

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ЗАПАДНОГО БОРТА ВПАДИНЫ ОЗ. ИМАНДРА

И.В. Бондарь¹, Н.А. Гордеев¹, А.В. Маринин¹, В.В. Бондарь²

¹ - Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН

² - Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии

Район исследования расположен в Мурманской области, в центральной части Кольского полуострова, на западном борту впадины оз. Имандра, в 6 км от ближайшего берега озера (рис. 1). В данном районе около 20 лет назад была обнаружена унаследованная разломная зона [Николаева, 1993]. Эта зона представляет собой сейсморазрывы, образующие эшелонированную систему отдельных сегментов (азимут простирания 10-25°) протяженностью около 10 км.

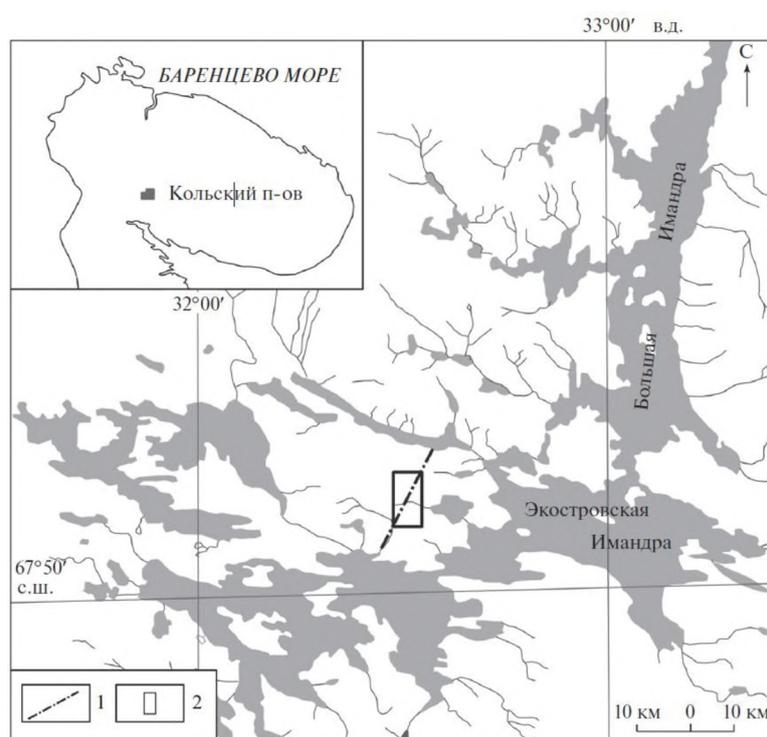


Рис. 1. Положение района исследования. 1 – разрывное нарушение, активизированное на неотектоническом этапе, 2 – участок исследований [Николаева, 2016]

Сейсморазрывы представляют собой узкие ущелья с острыми бортами, днища заполнены крупноглыбовым материалом. Характерной чертой разрывов является отсутствие водно-ледниковой обработки [Николаева, 2018]. В данной статье проводились исследования по центральной, наиболее выраженной в рельефе, части разрыва. Эта часть разрыва представляет собой ущелье длиной около 500 м, глубиной до 30 м и шириной до 40 м (рис. 2). Борта разрыва секут крупные трещины различного падения.

В геологическом отношении исследуемый район приурочен к восточной части позднеархейского Ёнского зеленокаменного пояса в ассоциации с фрагментами структур комплекса основания, претерпевшими значительные структурно-вещественные преобразования. Преобладающими породами являются биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы, мигматиты, гранито-гнейсы и пластообразные тела амфиболитов с редкими линзами "метакоматиитов". Данный район входит в состав Беломорского геоблока. Исследуемый разрыв сечет вкрест простирания субширотную гряду гранито-гнейсов позднего архея (лопия) [Пожиленко, 2002].

Данный разрыв был комплексно изучен в работах [Николаева, 2016; 2018] и довольно точно определено время его активизации в поздне- и послеледниковое время. Всего выделено три этапа сильных сейсмических воздействий: 13.5 тыс. лет назад, 10.3 – 7.1 тыс. лет назад и 2.5 тыс. лет назад. Активизация разлома выражалась землетрясениями с магнитудой $M=6$. Стоит отметить, что активизированный разрыв с такой сейсмичностью расположен всего в 12 км от Кольской АЭС.

Также в вышеуказанных работах методом Даниловича В.Н. [1961] определена кинематика разрыва: правый взбросо-сдвиг.

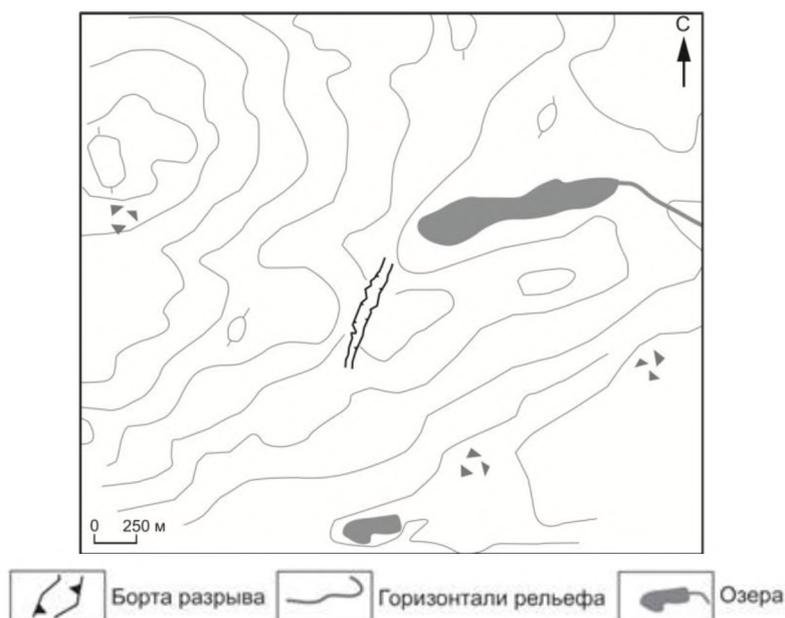


Рис. 2. План-схема изучаемого разрыва

В данной статье для изучения разрыва применяются структурно-геоморфологический метод Сим Л.А., метод катакластического анализа разрывных смещений Ребецкого Ю.Л. [1997, 1999, 2003] и структурно-парагенетический метод Расцветаева Л.М.

Структурно-геоморфологический метод реконструкции новейших сдвиговых тектонических напряжений Сим Л.А. [1991]. Он опирается на дешифрирование сгруппированных и ориентированных вдоль некоторых линий (направлений) форм и элементов рельефа и геологических структур, т.е. дешифрирование линеаментов или мегатрещин. Разработан программный пакет SimSGM [Гордеев, 2019], использующий методы компьютерного зрения и написанный на языке программирования python, который как наполовину, так и полностью позволяет автоматизировать СГ метод.

Метод катакластического анализа позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний: положение осей главных напряжений и коэффициент Лоде–Надаи [Ребецкий, 2003]. Реконструкция напряженно-деформированного состояния проводится по данным полевых замеров пространственной ориентировки трещиноватости, жил, отрывов, даек и зеркал скольжения. Для реконструкции используется программа *STRESSgeol*, разработанная в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН [Ребецкий и др. 2017, 2019]. Структурно-парагенетический метод применен для анализа систем тектонической трещиноватости разных кинематических типов с их объединением в устойчивые структурные ассоциации (парагенезы) [Расцветаев, 1987]. Малые разрывные нарушения, зеркала скольжения, отрывы, жилы и другие, используемые в данном методе геологические стресс-индикаторы, несут информацию о разных этапах деформирования.

Дешифрирование линеаментов проводилось по космоснимку, взятому с сайта www.google.ru/maps. Термин «линеамент» в статье понимается, как линии резкого (градиентного) изменения географической среды, геологического строения и геофизических полей [Полетаев, 2001]. В конкретном случае использовалось только резкое изменение географической среды – что хорошо выражено на космоснимках.

Всего было выделено 44 линеамента в пределах двухсот метров от линии разрыва. Длина линеаментов примерно одинаковая – около 50 метров, часть линеаментов имеет длину 25 метров, есть несколько единичных коротких линеаментов длиной примерно 10 м. Выделенные линеаменты образуют три максимума: северо-западный 310° , субширотный 90° (линеаменты этого направления преобладают), субмеридиональный 0° и северо-восточный ($30^\circ - 40^\circ$) (рис. 3).

Замеренные в бортах разрыва трещины образуют 4 максимума (по азимуту простирания): северо-восточный 40° , субмеридиональный 0° , субширотный 80° и северо-западный 310° (рис. 3).

Таким образом, простирание выделенных по космоснимку линеаментов и простирание замеренных в бортах разрыва трещин практически совпадает, что говорит, во-первых, о правильности и адекватности выделенных линеаментов, а во-вторых, о том, что линеаменты в данном случае тождественны наблюдаемым в бортах разрыва трещинам.

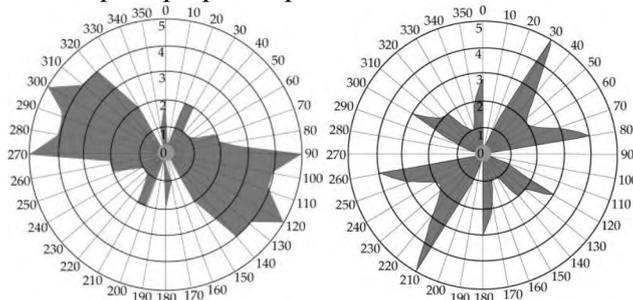


Рис. 3. Слева роза-диаграмма простирания линеаментов, справа роза-диаграмма простирания замеренных в бортах разрыва трещин

В результате расчета программой SimSGM на всем протяжении разрыва фиксируется юго-западное – северо-восточное сжатие и северо-западное – юго-восточное растяжение. Кинематика разрыва определена как правый сдвиг (рис. 4).

В ходе полевых исследований сотрудниками Института физики Земли РАН и Кольского научного центра ГИН РАН на территории Кольского полуострова в 2012 году был собран материал по пространственной ориентировке геологических стресс-индикаторов. В том числе было проведено замеры в пределах исследуемого разрыва, сделаны три точки наблюдения. Две точки наблюдения находятся восточнее разрыва на 400 м и 1200 м (т.н. 12404 и т.н. 12403 соответственно). Одна точка поставлена непосредственно в нем (т.н. 12405) (рис. 5).

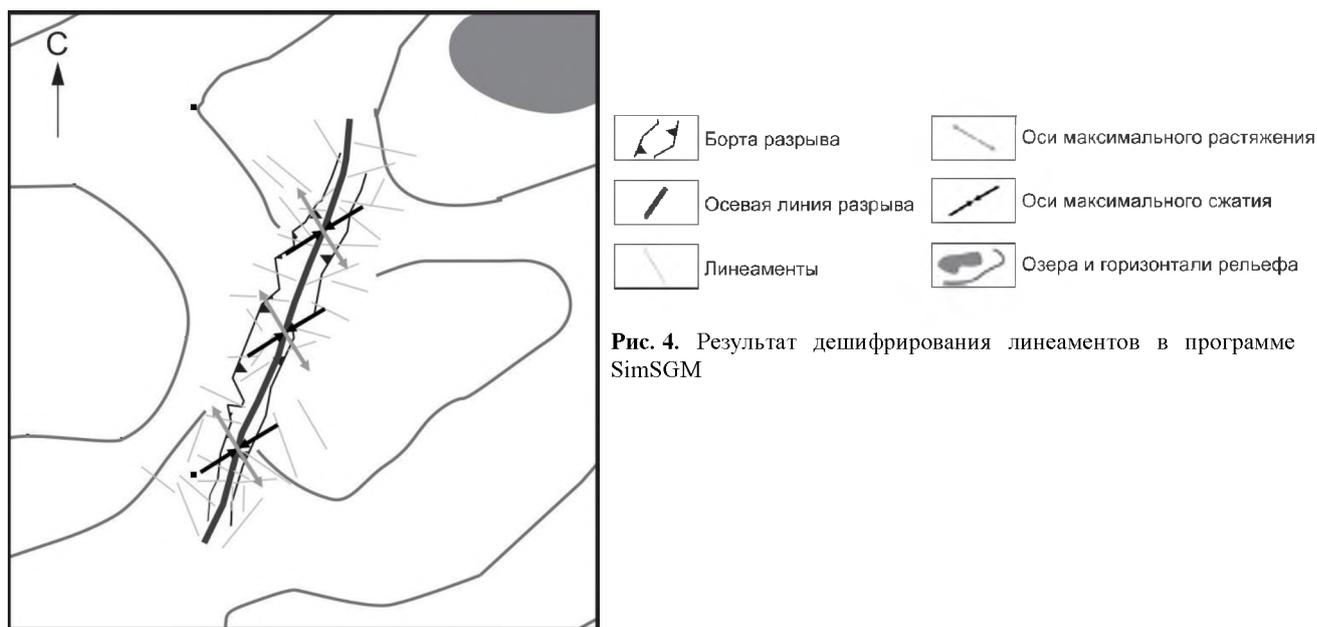


Рис. 4. Результат дешифрирования линеаментов в программе SimSGM

Замеры, полученные в этих точках были обработаны в программе STRESSGeol и было получено три локальных стресс-состояния. В точках вне разрыва ось максимального сжатия ориентирована практически субширотно, с пологим погружением на запад (т.н. 12403) и на восток (т.н. 12404). Ось максимального растяжения ориентирована субмеридионально с погружением на юг и на север. В разрыве же ориентировка осей резко отличается: ось максимального сжатия ориентирована диагонально с погружением на северо-запад, а ось максимального растяжения погружается на северо-восток.

Однако такое положение осей максимального сжатия и максимального растяжения противоречит кинематике разрыва. При таком падении (280°) ось максимального сжатия должна быть ориентирована с юго-запада на северо-восток (рис. 6). Вероятнее всего, что рассчитанные оси локальных стресс-состояний вне разлома (т.н. 12403 и 12404) показывают некое древнее поле напряжения. Северо-западная ориентировка оси максимального сжатия в точке 12405 либо

рассчитана неправильно по причине крайне малого количества замеров зеркал скольжения, либо это следы преобладающего в центральной части Кольского полуострова поля напряжения [Сим, 2011; Бондарь, 2019].

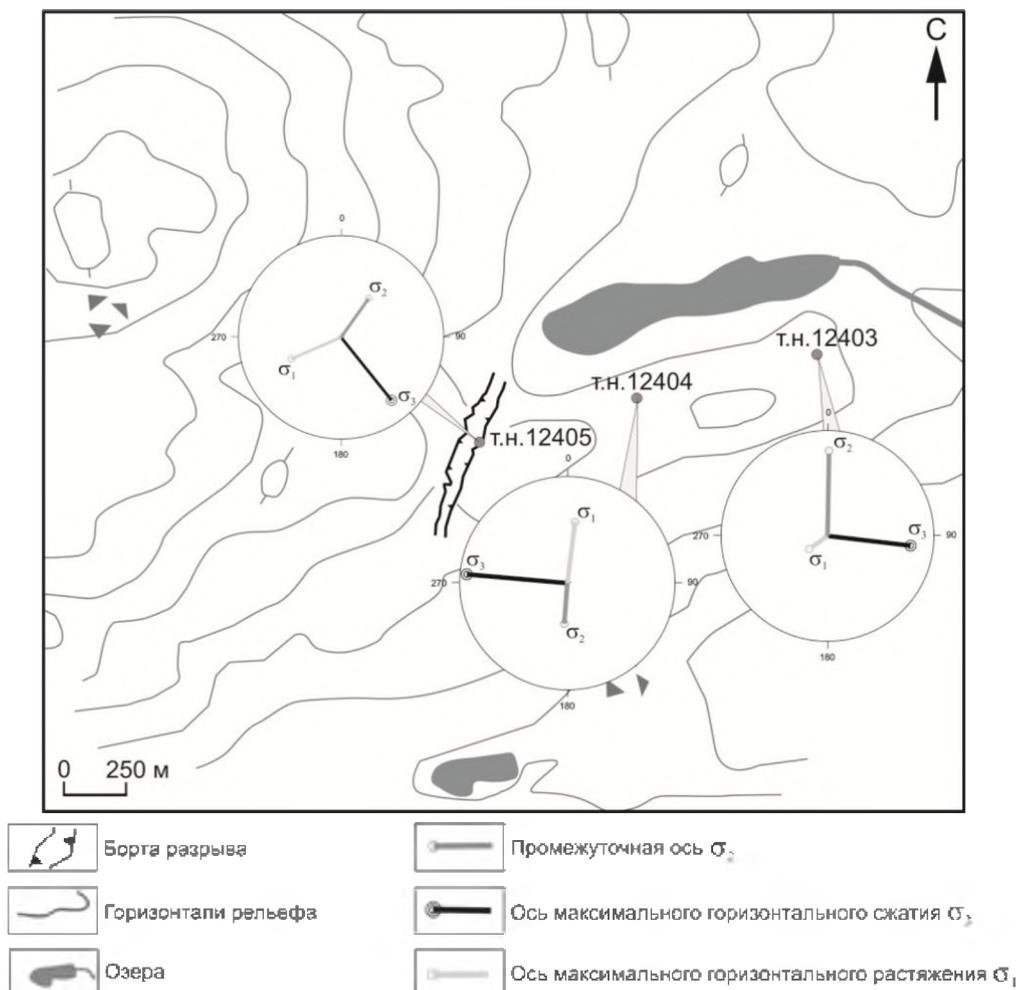


Рис. 5. Расположение точек наблюдения и диаграммы рассчитанных осей напряжения методом катакlastического анализа. Стереографическая проекция на верхнюю полусферу

Интересно, что северо-восточная ориентировка осей максимального сжатия практически не фиксируется в центральной части Кольского полуострова. Учитывая, что исследуемый разрыв очень «молодой» (последнее крупное землетрясение произошло 2.5 тыс. лет назад), можно предположить, что в поздне- и постледниковье на Кольском полуострове по древним разломам и трещинам стали активизироваться движения, отвечающие северо-восточному сжатию.

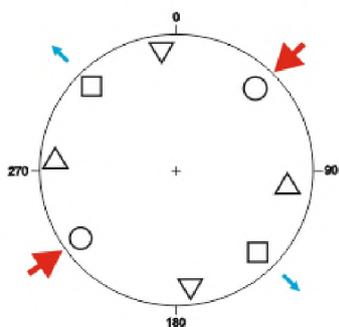


Рис. 6. Идеализированная схема расположения пространственной ориентировки полюсов плоскости зеркал скольжения при северо-восточном сжатии. Стереографическая проекция на верхнюю полусферу

Выводы. Исследуемый в данной работе разрыв представляет собой очень важный и интересный объект. Он находится на западном борту впадины оз. Имандра всего в 12 км от Кольской АЭС.

Разрыв активизировался в поздне- и постледниковье, этому сопутствовало три крупных землетрясения магнитудой $M = 6$.

В ходе проведенных исследований структурно-геоморфологическим методом Сим Л.А. с помощью программного обеспечения SimSGM была подтверждена кинематика разрыва – правый сдвиг (или правый взбросо-сдвиг). Полученные методом катакластического анализа и структурно-парагенетическим методом результаты неоднозначны по причине скудости исходных полевых замеров. Замеры пространственной ориентировки геологических стресс-индикаторов необходимо провести тщательнее как в самой зоне разрыва, так и по возможности с запада, севера и юга.

Также стоит отметить, что для активизации разлома с такой кинематикой ось максимального сжатия должна быть ориентирована в северо-восточном направлении. В центральной части Кольского полуострова такая ориентировка оси максимального сжатия практически не фиксируется. Возможно, в поздне- и постледниковье на Кольском полуострове по древним разломам и трещинам стали активизироваться движения, отвечающие северо-восточному сжатию, следы которых еще пока мало изучены.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондарь И.В., Маринин А.В.* Напряженное состояние земной коры Хибинского массива и его обрамления. Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН. Тезисы. 2019. С. 20.
2. *Гордеев Н.А., Молчанов А.Б.* Автоматизация структурно-геоморфологического метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Л.А. Сим // Геоинформатика. Моделирование геобъектов и геопроцессов. 2019. (2). С. 25-33.
3. *Данилович В.Н.* Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск, Изд-во ИПИ. 1961. 47 с.
4. *Николаева С.Б.* В сб.: Четвертичные отложения и новейшая тектоника ледниковых областей Восточной Европы. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 1993. С. 69-81.
5. *Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В., Родкин М.В.* Комплексные палеосейсмогеологические исследования на ключевом участке в юго-западной части Кольского полуострова (северо-восток Фенноскандинавского щита) // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469. С. 199-203.
6. *Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В., Родкин М.В.* Детальные палеосейсмогеологические исследования в бортовой зоне впадины оз. Имандра (Кольский регион): новые подходы и результаты. Геология и геофизика. 2018. Т. 59 (6). С. 866-880.
7. *Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.* Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2002. 359 с.
8. *Полетаев А.И.* Линеаментный метод // Экологический вестник. 2001. (3). С. 12-28.
9. *Расцветаев Л.М.* Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений. Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР. 1987. Ч. 2. С. 173-235.
10. *Ребецкий Ю.Л.* Реконструкция тектонических напряжений и сеймотектонических деформаций: методические основы, поле современных напряжений Юго-Восточной Азии Океании // Доклады РАН. 1997. Т. 354, № 1. С. 101-104.
11. *Ребецкий Ю.Л.* Методы реконструкции тектонических напряжений и сеймотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Доклады РАН. 1999. Т. 365, № 3. С. 392-395.
12. *Ребецкий Ю.Л.* Напряженно-деформированное состояние и механические свойства природных массивов по данным о механизмах очагов землетрясений и структурно-кинематическим характеристикам трещин // Дис. док. физ.мат. наук. М.: Изд. ОИФЗ. 2003. 455 с.
13. *Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В.* От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М.: ГЕОС. 2017. 234 с.
14. *Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В., Сим Л.А.* Проблема интерпретации результатов тектонофизической реконструкции палеонапряжений и возможные пути ее решения // Геология и геофизика. 2019. Т. 60 (6). С. 860-880.
15. *Сим Л.А.* Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1991. (10). С. 3-22.
16. *Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В.* Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2 (3). С. 219-243.