

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ/GEOLOGY,
PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2>

**ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХИБИНСКОГО
МАССИВА**

Научная статья

Рассказов А.¹, Горбатов Е.², Кирьяк С.^{3,*}, Колесников С.⁴

³ ORCID : 0009-0008-2553-796X;

^{1, 3} Российский Университет Дружбы Народов, Москва, Российская Федерация

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Российская Федерация

⁴ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kiryak.semen[at]yandex.ru)

Аннотация

Песчано-гравийные месторождения Хибинского массива приурочены к залежам позднечетвертичных моренных и водно-ледниковых отложений. Детально описаны два разреза, вскрывающих склон «кукисвумской» моренной гряды, образовавшейся при наступлении покровного ледника и флювиогляциальную террасу в долине р. Кукисйок, формирование которой связано с проточными ледниками озерами в период дегляциации территории. Сравнение изученных разрезов показывает, что разрез моренной гряды характеризуются большой мощностью грубобломочных отложений и сложным характером залегания продуктивных озерно-ледниковых подморенных песчаных отложений, что снижает промышленные качества этого месторождения. Разрез флювиогляциальной террасы напротив, отличается выдержаным залеганием и большой площадью продуктивной лимногенной толщи, отсутствием моренного чехла, что определяет большой промышленный потенциал этого месторождения, которое активно разрабатывается в настоящее время. Уточнены литогенетические особенности обоих месторождений: преобладание песков и алевритов, часто с тонкой ленточной слоистостью, почти полное отсутствие глинистых разностей, включений органики и дропстоунов, широкое развитие в песчаных отложениях волнистых и косоволнистых текстур со смещением волнистых слойков в одном направлении. Данные особенности показывают, что накопление продуктивных толщ происходило в неглубоких олиготрофных озерных бассейнах с активными и выдержанными по направлению донными течениями, что указывает на непосредственную связь этих бассейнов с ледниками. Полученные результаты обосновывают ключевую роль в формировании месторождений строительных песков на Кольском полуострове климатических и ледниковых процессов в прошлом. Детальное изучение литологических характеристик (состав, строение, текстурные особенности) изученных месторождений позволяют конкретизировать ресурсный потенциал водно-ледниковых отложений в качестве источника строительных материалов и решать задачи прогноза новых месторождений на смежные регионы.

Ключевые слова: озерно-ледниковые отложения, моренная грязь, Балтийский щит, строительные пески, горный массив Хибины, Кольский полуостров.

LITHOGENETIC SPECIFICS OF SAND AND GRAVEL DEPOSITS OF THE KHBINSKY MASSIF

Research article

Rasskazov A.¹, Gorbatov Y.², Kiryak S.^{3,*}, Kolesnikov S.⁴

³ ORCID : 0009-0008-2553-796X;

^{1, 3} Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

² Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁴ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (kiryak.semen[at]yandex.ru)

Abstract

Sand and gravel deposits of the Khibinsky massif are confined to deposits of Late Quaternary moraine and water-glacial deposits. Two sections have been described in detail, exposing the slope of the "Kukisvum" moraine ridge formed during the onset of the cover glacier and the fluvio-glacial terrace in the valley of the Kukisjok River, the formation of which is associated with flowing glacial lakes during the deglaciation of the territory. Comparison of the studied sections shows that the section of the moraine ridge is characterized by a large thickness of coarse clastic sediments and a complex nature of occurrence of productive lake-glacial submarine sandy sediments, which reduces the industrial qualities of this deposit. On the contrary, the fluvio-glacial terrace section is characterized by a stable occurrence and a large area of productive limnogenic strata, absence of moraine cover, which determines the great industrial potential of this deposit, which is being actively developed today. The lithogenetic characteristics of both deposits were clarified: predominance of sands and siltstones, often with thin ribbon layering, almost complete absence of clay varieties, inclusions of organics and dropstones, wide development of wavy and oblique textures in sandy sediments with displacement of wavy layers in one direction. These specifics show that the accumulation of productive strata occurred in shallow oligotrophic lake basins with active and directionally stable bottom currents, indicating a direct connection between these basins and glaciers. The results obtained substantiate the key role of climate and glacial processes in the past in the formation of building sand deposits on the Kola Peninsula. A detailed study of lithological characteristics (composition, structure, textural features) of the studied deposits allows to specify the resource

potential of water and glacial deposits as a source of building materials and to solve the problems of forecasting new deposits for adjacent regions.

Keywords: lake and glacial deposits, moraine ridge, Baltic Shield, building sands, Khibiny mountain massif, Kola Peninsula.

Введение

Хибинский массив расположен на Кольском полуострове в Мурманской области России и представляет собой специфический комплекс горных пород (см. рис. 1). Геологический возраст массива примерно 390 миллионов лет. Хибины имеют плутоническое происхождение, в связи с чем в массив сложен щелочными интрузивными породами девонского возраста со сложной концентрической зональностью (см. рис. 2, 3). Уникальным является и минеральное богатство Хибинского массива. Здесь обнаружено и разрабатывается крупнейшее в мире месторождение апатит-нефелиновых руд (фосфатное сырье), титановых руд, а также встречаются редкие и ценные минералы ниобия, тантала, циркония, молибдена и множество других.

Кроме коренных месторождений большое значение для экономики региона имеют залежи полезных ископаемых в покрове четвертичных отложений ледникового происхождения, и, прежде всего, месторождения строительных песков и песчано-гравийных смесей. Полезные ископаемые этого типа, как правило, разрабатываются открытым способом в многочисленных карьерах, позволяющих проводить детальные литологические исследования разрезов рыхлых отложений в масштабах крупных регионов.

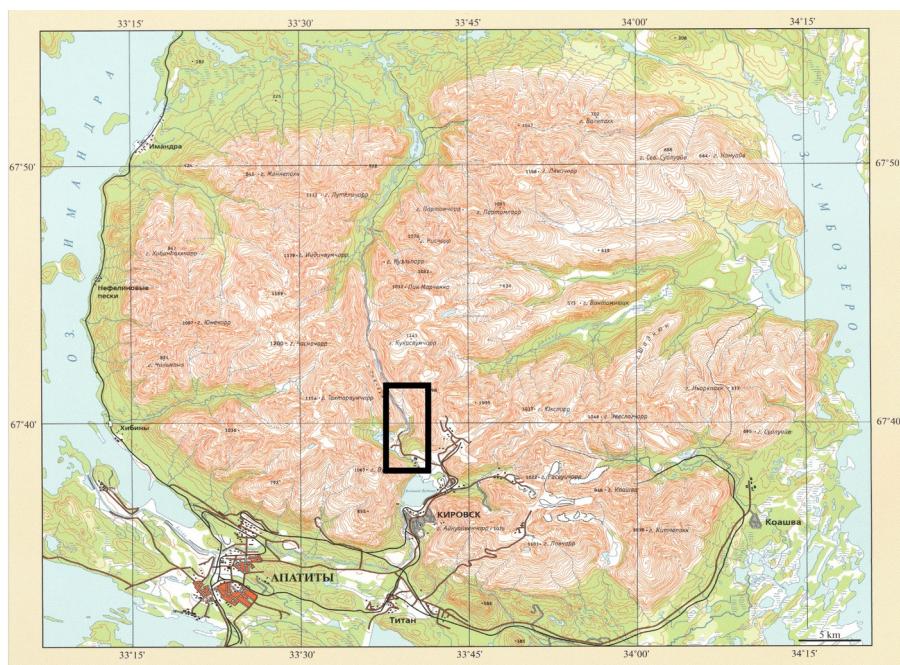


Рисунок 1 - Схематическая карта Хибинского массива и область исследования
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.1>

Примечание: по истм. [1]

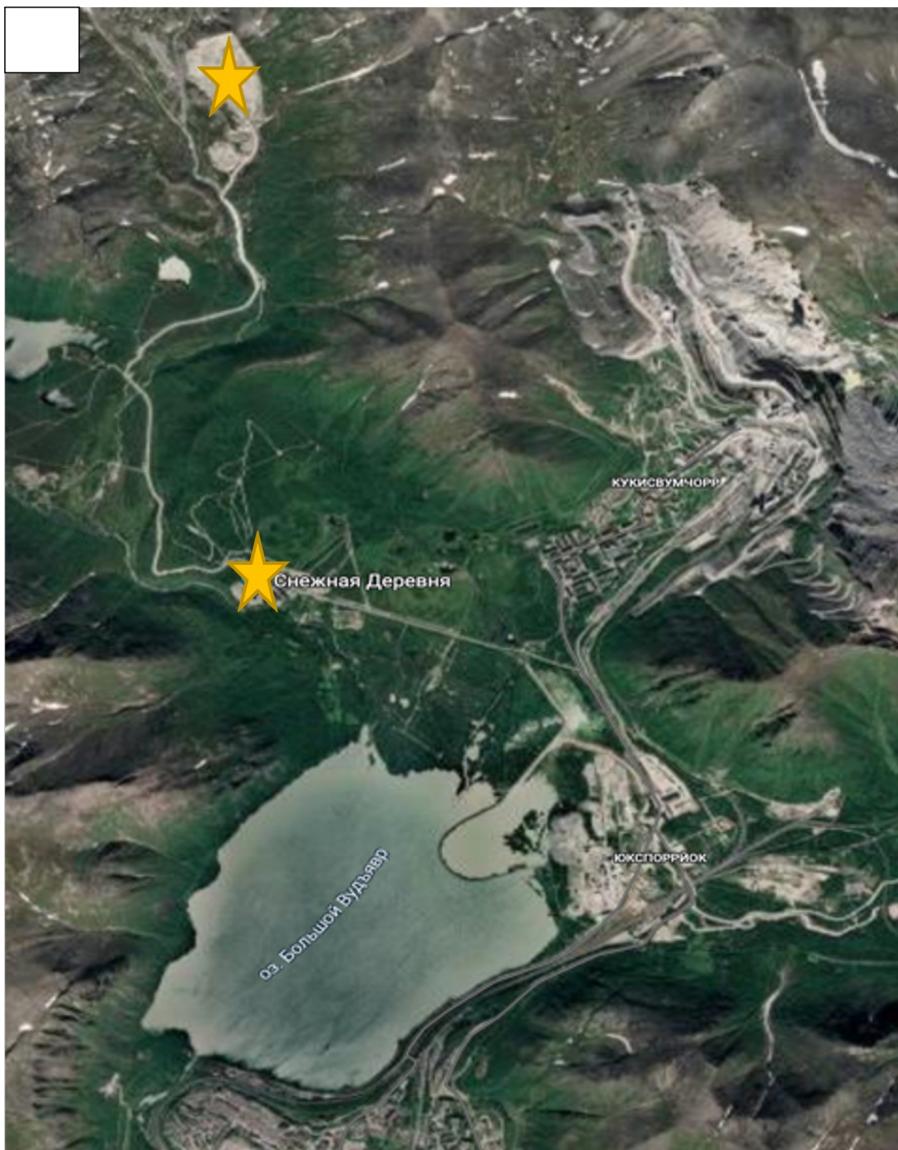


Рисунок 2 - Расположение разрезов в районе Хибин
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.2>

Примечание: разрезы показаны звездами

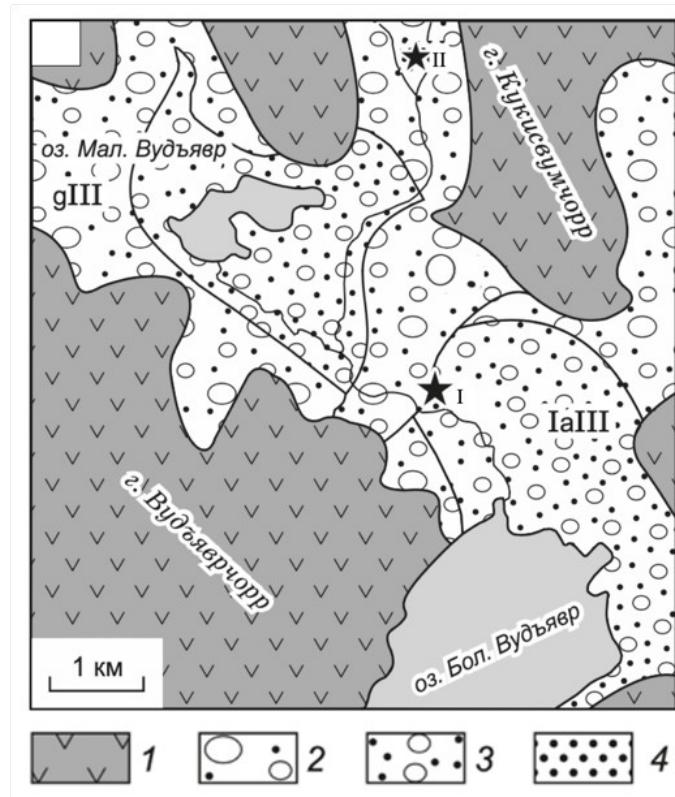


Рисунок 3 - Крупномасштабная геологическая схема района:

показано звездами: I – кукисвумская моренная гряда (Южные Хибины), разрез Тирвас; II – разрез «Снежный»; 1 – выходы кристаллических пород фундамента; 2 – морена супесчаная; 3 – переслаивание песка и гравийно-галечников зандрового типа; 4 – пески озерные

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.3>

Анализ общих условий формирования ледниковых отложений показывает, что этот тип отложений может накапливаться как непосредственно из тела ледника (несортированные моренные образования), так и при выносе и переотложении обломочного материала потоками талых вод как в зоне распространения ледникового покрова, так и за его пределами (сортированные водно-ледниковые образования). Образования первого типа малопригодны для добычи песчаных грунтов, поскольку содержат большое количество как грубообломочного материала, так и тонкообломочного. Второй тип образований имеет наибольшее промышленное значение, поскольку механическая дифференциация обломочного материала в водно-ледниковых обстановках способствует формированию залежей хорошо промытых песков и песчано-гравийных смесей. Среди водно-ледниковых отложений можно выделить два подтипа:

- флювиогляциальные (отложения потоков ледниковых вод), представленные песком и гравийно-галечниками;
- лимногляциальные (озерно-ледниковые отложения внутри- и приледниковых водоемов), представленные песком, алевритом и глиной [3], [4].

В целом более тонкообломочный состав осадков лимногенного генезиса закономерно отражает гидродинамически более спокойную среду осадконакопления по сравнению с флювиогляциальными обстановками, однако обилие в них тонкодисперсного материала (глина, алеврит) снижает относительное содержание полезных песчаных фракций и увеличивает затраты на их извлечение при просеивании и отмучивании грунтов.

Изучение ледниковых отложений может быть полезно не только для выявления закономерностей ледникового литогенеза и минерагении четвертичных отложений перигляциальных районов, но и для анализа климатических и биотических изменений в прошлом [5], а также геодинамической и палеосейсмической активности [6]. При этом перспективным направлением в области минерагении являются исследования влияния региональных и локальных геолого-геоморфологических условий на особенности состава и строения залежей строительных песков и песчано-гравийных смесей, их промышленные свойства. Такие исследования позволяют решить актуальные и практически значимые задачи прогноза новых месторождений строительных материалов в изучаемом регионе на основе выявления новых генетических закономерностей водно-ледникового литогенеза.

Настоящее исследование проведено на детальном литологическом материале по двум разрезам, отличающимся различными геолого-геоморфологическими условиями образования залежей рыхлых строительных материалов с целью выяснения особенностей их генезиса методом сравнения. Развитие предлагаемого подхода в дальнейшем позволит выделить ключевые факторы, контролирующие размещение и свойства подобных месторождений на Балтийском щите. Оба разреза, несмотря на их близкое расположение, уникальны по составу и структуре водно-ледниковых комплексов, что подчеркивает высокую роль местных факторов в формировании месторождений полезных ископаемых, связанных с четвертичными отложениями [6].

Цель работы – провести сравнительный анализ двух разрезов водно-ледниковых отложений, слагающих различные формы рельефа, дать им обобщающую характеристику, а также выделить наиболее значимые генетические отличия.

Материалы и методы исследований

Основными изученными материалами послужили геологические карты и схемы, при помощи которых были выбраны карьерные обнажения. Путем анализа космических снимков и крупномасштабных геологических карт составлена схема распространения различных генетических типов четвертичных отложений (см. рис. 3).

В карьерных разрезах с помощью детальных фотографий и зарисовок, а также расчистки проводилось изучение четвертичных отложений. В ходе полевых работ составлены литологические разрезы и послойные описания, в которых отмечен мощность, морфология, состав, текстура (слоистость) отложений, позволяющие восстановить обстановки осадконакопления.

Полученные результаты. Описание изученных разрезов

1. Изучено строение проксимального склона моренной гряды на территории профилактория «Тирвас» в горном массиве Хибины, расположенного на высоте 340 м над уровнем моря на Кольском полуострове (см. рис. 4).

Изученная моренная грива является краевым образованием ранневалдайского покровного ледника, который остановился в это время между котловин озер Большой и малый Вудъярв [7]. Сверху вниз по разрезу отмечается переход крупнообломочной, частично перемытой морены в хорошо сортированные водно-ледниковые отложения, изображенные на фотографии расчистки (см. рис. 5).

Слои 1 и 5 разреза имеют флювиогляциальное происхождение, в то время как остальные слои имеют лимническое происхождение.



Рисунок 4 - Обнажение на территории профилактория «Тирвас» моренной гряды
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.4>

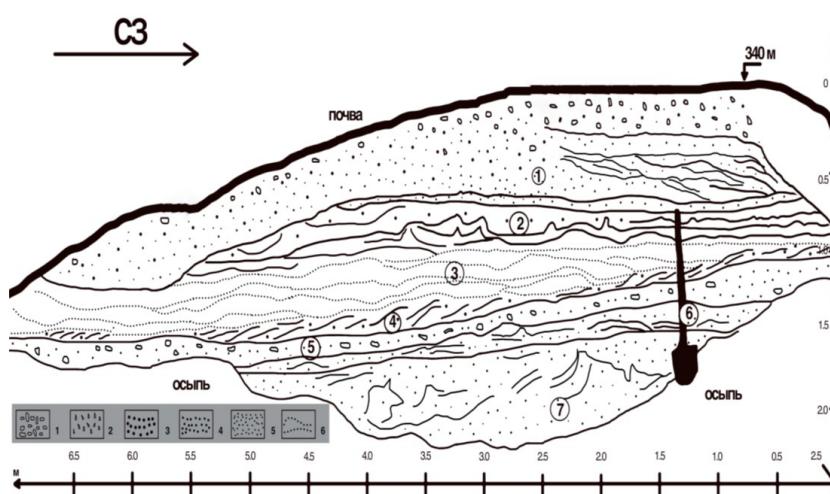


Рисунок 5 - Детальная зарисовка обнажения лимно- и флювиогляциальных отложений Тирвас:
1 – галечно-гравийно-песчаный неслоистый материал; 2 – гравий с крупнозернистым песком; 3 – крупнозернистый песок; 4 – среднезернистый песок; 5 – мелкозернистый песок; 6 – алеврит; цифры в кружках (1–7) – слои и пачки слоев, описанные в тексте
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.5>

Слой 1 – состоит из неслоистого ожелезненного галечно-гравийно-песчаного материала, который по мере спуска по разрезу переходит в гравийно-песчаные и песчаные отложения с включениями крупнозернистых песков. В нижней части слоя находится мелкозернистый песок, толщина слоя меняется от 55 до 75 см.

Слой 2 – среднезернистый песок с прослойками алеврита, мощность слоя 30-40 см. Песок деформирован в верхней части с образованием регулярных складок, длина которых составляет от 8 до 10 см, а шаг – от 10 до 20 см. Складки опрокинуты на СЗ. Гомогенные пески, расположенные со слабо различимой нарушенной слоистостью, плавно перекрывают складки и затухают к подошве без размыва. Гребни выступающих антиклинальных складок не срезаны.

Ниже пески имеют параллельную волнистую слоистость, а в юго-восточной части расчистки – горизонтальную.

Слой 3 – алеврит со слабо смещёнными знаками ряби мощностью 30-40 см. Мощность слоя варьируется от 30 до 40 см.

Слой 4 – среднезернистый песок с прослойками алеврита, имеющий косоволнистую слоистость, мощность слоя 10-15 см.

Слой 5 – грубозернистый песок с гравием, мощностью 10-15 см.

Слой 6 – среднезернистый песок с волнистой слоистостью. Общая мощность слоя варьируется от 10 до 15 см и направлена от востока к западу.

Слой 7 – мелко-среднезернистый песок со смещенной волнистой слоистостью и сложными деформациями. Общая мощность слоя 50-60 см.

2. Второй объект исследования – разрез флювиогляциальных террасы в долине р. Куксойок в районе ледникового цирка «Снежный», вскрытый крупным рабочем карьером по добыче строительных песчано-гравийных материалов (см. рис. 6). Местоположение Балтийский щит, горный массив Хибины. Высота над уровнем моря 450 м. Размер карьера 300×800 м. Ниже также представлена детальная зарисовка (см. рис. 7).



Рисунок 6 - Обнажение флювиогляциальных и озерных отложений разреза «Снежный»
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.6>

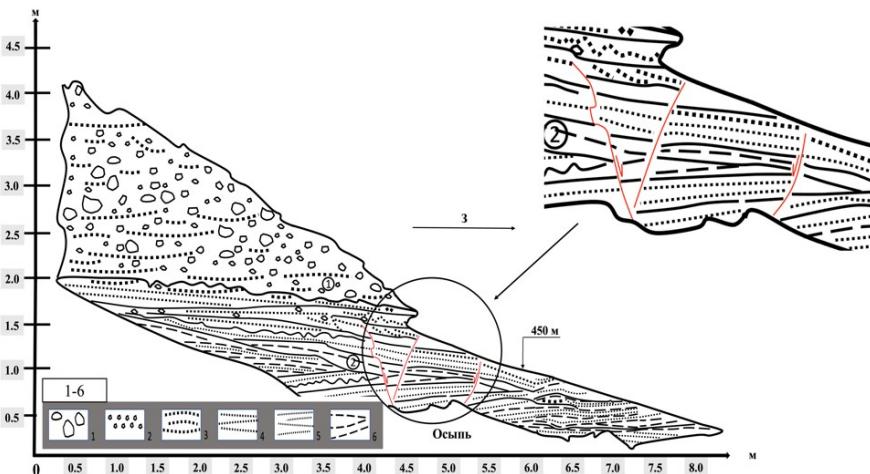


Рисунок 7 - Детальная зарисовка обнажения флювиогляциальных и озерных отложений разреза «Снежный»:
1 – галечно-гравийно-песчаный неслоистый материал; 2 – гравий с крупнозернистым песком; 3 – крупнозернистый песок;
4 – среднезернистый песок; 5 – мелкозернистый песок; 6 – алеврит; цифры в кружках (1–2) – слои и пачки
слоев, описанные в тексте

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.7>

Слой 1 – сложен окатанными гравийно-галечными отложениями, с включениями небольших валунов и песчаным заполнителем, отложения слабо сортированные, местами с выраженной горизонтальной слоистостью, что подтверждает флювиогляциальное происхождение этого материала. Мощность слоя варьируется от 50 до 200 см.

Слой 2 – в верхней части слоя можно выделить крупно- и среднезернистый песок с небольшим наличием включений гальки и прослоями алеврита.

В слое выделяются зоны песков с наклонной волнистой слоистостью (рябь течений), которые образовались в результате оседания песчано-алевритовых зерен и их горизонтального перераспределения на дне бассейна слабыми течениями, что характерно для мелководных зон проточных озер.

Слой нарушен тремя субвертикальными разрывами, отличающимися прямолинейностью и незначительными смещениями. В толще много угловых несогласий (результат эрозии), т.е. слои нижележащей толщи утыкаются под острым углом в слои выше лежащей толщи. Песок в нижней части слоя на отдельных участках имеет волнистую слоистость. Слоистость отложений слабонаклонная в направлении от коренного склона к оси долины (с востока на запад). Мощность слоя – до 200 см.

Также в этом карьере в более низких уступах были обнаружены и зачищены другие обнажения. Они приведены ниже на рисунках.

На рисунке (см. рис. 8) представлена песчано-гравийная толща, обусловленная сложным рельефом в период осадконакопления и возможными просадками грунта различной природы [8].



Рисунок 8 - Песчано-гравийная толща с наклонным залеганием слоев
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.8>

На рисунке ниже (см. рис. 9) видна слоистость обнаженной песчано-гравийной толщи.



Рисунок 9 - Общий вид нижнего уступа карьера
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.9>

Тонкослоистые пески с контактом наклонной (верхняя толща) и горизонтальной волнистой слоистости (нижняя толща) представлены на рисунке 10.



Рисунок 10 - Тонкослоистые пески
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.10>

На рисунках ниже (см. рис. 11,12) представлен контакт наклонной и горизонтальной волнистой слоистости песчано-алевритовых отложений.



Рисунок 11 - Контакт наклонной и горизонтальной волнистой слоистости в обнажении
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.11>



Рисунок 12 - Детальный фрагмент контакта наклонной и горизонтальной волнистой слоистости
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.12>

Слабосмещенная волнистая слоистость в препарированном виде представлена на рисунке 13. Из обнажения выступают слойки тонкозернистого песка.



Рисунок 13 - Слабосмещенная волнистая слоистость

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.13>

На рисунке ниже (см. рис. 14) показана общая фотография борта карьера и местоположение каждой из расчисток. На территории долины р. Кукисйок находятся четвертичные отложения флювиогляциальной террасы, которые были обнажены в результате деятельности карьера, специализирующегося на добыче песчано-гравийной смеси. Точка 1 представляет из себя промоину селя, образованную водным потоком, спустившегося из гор. Обнажения рисунков 7, 8, 9 и 10 располагаются неподалеку друг от друга.



Рисунок 14 - Взаимное расположение обнажений и расчисток

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.2.14>

Заключение

Проведен сравнительный анализ двух разрезов водно-ледниковых отложений, слагающих различные формы рельефа, дана обобщающая характеристика, а также выделены наиболее значимые генетические отличия.

Детально описаны два разреза, вскрывающих склон «кукисвумской» моренной гряды, образовавшейся при наступлении покровного ледника и флювиогляциальную террасу в долине р. Кукисйок, формирование которой связано с проточными ледниками озерами в период дегляциации территории. Вскрытые в карьерных разрезах изученного района Балтийского щита, озерные отложения представлены одним типом образования, отвечающих малым проточным внутриледниковым водоемам [9]. Одной из особенностей этих отложений является их тонкая ленточная слоистость и широкое развитие волнистой и косой текстуры [10], [11]. Наклонная облекающая слоистость часто присутствует в озерных отложениях этого типа, что связано со сложным рельефом в период осадконакопления. Отложения данного типа были обнаружены в разрезах «Тирвас» и цирка «Снежный».

Основные выводы:

1. Изученная кукисвумская моренная гряда имеет сложное строение, включающее моренные отложения, переходящие вниз по разрезу в водно-ледниковые, обнажение которых изучено в основании проксимального склона этой гряды. При этом в изученной части разреза отмечается резкие смены флювиогляциальных (отложение косослоистых гравийно-галечников) и озерных (отложение горизонтально-слоистых песчано-алевритовых отложений) обстановок осадконакопления, что показывает динамичность режима осадконакопления в период перед наступлением покровного ледника.

2. Формирование террасы сложенной сверху флювиогляциальными, а снизу озерно-ледниковыми отложениями происходило под воздействием различных факторов, включая изменения уровня воды, осадочных процессов. Сначала образовались лимногляциальные отложения в озерных условиях, а затем с увеличением скоростей водных потоков – флювиогляциальные отложения в проточных обстановках.

3. Флювиогляциальные отложения обычно состоят из песка, гравия и камней, а лимногляциальные – из песка, алеврита. Различное строение разрезов обусловлено различными процессами и условиями их образования.

4. Выделена одна из особенностей генезиса водно-ледниковых отложений на Балтийском щите – сильное влияние местных климатических условий и ледниковых процессов в прошлом. Они также могут использоваться для определения перспективных геологических объектов и ресурсов.

Результаты исследования представлены в виде схем и фотографий, что визуально позволяет выявить особенности литологического состава территории. С помощью изучения ледниковых отложений можно выявлять закономерности ледникового литогенеза и минерагении четвертичных отложений, а также геодинамическую и палеосейсмическую активности. Такие исследования позволяют решить актуальные и практически значимые задачи прогноза новых месторождений строительных материалов в изучаемом регионе на основе выявления новых генетических закономерностей водно-ледникового литогенеза. В частности, показано, что в пределах Хибинского массива наиболее перспективным источниками рыхлых строительных материалов являются флювио-лимногляциальные отложения. Сравнение разрезов морен и флювио-лимногляциальных отложений может иметь практическое применение при изучении и реконструкции истории климата и ландшафтов региона. Например, анализ разрезов может помочь определить, какие климатические условия были в прошлом и как они влияли на формирование геологических структур.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Боруцкий Б.Е. Современные представления о природе и геологической истории формирования пород хибинского щелочного массива / Б.Е. Боруцкий. — Москва: ИГЭМ РАН, 2010. — С. 7-31.
2. Горбатов Е.С. Особенности генезиса конволюций в озерных комплексах регионов со сравнительно низкой (Балтийский щит) и высокой (Тянь-Шань) палеосейсмической активностью / Е.С. Горбатов, А.М. Корженков, С.Ф. Колесников // Геология и геофизика. — 2022. — Т. 63. — № 5. — С. 709-728.
3. Агаджанян А.К. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений / А.К. Агаджанян, Б.А. Борисов, О.А. Брайцева. — Л.: Недра, 1987. — 308 с.
4. Ботвинкина Л.Н. Слоистость осадочных пород / Л.Н. Ботвинкина. — Изд-во АН СССР, 1962. — 542 с.
5. Лаврова М.А. Четвертичная геология Кольского полуострова / М.А. Лаврова. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. — 233 с.
6. Горбатов Е.С. Структуры нарушенной слоистости в поздне-неоплейстоценовых отложениях Хибинского массива (Кольский полуостров) / Е.С. Горбатов, С.Ф. Колесников, А.А. Сорокин // Геология и геофизика. — 2019. — Т. 60 (5). — С. 699-717.
7. Евзеров В.Я. Минерагения рыхлого покрова северо-восточной части Балтийского щита / В.Я. Евзеров. — Апатиты, 2013. — 229 с.
8. Gruszka B. Genesis of a Giant Gravity-induced Depression (Gravifossum) in the Enköping esker, S. Sweden / B. Gruszka, A.J. Van Loon // Sedimentary Geology. — 2011. — Vol. 235. — P. 304-311.
9. Евзеров В.Я. Геология четвертичных отложений Кольского региона / В.Я. Евзеров. — Апатиты, 2015. — 147 с.
10. Рассказов А.А. К вопросу о возможности освоения перспективных цеолитопроявлений Монголии с учетом особенностей их формирования / А.А. Рассказов, М.И. Буянов, Е.С. Горбатов. — М.: Изд-во МГРИ, 2019. — Т. IV. — С. 49-51.
11. Рассказов А.А. Лимногеология и эволюция озерного литогенеза / А.А. Рассказов, Е.С. Горбатов. — М.: ИФЗ РАН, 2019. — 192 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Boruckij B.E. Sovremennye predstavlenija o prirode i geologicheskoi istorii formirovaniya porod khibinskogo shhelochchnogo massiva [Modern Ideas about the Nature and Geological History of the Formation of Rocks of the Khibiny Alkaline Massif] / B.E. Boruckij. — Moscow: IGEM RAN, 2010. — P. 7-31. [in Russian]
2. Gorbatov E.S. Osobennosti genezisa konvoljucii v ozernyh kompleksah regionov so sravnitel'no nizkoi (Baltiiskii shhit) i vysokoi (Tjan'-Shan') paleoseismicheskoi aktivnost'ju [Features of the Genesis of Convolutions in Lake Complexes of Regions with Relatively Low (Baltic Shield) and High (Tien Shan) Paleoseismic Activity] / E.S. Gorbatov, A.M. Korzhenkov, S.F. Kolesnikov // Geologija i geofizika [Geology and Geophysics]. — 2022. — Vol. 63. — № 5. — P. 709-728. [in Russian]
3. Agadzhanyan A.K. Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniju i geologicheskoi s'emke chetvertichnyh otlozhenii [Methodological Guide to the Study and Geological Survey of Quaternary Deposits] / A.K. Agadzhanyan, B.A. Borisov, O.A. Braiceva. — L.: Nedra, 1987. — 308 p. [in Russian]
4. Botvinkina L.N. Sloistost' osadochnyh porod [Stratification of Sedimentary Rocks] / L.N. Botvinkina. — Publishing House AS USSR, 1962. — 542 p. [in Russian]
5. Lavrova M.A. Chetvertichnaja geologija Kol'skogo poluostrova [Quaternary Geology of the Kola Peninsula] / M.A. Lavrova. — M.; L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. — 233 p. [in Russian]
6. Gorbatov E.S. Struktury narushennoi sloistosti v pozdne-neopleistocenovyh otlozhenijah Hibinskogo massiva (Kol'skiy poluostrov) [Structures of Disturbed Stratification in Late-Pleistocene Deposits of the Khibiny Massif (Kola Peninsula)] / E.S. Gorbatov, S.F. Kolesnikov, A.A. Sorokin // Geologija i geofizika [Geology and Geophysics]. — 2019. — Vol. 60 (5). — P. 699-717. [in Russian]
7. Evzerov V.Ja. Mineragenija ryhlogo pokrova severo-vostochnoj chasti Baltijskogo shhita [Mineralogy of the Loose Cover of the Northeastern Part of the Baltic Shield] / V.Ja. Evzerov. — Apatity, 2013. — 229 p. [in Russian]
8. Gruszka B. Genesis of a Giant Gravity-induced Depression (Gravifossum) in the Enköping esker, S. Sweden / B. Gruszka, A.J. Van Loon // Sedimentary Geology. — 2011. — Vol. 235. — P. 304-311.
9. Evzerov V.Ja. Geologija chetvertichnyh otlozhenij Kol'skogo regiona [Geology of Quaternary Deposits of the Kola Region] / V.Ja. Evzerov. — Apatity, 2015. — 147 p. [in Russian]
10. Rasskazov A.A. K voprosu o vozmozhnosti osvoenija perspektivnyh ceolitoprojavlenij Mongolii s uchetom osobennostej ih formirovaniya [On the Question of the Possibility of Developing Promising Zeolite Occurrences of Mongolia, Taking into Account the Peculiarities of Their Formation] / A.A. Rasskazov, M.I. Bujanov, E.S. Gorbatov. — M.: MGRI Publishing House, 2019. — Vol. IV. — P. 49-51. [in Russian]
11. Rasskazov A.A. Limnogeologija i jevoljucija ozernogo litogeneza [Limnogeology and Evolution of Lake Lithogenesis] / A.A. Rasskazov, E.S. Gorbatov. — M.: IFZ RAN, 2019. — 192 p. [in Russian]