

УДК 553,433(470.21)

Об уникальных каменных пляжах на арктическом берегу Кольского полуострова

Ю. Н. Нерадовский*, Я. А. Мирошникова, А. А. Компанченко, А. В. Чернявский

*Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;
e-mail: iu.neradovskij@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2400-0403>

Информация о статье Реферат

Поступила в редакцию
25.12.2020;

получена
после доработки
09.03.2021

Ключевые слова:

бережье
Баренцева моря,
каменный пляж,
абразия,
каменные яйца

Представлены результаты исследований 11 каменных пляжей на побережье Баренцева моря в районе Терiberской губы. Исследования проводились в течение 2017–2019 гг. В результате работ детально изучено строение пляжей, их размеры, состав обломочного материала и взаимоотношение с коренными породами. Установлена генетическая связь пляжей с морскими террасами. Особое внимание уделено морфологии обломочного материала пляжей, условиям его образования и роли в абразионной деятельности. Установлено, что обломочный материал пляжей в основном соответствует валунам размером 100–1000 мм, в меньшей мере гальке (10–100 мм) и редко гравию (1–10 мм). Отдельные валуны достигают 2000 мм. Песчаные фракции в составе пляжных отложений практически отсутствуют. Окатанность обломков высокая, преобладают полуокруглые и округлые зерна, наиболее совершенная форма окатанных обломков – двухосный эллипсоид или яйцо. Идеально окатанные валуны и гальки на некоторых участках составляют до 30 % пляжных отложений. Замеры параметров яйцевидной гальки показали, что они близки параметрам "золотого сечения" яйца, т. е. отвечают наиболее прочной форме, устойчивой к разрушению. Таким образом, процесс истирания обломков пляжа направлен на приобретение ими наиболее энергетически устойчивого состояния. Это позволяет предполагать, что изначальная форма обломков содержала прочное ядро в виде двухосного эллипсоида.

Для цитирования

Нерадовский Ю. Н. и др. Об уникальных каменных пляжах на арктическом берегу Кольского полуострова. Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 1. С. 46–56. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-46-56>.

On unique stone beaches on the Arctic coast of the Kola Peninsula

Yury N. Neradovsky*, Yana A. Miroshnikova, Alena A. Kompanchenko,
Aleksey V. Chernyavsky

*Geological Institute KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;
e-mail: iu.neradovskij@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2400-0403>

Article info

Abstract

Received
25.12.2020;

received in revised
09.03.2021

Key words:

Barents Sea coast,
stone beach,
abrasion,
stone eggs

The results of studies of 11 stone beaches on the coast of the Barents Sea in the area of the Teriberskaya Bay have been presented. The studies were carried out from 2017 to 2019. As a result of the work, the structure of the beaches, their size, the composition of clastic material and the relationship with bedrocks were studied in detail. The genetic link between beaches and sea terraces has been established. Special attention has been paid to the morphology of beach clastic material, the conditions of its formation, and its role in abrasion activity. It has been shown that the clastic material of the beaches mainly corresponds to boulders equal to 100–1,000 mm, to a lesser extent to pebbles 10–100 mm, and rarely – gravel 1–10 mm. Individual boulders reach 2,000 mm. Sandy fractions in the composition of beach sediments are practically absent. The roundness of the fragments is high, semi-circular and rounded grains predominate, the most perfect shape of the rounded fragments is a biaxial ellipsoid or egg. Perfectly rounded boulders and pebbles in some areas account for up to 30 % of beach deposits. Measurements of the parameters of the egg-shaped pebbles have shown that they are close to the parameters of the "golden section" of the egg, i. e. meet the most durable form, resistant to destruction. Thus, the process of abrasion of the beach debris is directed towards their acquisition of the most energetically stable state. This suggests that the original shape of the debris contained a solid core in the form of a biaxial ellipsoid.

For citation

Neradovsky, Yu. N. et al. 2021. On unique stone beaches on the Arctic coast of the Kola Peninsula. *Vestnik of MSTU*, 24(1), pp. 46–56. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-46-56>.

Введение

Мурманский берег Баренцева моря привлекает внимание как район активного промышленного строительства в связи с освоением Арктики, а также как территория развития туризма, поэтому необходимо исследовать особенности его геоморфологии и абразионной устойчивости, которая чрезвычайно неоднородна вследствие воздействия специфических физических и тектонических факторов (Лазаревич, 1989; Введенская и др., 2007; Митяев и др., 2008а; Малавенда и др., 2017; Верзилин и др., 2013; Никонов и др., 2015). В арктической зоне горные породы находятся в экстремальных условиях благодаря круглогодичному абразионному воздействию незамерзающего Баренцева моря и перепадам сезонных температур. Важным фактором денудации является непрерывное поднятие суши, характерное для Балтийского щита вследствие гляциозостаии (Johansson et al., 2002; Корсакова, 2009; Pettersen, 2011; Corner et al., 2001; Колька и др., 2005; Митяев и др., 2008б; Инжебейкин, 2004; Толстобров и др., 2015; 2016) и неотектоники (Митяев, 2014; Зыков и др., 2016; Никонов и др., 2015; Оллиер и др., 2019). Сочетание необычных условий привело к образованию на побережье грубообломочных каменных пляжей. В наибольшем количестве пляжи распространены на участке от острова Малый Олений до острова Малый Зеленецкий. Здесь, вблизи Териберской губы, наблюдаются непрерывные цепочки пляжей (рис. 1). Этот район с недавних пор стал доступен для посещения туристами, поэтому представляет собой удобное место для детального изучения условий образования пляжей с научной точки зрения и просвещения широкой массы любителей отдыха на природе. Здесь в течение 4 лет авторами проводились систематические исследования строения пляжей и условий их образования (Нерадовский и др., 2019; Miroshnikova et al., 2019; Мирошникова и др., 2020) с целью объяснения общих закономерностей распространения и условий формирования слагающего их обломочного материала.

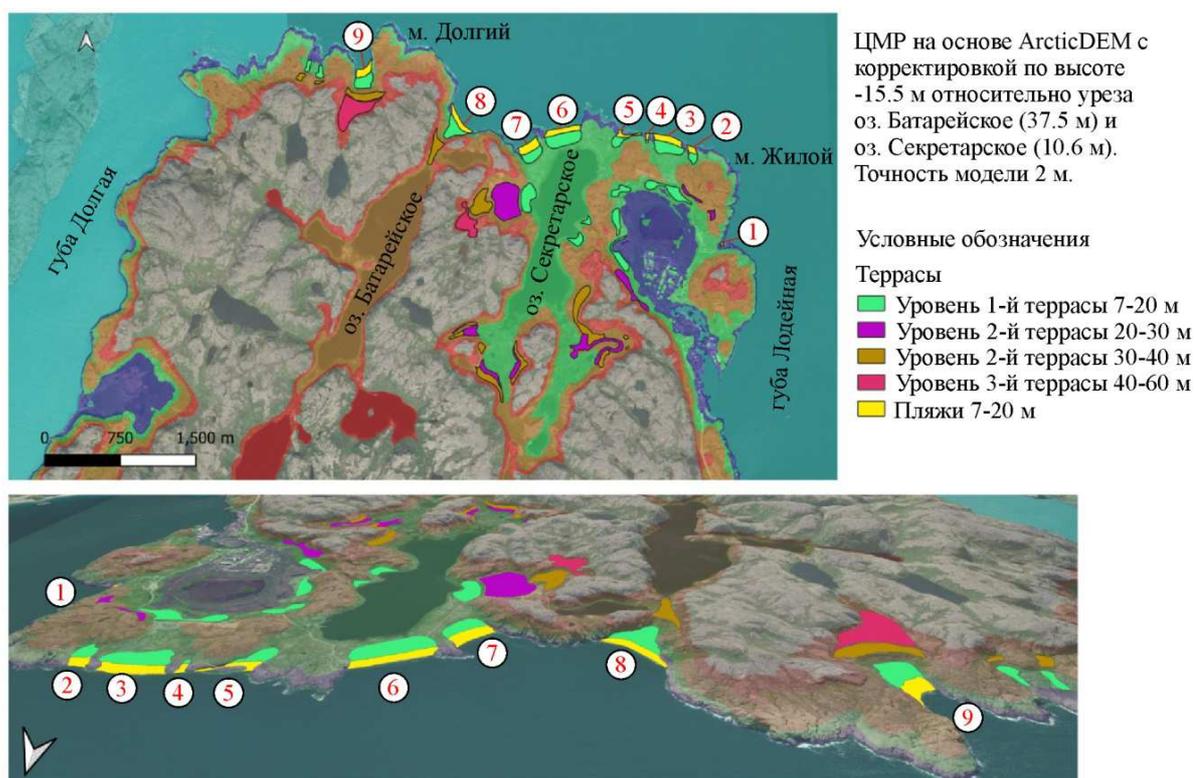


Рис. 1. Расположение каменных пляжей 1–9 на побережье п-ова Лодейный, вблизи пос. Териберка.

Компьютерная графика и условные обозначения авторов

Fig. 1. Location of stone beaches 1–9 on the coast of the Lodeyny Peninsula, near the village of Teriberka.

Computer graphics and conventions made by the authors

Материалы и методы

Каменные пляжи являются частью структуры северного побережья Кольского полуострова, но специальных исследований условий их образования не проводилось (Зенкович, 1937; Кошечкин и др., 1971). Однако знание строения и условий происхождения каменных пляжей поможет ответить на ряд важнейших вопросов, связанных с устойчивостью береговой линии побережья. В связи с этим авторами в течение ряда лет изучались пляжи и морские террасы в районе Териберской губы побережья Баренцева

моря. Методика работы включала стандартные измерения размеров пляжей и высотных отметок распространения пляжных отложений и морских террас по изолиниям горизонталей, изучение состава и структуры пляжного материала (Рычагов, 2018). В результате впервые получены фактические данные об 11 пляжах, располагающихся на п-ове Лодейный и в губе Завалишина.

Установлено, что большинство пляжей имеют одинаковые элементы строения и близкие параметры, свидетельствующие о едином механизме образования (рис. 2). Первое, что мы видим, – это скопления галечника и валунов из светлых пород (преимущественно, плагиогранитов, гранитогнейсов и кварцевых диоритов), начинающиеся на каждом пляже от уровня моря и поднимающиеся вверх в сторону суши. Галечник продолжается иногда и под воду, поэтому непосредственно к пляжу относится вся прибрежная полоса (литораль), которая включает приливную и прибрежную зоны. Галечник и валуны лежат на основании из красных гранитов, резко отличающихся от пляжных пород. Основание пляжа имеет форму корыта, наклоненного в сторону моря. По морфологии оно ближе всего соответствует мелкому каньону, поэтому мы используем термины: ложе и борта. Ложе в основном скрыто слоем галечника и валунов. Борта каньонов хорошо видны и чаще представляют собой невысокие скалистые выступы (10–15 м, рис. 3), но иногда поднимаются до 100 м.

Схематическое строение пляжа № 8 в пос. Териберка

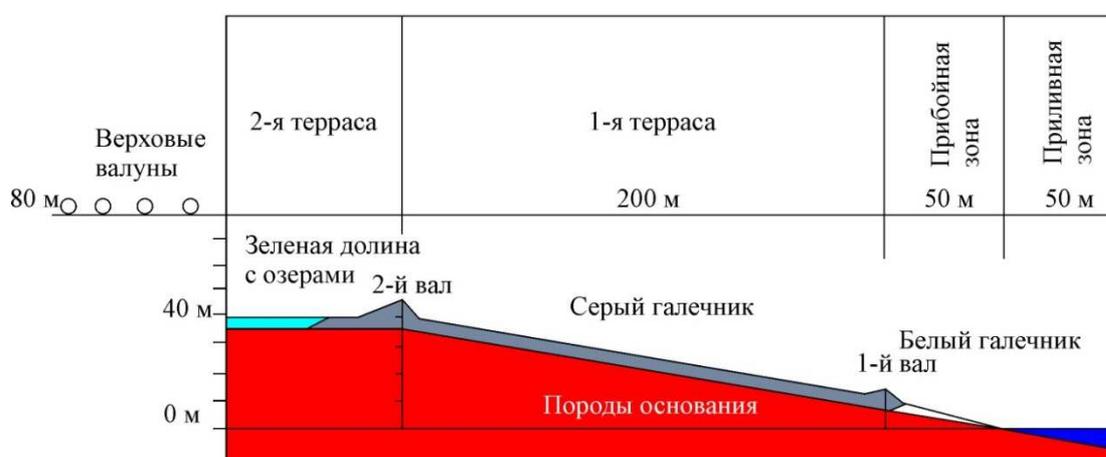


Рис. 2. Общая схема строения каменных пляжей и примыкающих террас
Fig. 2. General scheme of the structure of stone beaches and adjoining terraces



Рис. 3. Характерная форма каменных пляжей в восточной части п-ва Лодейный:
белое – прибойная зона, выступы гранитов – остаточный бенч
Fig. 3. The characteristic shape of stone beaches in the eastern part of the Lodeyny Peninsula:
white – the surf zone, granite protrusions – the residual bench

Размеры пляжей на п-ове Лодейный небольшие: протяженность вдоль берега варьирует от 50 до 400 м, ширина – от 40 до 80 м. Крупность обломков пород в основном соответствует валунам (100–1 000 мм), в меньшей мере гальке (10–100 мм) и редко гравию (1–10 мм)¹. Отдельные валуны достигают 2 000 мм. Песчаные фракции в составе пляжных отложений практически отсутствуют. Окатанность обломков высокая: преобладают полуокруглые и округлые валуны со степенью окатанности от 21,4–45,9 до 45,9–100 % (Ухов, 2013). По нашим данным наиболее совершенная форма окатанных обломков – двухосный эллипсоид (Нерадовский и др., 2019; Miroshnikova et al., 2019; Мирошникова и др., 2020). Крупнообломочный состав пляжных отложений и высокая степень окатанности свидетельствуют о мощных абразионных процессах, действующих на побережье.

Проследивая пляж от уреза моря вверх на сушу, мы видим, что он полого поднимается, метров через 50–70, на высоту до 5–10 м. На этой высоте наблюдается появление серого галечника и валунов, сложенных теми же породами, что и светлый галечник – преимущественно, плагиогранитами и гранитогнейсами. Серый цвет обусловлен присутствием на поверхности лишайников и продуктов окисления минералов. Граница перехода светлого галечника в серый отмечена на пляжах резким уступом (обрывом). В основании уступа, как правило, наблюдаются скопления морского плавника. Этот уступ является "тыловым швом" первой морской террасы. Терраса, в отличие от пляжа, сложена грубоокатанными валунами. Она постепенно разрушается морем и является источником пляжных отложений. Продолжая путь вверх по каменным россыпям первой террасы, на удалении от моря до 200 м и более, на высоте около 40 м можно встретить тыловой шов второй террасы. Еще выше, на склонах и вершинах сопок, над каньонами можно обнаружить многочисленные глыбы светлых пород, аналогичных породам светлого галечника на пляжах и лежащих на красных гранитах, – "верховые валуны". Террасы и верховые валуны являются свидетельством длительной эрозии побережья в постледниковое время.

Уникальность каменным пляжам придает форма валунов и галек. Идеально окатанные валуны и гальки преимущественно имеют форму яйца (рис. 4). Характерно, что эта форма имеет параметры "золотого сечения" и соответствует теоретически наиболее прочному состоянию обломка. Она не зависит от размеров: на пляжах Териберки встречаются экземпляры яиц от 8 см до 1 м.

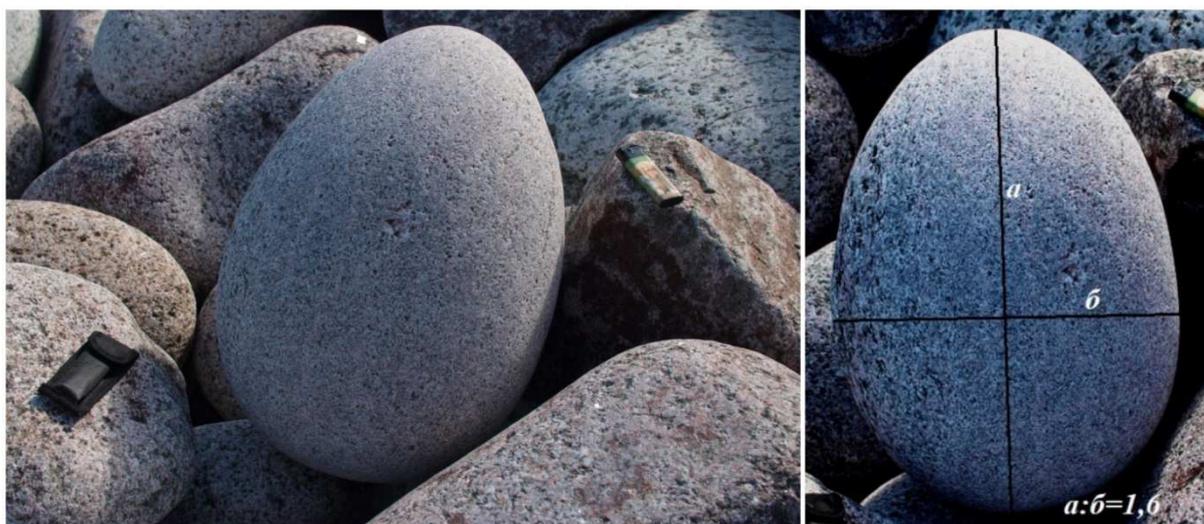


Рис. 4. Идеально окатанный валун среди менее окатанных валунов в пляжных отложениях и его "золотое сечение"

Fig. 4. Perfectly rounded boulder among less rounded boulders in beach sediments and its "golden ratio"

На некоторых участках пляжей валуны в форме яйца составляют до 30 % отложений (рис. 5). Они являются наиболее активными абразионными участками на пляжах и представляют большой научный интерес как геологические образования и объекты для туризма. По нашим данным участки приурочены в основном к восточным частям пляжей.

Данные исследований показывают, что обломочный материал под воздействием морских волн подвергается постоянному перемещению, в процессе которого разрушается и одновременно разрушает породы основания. В местах с высоким содержанием хорошо окатанной гальки борта каньона также наиболее сглажены. В целом породы в основании пляжа эродируются с более высокой скоростью относительно

¹ Геологический словарь. В 3-х т. Изд. 3-е, перераб. и доп. / гл. ред. О. В. Петров. Т. 1. А–Й. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. 432 с.

окружающих скал, и пляжи "опускаются" между выступами остаточного бенча. При этом как обломки пород пляжа, так и коренные породы разрушаются дифференцированно в зависимости от физических свойств (Митяев и др., 2008а; Малавенда и др., 2017; Лащук и др., 2013).



Рис. 5. Скопления валунов и галек на пляжах п-ова Лодейный:

а – скопление крупных яйцевидных валунов в отложениях пляжа 6. Фото Е. Борисенко;

б – скопление яйцевидных галек и валунов в отложениях пляжа 8. Источник:

<https://www.drive2.ru/b/2357899/?m=137931756&page=0>

Fig. 5. Accumulations of boulders and pebbles on the beaches of the Lodeyny Peninsula:

a – an accumulation of large egg-shaped boulders in the Beach 6 sediments. Photo by E. Borisenko;

b – an accumulation of egg-shaped pebbles and boulders in the Beach 8 sediments.

Internet resource: <https://www.drive2.ru/b/2357899/?m=137931756&page=0>

Согласно геологическим данным, на побережье преобладают прочные кристаллические породы: гранодиориты, диориты и эндербиты, в подчиненном количестве присутствуют менее стойкие к абразии породы: гнейсы и плагиограниты². Породы в основании пляжей являются преимущественно более прочными, а слабые породы слагают обломочный материал пляжей. Анализ распространения пляжей показал, что их количество увеличивается на участках побережья с выходами гнейсов и плагиогранитов. Контрастное изменение типа горных пород можно наблюдать, сравнивая породы гальки и основания (рис. 6).



Рис. 6. Текстуры пород основания (микроклиновый гранит) и яйцевидных валунов (плагиограниты) с каменного пляжа на п-ве Лодейный

Fig. 6. Textures of base rocks (microcline granite) and egg-shaped boulders (plagiogranites) from the stone beach on the Lodeyny Peninsula

² Геологическая карта Кольского региона (северо-восточная часть Балтийского щита) масштаба 1:500 000 / гл. ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты. 1996.

Галька и валуны пляжных пород в свою очередь воздействовали на породы основания, поэтому в гранитах ложа и бортов образовались различные абразивные и денудационные формы: останцы, котлы, колодцы, траншеи и волноприбойные ниши (Нерадовский и др., 2019).

Волноприбойные ниши являются одним из ярких примеров абразионных форм, обусловивших окатанность валунов и галек. Они образуются в коренных породах побережья и характеризуют наиболее масштабное воздействие морских волн. Ниши присутствуют в скалах, на границе с морем, по всему побережью на разных уровнях относительно линии прилива. Наиболее крупные ниши встречаются в области крутых высоких береговых уступов. Они достигают нескольких десятков метров по глубине и высоте (рис. 7). Менее крупные ниши наблюдаются на линии уровня моря, в области выполаживания берегового уступа (рис. 8).



Рис. 7. Крупная волноприбойная ниша на уровне линии прилива: граница прилива светлого оттенка, заросли морских водорослей на валунах
Fig. 7. Large wave-breaking niche at the level of the tide line: the boundary of the tide of a light shade, thickets of seaweed on the boulders



Рис. 8. Волноприбойная ниша на уровне заплеска: в подошве – котлы с валунами
Fig. 8. Wave-breaking niche at the splash level: in the bottom there are boilers with boulders

Особенностью ниш, располагающихся на уровне прилива, является наличие каменного пляжа и нависающего клифа (рис. 9). Самые мелкие волноприбойные ниши наблюдаются на уровне верхней кромки штормового заплеска. В подошве всех типов волноприбойных ниш развиты глубокие котлы, в которых находятся крупные хорошо окатанные валуны, обросшие морскими водорослями. Это указывает на то, что ранее валуны активно перемещались и истирались, но в результате изменения уровня моря они оказались в литорали и прекратили движение.

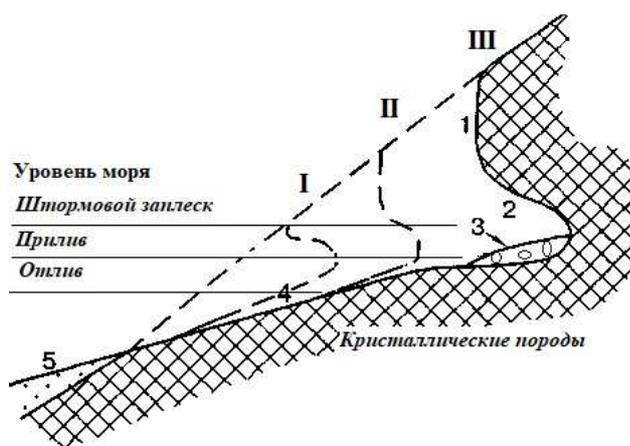


Рис. 9. Схема строения одной из волноприбойных ниш в коренных породах на п-ове Лодейный: 1 – клиф; 2 – волноприбойная ниша; 3 – пляж; 4 – бенч; 5 – прислоненная подводная аккумулятивная терраса; I–III стадии отступления берега (Рычагов, 2018)

Fig. 9. Diagram of the structure of one of the wave-breaking niches in bedrocks on the Lodeyny Peninsula: 1 – cliff; 2 – wave-breaker niche; 3 – beach; 4 – bench; 5 – leaning underwater accumulative terrace; I–III stages of coastal retreat (Rychagov, 2018)

Изучение волноприбойных ниш показывает, что их образование происходило под воздействием весьма мощных волн, способных перемещать крупные валуны и разрушать самые прочные кристаллические породы. Во всех случаях в образовании абразионных форм принимали участие волны и обломки пляжных пород. Наиболее глубокие ниши наблюдаются там, где присутствуют пляжные отложения. Наблюдения за одной из ниш в течение 4 лет показали, что морские волны могут свободно вкатываться в нее и выходить обратно. Так и происходит в настоящее время. В штормовую погоду морские волны приводят в движение валуны пляжа. Под воздействием волн валуны ударяют в стенки ниш и разрушают их. Овальные формы ниш однозначно свидетельствуют о преобладании вращательной формы движения валунов при ударе о поверхность ниши. Доказательством движения валунов является то, что их положение на пляже постоянно меняется. Это установлено на примере волноприбойной ниши на пляже 5 (рис. 10). Наблюдения за 4 года показали, что наиболее сильные шторма были в осенне-зимний период 2017 и 2019 гг.: в этот период положение валунов изменилось очень заметно.



Рис. 10. Положение крупных валунов в волноприбойной нише на пляже 5 в летние месяцы 2016, 2017, 2018, 2019 годов: видно, что положение валунов постоянно меняется

Fig. 10. The position of large boulders in the wave-breaker niche at Beach 5 in the summer months of 2016, 2017, 2018, 2019: it can be seen that the position of the boulders is constantly changing

Другим примером перемещения галек и валунов под воздействием штормовых волн является забрасывание их с пляжа на прибрежные скалы бортов каньона. При этом часть валунов и галек остается в выемках и трещинах, а часть сбивается волнами обратно на пляж. Такие явления наблюдаются практически повсеместно (рис. 11, 12).



Рис. 11. Яйцевидные валуны, заброшенные прибоем на скалы на высоте 5 м. Пляж 2
Fig. 11. Egg-shaped boulders thrown by the surf on the rocks at the height of 5 m. Beach 2



Рис. 12. Гальки, заброшенные на скалы, пляж 44: *а* – июнь 2018 г., *б* – август 2019 г.
Fig. 12. Pebbles thrown on the rocks, Beach 44: *а* – June, 2018, *б* – August, 2019

Результаты и обсуждение

Исследования побережья Териберской губы показали, что здесь развиты оригинальные каменные пляжи, характеризующиеся высокой степенью окатанности обломков, в результате чего сформировались яйцевидные валуны и гальки. Источником материала пляжей являются отложения морской террасы. Экспериментальные исследования устойчивости обломков пород разной степени окатанности к истиранию показали, что по мере увеличения окатанности возрастает сопротивление к разрушению (*Митяев и др., 2008а*). Таким образом, можно предполагать, что более совершенной окатанностью обладают валуны и галька, находящиеся более длительное время в процессе морской абразии. С другой стороны, экспериментальные данные свидетельствуют о том, что на истирание сильно влияет штормовое волнение, поэтому наиболее окатанные валуны и галька концентрируются в зоне заплеска и в тех областях пляжей, где происходят наиболее активные накатные волны.

По нашим данным первоначальную грубую обработку все обломки пород проходили в контакте с гранитами основания, поэтому последние покрыты многочисленными выбоинами (котлами) и волноприбойными нишами. Затем частично окатанные обломки попадали в общую массу каменного пляжа, где происходило их окончательное формирование и совершенствование формы, поэтому в пляжных отложениях присутствуют валуны и гальки разной степени окатанности.

Установлено, что наиболее высокой степенью окатанности обломков на пляжах побережья Териберской губы является яйцевидная форма. Замеры параметров яйцевидной гальки показали, что они близки параметрам

"золотого сечения" яйца, т. е. отвечают наиболее прочной форме, устойчивой к разрушению. Таким образом, процесс истирания обломков пляжа направлен к приобретению ими наиболее энергетически устойчивого состояния. Это позволяет предполагать, что изначальная форма обломков содержала прочное ядро в виде двухосного эллипсоида. Данному вопросу будут посвящены наши дальнейшие исследования.

Заключение

На побережье Баренцева моря в районе Териберской губы установлено развитие каменных пляжей, образованных в результате разрушения морской террасы. Наибольшее количество пляжей наблюдается в области распространения относительно слабых по физическим свойствам пород (гранитогнейсов и плагиогранитов), являющихся главными породами в пляжных отложениях. В результате активной абразии обломки пород приобрели высокую степень окатанности. Наиболее совершенная форма окатанности представлена яйцом. Предполагается, что эта форма отражает наиболее прочное ядро первичных блоков разрушенных пород.

Благодарности

Авторы благодарят Е. Борисенко за предоставленные фотографии. Работа выполнена в рамках поисковых исследований темы НИР Ги КНЦ РАН № 0226-2019-0053.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Введенская А. Я., Дертев А. К. Современная геодинамика, битуминозность и газоносность Кольского полуострова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. Т. 2. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/10/020.pdf>.
- Верзилин Н. Н., Бобков А. А., Кулькова М. А., Нестеров Е. М. [и др.]. О возрасте и образовании современного расчлененного рельефа севера Кольского полуострова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология, география. 2013. Т. 2. С. 79–93.
- Зенкович В. П. Наблюдения над морской абразией и физическим выветриванием на Мурманском берегу // Ученые записки / Моск. ордена Ленина гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. М., 1937. Вып. 16. География. С. 113–142.
- Зыков Д. С., Полещук А. В. Проявление взаимодействия геодинамических систем в морфоструктуре Балтийского щита // Глубинное строение, минералогия, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов: материалы XX Всерос. конф. с междунар. участием, г. Воронеж, 25–30 сентября 2016 г. Воронеж : Научная книга, 2016. С. 177–180.
- Инжебейкин Ю. И. Колебания уровня Белого моря : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.28. СПб., 2004. 267 с.
- Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я., Корнер Д. Последледниковые гляциоизостатические движения на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова: сб. ст. Апатиты : КНЦ РАН, 2005. С. 15–25.
- Корсакова О. П. Кольский полуостров в голоцене // Наука в России. 2009. № 6. С. 102–109.
- Кошечкин Б. И., Кудлаева А. Л., Первунинская Н. А., Самсонова Л. Я. Древнебереговые образования северного и северо-восточного побережий Кольского полуострова // Вопросы формирования рельефа и рыхлого покрова Кольского полуострова. Л. : Наука, 1971. С. 17–85.
- Лазаревич К. С. Морфоструктура и геоморфологическое районирование Мурманского массива // Геоморфология. 1989. № 4. С. 86–91.
- Лашук В. В., Усачева Т. Т., Беляева Т. В. Граниты Мурманского побережья Баренцева моря – высококачественное сырье для производства строительных материалов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов, V Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Апатиты, 12–15 ноября 2013 г. Апатиты : КНЦ РАН, 2013. С. 47–49.
- Малавенда С. В., Малавенда С. С., Митяев М. В. Абразия и фитообрастание крупнообломочного материала на литорали Мурманска // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 1/2. С. 261–271. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-261-271>.
- Мирошникова Я. А., Ковалевский М. В., Тришина О. М., Нерадовский Ю. Н. О возможной связи морфологии гальки в районе губы Завалишина с упруго-анизотропными свойствами слагающих ее пород (экспериментальные данные) // Труды Ферсмановской научной сессии Ги КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 359–363. DOI: <https://doi.org/10.31241/fns.2020.17.068>.
- Митяев М. В., Герасимова М. В. Скорость абразии грубообломочного материала на литорали Мурманского побережья // Доклады Академии наук. 2008а. Т. 420, № 1. С. 120–123.
- Митяев М. В., Корсун С. А., Стрелков П. П., Матишов Г. Г. Древние береговые линии Восточного Кильдина // Доклады Академии наук. 2008б. Т. 423, № 4. С. 546–550.
- Митяев М. В. Мурманское побережье: геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы. Апатиты : КНЦ РАН, 2014. 226 с.

- Нерадовский Ю. Н., Мирошникова Я. А., Компанченко А. А. О каменных пляжах Мурманского побережья Баренцева моря // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 663–667. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.136>.
- Никонов А. А., Николаева С. Б., Шварев С. В. Мурманское побережье – крупнейшая в Российской Арктике сейсмогенерирующая зона: новейшие разработки // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны: сб. науч. трудов. Архангельск, 2015. С. 34–40.
- Оллиер К. Д., Пайн К. Ф. Неотектоническое поднятие гор и геоморфология // Геоморфология. 2019. № 4. С. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201943-26>.
- Рычагов Г. И. Геоморфология. М. : Юрайт. 2018. 396 с.
- Толстобров Д. С., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Корсакова О. П. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/1. С. 142–150. DOI: [10.21443/1560-9278-2016-1/1-142-150](https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/1-142-150).
- Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н., Колька В. В., Корсакова О. П. Постледниковое поднятие земной коры в северо-западной части Кольского региона // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 295–306.
- Ухов И. С. Новая методика определения окатанности песчаных кварцевых зерен // Ярославский педагогический вестник. 2013. Т. 3, № 4. С. 284–289.
- Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Y., Møller J. J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // *Global and Planetary Change*. 2001. Vol. 31, Iss. 1–4. P. 155–177. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00118-7).
- Johansson J. M., Davis J. L., Scherneck H.-G., Milne G. A. [et al.]. Continuous GPS measurements of postglacial adjustment in Fennoscandia. 1. Geodetic results // *Journal of Geophysical Research*. 2002. Vol. 107, Iss. B8. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001jb000400>.
- Miroshnikova Ya. A., Neradovsky Yu. N. Pebble beaches of the Murmansk coast – unique formations of the Kola Peninsula // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 302. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/302/1/012046>.
- Petterson B. The postglacial rebound signal of Fennoscandia observed by absolute gravimetry, GPS, and tide gauges // *International Journal of Geophysics*. 2011. Vol. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/957329>.

References

- Vvedenskaya, A. Ja., Dertev, A. K. 2007. Modern geodynamics, bituminous and gas bearing capacity of the Kola Peninsula. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/10/020.pdf>. (In Russ.)
- Verzilin, N. N., Bobkov, A. A., Kul'kova, M. A., Nesterov, E. M. et al. 2013. On the age and formation of the modern dismembered relief of the North of the Kola Peninsula. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta, Ser. 7: Geologiya, Geographiya*, 2, pp. 79–93. (In Russ.)
- Zenkovich, V. P. 1937. Observations on marine abrasion and physical weathering on the Murmansk coast. *Uchenyye zapiski. Mosk. ordena Lenina gos. un-t im. M. V. Lomonosova. Iss. 16. Geography*. Moscow, pp. 113–142. (In Russ.)
- Zykov, D. S., Poleschuk, A. V. 2016. Manifestation of interaction of geodynamic systems in the morphostructure of the Baltic Shield. Proceedings of XX Intern. conf. *Deep structure, minerageny, modern geodynamics and seismicity of the East European platform and adjacent regions*, Voronezh, 25–30 September, 2016. Voronezh, pp. 177–180. (In Russ.)
- Inzhebeikin, Yu. I. 2004. Fluctuations in the level of the White Sea. Ph.D. Thesis. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Kolka, V. V., Evzerov, V. Ya., Myoller, Ya., Corner, D. 2005. Post-glacial glacioisostatic movements in the North-East of the Baltic Shield. In coll. articles *New data on geology and minerals of the Kola Peninsula*. Apatity, pp. 15–25. (In Russ.)
- Korsakova, O. P. 2009. Kola Peninsula in the Holocene. *Nauka v Rossii*, 6, pp. 102–109. (In Russ.)
- Koshechkin, B. I., Kudlaeva, A. L., Pervuninskaya, N. A., Samsonova, L. Ya. 1971. Ancient coastal formations of the Northern and North-Eastern coasts of the Kola Peninsula. *Voprosy formirovaniya rel'efa i rykhlogo pokrova Kol'skogo poluostrova*. Leningrad, pp. 17–85. (In Russ.)
- Lazarevich, K. S. 1989. Morphostructure and geomorphological subdivision of the Murmansk massif. *Geomorfologiya*, 4, pp. 86–91. (In Russ.)
- Laschuk, V. V., Usacheva, T. T., Belyaeva, T. V. 2013. Granites of the Murmansk coast of the Barents Sea – high-quality raw materials for the production of building materials. In coll. articles *Problems in rational use of natural and technogenic Barents region resources in technologies of building and engineering materials*, Apatity, 12–15 November, 2013. Apatity, pp. 47–49. (In Russ.)
- Malavenda, S. V., Malavenda, S. S., Mityaev, M. V. 2017. Abrasion and algal fouling of coarse material on the Murman littoral. *Vestnik of MSTU*, 20(1/2), pp. 261–271. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-261-271>. (In Russ.)
- Miroshnikova, Ya. A., Kovalevsky, M. V., Trishina, O. M., Neradovsky, Yu. N. 2020. On the possible relationship of the morphology of pebbles in the area of the Zavalishina Bay with the elastic-anisotropic properties of its

- constituent rocks (experimental data). *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*, 17, pp. 359–363. DOI: <https://doi.org/10.31241/fns.2020.17.068>. (In Russ.)
- Mityaev, M. V., Gerasimova, M. V. 2008a. The rate of abrasion of the coarse material on the littoral zone of Murmansk coast. *Doklady Akademii Nauk*, 420(1), pp. 120–123. (In Russ.)
- Mityaev, M. V., Korsun, S. A., Strelkov, P. P., Matishov, G. G. 2008b. Ancient coastlines of Eastern Kildin. *Doklady Akademii Nauk*, 423(4), pp. 546–550. (In Russ.)
- Mityaev, M. V. 2014. Murman coast: Geological-geomorphological and climatic features, modern geological processes. Apatity. (In Russ.)
- Neradovsky, Yu. N., Mirosnikova, Ya. A., Kompanchenko, A. A. 2019. On stone beaches of the Murmansk coast of the Barents Sea. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*, 16, pp. 663–667. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.136>. (In Russ.)
- Nikonov, A. A., Nikolaeva, S. B., Shvarev, S. V. 2015. Murmansk coastal band in the Russian part of European Arctic as outstanding seismogenic zone: Newest approach. In coll. articles *Natural resources and integrated development of the coastal areas of the Arctic zone*. Arkhangelsk, pp. 34–40. (In Russ.)
- Ollier, K. D., Pain, K. F. 2019. Neotectonic mountain uplift and geomorphology. *Geomorphology RAS*, 4, pp. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201943-26>. (In Russ.)
- Rychagov, G. I. 2018. Geomorphology. Moscow. (In Russ.)
- Tolstobrov, D. S., Kolka, V. V., Tolstobrova, A. N., Korsakova, O. P. 2016. Experience of the chronological correlation of the Holocene sea coastal landforms in the Tuloma River valley and the Kola Bay. *Vestnik of MSTU*, 19(1/1), pp. 142–150. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/1-142-150. (In Russ.)
- Tolstobrov, D. S., Tolstobrova, A. N., Kolka, V. V., Korsakova, O. P. 2015. Postglacial uplift of the Earth crust in the North-Western part of the Kola region. *Vestnik of MSTU*, 18(2), pp. 295–306. (In Russ.)
- Ukhov, I. S. 2013. A new technique to define roundness of sandy quartz grains. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*, 3(4), pp. 284–289. (In Russ.)
- Corner, G. D., Kolka, V. V., Yevzerov, V. Y., Møller, J. J. 2001. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia. *Global and Planetary Change*, 31(1–4), pp. 155–177. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00118-7).
- Johansson, J. M., Davis, J. L., Scherneck, H.-G., Milne, G. A. et al. 2002. Continuous GPS measurements of postglacial adjustment in Fennoscandia. 1. Geodetic results. *Journal of Geophysical Research*, 107(B8). DOI: <https://doi.org/10.1029/2001jb000400>.
- Mirosnikova, Ya. A., Neradovsky, Yu. N. 2019. Pebble beaches of the Murmansk coast – unique formations of the Kola Peninsula. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 302. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/302/1/012046>.
- Petterson, B. 2011. The postglacial rebound signal of Fennoscandia observed by absolute gravimetry, GPS, and tide gauges. *International Journal of Geophysics*, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/957329>.

Сведения об авторах

Нерадовский Юрий Николаевич – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН; канд. геол.-минерал. наук; вед. науч. сотрудник; e-mail: nerad@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2400-0403>

Yury N. Neradovsky – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS; Cand. Sci. (Geol. & Miner.), Leading Researcher; e-mail: nerad@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2400-0403>

Миросникова Яна Андреевна – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; e-mail: mirosnikova@geoksc.apatity.ru

Yana A. Mirosnikova – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Junior Researcher; e-mail: mirosnikova@geoksc.apatity.ru

Компанченко Алёна Аркадьевна – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-минерал. наук, науч. сотрудник; e-mail: komp-alena@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1240-7898>

Alena A. Kompanchenko – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Cand. Sci. (Geol. & Miner.), Researcher; e-mail: komp-alena@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1240-7898>

Чернявский Алексей Викторович – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; e-mail: chernyavsky@geoksc.apatity.ru

Aleksey V. Chernyavsky – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Junior Researcher; e-mail: chernyavsky@geoksc.apatity.ru