

Кинематика Имандра-Колвицкого разлома в районе озера Среднее Лувеньгское (Кольский полуостров)

Бондарь И.В.^{1,2}, Гордеев Н.А.²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, bond@ifz.ru; gord@ifz.ru

² Институт географии РАН, Москва

Аннотация. В работе был проведен дистанционный тектонофизический анализ участка, площадью около 40 км², расположенного в пределах Имандра-Колвицкого разлома. Разлом имеет северо-западную ориентацию, прослеживается от оз. Бабинской Имандры до Умбинской губы. В исследуемом районе разлом сечет горный массив Лувеньгские тундры. Для определения кинематики разлома был применен структурно-геоморфологический метод реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Сим Л.А. В результате исследования определена кинематика разлома и составлена структурная схема горного массива Лувеньгские тундры. В дочетвертичное время разлом являлся левым сдвигом, а в неоплейстоцене и голоцене смещения по разлому поменялись на правосдвиговые. Также выделена субширотная зона растяжения севернее озера Средняя Лувеньга, для ее характеристики требуются дополнительные исследования.

Ключевые слова: поле напряжения, оси главных напряжений, мегатрещины, линеаменты, приразломные структуры, возраст тектонических движений.

Kinematics of the Imandra-Kolvitsky fault in the area of Lake Srednee Luvengskoye (Kola Peninsula)

Bondar I.V.^{1,2}, Gordeev N.A.²

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, bond@ifz.ru; gord@ifz.ru

² Institute of Geography RAS, Moscow

Abstract. In the work, a remote tectonophysical analysis of a site with an area of about 40 km² located within the Imandra-Kolvitsky fault was carried out. The fault has a north-western orientation, traced from the lake Babinskaya Imandra to Umbinskaya Bay. In the studied area, the fault cuts through the Luveng Tundra mountain range. To determine the kinematics of the fault, the structural-geomorphological method of reconstruction of strike-slip fault tectonic stresses was used by Sim L.A. As a result of the study, the kinematics of the fault was determined and a structural diagram of the Luveng Tundra mountain massif was compiled. In pre-Quaternary time, the fault was a left strike-slip fault, and in the Neo-Pleistocene and Holocene, the displacements along the fault changed to right-shift ones. A sublatitudinal stretching zone north of Lake Srednyaya Luvenga has also been identified, additional studies are required to characterize it.

Keywords: stress field, major stress axes, megatracks, lineaments, fault structures, age of tectonic movements.

Введение

Район исследования расположен в юго-восточной части Кольского полуострова, в районе Лувеньгских и Колвицких тундр (рис. 1). Имандра-Колвицкий разлом прослеживается на северо-запад через озерные котловины оз. Пинозера и оз. Бабинской Имандры, от западной оконечности которого замыкается в 10 км к северо-западу. К юго-востоку разлом трассируется вдоль западного побережья Колвицкого озера и далее по системе линейных котловин до Умбинской губы. Общая протяженность разлома достигает 150 км, а протяженность его в качестве единой неразрывной структуры от озера Имандра до оз. Колвица составляет около 100 км.

Разлом ориентирован в северо-западном направлении параллельно почти всем границам мегаблоков Кольского полуострова, в том числе Имандра-Варзугской шовной зоне. В северо-западном сегменте разлом проходит по Беломорскому мегаблоку, сложенному в этой части архейским комплексом основания: биотитовыми и амфиболовыми гнейсами, мигматитами, тоналито-гнейсами, гранодиорито-гнейсами и амфиболитами (Геологическая..., 2001). В юго-западном сегменте раз-

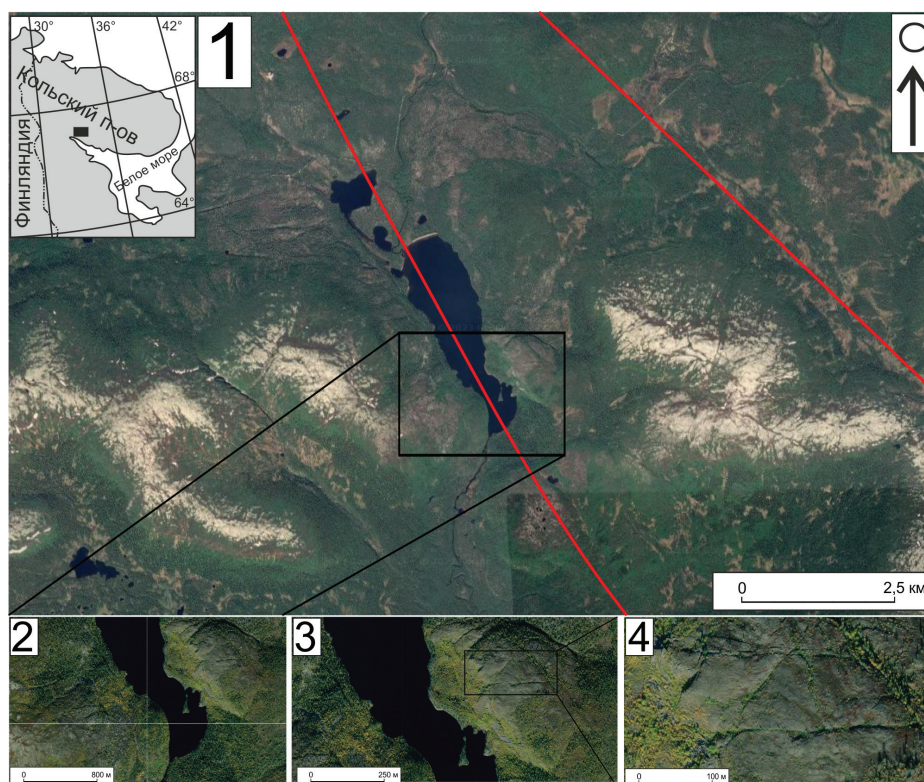


Рис. 1. Положение района исследования и пример разрешения космоснимка:

1 – космоснимок и простираение Имандра-Колвицкого разлома (красные линии); 2–4 – разрешение космоснимка в разном масштабе.

Fig. 1. The location of the research area and an example of the resolution of the satellite image:

1 – Satellite image and the extension of the Imandra-Kolvitsky fault (red lines); 2–4 – resolution of the satellite image at different scales.

лом сечет нижнепротерозойскую Колвицкую зону, состоящую из андезито-базальтов, амфиботитов по периферии, а в центральной части габбро-анортозитами, габбро, диоритами, местами гранулитами.

В статье анализируется юго-восточный сегмент разлома, пересекающий горный массив Лувеньгские тундры. По данным морфотектонического дешифрирования материалов дистанционного зондирования (Шварев и др., 2021) в пределах массива выделены линеаменты, по ряду признаков определенные как разрывные нарушения. Так, с запада и востока массив обрамлен транзитными нарушениями северо-западного простирания, которые рассекают массив на серию блоков шириной 3–5 км, а крупнейший из них делит массив на западную (Лувеньгские тундры) и восточную (Елки-Тундры) части. Именно это крупнейшее разрывное нарушение и является частью Имандра-Колвицкого разлома и анализируется в данной работе.

По данным (Николаева и др., 2020) определено, что в голоцене разлом активизировался не менее 3-х раз. Интенсивность последниковых землетрясений, судя по размерам первичных и вторичных сейсмогенных деформаций, могла достигать IX+ баллов. Определение кинематики Имандра-Колвицкого разлома дополнит важной информацией сеймотектонические исследования, определит наиболее перспективные участки для полевых работ.

Методика исследования и исходные данные

В работе использован структурно-геоморфологический метод Л.А. Сим (1991, 2000). Он основан на повсеместном распространении трещин и разрывов разного ранга в хрупкой части земной коры. При дешифрировании космических снимков, топографических карт или цифровых моделей рельефа наблюдаются небольшие спрямленные или слабоизвилистые участки рельефа, которые принимаются за трещины или «мегатрещины», в то время как крупные линеаменты принимаются за разрывные нарушения. В условном радиусе трети длины разрыва дешифрируются мегатрещины вдоль разрыва.

Михаилом Владимировичем Гзовским (Гзовский, 1975) опубликована работа, в которой он классифицировал мегатрещины на 8 возможных типов взаимного расположения вдоль разрыва. Каждый отдельный тип и, соответственно, положение трещин, соответствуют определенной кинематике разрыва. Таким образом, при использовании структурно-геоморфологического метода открывается возможность получения данных о кинематике разрыва, локальных стресс-состояний с направлением горизонтальных осей сжатия и растяжения, дополнительных условий сжатия или растяжения в локальных стресс-состояниях. Метод трудоемкий, поэтому он был автоматизирован для ускорения процесса реконструкции, создано программное обеспечение SimSGM. В работе (Гордеев, Молчанов, 2019) подробно описаны особенности автоматизации и принципы работы программы. Вкратце особенности программы заключаются в следующем. На языке python написан алгоритм обработки космических снимков и цифровых моделей рельефа, использующий методы компьютерного зрения. После обработки создается скелет, на котором выделены неоднородности рельефа. Далее по этому скелету происходит поиск мегатрещин и их последовательная классификация по Гзовскому. На финальном этапе полученные данные по локальным стресс-состояниям интерпретируются оператором. Также в программу были введены возможности построения роз-диаграмм, плотностей мегатрещин и поиска разрывов по плотностям мегатрещин (Гордеев, Молчанов, 2022).

В данной работе анализ напряженного состояния в программе проводился в полуавтоматическом режиме, мегатрещины дешифрировались вручную. В качестве основы для выделения мегатрещин использовались снимки разного масштаба.

По космоснимку, полученному из интернет-ресурса (mapbox.com), были выделены спрямленные участки рельефа, долин рек и ручьев, также выделялись трещины, хорошо видимые на снимке (рис. 1). Также для дешифрирования использовался ортофотоплан (рис. 2), полученный во время

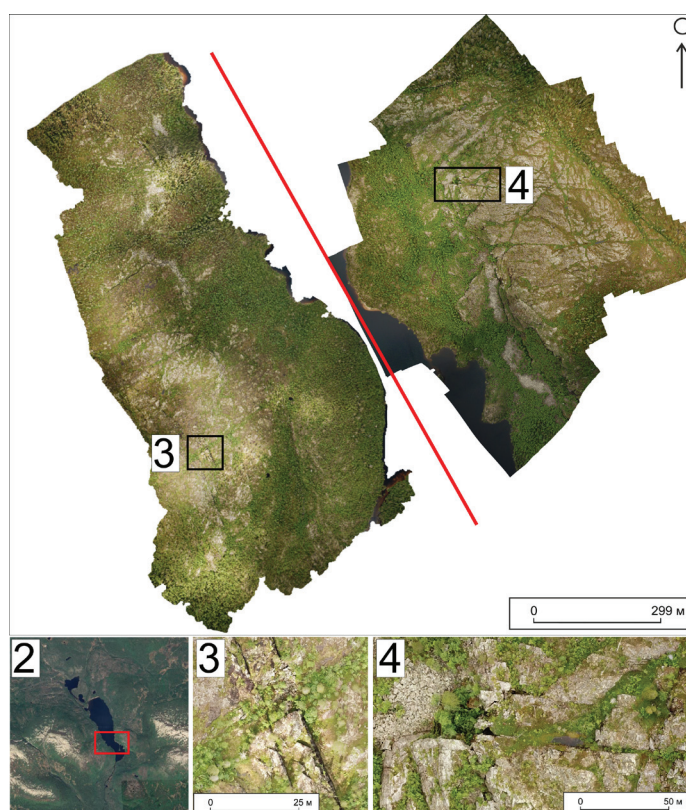


Рис. 2. Ортофотоплан, полученный с помощью съёмки квадрокоптером DJI Mavic Pro. 2 – местоположение участка съёмки на общем районе исследования, показано красным квадратом; 3, 4 – разрешение ортофотоплана в разном масштабе.

Fig. 2. Orthophotoplane obtained by shooting with a DJI Mavic Pro quadcopter. 2 – the location of the survey area on the general study area is shown in red square; 3, 4 – the resolution of the orthophotoplane at different scales.

полевых работ с помощью съёмки квадрокоптером DJI Mavic Pro с высоты 300–500 м над уровнем моря (Бондарь, Королева, 2021). По нему также выделялись трещины и спрямленные участки рельефа.

Результаты и обсуждение

В результате дешифрирования получено две схемы мегатрещин по космоснимку (рис. 3, А) и по ортофотоплану (рис. 3, Б). Мегатрещины, выделенные по космоснимку распределены по площади неравномерно. В центральной части наблюдается наибольшее сгущение, постепенно разреживающееся к периферии. Места отсутствия мегатрещин приурочены к болотистой либо сильно залесенной местности, в пределах которых мегатрещины не выражены. Протяженность мегатрещин различная: от первых десятков метров до 1 км. Преобладающей ориентировкой мегатрещин является северо-западное простирание, также просматриваются субширотный и небольшой северо-восточный максимумы. На ортофотоплане наблюдается равномерная плотность распределения мегатрещин по площади, за исключением нескольких участков, приуроченных также к болотистой или покрытой лесом местности. В основном мегатрещины короткие, длиной от первых метров до 200 м. Преобладающей ориентировкой мегатрещин является также северо-западное простирание, ближе к субмеридиональному. Северо-восточный и субширотный максимумы выражены хуже.

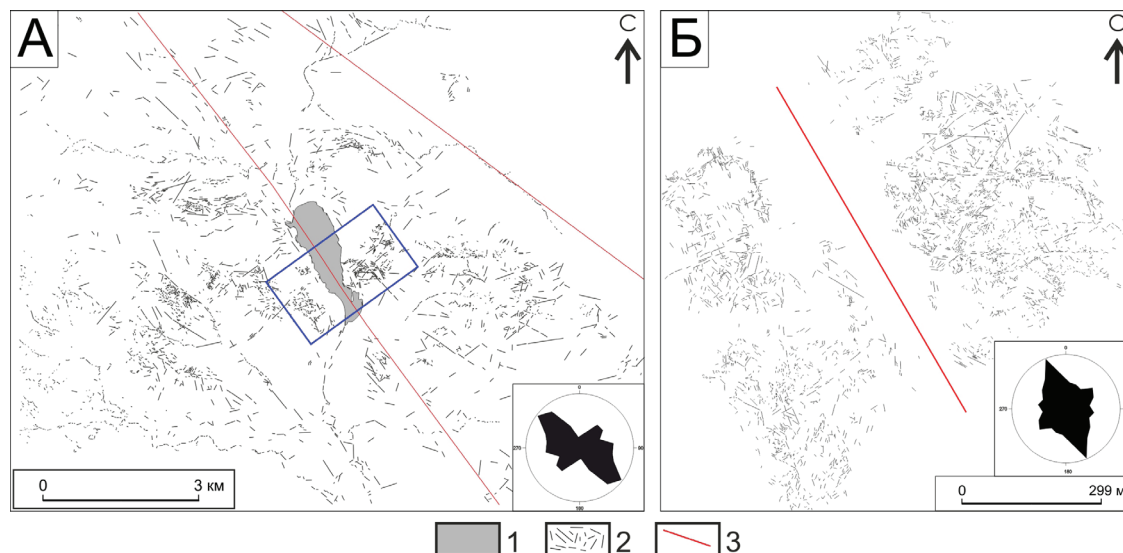


Рис. 3. Схемы дешифрированных линеаментов:

А – по космоснимку, Б – по ортофотоплану; 1 – границы озера Средняя Лувеньга; 2 – мегатрещины; 3 – Имандра-Колвицкий разлом. Синим квадратом показано положение ортофотоплана относительно космоснимка. На врезке показаны розы-диаграммы простирания мегатрещин.

Fig. 3. Schemes of deciphered lineaments:

А – by satellite image, Б – by orthophotoplane; 1 – borders of Lake Srednyaya Luvenga; 2 – megatracks; 3 – Imandra-Kolvitsky fault. The blue square shows the position of the orthophotoplane relative to the satellite image. The inset shows roses-diagrams of the stretching of megatracks.

В результате расчета в программе SimSGM получены оси главных напряжений (рис. 4). На протяжении всей длины изучаемой области разлома оси главных напряжений одинаково направлены (рис. 4, А) как в северо-восточном сегменте разлома, так и в юго-западном. Ось максимального сжатия ориентирована в запад-северо-западном направлении, а ось максимального растяжения – в север-северо-восточном. Такие ориентировки осей главных напряжений определяют смещения по разлому, представленными левым сдвигом. Ориентация осей соответствует преобладающему полю напряжения на Кольском полуострове (Сим, 2000).

В то же время севернее оз. Среднее Лувеньгское наблюдаются совсем другие ориентировки осей главных напряжений: ось максимального сжатия ориентирована субширотно, а ось максимального растяжения – субмеридионально. В этом же месте меняется характер рисунка мегатрещин:

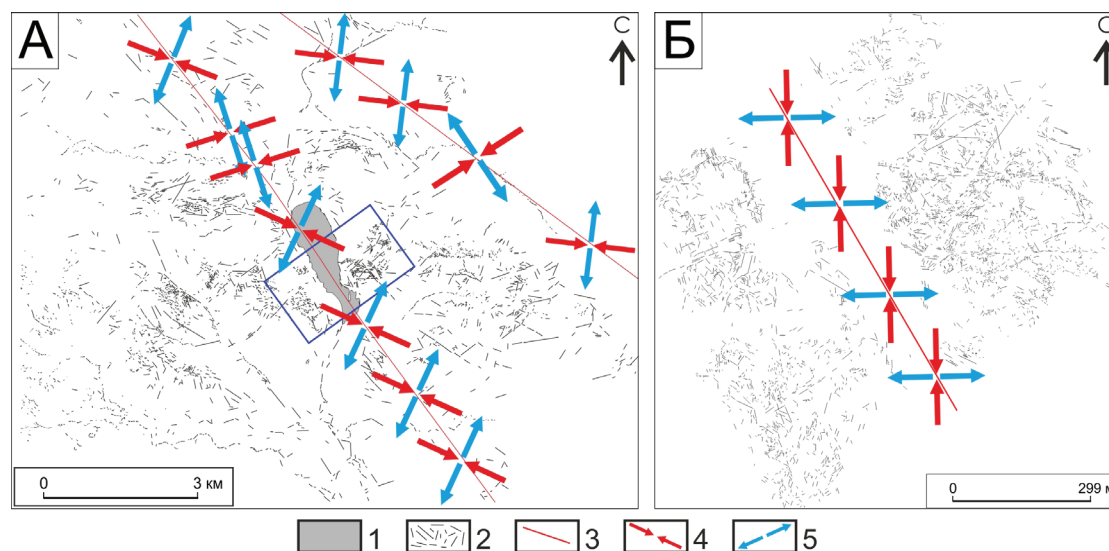


Рис. 4. Результаты реконструкции.

А – по космоснимку, Б – по ортофотоплану; 1 – границы оз. Средняя Лувеньга; 2 – мегатрещины; 3 – Имандра-Колвицкий разлом; 4–5 – оси главных напряжений: 4 – максимального сжатия, 5 – максимального растяжения. Синим квадратом показано положение ортофотоплана относительно космоснимка.

Fig. 4. Reconstruction results.

А – based on a satellite image, Б – based on an orthophotoplane; 1 – the boundaries of Lake Srednaya Luvenga; 2 – megatrends; 3 – Imandra-Kolvitsky fault; 4–5 – axes of main stresses: 4 – maximum compression, 5 – maximum stretching. The blue square shows the position of the orthophotoplane relative to the satellite image.

отсутствует хаотичность, все мегатрещины вытянуты в одном направлении, а между двумя разломами они плавно меняют свою ориентировку с северо-восточной на юго-западную. Авторы считают, что мегатрещины в данном случае маркируют некую зону растяжения, секущую разлом и имеющую свое поле напряжения, свою ориентировку осей главных напряжений и, соответственно, свой рисунок мегатрещин.

Положение осей главных напряжений при реконструкции по ортофотоплану кардинально отличается, от реконструкции по космоснимку (рис. 4, Б). Ось максимального сжатия четко субмеридиональная, а ось максимального растяжения – субширотная, это наблюдается вдоль всего изучаемого участка разлома. При такой ориентировке осей главных напряжений смещения по разлому являются праводвиговыми.

Вероятно, различие связано с возрастом реконструируемых напряжений. При дешифрировании мегатрещин по мелкомасштабному космоснимку выделяются в основном крупные протяженные линейные объекты, даже самые короткие мегатрещины будут не меньше 100 м в длину. Тогда как при дешифрировании по крупномасштабному ортофотоплану возможно увидеть трещины вплоть до 1 м. Поэтому сначала образовались приразломные структуры при леводвиговом смещении, а после смены поля напряжения и изменении движения по разлому на правый сдвиг, сформировалась новая трещиноватость, которая разукрупнила протяженные линейные объекты большего масштаба.

В работе (Колодяжный и др., 2019) подробно изучена Беломорско-Северодвинская зона сдвига в позднем протерозое и фанерозое, в том числе описана история тектонического развития. В эту зону попадает и исследуемый район. В работе указывается, что между девонским периодом и неоплейстоценом в пределах изучаемой территории преобладали леводвиговые смещения по разломам. В неоплейстоцене и голоцене произошла смена движений и стала преобладать праводвиговая кинематика смещений, что подтверждает вывод о более молодых мегатрещинах, дешифрируемых по ортофотоплану (рис. 5).

Выделенная субширотная зона растяжения требует дальнейших исследований, в том числе полевых.

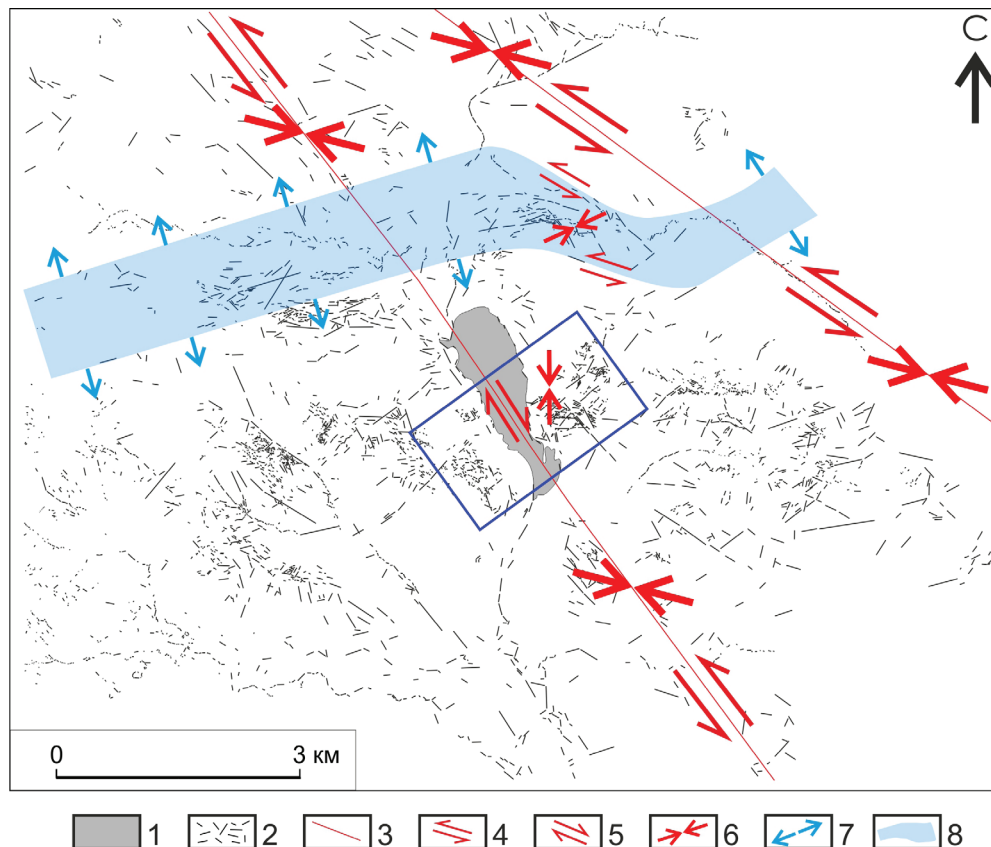


Рис. 5. Структурная схема горного массива Лувеньские тундры.

1 – границы озера Средняя Лувеньга; 2 – мегатрещины; 3 – Имандра-Колвицкий разлом; 4–5 – направление смещений по разлому: 4 – левосдвиговые, 5 – правсдвиговые; 6–7 – оси главных напряжений: 6 – максимального сжатия, 7 – максимального растяжения; 8 – границы субширотной зоны растяжения. Синим квадратом показано положение ортофотоплана относительно космоснимка.

Fig. 5. Structural diagram of the Luvengsky tundra mountain range.

1 – the boundaries of Lake Srednyaya Luvenga; 2 – megatracks; 3 – Imandra-Kolvitsky fault; 4–5 – the direction of displacements along the fault: 4 – left-thrust, 5 – right-thrust; 6–7 – the axes of the main stresses: 6 – maximum compression, 7 – maximum stretching; 8 – the boundaries of the sublatitudinal stretching zone. The blue square shows the position of the orthophotoplane relative to the satellite image.

Выводы

В ходе проведенных исследований получены следующие выводы:

1. В дочетвертичное время смещения по разлому были левосдвиговые при ориентировке оси максимального сжатия в северо-западном направлении.
2. В неоплейстоцене-голоцене смещения по разлому были правсдвиговые при ориентировке оси максимального сжатия в субмеридиональном направлении
3. Выделена субширотная зона растяжения, почти перпендикулярно секущая Имандра-Колвицкий разлом. Для ее характеристики требуются дальнейшие исследования

Благодарности

Авторы благодарят старшего научного сотрудника КНЦ РАН к. г.-м. н. Николаеву Светлану Борисовну за конструктивные советы и рекомендации, а также заведующего Лабораторией геоморфологии Института географии РАН Шварева Сергея Валентиновича за организацию и проведение полевых работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-27-00205, и в рамках Госзадания ИФЗ РАН.

Литература

4. Бондарь И.В., Королева А.О. Результаты исследований двух локальных районов в зоне влияния Имандра-Колвицкого разлома (Кольский полуостров) // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. Тезисы и программа конференции. М.: М., 2021. С. 15–15.
5. Геологическая карта Кольского полуострова. Масштаб 1 : 2 000 000 / ред. Митрофанова Ф.П. Апатиты: Геологический институт КНЦ РАН. 2001.
6. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
7. Гордеев Н.А., Молчанов А.Б. Автоматизация структурно-геоморфологического метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Л.А. Сим // Геоинформатика. 2019. № 2. С. 25–33.
8. Гордеев Н.А., Молчанов А.Б. Применение компьютерного зрения в изучении неотектоники Горного Алтая // Материалы всероссийской научной конференции Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов, посвященной 75-летию со дня рождения Е.А. Рогожина(1947–2021) и 115-летию со дня рождения В.В. Белоусова (1907–1990) / ред. А.О. Агибалов. Москва: Москва, 2022. С. 160–162. DOI: 10.21455/GSR_2022-10-27.
9. Колодяжный С.Ю., Балуев А.С., Зыков Д.С. Структура и эволюция северо-запада Беломорско-Северодвинской зоны сдвига в позднем Протерозое и Фанерозое (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника. 2019. № 1. С. 62–86. <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019162-86>.
10. Николаева С.Б., Толстобров Д.С., Вашков А.А. Палеосейсмогеологические исследования в европейской субарктике (Кольский регион): полевые экспедиционные работы 2018-2020 гг. // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Вып. 7. 2020. С. 129–133. doi:10.24411/2687-1092-2020-10719.
11. Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука, 2000. С. 326–350.
12. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1991. № 10. С. 3–22.
13. Шварев С.В., Николаева С.Б., Королева А.О. Морфологические проявления постледниковой сейсмической активности Имандра-Колвицкого активного разлома в Лувеньгской очаговой зоне (Мурманская область) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. Т. 18. С. 425–429.
14. <https://www.mapbox.com/maps>.