

Особенности новейшей тектоники южной части Хибинского массива по тектонофизическим данным

Бондарь И.В., Маринин А.В.

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

Аннотация. На основании большого количества замеров пространственной ориентировки зеркал скольжения методом катакластического анализа разрывных смещений Ребецкого Ю.Л. реконструированы локальные стресс-состояния южной части Хибинского массива. Выяснено, что в центральной части массива преобладают обстановки горизонтального сжатия, а на периферии массива – обстановки горизонтального сдвига и горизонтального растяжения. Однако предполагается, что зафиксированные зеркала скольжения, на основании которых проведена реконструкция главных осей напряжения, сформировались в несколько этапов деформирования пород. Геодинамический тип напряженного состояния в этих частях массива в процессе деформирования оставался постоянным.

Ключевые слова: Хибинский массив, зеркала скольжения, локальное стресс-состояние, напряжения, деформации, новейшая тектоника, тектонофизика.

Features of the neotectonics of the southern part of the Khibiny massif according to tectonophysical data

Bondar I.V., Marinin A.V.

Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow, bond@ifz.ru

Abstract. Based on numerous measurements of the spatial orientation of glide planes by the method of the cataclastic analysis of discontinuous displacements of Rebetsky Yu.L., local stress states on the southern part of the Khibiny massif were reconstructed. It was found out that conditions of horizontal compression prevail in the central part of the array, and conditions of the horizontal shear and horizontal stretching prevail on the periphery of the array. However, it is assumed that the fixed glide planes, which were used to reconstruct the main stress axes, were formed at several stages of rock deformation. The geodynamic type of the stressed state does not change at the same time.

Keywords: Khibiny massif, glide planes, local stress state, deformations, neotectonics, tectonophysics.

Введение

Район исследования расположен на Кольском полуострове, приурочен к интрузивному Хибинскому массиву палеозойского возраста. В пределах массива разрабатываются месторождения апатит-нефелиновых руд мирового масштаба. Одна из проблем, с которой сталкиваются при разработке этих месторождений, является проблема избыточных горизонтальных напряжений. Такие напряжения существенно повышают вероятность возникновения горных ударов в подземных выработках (Ловчиков, 2008). Избыточные горизонтальные напряжения напрямую связаны с развитием Хибинского массива в новейшее время, в связи с чем требуется изучение напряженно-деформированного состояния горных пород, в первую очередь тектонофизическими методами.

Материалы и методы

Реконструкция напряженно-деформированного состояния проводится по данным полевых замеров пространственной ориентировки трещиноватости, жил, отрывов, даек и зеркал скольжения. Замеры проводились в естественных обнажениях, карьерах и подземных горных выработках. Для реконструкции используется метод катакластического анализа разрывных смещений (Ребецкий и др., 2017), которая производится в программе STRESSgeol. Метод катакластического анализа разрывных смещений позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний: положение осей главных напряжений и коэффициент Лоде–Надаи.

Также в работе применен структурно-парагенетический метод Расцветаева Л.М. (1987). В нем малые разрывные нарушения, зеркала скольжения, отрывы, жилы и другие геологические стресс-

индикаторы несут информацию о разных этапах деформирования. Иногда на одной плоскости трещины фиксируются два зеркала скольжения – два направления штриховки разной кинематики, которые не могли образоваться в один этап деформации. При анализе подобных зеркал скольжения можно определить относительный возраст реконструируемых локальных стресс-состояний.

Результаты и обсуждение

По результатам реконструкции методом катакlastического анализа разрывных смещений получено 26 локальных стресс-состояний (рис. 1).

Направления осей главных напряжений не имеют четкой закономерности. В восточной части Хибинского массива фиксируется северо-восточное, северо-западное и субширотное направление

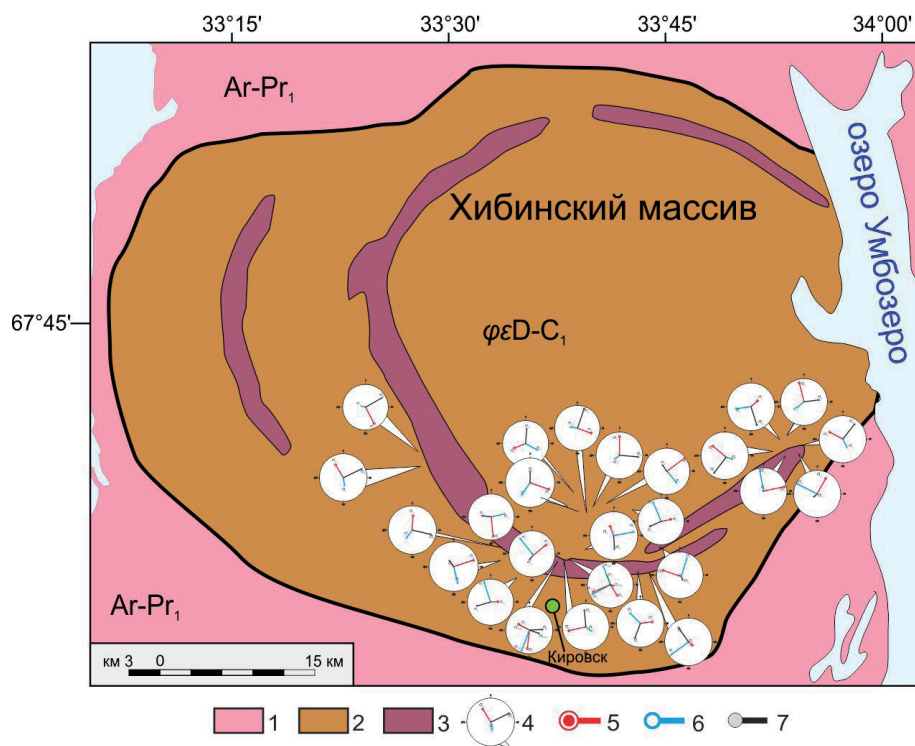


Рис. 1. Распределение реконструированных методом катакlastического анализа локальных стресс-состояний в южной части Хибинского массива.

1 – вмещающие породы архей-протерозойского возраста; 2-3 – породы Хибинского массива: 2 – фойяиты, хибиниты, рисчорриты, 3 – Щелочно-ультрамафитовая серия или фойдолиты (ийолит-уртитовая дуга); 4 – реконструированные локальные стресс-состояния и их точное положение (построения на верхнюю полусферу.); 5-7 – оси главных напряжений: 5 – ось максимального сжатия, 6 – ось максимального растяжения, 7 – промежуточная ось.

Fig. 1. Distribution of local stress-strain settings in the southern part of the Khibiny massif, as reconstructed by the cataclastic analysis.

1 – Archaean-Proterozoic country rocks; 2-3 – rocks of the Khibiny massif: 2 – foyaites, khibinites, rischorrites, 3 – alkaline-ultramafic series or foidolites (ijolite-urtite arc); 4 – reconstructed stress-strain settings and their accurate location (constructed on the top semi-sphere.); 5-7 – axes of main stresses: 5 – axis of the maximum compression, 6 – axis of the maximum extension, 7 – intermediate axis.

оси максимального сжатия; ось максимального растяжения либо вертикальна, либо ориентирована в северо-западном и субмеридиональном направлении. В южной части массива направление осей главных напряжений разнообразно. Зафиксированы оси максимального сжатия в субмеридиональном, субширотном, северо-восточном и северо-западном направлениях при разном угле погружения от субгоризонтального до субвертикального. Такие же ориентировки имеет и оси максимального растяжения. В целом по массиву несущественно преобладает северо-западное сжатие (рис. 2).

Преобладания какого-либо направления оси максимального растяжения и промежуточной оси практически не наблюдается.

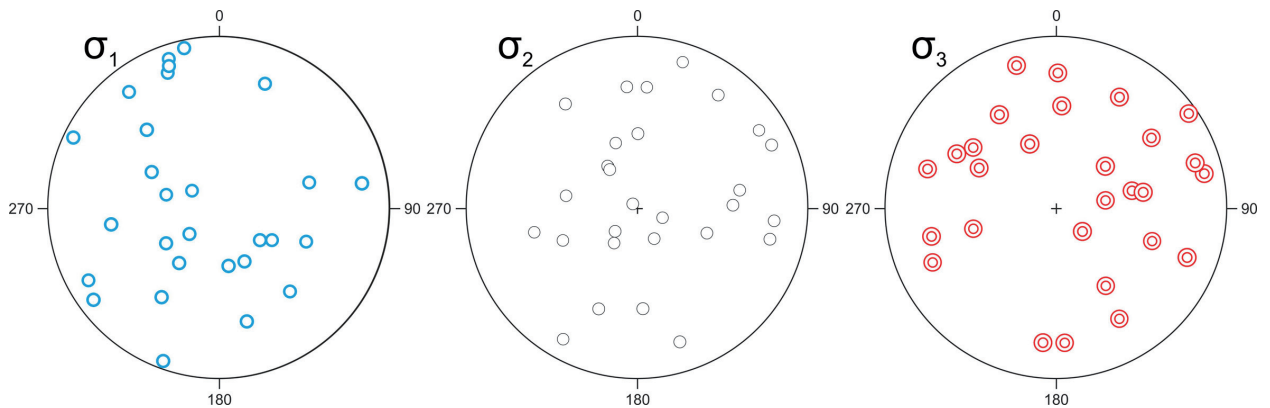


Рис. 2. Суммарные диаграммы (стереографическая проекция верхней полусферы), на которых показаны выходы осей главных напряжений. σ_1 – оси максимального растяжения; σ_2 – промежуточные оси; σ_3 – оси максимального сжатия.

Fig. 2. Sum patterns (stereographic projection of the top semi-sphere), showing emergences of the main stresses axes. σ_1 – axes of the maximum extension; σ_2 – intermediate axes; σ_3 – axes of the maximum compression.

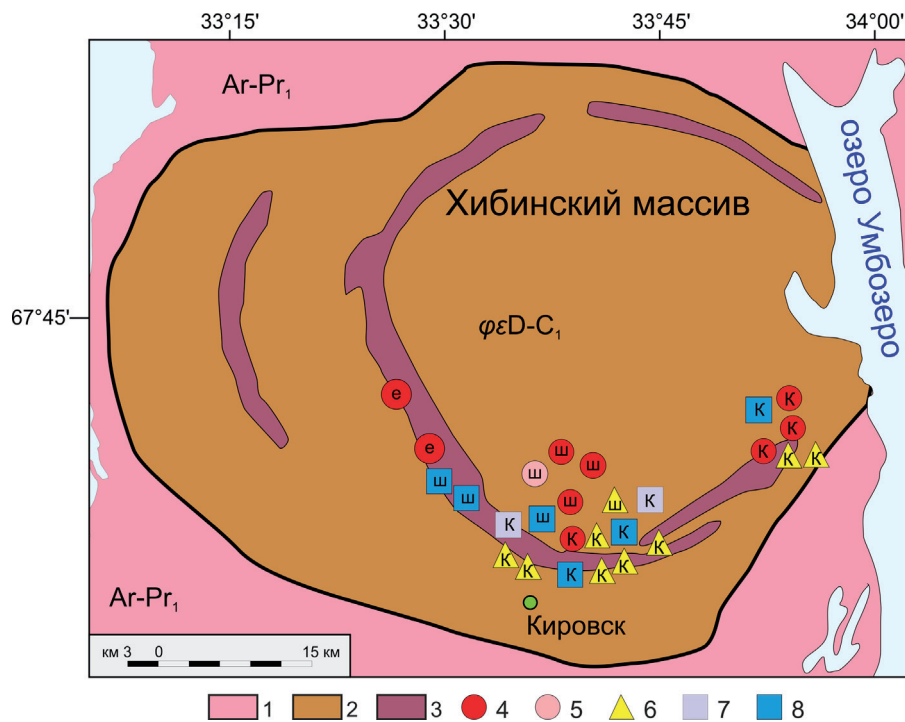


Рис. 3. Распределение геодинамических типов в южной части Хибинского массива, полученные на основании замеров зеркал скольжений в естественных обнажениях (е), подземных горных выработках (ш) и карьерах (к). 1 – вмещающие породы архей-протерозойского возраста; 2-3 – породы Хибинского массива: 2 – фойяиты, хибиниты, рисчорриты, 3 – щелочные ультрамафиты (ийолит-уртитовая дуга); 4-8 – геодинамические типы: 4 – горизонтального сжатия, 5 – горизонтального сжатия со сдвигом, 6 – горизонтального сдвига, 7 – горизонтального растяжения со сдвигом, 8 – горизонтального растяжения.

Fig. 3. Distribution of geodynamic types in the southern part of the Khibiny massif obtained by measuring glide planes in natural outcrops (e), underground mines (ш) and quarries (к). 1 – Archaean-Proterozoic country rocks; 2-3 – rocks of the Khibiny massif: 2 – foyaites, khibinites, rischorrites, 3 – alkaline-ultramafic series or foidolites (ijolite-urtite arc); 4-8 – geodynamic types: 4 – horizontal compression, 5 – horizontal compression with displacement, 6 – horizontal displacement, 7 – horizontal extension with displacement, 8 – horizontal extension.

По сравнению с меняющимися по азимуту погружения ориентировками осей главных напряжений более устойчив и информативен тип напряженного состояния, определяемый по положению осей на зенит. При таком рассмотрении реконструированных локальных стресс-состояний выявляется закономерность (рис. 3). В центральной части массива преобладают геодинамические типы горизонтального сжатия, а по периферии массива – горизонтального сдвига и горизонтального растяжения. Подобные результаты приведены в работах Жирова Д.В. (Жиров и др., 2018): массив разбивается по типу протрузивного поднятия приповерхностной центральной части с одновременным смещением от центра к периферии в радиальном направлении за счет разгрузки остаточных горизонтальных напряжений (Козырев и др., 1998).

Анализ зеркал скольжения с двумя ориентировками борозд на одной плоскости с помощью структурно-парагенетического метода показал многоэтапное развитие Хибинского массива. В это время деформации горных пород оставляли следы в виде зеркал скольжения и изменяли свое направление в зависимости от характеристик поля напряжений. Соответственно, подвижки по имеющимся зеркалам скольжения стирали следы прошедших смещений, оставляя новые.

Этим объясняется хаотичное расположение главных осей напряжения в пределах небольшого участка массива. Зеркала скольжения, зафиксированные нами, образовались не в один этап деформации, следовательно реконструированные главные оси напряжения также имеют различный возраст.

Однако, несмотря на поэтапную смену полей напряжений и изменение географического положения главных осей напряжения, ориентировка этих осей относительно горизонта подчиняется общей картине развития массива: в центре массива оси максимального сжатия полого погружаются, а оси максимального растяжения вертикальны. На периферии массива ситуация обратная.

Выводы

Распределение геодинамических типов локальных стресс-состояний закономерно: в центре Хибинского массива преобладает геодинамический тип горизонтального сжатия, на периферии – геодинамические типы горизонтального растяжения и горизонтального сдвига.

Также предполагается, что полученные локальные стресс-состояния имеют различный возраст и образовались в разные этапы деформирования. Точное количество этапов определить пока невозможно, как и относительный возраст полученных деформаций, произошедших в том или ином поле напряжений.

Несмотря на разную ориентировку осей главных напряжений, приуроченных к определенному этапу развития массива, геодинамический тип напряженного состояния при этом не меняется.

Исследование проведено в рамках Госзадания ИФЗ РАН.

Литература

1. Жиров Д.В., Маринин А.В., Жирова А.М., Сим Л.А. Неотектоника южной части Хибинского массива: результаты комплексной интерпретации противоречивых явлений // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН 2018. Апатиты. Изд-во: ФИИ КНЦ РАН. 2018. С. 140–143 с.
2. Козырев А.А., Панин В.И., Иванов В.И., Савченко С.Н. и др. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН. 1996.
3. Ловчиков А.В. Горно-тектонические удары на Ловозерском редкометалльном месторождении // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11. № 3. С. 385–392.
4. Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М. Изд-во: ГИН АН СССР. 1987а. С. 173–235.
5. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. Москва. Изд-во: ГЕОС. 2017. 225 с.