

## Новейшие движения земной коры Карельского берега Белого моря

**Баранская Алиса Владиславовна**

кандидат географических наук

научный сотрудник, МГУ имени МВ. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ [alisa.baranskaya@yandex.ru](mailto:alisa.baranskaya@yandex.ru)



**Мазнев Степан Валерьевич**

инженер, МГУ имени МВ. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ [svmaznev@gmail.com](mailto:svmaznev@gmail.com)



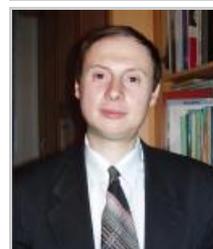
**Романенко Фёдор Александрович**

кандидат географических наук

в.н.с., МГУ имени МВ. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ [faromanenko@mail.ru](mailto:faromanenko@mail.ru)



**Шилова Ольга Сергеевна**

кандидат географических наук

научный сотрудник, МГУ имени МВ. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ [o.olyunina@mail.ru](mailto:o.olyunina@mail.ru)



[Статья из рубрики "Рельеф Арктики, Антарктики и горных регионов"](#)

### Аннотация.

В статье представлены результаты линеаментного и структурно-геоморфологического анализа участка Карельского берега Белого моря. Побережья Кандалакшского залива активно поднимались в новейшее время; это территория наиболее интенсивного послеледникового воздымания на Балтийском щите. Сочетание гляциоизостатического компенсационного поднятия после схода ледника, тектонических движений и эвстатического подъема уровня моря создало современный облик прибрежной суши. Задачей работы было выявления наличия дифференцированных движений блоков земной коры в масштабе небольших блоков, размеры которых не превышают нескольких десятков километров. Был проведен линеаментный и структурно-геоморфологический анализ по данным полевых исследований, литературным материалам и данным дистанционного зондирования. На полученные карты линеаментов и блоков были наложены данные об изменениях относительного уровня моря в регионе, полученные, главным образом, с помощью метода изолированных бассейнов. Оценены скорости относительного поднятия блоков, их пространственное и временное изменение. Выявлено наличие дифференцированных движений блоков с разницей в амплитудах до

20 м. Характер показанных дифференцированных движений, в целом, соответствует распределению, характерному для гляциоизостатического поднятия, с максимальными скоростями, тяготеющими к центру оледенения, однако положение наиболее быстро поднимающегося Ругозерско-Кузокоцкого блока можно объяснить лишь тектоническими движениями. Выявлено, что значительную роль в развитии структурного плана территории сыграло присутствие Онежско-Кандалакшского палеорифта, обновленного на новейшем этапе. Показано, что северо-западная его ветвь отличается иными напряжениями, чем центральная, что подтверждает данные о том, что эта часть грабена зародилась на неотектоническом этапе.

**Ключевые слова:** неотектоника, уровень моря, линеаментный анализ, Белое моря, движения земной коры, Карельский берег, геоморфология берегов, структурно-геоморфологический анализ, блоковые движения, трещиноватость

**DOI:**

10.7256/2453-8922.2019.2.29635

**Дата направления в редакцию:**

03-05-2019

**Дата рецензирования:**

12-05-2019

## **1. Введение**

Новейшие (позднекайнозойские) тектонические движения земной коры определяют облик рельефа и его современное развитие. Выявление их скоростей и механизмов позволяет понять, как именно мантия и литосфера реагируют на напряжения различной ориентации, длительности и происхождения. В активно поднимающихся районах, в частности, в районах позднеплейстоценового оледенения, где по сей день продолжается компенсационное гляциоизостатическое поднятие после снятия нагрузки при дегляциации, возможна максимально подробная реконструкция новейших вертикальных движений берегов морей благодаря "лестницам" поднятых морских террас и древним береговым линиям, доступным для изучения на суше [1]. Изучая изменения относительного уровня моря [2], который показывает сумму колебаний эвстатического уровня Мирового Океана и вертикальных движений земной коры берегов, можно восстановить темпы новейшего поднятия или опускания суши и выявить разницу между соседними участками. Особенной точностью отличаются данные, полученные методом изолированных бассейнов [3-5]. Анализ колонок донных осадков поднятых озер и болот, бывших заливами, позволяет датировать переходный горизонт, когда положение уровня моря соответствовало высоте порога стока из озера. При наличии многочисленных датировок в пределах разных блоков земной коры появляется возможность оценить темпы поднятия, наличие дифференцированных движений и предположить их механизмы.

Балтийский щит – один из районов с интенсивными восходящими движениями земной коры. Многочисленные данные свидетельствуют о тенденции к поднятию на всей его территории [6-8]. В позднеплейстоцен-голоценовое время вертикальные движения земной коры достигали наибольшей интенсивности непосредственно после стаивания ледника, 11-12 тысяч лет назад (местами более 20 мм/год, [9]), и до настоящего момента постепенно замедлялись (от 1,5 до 3-4 мм/год [10]). Сочетание поднятия земной коры суши и колебаний эвстатического уровня моря создает сложную картину распределения высот береговых линий в регионе [11].

На общее куполовидное поднятие накладываются дифференцированные блоковые движения разных масштабов. Они проявились в активизации большей части древних разломов и заложении новых [11-13]. Это подтверждается наличием молодых тектогенных форм рельефа: свежих уступов с острыми краями, тектонических рвов и структурных террас, образовавшихся в послеледниковое время [14-16], а также современными и голоценовыми землетрясениями [17-18], приуроченными к крупнейшим разломам и линеаментам.

Линеаментный и структурно-геоморфологический анализы – одни из наиболее эффективных и доступных методов для реконструкции особенностей неотектонического развития [11]. Их применение позволяет выявить преобладающую ориентировку разрывных нарушений, степень их активности в новейшее время, особенности движений блоков земной коры относительно друг друга. При дополнении их данными об изменениях относительного уровня моря появляется возможность количественно оценить эти движения.

Цель данной работы – установить особенности новейших движений земной коры Западного Беломорья с помощью сопоставления данных линеаментного и структурно-геоморфологического анализов северной и центральной частей Карельского берега Белого моря с данными датирования донных осадков изолированных бассейнов и отложений, слагающих поднятые морские террасы.

## **2. Район исследований**

На Карельском берегу Белого моря особенности современного состояния и движения земной коры предопределяются наложением друг на друга ряда факторов:

- 1) унаследованным рифтингом [12-13];
- 2) постоянными восходящими вертикальными тектоническими движениями в течение времени, гораздо более длительного, чем неотектонический этап [11];
- 3) гляциоизостатическими движениями, вызванными плейстоценовыми оледенениями Фенноскандии и гидроизостатическим погружением при поступлении морских вод в освободившуюся котловину Белого моря [19].

Для рассмотрения механизмов реакции разломов и зон повышенной трещиноватости на воздействие перечисленных факторов был рассмотрен ключевой участок Карельского берега Белого моря от пос. Лесозаводский на севере до губы Калгалакша на юге (рис.1). Он находится в пределах Беломорского геотектонического района, в области развития гнейсов, амфиболитов и кристаллических сланцев среднелопийского возраста, эпизодически прорванных протерозойскими интрузиями гранитов и рассеченных

единичными дайками, внедрившимися в палеозое [\[20\]](#). Сланцеватость и гнейсовидность позднеархейских гнейсов, амфиболитов и кристаллических сланцев преимущественно полого падает в северном направлении под углом 15-25о.

### 3. Методы

*Полевые работы* на Карельском берегу проводились в 2003-2007 и 2012-2014 гг. и включали геоморфологическую съемку с помощью стандартных методов. Производились описания рельефа, обнажений скальных и рыхлых пород, замеры трещиноватости, элементов залегания гнейсовидности, жил и даек. Описывались и фиксировались на местности проявления сейсмичности: "каменные хаосы", сейсмогенные обвалы и трещины и другие виды сейсмодислокаций. Исследовались поднятые береговые формы: валы, корги, валунные отмостики; фиксировалось их высотное положение. Проводилось бурение болот и озер торфяным буром Гиллера [\[21\]](#). Последующее радиоуглеродное датирование осуществлялось в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии ГИН РАН. Проводился отбор образцов гнейсов с поверхности "бараньих лбов", блоков и глыб, перенесенных ледником и затопленных после его схода, а затем поднятых выше уровня моря [\[22\]](#).

Камеральные работы включали картографическую и статистическую обработку данных. Разломы, уступы, рвы, описанные во время экспедиций, наносились на карту, составлялись их розы-диаграммы и стереограммы трещиноватости и ориентировки гнейсовидности и сланцеватости. По направлениям трещиноватости была восстановлена ориентировка осей главных нормальных напряжений для разных участков. Помимо обработки полевых данных, проводились дешифрирование спутниковых изображений и топокарт, линеаментный и структурно-геоморфологический анализ.

*Линеаментный анализ* проводился с помощью спутниковых снимков Landsat 7 ETM Mosaic и топографических карт с географической привязкой. В данной работе под линеаментом понимается выдержанный по направлению прямолинейный элемент рельефа и ландшафта, являющийся результатом проявления различных разрывных нарушений [\[23-24\]](#). Линеамент может соответствовать разлому со смещением, однако может быть заложен по любой трещине или неоднородности тектонического происхождения.

Выделение линеаментов происходило в программе ArcGIS. Было отдано предпочтение ручному дешифрированию методом авторской интерпретации, поскольку район подвергался выпахивающему действию покровного ледника во время максимума последнего оледенения, и ледниковые шрамы и следы штриховки в автоматическом режиме дешифрирования выделялись бы как линеаменты. Поэтому первым этапом стало выделение таких следов для того, чтобы впоследствии не путать их с линеаменами. На спутниковых снимках на Карельском берегу Белого моря хорошо видна ориентировка направлений экзарации; её формы предварительно выделялись по картографическим и дистанционным данным, а затем сопоставлялись с линиями движения ледника [\[25\]](#). Затем выделялись элементарные линеаменты – непосредственно заметные на карте, снимке или местности прямые или дугообразные линии, без генерализации. После первичного дешифрирования осуществлялась их генерализация. Цепочки продолжающих друг друга элементарных линеаментов объединялись в качестве линеаментов 1 порядка. В качестве главных выделялись линеаменты, прослеживающиеся на значительные расстояния, подтвержденные геологическими данными. Кроме того, выделялись главные линеаменты по геоморфологическим данным – протяженные разрывы, не обозначенные на геологических картах, но отчетливо выделяющиеся в рельефе как при полевых работах,

так и при анализе карт и снимков.

Простиранья полученных линеаментов анализировались с помощью стандартных статистических методов, составлялись розы-диаграммы, определялись наиболее встречаемые направления. Подобный анализ повторялся для линеаментов, выделенных при полевых работах (уступов, рвов). Составлялись розы-диаграммы и стереограммы трещиноватости, измеренной в поле. Кроме того, направления линеаментов в пределах каждого блока обрабатывались и анализировались отдельно.

Завершающим этапом стал *структурно-геоморфологический анализ*, который можно рассматривать как метод исследования выраженности неотектонических структур в современном рельефе. В нем синтезируются данные о новейших вертикальных движениях земной коры, полученные с помощью датирования поднятых береговых линий, и данные о строении дизъюнктивной сети, полученные в ходе линеаментного анализа.

Для амплитуд относительного поднятия берегов, известных по литературным и собственным данным, рассчитывались погрешности не только определения возраста, но и высоты береговой линии по методикам международных протоколов обработки данных об изменениях относительного уровня моря [5, 26]. Датировки были калиброваны с использованием калибровочных кривых IntCal13 и Marine13 [27]. Затем путем деления высоты береговой линии на ее возраст были получены скорости относительного поднятия каждого озера или участка древней береговой линии с момента изоляции от моря. Этот момент различен для каждой из точек; известно, что скорость поднятия Балтийского щита неравномерна во времени и замедляется к концу голоцена [10]. Кроме того, данные датирования поднятых береговых линий позволили оценить не абсолютные величины поднятия берега, а лишь относительное поднятие (относительное опускание уровня моря) без учета эвстатических изменений уровня моря. Поэтому подобные данные можно использовать лишь для сравнения соседних блоков, а реальные моментальные скорости вертикальных движений блоков земной коры могли быть намного выше, особенно в начале голоцена.

Рассчитанные скорости относительного поднятия земной коры наносились на карту линеаментов. Затем на ней выделялись блоки земной коры с относительно однородной структурой и скоростью новейших вертикальных движений. При выделении блоков учитывались следующие факторы:

- 1) скорость новейшего поднятия;
- 2) рисунок, образуемый элементарными линеаментами внутри блока;
- 3) рельеф и его морфометрические и морфотектонические показатели (средняя высота, уклоны, высота поливершинной и полибазисной поверхности);
- 4) глубина и густота расчленения рельефа;
- 5) распространение и высота в пределах блока новейших отложений (к примеру, морских террас);
- 6) ограниченность разломами или линеаментами высокого порядка;
- 7) геологическое строение, наличие интрузий, устойчивость пород к выветриванию.

Для выделенных блоков определялись направления вертикальных движений и

характеризовалась интенсивность движения блоков друг относительно друга.

**4. Результаты**

По результатам линеamentного и структурно-геоморфологического анализов было выделено десять блоков (рис. 1): от Лесозаводского блока на севере до Оленьего блока на юге. Размеры блоков составляют первые десятки километров. Вытянуты они субширотно, при движении с севера на юг ориентировка длинной оси блоков суши меняется с северо-западной на северо-восточную.

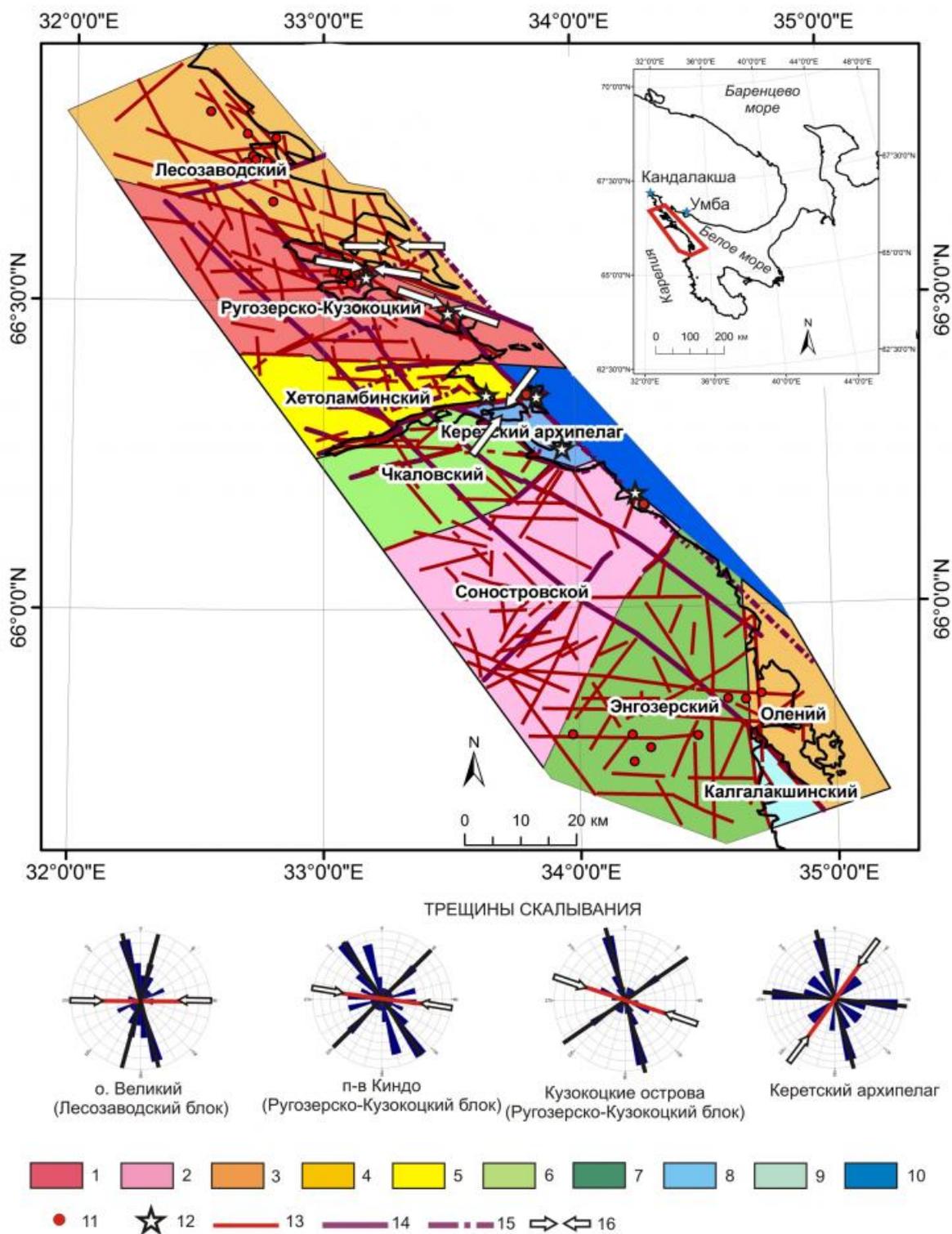


Рис. 1. Структурно-геоморфологическая схема Карельского берега Белого моря с реконструкцией направлений главного нормального напряжения.

Блоки: значительно поднятые 1 – Ругозерско-Кузокоцкий (средняя скорость относительного поднятия до 9,4 мм/год), 2 – Соностровской (средняя скорость относительного поднятия до 8,3 мм/год), 3 – Лесозаводский (средняя скорость относительного поднятия до 9,3 мм/год), 4 – Олений; отстающие в поднятии - 5 – Хетоламбинский (средняя скорость относительного поднятия до 5,5 мм/год), 6 – Чкаловский, 7 – Энгозерский (средняя скорость относительного поднятия за голоцен до 6,5 мм/год); слабо поднятые 8 – Керетский архипелаг, 9 – Калгалакшинский, 10 – Дно Кандалакшского залива. 11 – места датирования древних береговых линий; 12 – места обнаружения сейсмодислокаций и “каменных хаосов”. Линеаменты: 13 – линеаменты 1 порядка, 14 – главные разломы, выделенные по геологическим данным, 15 – главные разломы, выделенные по геоморфологическим данным. 16 – направление осей максимального главного нормального напряжения  $\sigma_1$ , восстановленное по замерам трещиноватости.

#### **4.1. Амплитуды и скорости относительного поднятия блоков**

Исходя из того, что вся территория испытывает положительные вертикальные движения, проявившиеся в снижении относительного уровня моря в течение голоцена, все выделенные блоки (за исключением предположительно опускающегося дна Кандалакшского залива, амплитуды движений которого неизвестны) можно уверенно считать поднимающимися. На основании рассчитанных по литературным данным [9, 21-22, 28] амплитуд и скоростей относительного поднятия, а также морфологических характеристик рельефа, блоки разделены по качественному принципу на наиболее значительно поднятые, отстающие в поднятии и слабо поднятые (рис. 1).

В среднем, наиболее интенсивно в течение голоцена и до настоящего времени поднимались Ругозерско-Кузокоцкий и Соностровской блоки, что выражено как в значительном превышении доминирующих высот этих блоков над окружающей территорией, так и в расчлененности рельефа и наличии свежих тектогенных форм: высоких отвесных уступов, ущелий, ступенчатых склонов с острыми ребрами. Относительный уровень моря 9,3 тыс. лет назад находился на высоте  $87,0 \pm 5,2$  м, что соответствует скорости 9,4 мм/год, и на высоте  $11,0 \pm 5,2$  м 2,1 тыс. лет назад, что соответствует скорости 5,2 мм/год за последние 2 две тысячи лет [21]. Здесь и далее речь идет о средних скоростях относительного поднятия с момента изоляции; непосредственные скорости воздымания в начале голоцена могли достигать сантиметров в год.

Относительно поднят и блок Олений, все границы которого проходят по разрывным нарушениям высоких порядков, и который возвышается над губой Калгалакша и соседним Энгозерским блоком. Лесозаводский блок, в среднем, обладает менее выраженным и дифференцированным тектоническим рельефом, чем Ругозерско-Кузокоцкий или Соностровской. Тем не менее амплитуды падения относительного уровня моря составили  $104,0 \pm 4,4$  м за 11,8 тыс. лет (9,3 мм/год) и  $7,6 \pm 4,4$  м за последние 2 тыс. лет (3,8 мм/год) (по [9]).

Хетоламбинский и Чкаловский блоки обладают еще более сглаженным рельефом, но темпы их поднятия выше, чем в районе Энгозера и меньше, чем у Лесозаводского блока. Относительный уровень моря достигал здесь высоты 104 м [29] около 12 тыс. лет назад, затем падал с  $81,5 \pm 2,7$  м 11,1 тыс. лет назад до  $24,0 \pm 2,7$  м 3,6 тыс. лет назад, что соответствует средним скоростям поднятия 8,6, 7,4, и 6,0 мм/год, соответственно.

Блок островов Керетского архипелага отстает в поднятии; однако, несмотря на его опущенное положение относительно других блоков, рельеф сохранил свой первичный свежий тектонический облик. Причиной тому – многочисленные разрывные нарушения, ограничивающие и пересекающие Керетский архипелаг. Об их активности позволяют судить обнаруженные сейсмовеколы, сейсмоущелья, сейсмообвалы и «каменные хаосы» – следы недавних землетрясений. По разломам заложилась и многочисленные проливы, отделяющие острова Керетского архипелага друг от друга.

Энгозерский блок также отстает в поднятии. Относительный уровень моря падал здесь с  $72,0 \pm 4,4$  м 11,5 тыс. лет назад (6,5 мм/год) до  $14,0 \pm 4,4$  м 4,5 тыс. лет назад (3,1 мм/год) [28]. В наименьшей степени подняты Калгалакшинский блок, треугольником опускающийся между островом Олений и Энгозерским блоком, и блок, выделенный нами как дно Кандалакшского залива.

#### **4.2. Направления линеаментов**

Анализ направлений линеаментов (рис. 2) показывает, что, несмотря на общие черты в рисунке сети разрывных нарушений, блоки различаются как по преобладающим направлениям, так и по ориентировке различных типов линеаментов и трещин.

##### *Линеаменты макро- и мезоуровня*

Размер линеаментов макро- и мезоуровня – от сотен метров до километров и десятков километров. Наиболее протяженные главные линеаменты и разломы, выделенные по геологическим и геоморфологическим данным, ориентированы вдоль побережья Кандалакшского залива, с северо-запада на юго-восток (рис. 1). К примеру, блок дна Кандалакшского залива отделен от блоков суши серией крупных сбросов. Особенно крупный разлом протягивается от Кузокоцкого полуострова, который он сечет, вдоль мористой границы Керетского архипелага, далее на юг вдоль западного берега Сонострова и Энгозерского блока. Наличие этого разлома подтверждено как геологическими данными [20], так и рельефом восточной части Сонострова, обрывающегося в море скальной стеной, рассеченной многочисленными трещинами и рвами с сейсмоколлабием. О современной активности разрывного нарушения свидетельствует обнаруженный нами на острове крупный (более 100 м в ширину) сейсмообвал.

Самое характерное направление более мелких разрывных нарушений – субширотное. Оно преобладает как у элементарных линеаментов (рис. 2А), так и у линеаментов 1 порядка (рис. 2Б). Азимут простирания наиболее часто встречающихся линеаментов – 90-95 °. Разрывные нарушения, выраженные ими, ориентированы согласно гнейсовидности (рис. 2Д), но, исходя из наблюдений в поле, секут ее по падению. Наиболее типичны крутопадающие (70-85 °) разломы и трещины (рис. 2Г). В пределах наиболее северного, Лесозаводского блока такие линеаменты немного поворачивают, и их азимут простирания составляет 95-105 °.

Второе направление, выраженное у линеаментов 1 порядка – север-северо-западное (320-330 °). В целом, оно совпадает с направлением бортов Кандалакшского грабена, определяющих структуру региона. Лучше всего оно выражено у элементарных линеаментов Хетоламбинского блока и у линеаментов 1 порядка блоков островов Керетского архипелага, Ругозерско-Кузокоцкого и Лесозаводского. Север-северо-западные линеаменты Лесозаводского блока также развернуты на 5-10 ° относительно более южных блоков.

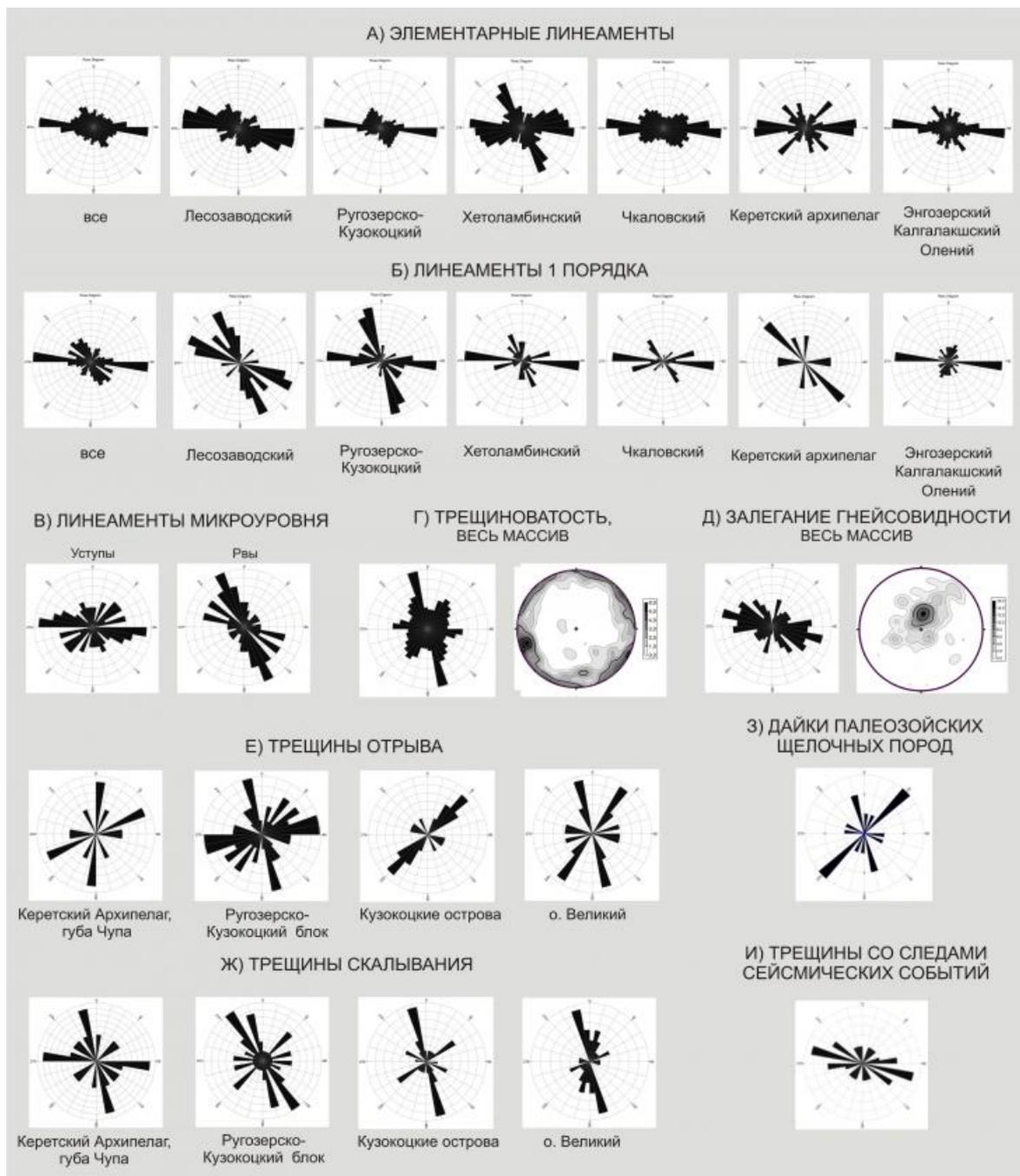


Рис. 2 Розы-диаграммы и стереограммы линеаментов и трещиноватости

*Линеаменты микроуровня*

Линеаменты микроуровня, описанные и измеренные в поле, условно разделялись на тектонические рвы и уступы. Рвы можно считать признаком растяжения, перпендикулярного его стенкам (или сжатия, параллельного его стенкам). Точный механизм формирования уступов вычислить сложнее. Розы-диаграммы, построенные для линеаментов микроуровня (рис. 2В), показывают, что уступы чаще всего ориентированы субширотно, в то время как азимут простираения рвов составляет 330-340°. В целом, рвы ориентированы параллельно сбросам борта Кандалакшского залива и свидетельствуют об обстановке растяжения в ВСВ – ЗЮЗ направлении.

*Трещиноватость.* Распределение свежих трещин, образовавшихся или обновлявшихся в течение последних нескольких тысяч лет (рис. 2 Г, Е, Ж), позволяет сделать вывод о том, что неотектоническое развитие северной (Лесозаводский, Ругозерский, Кузокоцкие острова) и южной (Керетский архипелаг, Соностров) части исследуемой территории было

неоднородным. На земную кору действовали напряжения разных направлений, которые привели к формированию различий не только в рисунке линеamentной сети и рельефе, но и в направлениях преобладающих систем трещиноватости.

Анализ направлений трещин отрыва (рис. 2Е) показал, что для них, в целом, характерна изменчивость простираний от блока к блоку. Она может быть объяснена более древним возрастом части трещин отрыва, выраженным в большей выветрелости трещин, или неоднородностью напряжений, действовавших на разные блоки. Трещины скалывания чаще всего образуют систему из двух серий, простирание которых близко в пределах разных блоков (рис. 2Ж).

По системам трещин скалывания были реконструированы направления векторов максимального и минимального главного нормального напряжения. Учитывая, что большая часть трещин скалывания, характерных для Беломорского района, падает под крутыми углами в 80-90 ° (рис. 2Г), мы условно считали их вертикальными, что позволило оценить направления действовавших напряжений по простиранию сопряженных серий: ось максимального главного нормального напряжения  $\sigma_1$  совпадает с биссектрисой тупого угла между сериями, а ось минимального главного нормального напряжения  $\sigma_3$  – с биссектрисой острого угла.

Ось максимального главного нормального напряжения  $\sigma_1$  была направлена в восточном и восток-юго-восточном направлении в пределах Ругозерского и Лесозаводского блоков. Она меняет свое направление на 7-12 ° с севера на юг; эти незначительные изменения происходят вкрест системы разломов Ругозерской губы. Указанная система разрывных нарушений выражена как в рельефе, так и в молодых донных осадках, что говорит об их активности в новейшее время [\[30\]](#).

На островах Керетского архипелага ось  $\sigma_1$  была направлена с северо-востока на юго-запад, что свидетельствует о значительных изменениях в ориентации напряжений вкрест губы Чупа. По этому фиардообразному заливу проходит крупный разлом, зафиксированный на геологических картах и выраженный в рельефе. Ступенчатый продольный и поперечный профили дна, полученные при эхолотных промерах, а также отвесные рассеченные многочисленными трещинами уступы берегов позволяют заключить, что влияние разрывных нарушений прослеживается не только в пределах самой губы, но и по ее бортам. Значительное изменение осей максимальных главных нормальных напряжений свидетельствует о различиях в геодинамической обстановке к северу и к югу от разлома.

В целом, ось  $\sigma_1$  может соответствовать как оси максимального сжатия, так и оси, перпендикулярной максимальному растяжению. Таким образом, наблюдалось либо растяжение в СЗ – ССВ направлении, либо сжатие в В – СВ направлении (т.е., по сути, сжатие, перпендикулярное разломам и линеаментам, протягивающимся вдоль побережья Кандалакшского залива).

Анализ направлений даек щелочных пород, образовавшихся в девоне (рис. 23), показывает, что они не соответствуют направлению современных линеamentов и трещиноватости: главное направление – северо-восточное. Тем не менее, присутствует и север-северо-западная ориентировка, свидетельствующая о возможной унаследованности части современных линеamentов.

В целом, для Беломорского региона, в особенности для акватории Кандалакшского залива, характерна современная сейсмичность, регистрируемая на сейсмических

станциях [31]. Массовые измерения трещин, встречающихся в бортах сейсморовов, приуроченных к сейсмообвалам, "каменным хаосам" и другим сейсмодислокациям (рис. 2И) показали, что для них характерны запад-северо-западные направления при общем значительном разбросе ориентировок.

## 5. Обсуждение результатов

### **5.1. Неотектоническое развитие Карельского берега Белого моря**

Наиболее крупные линеаменты, выделенные как по геологическим, так и по геоморфологическим данным, параллельные береговой линии Кандалакшского залива – основные разрывные нарушения, определяющие неотектоническое развитие территории. Они соответствуют параллельным ступеням, образующим борта Кандалакшского грабена, части системы Онежско-Кандалакшского палеорифта [12], составляющего одну из главных ветвей рифтовой системы Белого моря. Система наследует серию палеорифтов, заложившихся в рифейское время и обновленных на неотектоническом этапе [13]. Более мелкие разломы и трещины, соответствующие линеаментам первого порядка и элементарным линеаментам, – оперяющие его нарушения. Заметно последовательное изменение их направлений с юга на север: в пределах южных блоков они практически перпендикулярны сбросам бортов грабена, и, по-видимому, имеют сбросовую или взбросовую природу, а ближе к кутовой части Кандалакшского залива (Ругозерский, Лесозаводский блок) разворачиваются под острым углом к направлению главных разломов, и, по-видимому, отличаются значительной сдвиговой компонентой.

Наибольшие изменения в направлениях линеаментов и азимутах простирания трещиноватости происходят вкрест разломов, образующих фиардообразные заливы: губы Ругозерская и Чупа. Изменения осей максимального главного нормального напряжения вкрест этих заливов свидетельствуют о значительной перестройке напряженного состояния литосферы по разломам. При этом изменения морфоструктурного плана вкрест губы Чупа сильнее и выражаются на всех уровнях, что позволяет ее считать самым крупным региональным разломом, вдоль которого происходило или происходит перераспределение напряжений. Подобные выводы согласуются с тектонической историей Онежско-Кандалакшского палеорифта, согласно которой лишь южная часть Кандалакшского залива от меридиана Порьей губы и восточнее наследует сегмент рифтовой системы рифейского заложения, а северо-западная часть залива – сегмент рифтовой зоны, оформившийся окончательно как грабеновая структура лишь в кайнозое [32]. Губа Чупа на Карельском берегу находится на одной широте с Порьей губой; соответственно, к юго-востоку от нее находится древний сегмент грабена, а к северо-западу – более молодой, кайнозойский. Разлом Ругозерской губы – по-видимому, молодое разрывное нарушение, появившееся уже на неотектоническом этапе.

Линеаментная сеть и наиболее свежие трещины несут следы напряжений чередующейся ориентировки. Судя по напряжениям, реконструированным по трещинам скалывания, Карельский берег испытал сжатие со стороны Кандалакшского залива перпендикулярно его направлению. Линеаменты микроуровня (рвы), напротив, свидетельствуют о существовании и растяжения той же ориентировки в течение новейшего времени. Таким образом, происходило чередование состояний сжатия и растяжения, но их вектор всегда был перпендикулярен структурам Онежско-Кандалакшского палеорифта. Возможно, сжатие преобладало на начальном этапе, когда раскрывающая центральная часть грабенов давила на его стенки. Затем, при дальнейшем рифтогенезе, область

растяжения могла расширяться до пределов блоков суши.

Большая часть показанных на линеаментной схеме разрывных нарушений была активна в новейшее время, о чем свидетельствуют многочисленные сейсмодислокации. Примером могут служить сейсмообвалы на Сонострове и сейсморвы в бухте Биофильтов на полуострове Киндо и на о. Кокоиха (Кузокоцкий архипелаг) [22]. Радиоуглеродное датирование торфа, лежащего ниже и выше сейсмоколлювия на о. Кокоиха, показало, что ров образовался при историческом землетрясении 1542 года, упоминание о котором содержится в летописях и хрониках [33].

### **5.2. Дифференцированные движения блоков земной коры**

Несмотря на то, что неоднородность структурного плана в пределах макроблоков, ширина которых составляет десятки километров, очевидна, вопрос о том, есть ли разница в скоростях их новейшего поднятия, остается спорным. В российской литературе [1, 11, 34] господствует мнение о дифференцированных движениях как одной из основных черт новейшей тектоники Балтийского щита, однако наименьший масштаб, в пределах которого можно выделять блоки с различными скоростями поднятия или опускания, чаще всего, не указывается. Среди западных исследователей (например, [35]), напротив, господствуют мнения о том, что дифференцированные движения в голоцене могли происходить только по крупнейшим разломам (как, например, разломы, ограничивающие Онежско-Кандалакшский рифт, или линия Карпинского); при этом максимально возможная амплитуда вертикального смещения по ним может достигать лишь первых метров, а для средних по размеру блоков шириной 5-10 км, разделенных локальными разломами (такими, как, к примеру, разлом Ругозерской губы или губы Чупа) скорость поднятия и вовсе не должна отличаться от соседних блоков, поскольку линейные размеры структур не превышают мощности хрупкой части земной коры.

На основе полевых и дистанционных наблюдений особенностей новейшего тектонического рельефа Балтийского щита, свидетельствовавших об обратном, нами была сформулирована гипотеза о том, что даже по локальным разломам в голоценовое время происходили значительные вертикальные смещения, а скорости относительного поднятия соседних макроблоков могли различаться на несколько миллиметров в год. Для подтверждения или опровержения гипотезы на побережье Кандалакшского залива были унифицированы данные о высоте и возрасте береговых линий на пяти участках в пределах различных макроблоков ключевого участка и прилегающих территорий Ругозерско-Кузокоцкого, Лесозаводского и Энгозерского блоков, районов г. Кандалакша (севернее района исследования) и пос. Умба (Терский берег, севернее района исследования) (рис. 3).

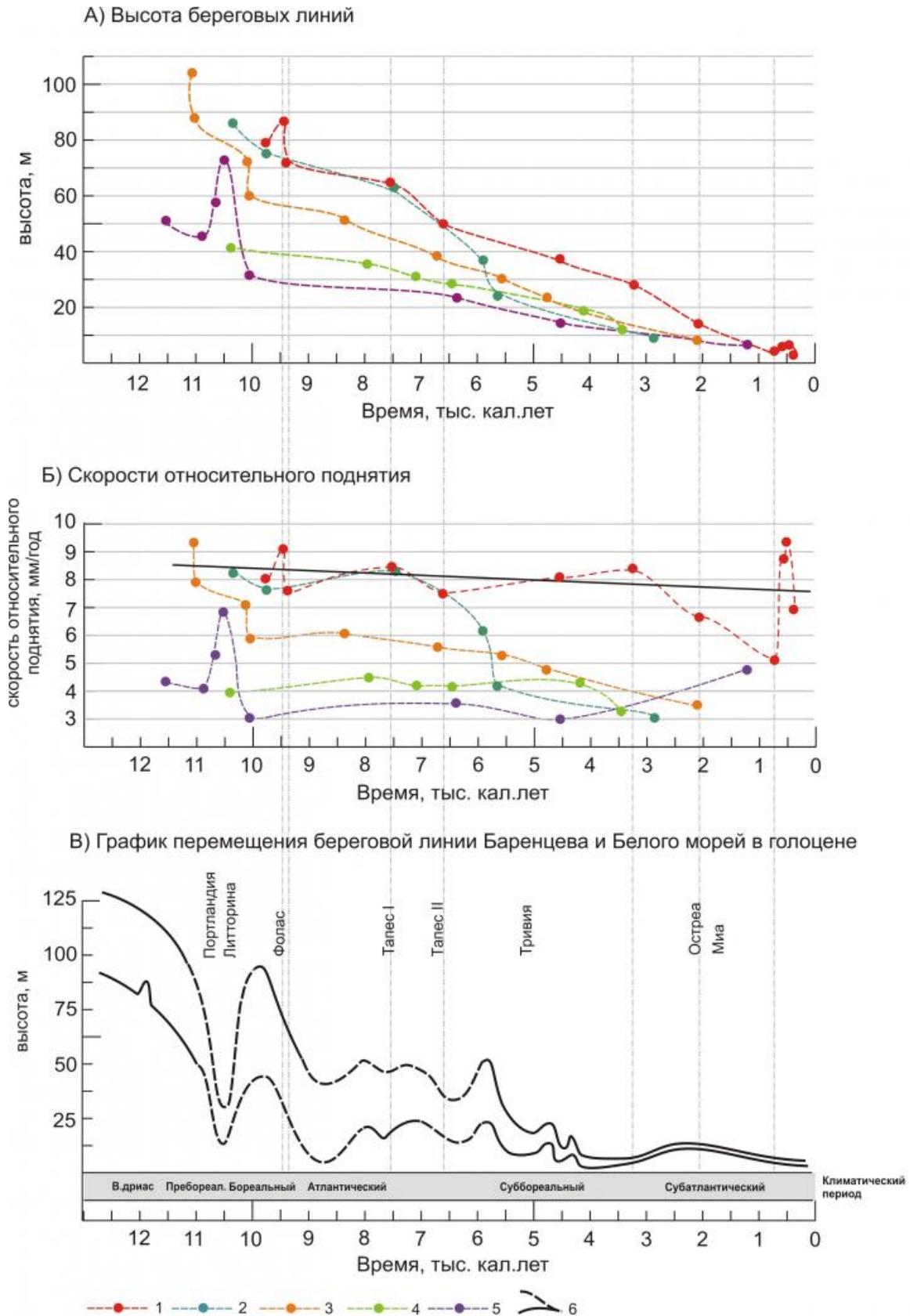


Рис. 3. Зависимость высоты береговых линий от времени изоляции (А), вычисленные скорости относительного поднятия побережий (Б) и высота колебаний уровня Баренцева и Белого морей (В, по [1]). 1 – Ругозерско-Кузокоцкий блок (по [21-22]); 2 – Кандалакша (по [9]); 3 – Лесозаводский блок (по [9]); 4 – Умба (по [36]); 5 – Энгозерский блок (по [28]); 6 – максимально высокое и минимально низкое положение береговой линии (по [1])

Одновозрастные береговые линии в пределах соседних блоков заметно отличаются по высоте. К примеру, синхронные береговые линии в пределах Ругозерско-Кузокоцкого блока находятся на 20-40 м выше аналогичных в пределах Энгозерского блока. Заметно, что падение относительного уровня моря не было однородным: присутствуют «пики» и ступени. К примеру, причиной появления ступени или даже минимума на всех графиках около 10 тыс. лет назад могла служить трансгрессии Портландия [37]. Напротив, замедление поднятия суши около 5400 лет назад в районе Кандалакши, отсутствует у остальных блоков (к примеру, Лесозаводского, где есть датировка в близком временном интервале).

Несмотря на общую тенденцию к замедлению, распределение скоростей поднятия во времени неоднородно в пределах каждого блока, а темпы воздымания заметно отличаются у разных блоков. Выше всего они для Ругозерско-Кузокоцкого блока, а ниже всего – для Энгозерского, разница в скоростях поднятия между которыми достигает 5 мм/год. Разница между блоками с различными вычисленными скоростями воздымания заметна и в рельефе: гора Ругозерская значительно возвышается над окружающим ландшафтом, а крутые ступени ее склонов заложены по разломам и трещинам. Дифференцированные движения земной коры проявляются не только на уровне макроблоков размерами до десятков километров, но и в пределах каждого из участков, где микроблоки составляют первые километры или даже сотни метров: к примеру, озера Верхнее и Водопроводное (Ругозерско-Кузокоцкий блок), расстояние между которыми менее километра, были изолированы от моря практически одновременно, около 9,3 тыс. лет назад; сейчас высоты их урезов составляют 87 и 72 м, соответственно.

Механизмом, который обусловил общее поднятие Карельского берега Белого моря, могло быть гляциоизостатическое компенсационное поднятие после снятия ледниковой нагрузки в конце позднего плейстоцена [38]. По-видимому, некоторые особенности дифференцированных движений блоков, такие, как общее увеличение высот береговых линий и скоростей относительного поднятия блоков по мере приближения к кутовой части Кандалакшского залива, также можно объяснить эффектом гляциоизостази: в районе Кандалакши лед был толще [39] и растаял позже [40], чем в центральной части Белого моря. Тем не менее, подобная концепция не позволяет объяснить, почему поднятие Ругозерско-Кузокоцкого блока происходило быстрее, чем поднятие Лесозаводского блока, располагавшегося ближе к центру оледенения. Не объясняет она и неоднородности внутри каждого блока. Вероятно, блоковые движения, осложняющие гляциоизостатическое поднятие, происходили по сбросам бортов Онежско-Кандалакшского рифта и оперяющим их разломам. Часть таких движений могла быть вызвана сжатием, передающимся берегам Белого моря от структур Скандинавии, на которые давит расширяющийся Северо-Атлантический спрединговый бассейн. Значительную роль в активизации разломов и сохраняющейся сейсмичности Карельского берега сыграла активизация рифтовой системы Белого моря на неотектоническом этапе.

## **6. Заключение**

Линеаментный и структурно-геоморфологический анализ Карельского берега Белого моря показал наличие дифференцированных движений блоков, проявляющихся в разных масштабах (от десятков километров до сотен метров). Блоки суши в голоцене поднимались со средними скоростями до 9,4 мм/год с момента изоляции. Амплитуды падения относительного уровня моря достигали 104 м. Наиболее поднят Ругозерско-Кузокоцкий блок; отстают в поднятии Энгозерский блок и блок островов Керетского архипелага. Разница в высотном положении одновозрастных береговых линий разных

блоков может достигать 20-40 м, разница в средних скоростях относительного поднятия с момента изоляции от моря – до 5 мм/год. Причина общего поднятия Карельского берега – гляциоизостатические компенсационные движения, однако дифференцированные движения некоторых блоков невозможно объяснить исключительно воздыманием после снятия ледниковой нагрузки. По-видимому, в них сыграла роль активизация рифтовой системы Белого моря.

Наиболее крупные северо-северо-западные линейные элементы соответствуют сбросам бортов Кандалакшского грабена, ветви Онежско-Кандалакшского палеорифта. Секущие их линейные элементы меняют свое направление от северо-восточного до субширотного и северо-западного по мере приближения к вершине Кандалакшского залива. Напряжения, реконструированные по трещиноватости, наиболее сильно меняются вкрест крупных разломов, по которым заложены фиардообразные заливы – губы Ругозерская и Чупа. В наибольшей степени оси максимального главного нормального напряжения меняются вкрест губы Чупы, что подтверждает версию о том, что северо-западный сегмент Кандалакшского грабена – отдельная ветвь, появившаяся лишь на неотектоническом этапе, в отличие от центральной части рифта, зародившейся в рифе и обновленной в кайнозое.

Исследование проведено при поддержке проекта РФФИ проект 16-35-60118 мол\_а\_дк и Госбюджетной темы AAAA-A16-116032810055-0

## Библиография

1. Pettersen, B.: The postglacial rebound signal of Fennoscandia observed by absolute gravimetry, GPS, and tide gauges, *Int. J. Geophys.*, 2011
2. Зарецкая Н.Е., Шевченко Н.В., Хайтов В.М. Результаты комплексных исследований местонахождений голоценовых моллюсков в районе Беломорской Биологической Станции МГУ. Мат-лы науч. конф., посвященной 75-летию БС им Н.А.Перцова. М., Изд-во МГУ, 2013
3. 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* 31, 2001. P. 155–177
4. Инжебейкин Ю.И. Колебания уровня Белого моря/Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. СПб, 2004. 253 с.
5. Кошечкин Б. И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. – Л., Наука, 1979. 158 с.
6. Балуев А.С., Пржиялговский Е.С., Терехов Е.Н. Новые данные по тектонике Онежско-Кандалакшского палеорифта (Белое море) / Доклады Академии Наук. Серия Геология. Том 425, №2, с.199-203, 2009а
7. Балуев А.С., Журавлев В.А., Пржиялговский Е.С. Новые данные о строении центральной части палеорифтовой системы Белого моря / Доклады Академии Наук. Серия Геология. Том 427, №3, 2009б, с. 348-353
8. Авенариус И.Г. Морфоструктура Беломорского региона // Геоморфология. – 2004. – № 3. С. 48–56.
9. Arvidsson, R. 1996 Fennoscandian earthquakes: whole crustal rupturing related to postglacial rebound. *Science* 274, 744–746. (doi:10.1126/science.274.5288.744)
10. Dehls, J. F., Olesen, O., Olsen, L. & Harald-Blikra, L. 2000 Neotectonic faulting in northern Norway: the Stuuragurra and Nordmannvikdalen post-glacial faults/*Quaternary Science Reviews* 19 (14), 1447-1460

11. Lagerbäck, R. & Sundh, M. 2008 Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. Res. Paper C 836, Geological Survey of Sweden, p. 80.
12. Николаева С.Б, Евзеров В.Я, Петров С.И. Сейсмические проявления в рельефе северо-запада Мурманской области//Север-2007. Изд-во КНЦ РАН. 12 с.
13. Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Баранская А.В. Жизнь тектонического рельефа Керетского архипелага в голоцене. Материалы научной конференции «Морская биология, геология, океанология – междисциплинарные исследования на морских стационарах», посвященной 75-летию Беломорской биологической станции МГУ (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27 февраля — 1 марта 2013 г.): Тезисы докладов.— М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013.— С. 270-274
14. Corner, G.D., Yevzerov, V.Y., Kolka, V.V., Møller, J.J., Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian–Russian border north of Nikel, northwest Russia. *Boreas* 28, 1999. P. 146–166.
15. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Д.Д. Последледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова /Сборник статей/. Редактор академик РАН Ф.П. Митрофанов – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2005.-С.15-25.
16. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене-голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба / Известия РАН. Серия географическая. 2013а, № 1, с. 73–88
17. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Арсланов Х.А. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на карельском берегу (район поселка Энгозеро, северная Карелия) / ДАН. – 2013б. – Т. 449, №5. – С. 587–592.
18. Романенко Ф.А., Шилова О.С. Последледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо/Доклады Академи Наук том 442, № 4, 2012, С. 544-548.
19. Воронов П. С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. М., "Наука", 1968. 122 с.
20. Шульц С.С. Планетарная трещиноватость (основные положения). — Планетарная трещиноватость. Л-д., Изд-во Ленинградского университета, 1973. С. 5-37.
21. Ekman, I., Iljin, V., Deglaciation, the Younger Dryas end moraines and their correlation in the Karelian A.S.S.R and adjacent areas. In: Rainio, H., Saarnisto, M. (Eds.), Eastern Fennoscandian End Moraines. Geological Survey of Finland, Guide, vol. 32, 1991, pp. 73–99.
22. Богданов Ю.Б., Якобсон К.Э., Амантов А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации (новая серия). Масштаб 1:1000000. Лист Q-(35)-37 (Кировск). Карта дочетвертичных образований. Под ред. Ю.Б. Богданова. ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2003.
23. Рыбалко А.Е., Федорова Н.К., Никитин М.А., Токарев М.Ю. Геодинамические процессы в Кандалакшском заливе Белого моря и их роль в формировании покрова современных осадков // Геология морей и океанов. Материалы XX Научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2013. Т. 3. С. 237–241.
24. Виноградов А.Н., Баранов С.В., Виноградов Ю.А., Асминг В.Э. Сейсмогенные зоны северной части Балтийского щита // Активные геологические и геофизические

- процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII международной конференции 18 – 23 сентября 2006 г. Воронеж: Изд. ВГУ.2006. Т. 1. С. 115-20.
25. Мараханов А.В., Романенко Ф.А. Новые данные о послеледниковых сейсмодислокациях Северной Карелии (Карельский берег Белого моря)/ Юдахинские чтения. Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в. Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием. Институт экологических проблем Севера Архангельск, 2014, с. 137-140
26. Пржиялговский Е.С., Моралев В.М., Балугев А.С., Ларин Н.В., Терехов Е.Н. Новые данные о структурном контроле даек среднепалеозойских щелочных пород Беломорского пояса.-Изв. вузов. Геология и разведка, 1996, № 5, с. 3–10.
27. Николаев Н.И. Неотектоника и сейсмичность Восточно-Европейской платформы // Изв. АН СССР, сер. географ., 1967, № 2. С. 13 27.
28. Лаврова М.А. Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова // Известия Всесоюзного Географического общества. 1947. Том 79. Выпуск 1. С. 21-38
29. Corner, G. D. and Haugane, E. 1993: Marine-lacustrine stratigraphy of raised coastal basins and postglacial sea-level change at Lyngen and Vanna, Troms, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 73, 175–197.
30. Lambeck, K., Chappell, J., 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *J. Science*, 292 (5517), 679-686. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1059549>
31. Baranskaya A.V., Khan N.S., Romanenko F.A., Roy K., Peltier W.R., Horton B.P. A postglacial relative sea-level database for the Russian Arctic coast. *Quaternary Science Reviews*, 2018, vol. 199, pp. 188–205. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.033>
32. Patton, H., Hubbard, A., Andreassen, K., Auriac, A., Whitehouse, P.L., Stroeven, A. Shackleton, C., Winsborrow, M., Heyman, J., Hall, A., 2017. Deglaciation of the Eurasian ice sheet complex. *Quat. Sci. Rev.*, Vol. 169 , 148-172. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.05.019>
33. Баранская А.В. Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий Российской Арктики. Дисс. на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.25 "Геоморфология и эволюционная география". СПб, 2015, 236 стр
34. Hijma, M.P., Engelhart, S.E., Tornqvist, T.E., Horton, B.P., Hu, P., Hill, D.F., 2015. A protocol for a geological sea-level database, in: Shennan, I., Long, A.J., Horton, B.P. (Eds.), *Handbook of Sea-level Research*. John Wiley & Sons, Ltd, New York, 536-553.
35. Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal. BP. *Radiocarbon*, Vol. 55, No. 4, 1869-1887. [http://dx.doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.55.16947](http://dx.doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16947)
36. Колька В.В., Корсакова О. П., Шелехова Т.С., Толстоброва А.Н. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе пос. Чупа (северная Карелия) // Вестник МГТУ. 2015. №2. С. 255-268
37. Dehls, J. F., Olesen, O., Olsen, L. & Harald-Blikra, L. 2000 Neotectonic faulting in northern Norway: the Stuoragurra and Nordmannvikdalen post-glacial faults/*Quaternary*

- Science Reviews 19 (14), 1447-1460
38. Peltier, W.R., Argus, D.F., Drummond, R., 2015. Space geodesy constrains ice age terminal deglaciation: the global ICE-6G\_C (VM5a) model. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120. <http://dx.doi.org/10.1002/2014JB011176>, 2014JB011176
39. Hughes, A.L.C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø.S., Mangerud, J., Svendsen, J.I., 2016. The last Eurasian ice sheets e.a. chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, Oslo, Vol. 45, 1-45. <http://dx.doi.org/10.1111/bor.12142>
40. Clason, C.C., Applegate, P.J., Holmlund, P., 2014. Modelling Late Weichselian evolution of the Eurasian ice sheets forced by surface meltwater-enhanced basal sliding. *J. Glaciol*, Vol. 60, No. 219, 29-40. <http://dx.doi.org/10.3189/2014JoG13J037>