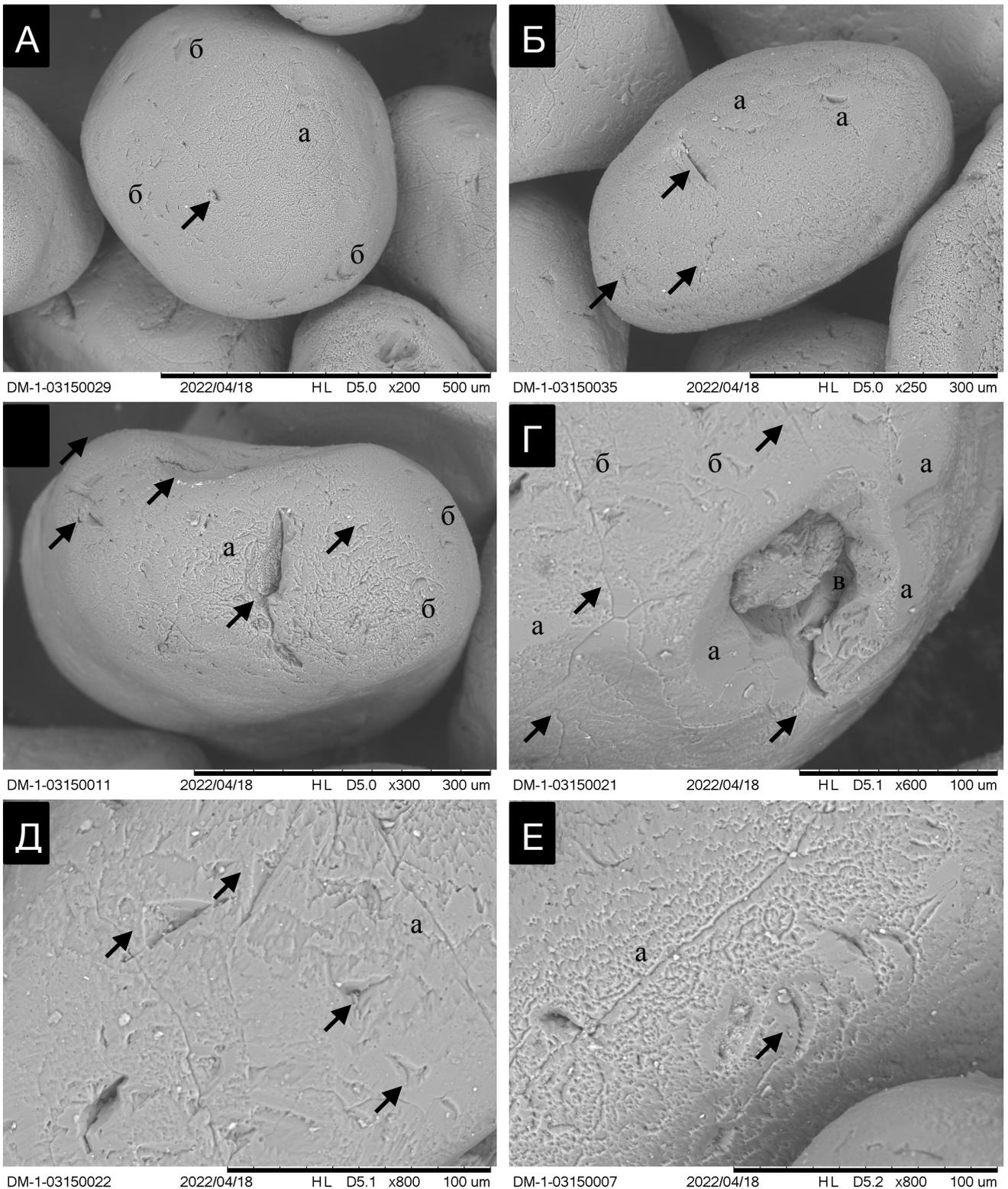


Рисунок 11. Структуры поверхности кварцевых зерен из саблинских песчаников. (А) Хорошо окатанное зерно кварца с низким рельефом и следами растворения: ямами растворения (стрелками) и бороздами травления (а). Также на зерне отмечены серповидные выбоины (б). (Б) Хорошо окатанное зерно кварца с низким рельефом и следами растворения: трещинами (стрелки), которые были расширены химическим выветриванием и мелкими ямами. На данном зерне по-прежнему встречаются серповидные выбоины (а). (В) Хорошо окатанное зерно кварца с множественными следами химического выветривания. На нем отмечены трещины растворения (стрелки) и мелкоямчатая поверхность (а). Серповидные выбоины (б) так же встречаются на этом зерне. (Г) Формирование новых граней кварца в приближении: под буквой (а) обозначены участки со свежими гранями. На песчинке также

отмечены следы растворения в виде трещинок травления (г), которые углубляют уже имеющуюся трещину, борозды (стрелки), треугольные ямы травления (б). (Д) Участок зерна кварца со следами растворения в приближении. Проявляются также треугольные ямы растворения (стрелки) и трещины растворения (а). На зерне отмечены мелкие прилипшие частицы. (Е) Участок зерна кварца с мелкоямчатой поверхностью. Кроме мелких ямок встречаются борозды (а). Из механических повреждений отмечены серповидные выбоины (стрелки). Фото автора.

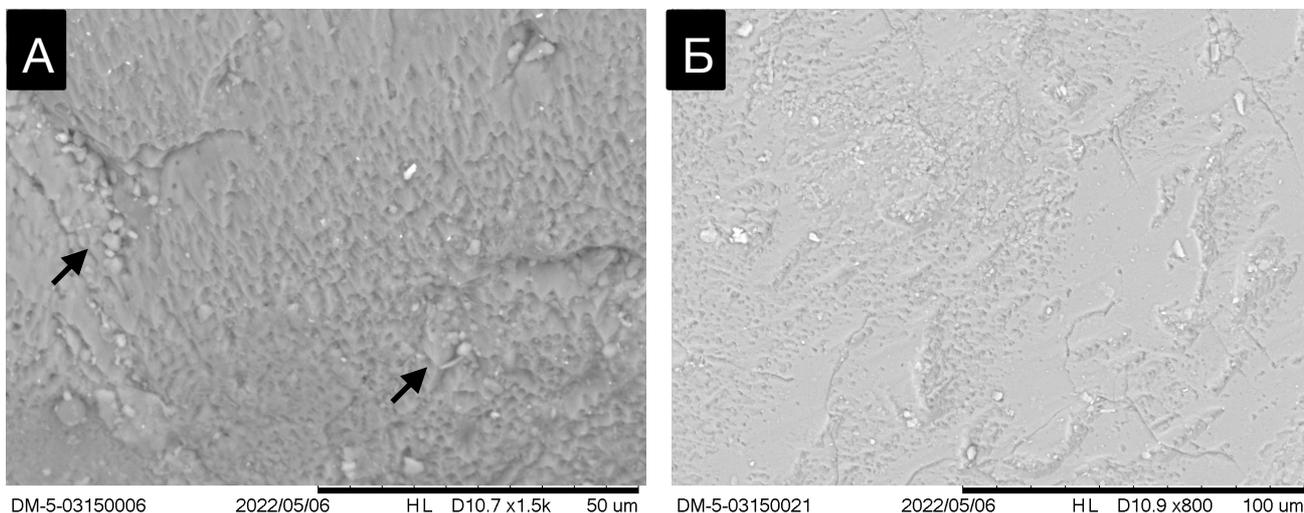


Рисунок 12. Структуры поверхности кварцевых зерен из саблинских песчаников под отторженцем. (А) Мелкоямчатая поверхность в приближении. Такая поверхность представляет собой ямки диаметром около 2 мкм, направленные все в одну сторону. Кроме этого, на поверхности отмечены прилипшие частицы (стрелки). (Б) Мелкоямчатая поверхность, которая начала обрастать новообразованиями кварца. На фотографии видно, что сами свежие грани покрываются новыми мелкими ямами. Это говорит о повторном химическом травлении. Фото автора.

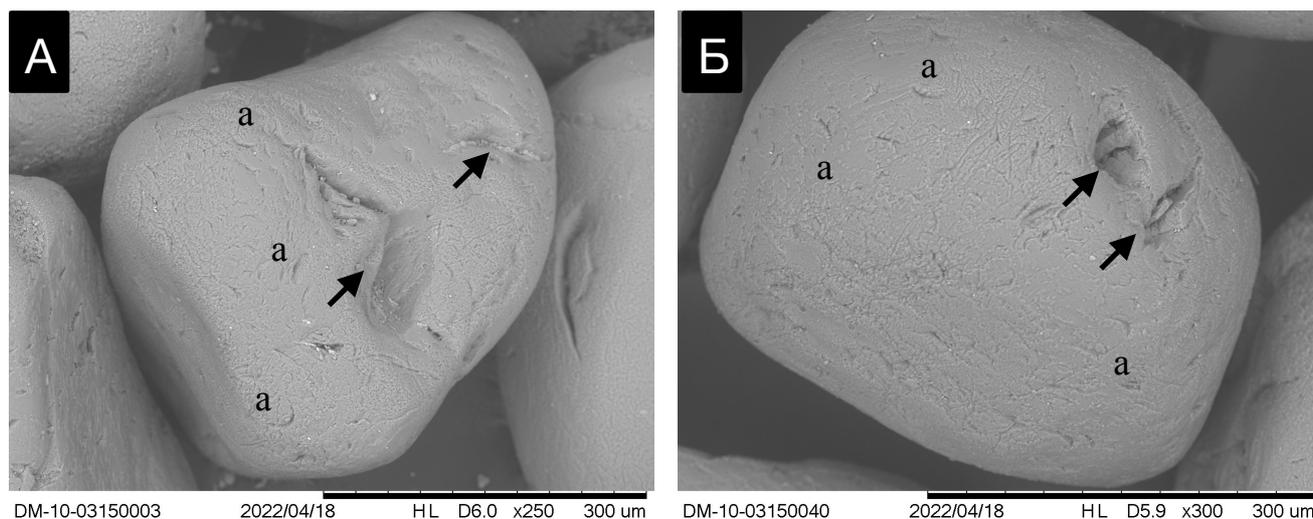


Рисунок 13. Структуры поверхности кварцевых зерен из саблинских песчаников на кровле у границы с мореной. (А) Хорошо окатанное зерно с ложбиной растворения длиной 210 мкм и 100 мкм (стрелки). Вся поверхность покрыта мелкими ямами и серповидными выбоинами (а). (Б) Хорошо окатанное зерно с глубокими следами растворения: ямой и трещиной (а). Фото автора.

(стрелки). Поверхность такая же мелкоямчатая и осложнена серповидными выбоинами (а).
Фото автора.

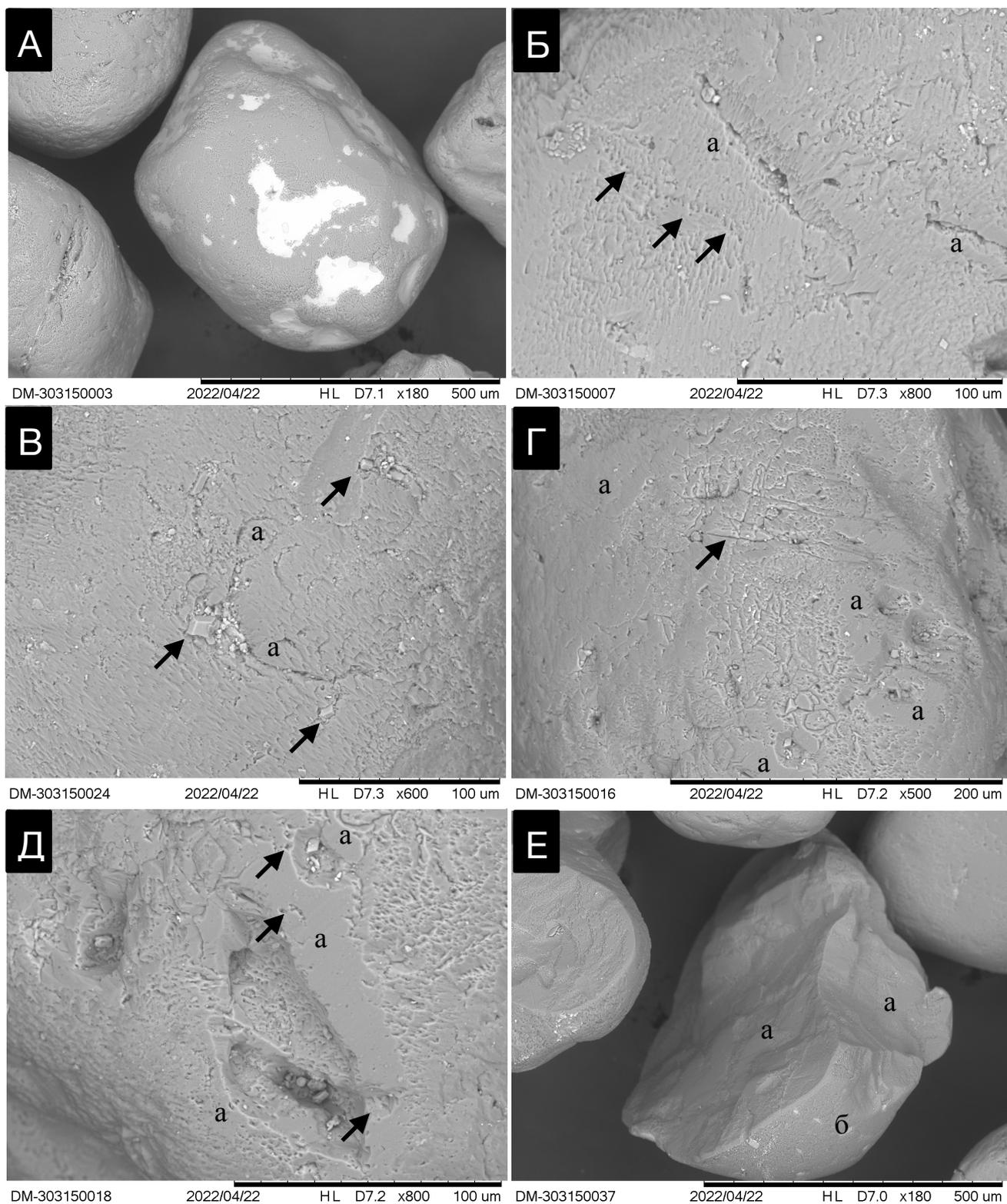


Рисунок 14. Структуры поверхности кварцевых зерен из ладожских песчаников. (А) Среднеокатанное зерно кварца со структурами растворения и с пленками гидрооксида железа на поверхности. (Б) Поверхность кварцевого зерна в приближении. Наблюдаются множество следов растворения: мелкоямчатая поверхность, причем некоторые ямы выстроены в изогнутую линию (стрелки), а также трещины (а). (В) Мелкоямчатая

поверхность кварцевого зерна в приближении. Помимо ям и трещин растворения отмечены изогнутые борозды (а), которые имеют разные размеры, и интенсивность их растворения тоже различная. Стрелками указаны мелкие частица К-полевого шпата со свежими гранями. (Г) Зерно кварца со следами растворения. Присутствует много мелких глубоких ям, некоторые из которых находятся на новых гранях (а). На зерне также отмечены прямые борозды травления, расположенные перпендикулярно друг к другу и, таким образом, образующие сетку (стрелка). (Д) Формирование новых граней кварца в приближении (а). Стрелками обозначены ямы растворения, которые находятся прямо на свежих гранях. Это говорит о повторном химическом выветривании. (Е) Расколотое зерно, на котором есть сторона с высоким рельефом (а) и сторона с низким рельефом (б). Сколотая часть не является молодой, так как на ней присутствуют структуры растворения. Кроме того, она имеет угловатую форму, возможно, указывающую на формирование новых граней. Фото автора.

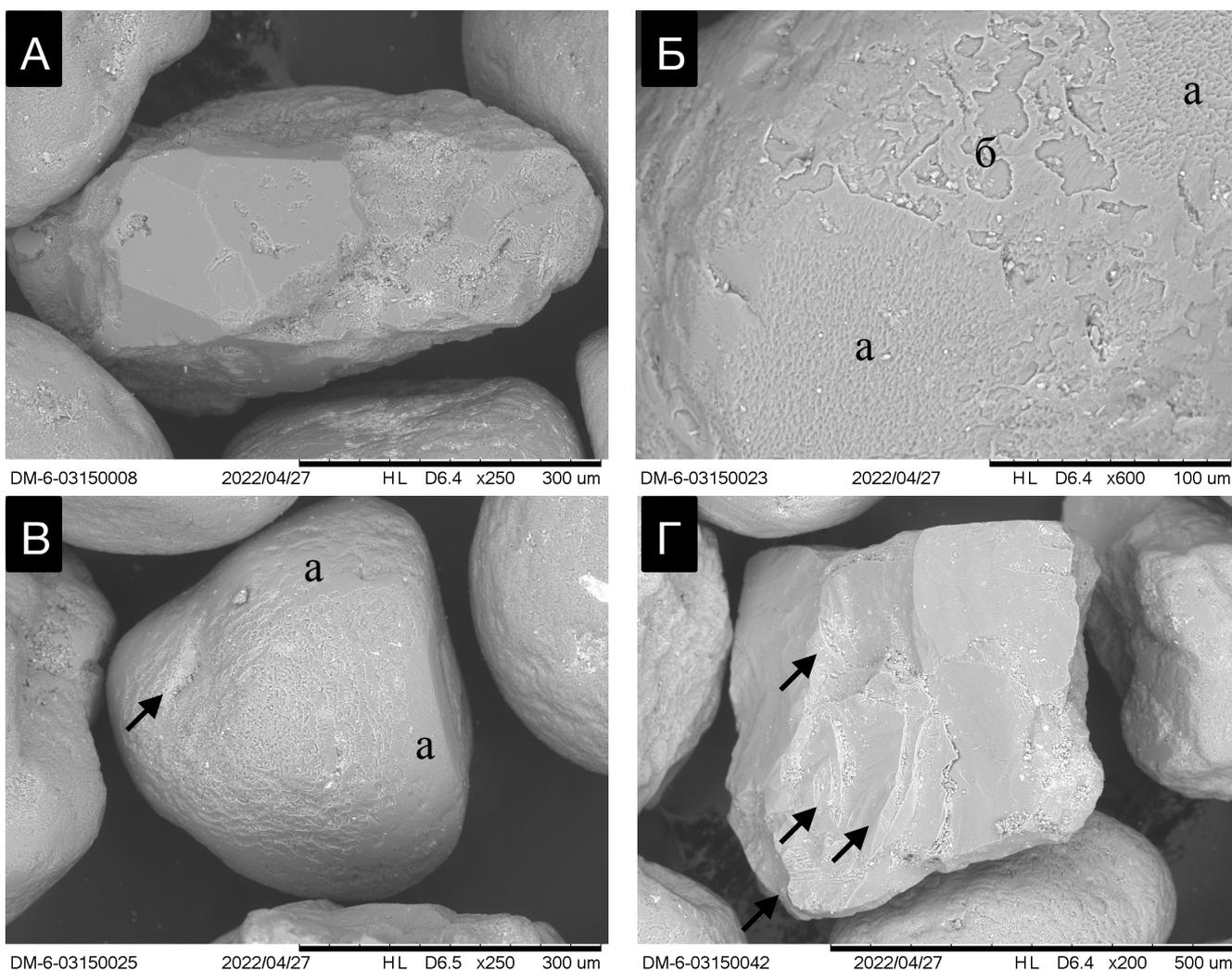


Рисунок 15. Структуры поверхности кварцевых зерен из песчаных палеопочв в отторженце. (А) Неокатанное зерно кварца с высоким рельефом и новыми гранями. (Б) Хорошо окатанное зерно в приближении. Часть поверхности покрыта мелкими ямами растворения (а), на другой части начала формироваться пленка кварца (б). (В) Хорошо окатанное зерно с мелкими ямами растворения. Стрелкой указаны борозды, которые образовались также при химическом выветривании. Отмечены участки, покрываемые пленкой кварца (а). (Г)

Неокатанное зерно с множеством сколов. Стрелками указаны прямые ступени на них.
 Фото автора.

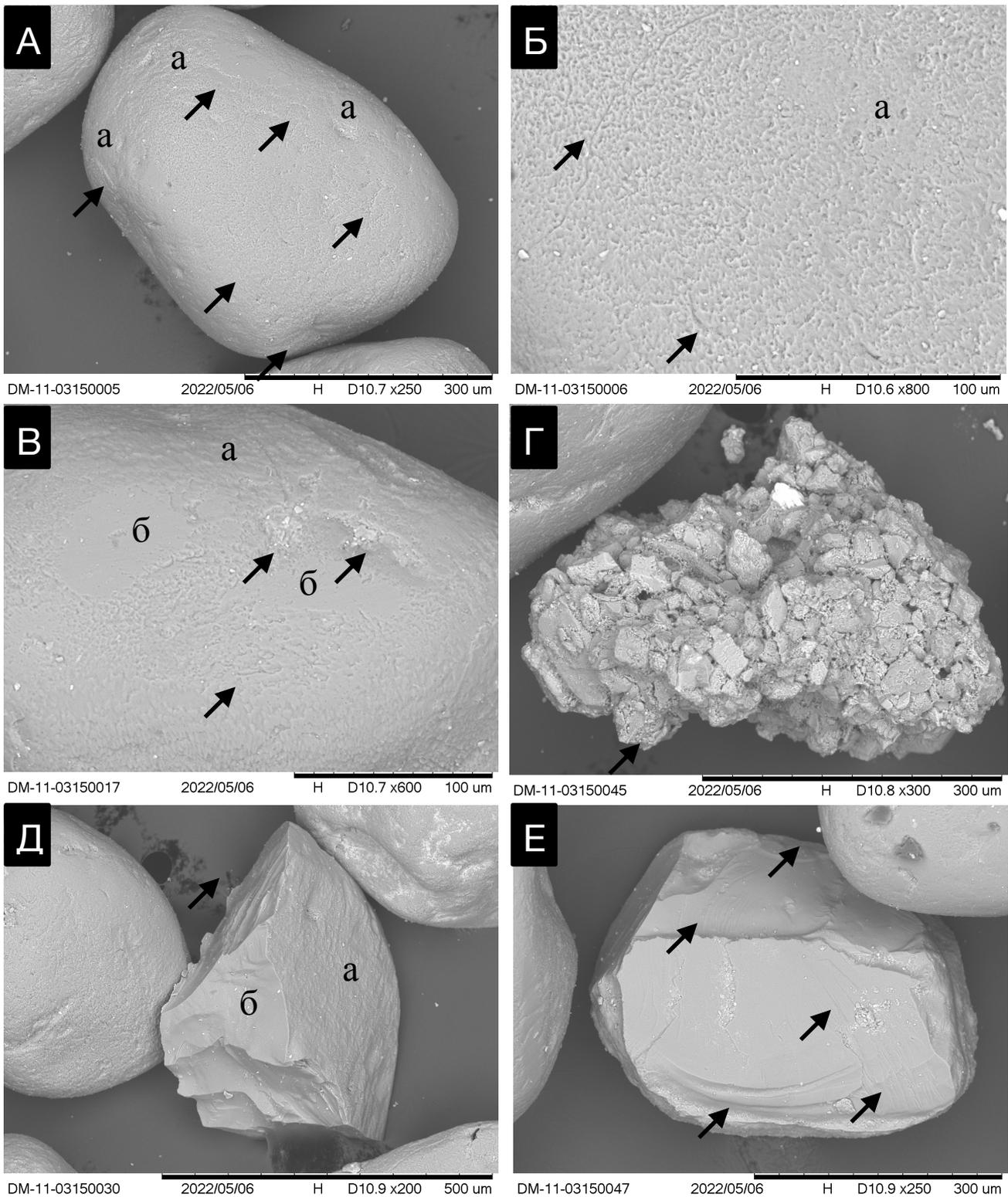
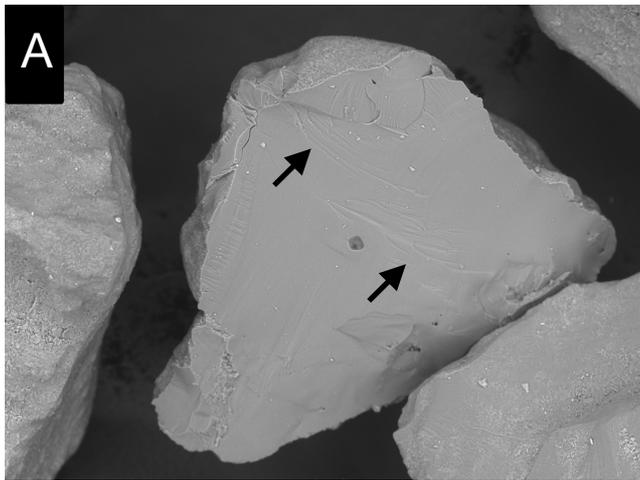
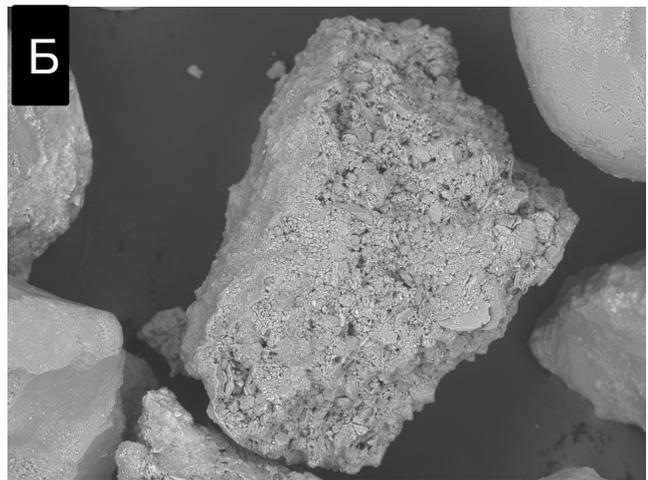


Рисунок 16. Структуры поверхности кварцевых зерен из четвертичной морены у подошвы.
 (А) Окатанное зерно со следами химического выветривания наподобие кембрийских зерен. Вся поверхность частицы покрыта мелкими ямами растворения. Также отмечены борозды (стрелки) и более крупные ямы. (Б) Мелкоямчатая поверхность кварцевого зерна в приближении. На нем встречаются крупные ямы (а), а также борозды (стрелки). (В)

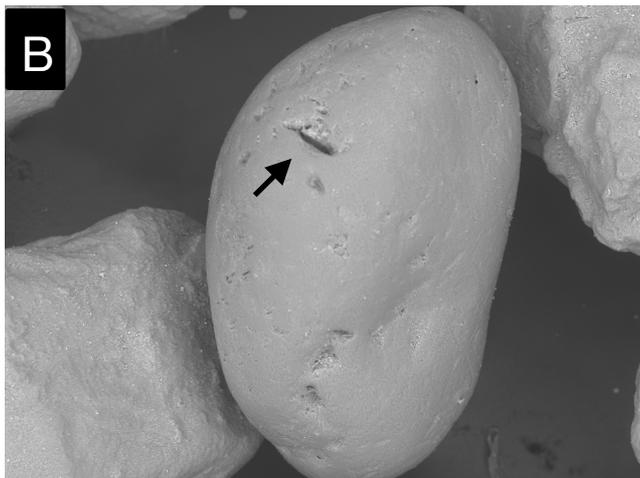
Поверхность хорошо окатанного зерна в приближении. Отмечены участки, покрытые мелкими ямами растворения (а), а также с образованием новых граней кварца (б), на которых также встречаются мелкие ямы. Это означает, что химическое растворение происходило неоднократно. Стрелками указаны крупные углубления с прилипшими частицами. (Г) Неокатанное зерно, сформированное прилипшими частицами разного размера: от самых мелких до частиц диаметром 50 мкм. (Д) Расколотое зерно с высоким рельефом. Окатанная сторона (а) покрыта мелкими ямами растворения, а неокатанная (б) свежими сколами разной конфигурации и размеров. (Е) Неокатанное зерно со средним рельефом и раковистыми сколами на видимой стороне. На сколах отмечаются градиентные дуги (стрелки). Фото автора.



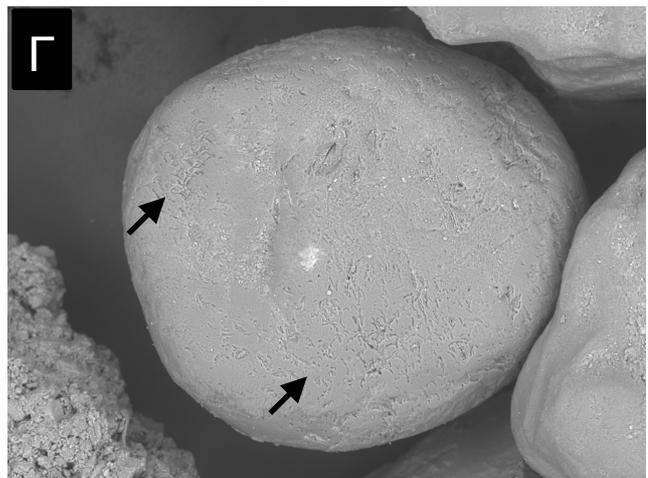
DM-8-03150004 2022/05/12 HL D6.2 x250 300 um



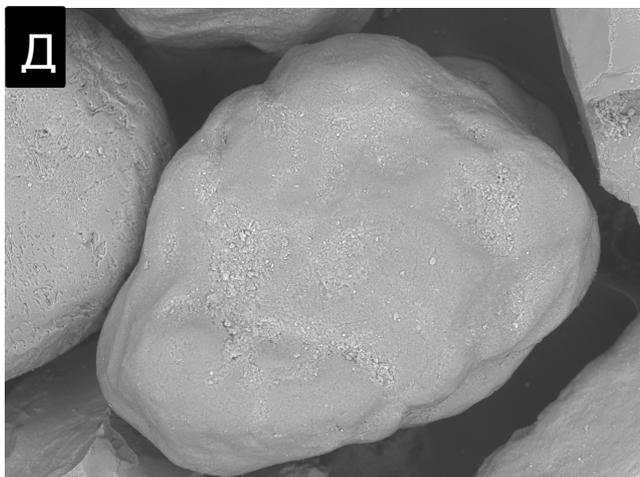
DM-8-03150010 2022/05/12 HL D6.2 x200 500 um



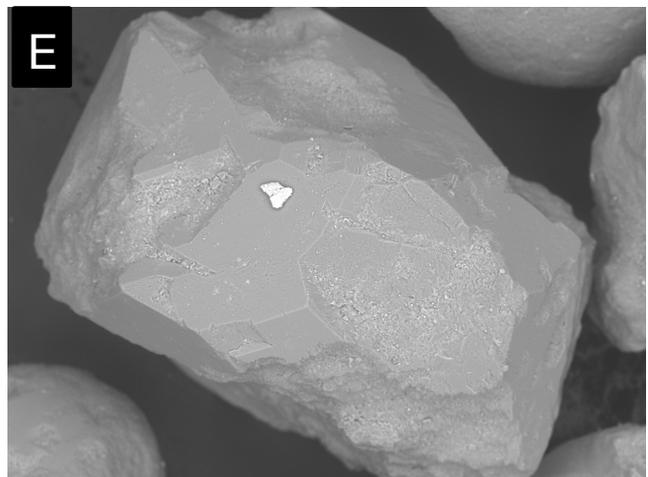
DM-8-03150031 2022/05/12 HL D6.3 x200 500 um



DM-8-03150013 2022/05/12 HL D6.2 x250 300 um



DM-8-03150014 2022/05/12 HL D6.3 x250 300 um



DM-8-03150037 2022/05/12 HL D6.1 x250 300 um

Рисунок 17. Структуры поверхности кварцевых зерен из основной части морены. (А) Неокатанное зерно с высоким рельефом и ровной поверхностью скола. На поверхности скола отмечаются градиентные дуги (стрелки). (Б) Зерно, сформированное мелкими слипшимися алевролитовыми частицами. (В) Хорошо окатанное зерно с низким рельефом. Поверхность довольно выровненная, но на ней отмечаются глубокие следы растворения (стрелки). (Г) Хорошо окатанное зерно с низким рельефом и множеством следов растворения. Поверхность покрыта небольших, иногда однонаправленных, бороздок (стрелки). (Д) Среднеокатанное зерно кварца со средним рельефом. Поверхность данного зерна имеет

угловатую форму, но без четких граней. В углублениях отмечены прилипшие частицы. (Е) Неокатанное зерно с высоким рельефом с новыми четкими гранями. Фото автора.

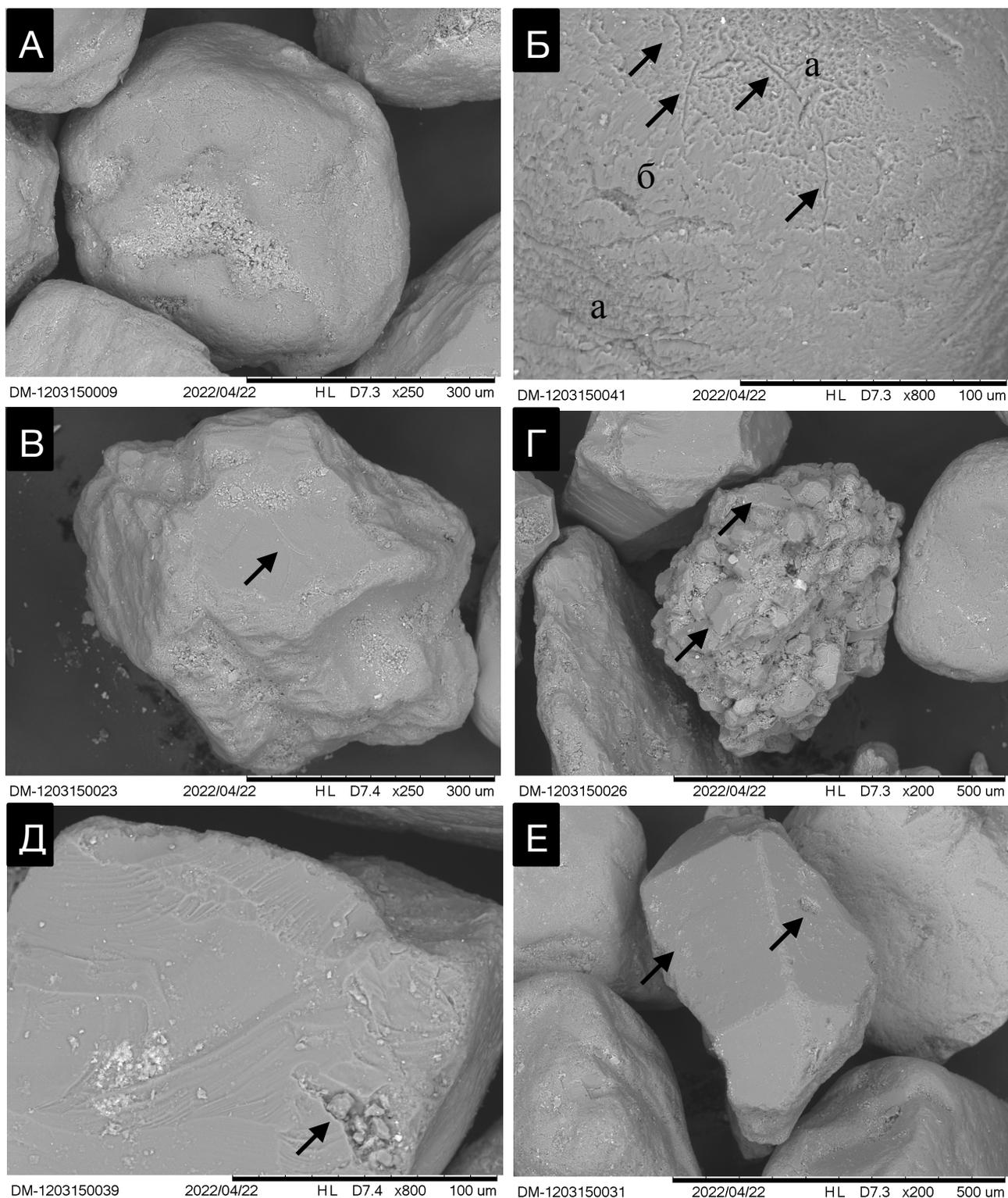


Рисунок 18. Структуры поверхности кварцевых зерен из четвертичных песков озера происхождения с основной части пачки. (А) Среднекатанное зерно со средним рельефом, поверхность которого имеет угловатую форму, похожую на формирование кристаллов кварца. В углублениях отмечают мелкие прилипшие частицы. (Б) Поверхность хорошо окатанного зерна кварца в приближении. На нем встречаются участки, покрытые мелкими ямами (а) и бороздами растворения (стрелки), а также пленки кварца (б). (В) Неокатанное зерно с высоким рельефом с новыми четкими гранями. Фото автора.

Неокатанное зерно кварца с высоким рельефом. Форма частицы угловатая, ее пониженные участки заполнены мелким материалом. Одна сторона зерна представляет собой старый выветрелый скол, на котором отмечаются характерные градиентные дуги (стрелка). (Г) Зерно, сформированное прилипами частицами, некоторые из которых имеют форму кристаллов (стрелки). (Д) Плоская поверхность скола в приближении. Присутствуют характерные для сколов градиентные дуги. Сам скол довольно выветрелый, о чем говорит истертость граней. В понижениях встречаются прилипшие частицы (стрелка). (Е) Неокатанное зерно с высоким рельефом и с кристаллической формой. На новых гранях кварца отмечены следы растворения (стрелка), углы истерты. Фото автора.

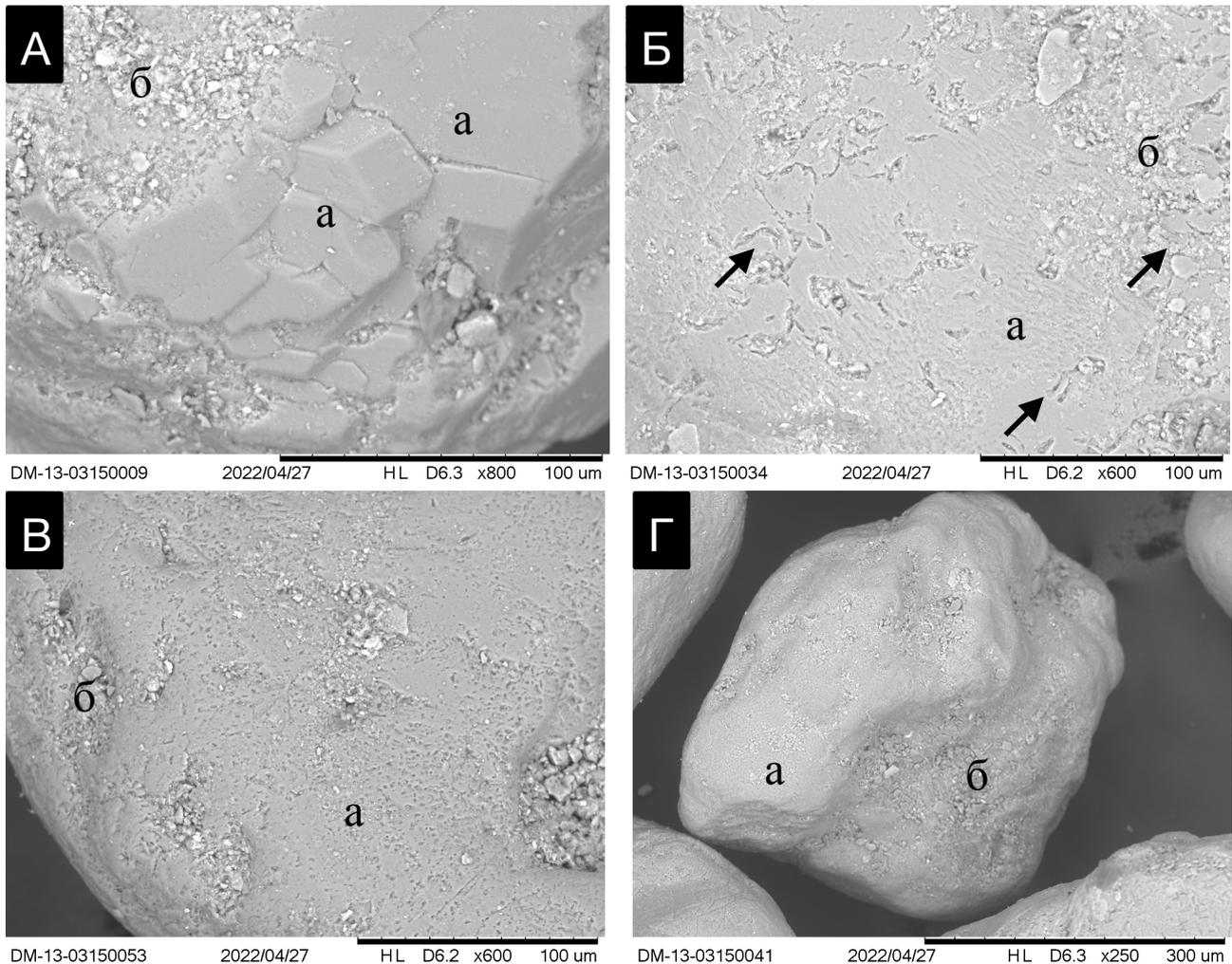


Рисунок 19. Структуры поверхности кварцевых зерен из четвертичных песков озерного происхождения с кровли на границе с почвами. (А) Поверхность среднеокатанного зерна в приближении. На фотографии видно, что формируются новые грани кварца (а), которые еще не подверглись разрушению. Ямчатые участки поверхности (б) покрыты разноразмерными частицами. (Б) Поверхность окатанного зерна в приближении. Отмечены следы химического выветривания: мелкие (а) и крупные (б) ямки, борозды. Также присутствуют серповидные выбоины (стрелки). (В) Поверхность зерна кварца с V-образными выбоинами (а) в приближении. Пониженные участки заполнены алевритовыми частицами (б). (Г) Угловатое зерно, напоминающее формирование кристаллов кварца, но

сильно выветренное (а). В пониженных участках так же наблюдается большое количество мелкодисперсного материала (б). Фото автора.

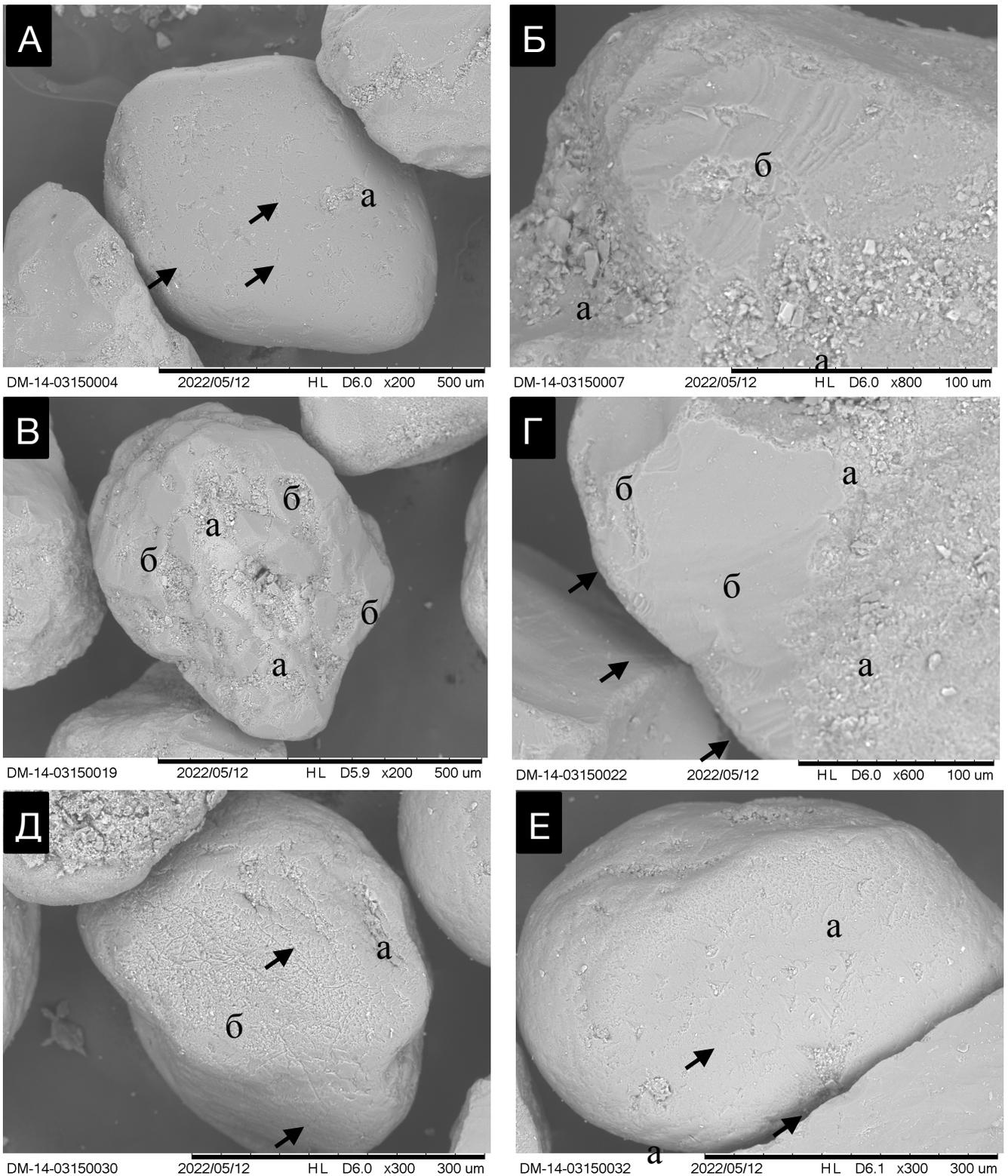


Рисунок 20. Структуры поверхности кварцевых зерен из эоловых пылеватых песков. (А) Хорошо окатанное зерно кварца с низким рельефом. Поверхность довольно выглаженная, однако присутствуют серповидные выбоины (стрелки). Некоторые из них заполнены мелкими частицами (а). (Б) Поверхность неокатанного зерна кварца в приближении.

Отмечена поверхность раковистого скола с характерными прямыми и дугообразными ступенями (б). При этом углы скола истерты. Понижения на зерне заполнены мелким материалом различных форм. (В) Среднеокатанное зерно кварца со средним рельефом. Пониженные участки также выровнены мелким материалом (а). Само зерно имеет угловатую форму и множество новых граней без следов растворения (б). (Г) Ровная поверхность скола в приближении (б). На сколе отмечены прямые и дугообразные ступени (стрелки), а также градиентные дуги. Часть поверхности зерна без скола облеплена мелкими частицами (а). (Д) Среднеокатанное зерно кварца с низким рельефом. Оно довольно выветренное с множеством следов растворения (б): мелкими ямами, бороздами (стрелки), и трещинами (а). (Е) Хорошо окатанное зерно с низким рельефом. Отмечены серповидные выбоины (а) и треугольные ямы растворения (стрелки), при этом наиболее глубокие из них заболнены мелкими частицами. Кроме того большая часть поверхности покрыта мелкими ямами. Фото автора.

Часто, практически на всех зернах, встречаются серповидные выбоины (рис. 11: Е) и V-образные ударные трещины, которые сформировались в процессе транспортировки песчинок. Так же как и хорошая окатанность они говорят о водном переносе высокой интенсивности, во время которого происходили соударения зерен между собой.

Образцы саблинских песчаников были отобраны еще с двух участков: под отторженцем с палеопочвами (рис. 12) и на месте, где в песчаники внедряется морена (рис. 13). В обоих образцах наблюдаются типичные для кембрийских песчаников структуры. Это различные структуры растворения: мелкие ямки, крупные углубления, трещины и серповидные выбоины. Также отмечаются пленки кварца - начальный этап формирования новых граней.

Ладожские песчаники содержат в себе такие же окатанные кварцевые зерна с низким рельефом (рис. 14). Они имеют мелкоямчатую поверхность (рис 14: Б, В, Г, Д), трещины и ямы расворения, серповидные выбоины и новые грани кварца. В отличие от саблинских песчаников, в ладожских наблюдаются единичные зерна с поверхностями сколов со следами выветривания. А также на многих зернах из данного горизонта отмечены пленки гидроокислов железа.

В привнесенных ледником песчаных почвах чаще всего встречаются также же структуры песчаных зерен со следами растворения, как и в материнских породах (рис. 15). В образце из палеопочв чаще отмечаются структуры регенерации новых граней кварца, начиная с пленок, заканчивая четкой формой кристаллов. Наблюдаются также единичные зерна с ледниковой обработкой. Они имеют неокатанную поверхность с раковистыми сколами и ступенями на них. Из этого следует, что сама почва формировалась на

кембрийских песчаниках, а привнесенные ледниковые зерна объясняются внедрением морены в палеопочвы.

6.2.2. Ледниковые отложения квартера.

Ледниковые отложения были отобраны на двух участках: ближе к подошве, и выше по разрезу. Структуры кварцевых песчаных зерен из этих двух проб сильно отличаются друг от друга. Ближе к подошве (рис. 16) в морене отмечается большое количество кембрийских зерен с характерной хорошей окатанностью и следами химического выветривания в виде мелкямчатой поверхности, борозд и трещин и более крупных ям. На зернах наблюдаются новые грани, которые также имеют следы растворения. При этом мелкие ямы на новых гранях малочисленны, в отличие от остальной части зерна. Некоторые песчаные частицы сформированы в результате слипания множества мелких зерен. В морене у подошвы встречаются и единичные зерна с ледниковой обработкой. На них отмечены раковистые сколы, плоские поверхности сколов, дугообразные и прямые ступени на них, а также градиентные дуги.

Выше по разрезу, в основной части морены, зерна приобретают неокатанную, угловатую форму и множество сколов на поверхности (рис. 17). Сколы дополняются градиентными дугами, прямыми и дугообразными ступенями. Встречаются также зерна, сформированные прилипшими частицами разных размеров. Особо необходимо отметить, что в образце были обнаружены окатанные или среднеокатанные зерна кварца, на которых нет следов ледниковой обработки. Окатанные зерна имеют «типичные кембрийские структуры» с мелкямчатой поверхностью и другими следами химического выветривания. А среднеокатанные зерна еще более интересны, так как они не похожи на кембрийские, и скорее всего, были привнесены ледником из отложений венда. Они характеризуются угловатой формой с хорошо развитыми новыми гранями кристаллов кварца на отдельных участках. От кембрийских они отличаются еще и отсутствием явных следов растворения. Подобные зерна встречаются и выше по разрезу, при этом всегда более пониженные участки на их поверхности заполнены мелким материалом.

6.2.3. Озерные отложения квартера и переветренные золовые отложения.

Для получения более детальной картины динамики развития структур поверхности кварцевых зерен озерные отложения были также отобраны на двух участках. Первый образец соответствует основной части пачки, второй отобран на кровле ближе к современным почвам. Также один образец был получен из вышележащих почв. И забегая вперед, следует

сказать, что структуры поверхности кварцевых песчинок из этих отложений довольно схожи между собой.

В отложениях озерных песков из середины пачки (рис. 18) наблюдаются различной окатанности зерна. Отмечены зерна с высоким рельефом и характерными для ледниковой обработки раковистыми сколами, градиентными дугами и ступенями. Среди неокатанных зерен встречаются также те, которые имеют четкую форму кристалла кварца. При этом углы на зернах со сколами и гранями кварца чаще всего истерты, а сами грани осложнены следами растворения. Отмечены зерна среднеокатанные с угловатой формой с еле различимыми гранями кристаллов кварца, но они также выветрелые и покрыты мелкими ямами растворения, наподобие кембрийских.

В озерных отложениях отмечены неокатанные зерна, сформированные из прилипших частиц, некоторая часть из которых имеет кристаллический облик. Также выше по разрезу больше отмечаются серповидные выбоины и V-образные ударные выбоины (рис. 19).

Эоловые отложения, представленные пылеватым песком, характеризуются наличием зерен со структурами, подобных озерным (рис. 20). Здесь также встречаются зерна с различной окатанностью. Хорошо окатанные зерна отличаются низким рельефом и сглаженной поверхностью, которые покрыты серповидными выбоинами и треугольными ямами и бороздами растворения. Неокатанные зерна имеют следы ледниковой обработки (сколы, градиентные дуги и ступени). При этом углы на этих зернах все так же истерты.

Кварцевые зерна из озерных песков и пылевых песков отличаются от остальных тем, что пониженные участки на них почти всегда заполнены мелкодисперсным материалом, а углы на частицах истерты.

ГЛАВА 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как оказалось, типичными структурами поверхности кварцевых зерен для кембрийских песчаников являются следы растворения. Практически на каждом зерне кварца встречались ямки растворения размером в несколько микрон, которые покрывали поверхность частицы. Вместе с ними трещины, борозды и более крупные ямы, включая треугольные ямы растворения, а также новые грани кварца появились в процессе химического выветривания, когда отложения были уже сформированы. Такие структуры образуются только в континентальных условиях (Fedorov, Palkina, 2015). Другие структуры, например, серповидные выбоины остались на зернах кварца еще с момента переноса осадков и говорят об их морском происхождении. Такие следы появляются на зернах при их столкновении в процессе транспортировки водными агентами. Известно, что саблинский горизонт был сформирован в кембрии на мелководном северном обрамлении эпиконтинентального Московского палеобассейна (Kheraskova et al.).

Структуры поверхности кварцевых зерен из кембрийских отложений на кровле у границы с мореной не отличаются от структур в основной толще. Здесь так же развиты следы химического выветривания и следы водного переноса осадков.

Песчаные палеопочвы были принесены на данный участок ледником, поэтому где и на каких отложениях они формировались, не известно. Но исходя из характерных кембрийским отложениям структур, которые встречаются на большей части зерен в данных отложениях, следует сделать вывод, что коренными породами для палеопочв являлись именно кембрийские песчаники. Об этом говорит и гранулометрический состав палеопочв. Анализ показал, что пики содержания фракций в отторженце и саблинских песчаниках идентичные. Но также следует отметить, что в песчаных палеопочвах из отторженца присутствуют единичные зерна с ледниковой обработкой. Они были занесены из морены, так как палеопочвы были принесены ледником, и в разрезе наблюдается внедрение морены в палеопочвы.

Примечательным является то, как структуры поверхности кварцевых зерен из морены изменяются от подошвы к основной ее части. У подошвы отмечается сильное смешивание материала с кембрийскими песчаниками. Большая часть песчаных зерен отсюда представлена окатанными частицами с различными следами химического выветривания (мелкие ямки, трещины и борозды растворения), а также следами соударения зерен (серповидные выбоины), характерные для кембрийских кварцевых песчаных частиц. При этом ледниковое воздействие тоже проявлено, но на единичных зернах. Во втором образце из

морены выше по разрезу наблюдается намного большее воздействие ледниковой обработки. Встречаются расколотые зерна с градиентными дугами, ступенями, и раковистыми изломами на сколах. Но здесь, по-прежнему, отмечается наследование структур поверхности кварцевых зерен из кембрийских песчаников в виде тех же следов растворения и форм самих частиц. Встречаются и другие структуры, которые не похожи на кембрийские, но при этом не имеют следов ледниковой обработки. Это среднеокатанные зерна с угловатой формой, похожей на обрастание кристаллами кварца, но в последующем подвергнутые выветриванию. На их поверхности отмечены следы растворения (ямки, борозды и проч.) и прилипшие частицы в пониженных участках зерен. Предположительно, данные зерна были привнесены из вендских отложений, которые залегают севернее Глинта, у подножия которого был описан разрез и отобраны образцы. Это соотносится с общими представлениями о движении ледника в четвертичное время с северо-запада на юго-восток. К сожалению, ранее отложения венда не были никем изучены в регионе с помощью морфоскопии и морфометрии, поэтому точно сказать о генезисе таких зерен нельзя.

Результаты гранулометрического анализа подтверждают, что кембрийские зерна присутствуют в морене. Это проявлено и у подошвы и выше по разрезу, причем в первом случае наиболее сильно. В основной морене отмечен небольшой скачок в содержании фракции 0,315-0,125 мм, но более половины материала имеет размерность менее 0,01 мм. У подошвы ситуация похожая, но скачок на фракции 0,315-0,125 мм более сильный. В этой фракции содержится около 40% материала.

Исходя из вышесказанного, следует сделать вывод, что обработка материала из подошвы морены в теле ледника происходила недолго, и на зернах хорошо сохранились структуры поверхности кварцевых зерен из коренных кембрийских отложений. А вышележащий материал успел приобрести структуры, характерные для ледниковой обработки, так как был привнесен издалека. Об этом также свидетельствуют специфические песчаные зерна, привнесенные, скорее всего, из вендских отложений.

В вышележащих песках озерно-ледникового происхождения также наследуются структуры поверхности кварцевых зерен из кембрийских и, возможно, вендских отложений. Из кембрийских - окатанные зерна со следами химического выветривания. Встречаются также принесенные издалека зерна из морены с характерными следами ледниковой обработки. К ним относятся частицы кварца с высоким рельефом и раковистыми сколами, на поверхности которых наблюдаются дугообразные и прямые ступени и градиентные дуги. Данные структуры проявлены не всегда отчетливо, так как в процессе водного переноса углы

на этих зернах были истерты и даже мелкие понижения заполнены алевритовыми частицами. Следы водного переноса, представленные, в основном, серповидными выбоинами и V-образными ударными трещинами, слабо проявлены выше по разрезу ближе к кровле пачки песков. Так как данные пески содержат в себе зерна из разных источников, и следов последних условий транспортировки и осаждения встречается не так много, определять их генезис исходя из структур поверхности кварцевых песчинок, практически, невозможно.

Гранулометрический состав первого образца, который был отобран в основной части пачки, соответствует саблинским песчаникам и имеет пик во фракции 0,315-0,125 мм. А образец, отобранный выше, уже имеет чуть более мелкий материал и пик наблюдается во фракции 0,125-0,08 мм. Скорее всего, в процессе переноса пески песчинки ударялись друг об друга и измельчались. При этом, на их поверхности формировались серповидные выбоины и V-образные ударные трещины и сглаживались углы. Предположительно, на на зернах размерности 0,125-0,08 мм могло быть больше следов водной транспорровки, которые могли бы говорить об озерно-ледниковом генезисе. С помощью анализа морфоскопии и морфометрии во всех образцах была изучена более крупная фракция (0,4-0,315 мм), поэтому данные по мелким фракциям отсутствуют.

В самых молодых отложениях в разрезе, представленных эоловыми пылеватыми песками, структуры поверхности зерен кварца идентичны зернам озерно-ледниковых отложений. Отложения явно были перевеяны, так как в данных осадках встречаются и кембрийские зерна со следами растворения, и ледниковые зерна со сколами. На зернах, особенно на пониженных участках, отмечается много прилипших частиц, которые, скорее всего, являются признаком эолового генезиса. Такие частицы могут формироваться как из самих зерен, так и могут быть принесенными из других (Mahaney 2002; Vos et al 2014). Также об эоловом происхождении говорит истирание граней кварца. То есть, все серповидные выбоины из кембрийских зерен и раковистые сколы из ледниковых являются выветрелыми, углы на них истерты.

Для эоловых отложений, обычно, характерна хорошая окатанность и обилие перевернутых пластин (Krinsley, Doornkamp, 1973; Mahaney, 2002). Но этого не удалось обнаружить в данных отложениях.

Гранулометрический состав пылеватых песков отличается большим содержанием материала алеврито-пелитовой размерности, поэтому, скорее всего, в более мелких фракциях наблюдается больше следов эоловой обработки. Но также возможно, что энергия и

длительность переноса материала были небольшими, поэтому зерна не успели приобрести соответствующие структуры поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящей работы было проведено исследование структур поверхности кварцевых зерен из кембрийских и четвертичных отложений на разрезе в окрестностях Путиловского карьера. Во-первых, было описано обнажение, по которому позже автором была построена схема. Во-вторых, с обнажения было отобрано 14 образцов, 10 из которых были отмыты и исследованы с помощью гранулометрического анализа и анализа морфоскопии и морфометрии. Анализ морфоскопии и морфометрии включал в себя тщательное изучение поверхности кварцевых зерен средней фракции (0,4-0,315 мм), используя СЭМ. Чтобы выявить степень наследуемости структур поверхностей из более древних в более молодые отложения, было исследовано 3 образца из саблинских песчаников, 1 образец из ладожских песчаников, 1 образец из отторженца, 2 образца из четвертичного тилла, 2 образца из озерно-ледниковых отложений и 1 образец из перевеянных эоловых песков.

Удалось обнаружить, что структуры поверхности кварцевых зерен в значительной степени зависят от коренных пород, откуда осадки были переотложены. Характерные для кембрийских отложений элементы рельефа зерен в виде хорошей окатанности, следов растворения и серповидных выбоин были обнаружены во всех вышележащих отложениях. Песчаные палеопочвы, которые были привнесены сюда ледником, были сформированы на кембрийских песчаниках, об этом свидетельствуют идентичный гранулометрический состав и преобладающие структуры поверхности зерен. В вышележащих четвертичных отложениях: в ледниковых, озерно-ледниковых и эоловых помимо кембрийских песчаных зерен встречаются также не местные специфические угловатые зерна с новыми гранями и со следами растворения. Автор предполагает, что эти зерна были переотложены из вендских отложений. Ранее никто не изучал местные вендские песчаники с помощью анализа морфоскопии и морфометрии, поэтому материал по ним отсутствует.

В озерно-ледниковых и эоловых песках не удалось обнаружить явные следы транспортировки, так как во всех образцах была исследована только фракция 0,4-0,315 мм. Возможно, в более мелких песчинках кварца, которые преобладают в данных отложениях, присутствует больше структур, образовавшихся в ходе последних условий осадконакопления. В средних же фракциях, в основном, встречаются немного переработанные унаследованные структуры.

Таким образом, полученные данные о преобладающих структурах поверхности кварцевых зерен из кембрийских и четвертичных отложений свидетельствуют о

значительной наследуемости структур из кембрийских отложений в четвертичные. Также удалось выяснить, что структуры из коренных отложений чаще встречаются в молодых осадках, если длительность и интенсивность транспортировки была небольшой.

Исходя из вышесказанного следует, что качественная реконструкция последних условий осадконакопления с помощью анализа морфоскопии и морфометрии кварцевых зерен требует больше информации о структурах кварцевых зерен, которые содержатся в отложениях, откуда исследуемые осадки вымываются и переоткладываются. Кроме того, используя знания о таких структурах, можно выявлять сами источники сноса материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Часть 1. Обломочные и глинистые породы. Под ред. Хабакова А.В. М., Гос. научн.-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1963.
2. Вербицкий В. Р., Вербицкий И. В., Васильева О. В., Саванин В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012, 510 с. + 18 вкл.
3. Геология СССР. Том I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Под ред. В.А. Селивановой и В.С. Кофман. СЗТГУ. «Недра», М. 1971. 504 с.
4. Геологическая карта СССР. Лист О-36-П. 1:200 000. Под ред. Зоричевой А.И., Семеновой О.И. 1986.
5. Геоморфология и четвертичные отложения Северо-Запада европейской части СССР (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Под ред. Д.Б. Малаховского и К.К. Маркова. «Наука», Л. 1969. 256 с.
6. Карта четвертичных отложений СССР. Лист О-36-П. 1:50 000. Под ред. Ключкина Н.В. 1976.
7. Конищев В.Н., Рогов В.В. Методы криолитологических исследований. М., Издательство Московского университета. 1994, 135 с.
8. Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем. Общество. Среда. Развитие. 2007. 111-120 с.
9. Рухин Л.Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. Издание 3-е. // Л., «Недра», 1969. 703 с.
10. Рухина Е.В. Литология ледниковых отложений. Л. «Недра». 1973. 176 с.
11. Akimune Y. Hertzian cone crack in SiC caused by spherical particle impact. Journal of materials science letters 9. 1990. P. 659-662.
12. Bennike O., Jensen J.B. A Baltic Ice Lake lowstand of latest Allerød age in the Arkona Basin, Southern Baltic Sea. Geological Survey of Denmark and Greenland 28. 2013. P. 17-20.
13. Bull, P., Morgan, R. Sediment Fingerprints: A forensic technique using quartz sand grains. Science and Justice, Vol 46. 2006. P. 107-126.

14. Fedorov P.V., Palkina A.I. Surface textures of sand grains from quartz arenite stratotype section of Sablinka Formation (Cambrian, series 3; Saint-Petersburg vicinity, northwest Russia): The key to understanding of continental processes at the Guzhangian-Furongian boundary. Вестник СПбГУ. Сер. 7. Вып. 4. 2015. P. 37-52.
15. Gindy N.N. Environmental implications of electron microscope study of quartz grains' surface textures on khors sediments, Lake Nasser, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Research. Vol. 41, I. 1. 2015. P. 41-47.
16. Kalińska E., Lamsters K., Karušs J., Krievāns M. Quartz grain features in modern glacial and proglacial environments: A microscopic study from the Russell Glacier, southwest Greenland. Polish Polar Research 38(3). 2017. P. 265-289.
17. Kemp A., Horton B., Engelhart S. Sea-levels, Late Quaternary | Late Quaternary Relative Sea-Level Changes at Mid-Latitudes. Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition). 2013. P. 489-494.
18. Kheraskova T. N. , Andreeva N.K., Vorontsov A.K., Kagramanyan N.A. Evolution of the Moscow Sedimentary Basin in the Early Paleozoic. Lithology and Mineral Resources. 2005. Vol. 40, No. 2. P. 150–166.
19. Krinsley D., Donahue J. Diagenetic Surface Textures on Quartz Grains in Limestone. Journal of Sedimentary Research. Vol. 38. 1968. P. 1-4.
20. Krinsley D.H., Doornkamp J.C. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge, Cambridge University Press. 1973. P. 1-91.
21. Krinsley D.H. Scanning Electron Microscope Examination of Quartz Sandgrain Microtextures. Kwartalnik Geologiczny, t. 24, nr 2. 1980. P. 217-232.
22. Krinsley D.H. Surface features of quartz sand grains from leg 10 of the deep sea drilling project. Department of Earth and Environmental Sciences. 1973. P. 929-933.
23. Krinsley D., Trusty P. Environmental Interpretation of Quartz Grain Surface Textures. In: Zuffa G.G. (eds) Provenance of Arenites. NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences), vol 148. 1985. P. 213-229.
24. Mahaney W.C. Atlas of sand grain surface textures and applications. Oxford, U.K., Oxford University Press. 2002. P. 1–256.
25. Mahaney, W.C., Vaikmae, R. & Vares, K. Scanning electron microscopy of quartz grains in supraglacial debris, Adishy Glacier, Caucasus Mountains, USSR. Boreas 20. 1991. P. 395–404.
26. Margolis, S. Electron microscopy of chemical solution and mechanical abrasion features on quartz sand grains. Sedimentary Geology 2. 1968. P. 243– 256.

27. Margolis, S.V., Krinsley, D.H. Sub-microscopic Frosting on Eolian and Subaqueous Quartz Sand Grains. *Geological Society of American Bulletin* 82. 1971. P. 3395–3406.
28. Marshall J.R., Bull P.A., Morgan R.M. Energy regimes for aeolian sand grain surface textures. *Sedimentary Geology* 253-254. 2012. P. 17–24
29. Manker, J.P., Ponder, R.D. Quartz grain surface features from fluvial environments of northeastern Georgia. *Journal of Sedimentary Petrology* 48. 1978. P. 1227–1232.
30. Rodríguez-López J. P., De Boer P. L., Meléndez N., Soria, G. Pardo A. R. Windblown desert sands in coeval shallow marine deposits: a key for the recognition of coastal ergs in the mid-Cretaceous Iberian Basin, Spain. *Terra Nova*. Vol. 18. 2006. P. 314-320.
31. Sliupa S., Fokin P., Lazauskiene J., Stephenson R.A. The Vendian–Early Palaeozoic sedimentary basins of the East European Craton. *Geological Society, London, Memoirs*. 2006. Vol. 32. P. 449–462.
32. Stevic. M. Identification and environmental interpretation of microtextures on quartz grains from aeolian sediments - Brattforsheden and Vittskövle, Sweden. Department of Geology Lund University. 2015. P. 1-35.
33. Vos K., Vandenberghe N., Elsen J. Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. *Earth-Science Reviews*. 2014. Vol. 128. P. 93–104.
34. Wellendorf W., Krinsley D.H. The relation between the crystallography of quartz, and upturned aeolian cleavage plates. *Sedimentology* 27. 1980. P. 447-453.
35. Whalley W.B., Langway C.C. A scanning electron microscope examination of subglacial quartz from camp century cope, Greenland - A preliminary study. *Journal of Glaciology*. Vol. 25. No 91. 1980. P. 125-131.
36. Woronko B., Bujac L., Micromorphology of sand quartz grains from the preglacial kozienice series as an indicator of transportation and deposition processes in the southern Mazovian Lowland. *Biuletyn - Panstwowego Instytutu Geologicznego* 438. 2010. P. 137-154.