

Рисунок 8 – Микрофотография SEM обр. № 66
Разная устойчивость вкрапленников в зоне метасоматоза.

Заключение. В результате рассмотрения микроструктуры и микротекстуры фотографий SEM выявлено, что рудные минералы состоят из тяжёлых химических элементов (лантаноидов и U). Рудные минералы – дисперсные и не образуют крупных кристаллов. Рудная минерализация приурочена в основном к системам микротрещин в зонах дробления диабазов.

Библиографические ссылки

1. Экологический портал Республики Беларусь. Бериллий и редкоземельные элементы [Электрон. ресурс]. URL: ecportal.gov.by/nedra/mineralno-syrevaya-baza/perspektivnye-poleznye-iskopaemye/berilliy-i-redkozemelnye-elementy (дата обращения: 17.11.2021).

УДК 552.2

РАЗРАБОТКА АТЛАСА ЦИФРОВЫХ МИКРОФОТОГРАФИЙ ШЛИФОВ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ I-51 01 01 «ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫ»

Е. А. Тойбнер, Л. Р. Федотова

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; manul1994@mail.ru

На современном этапе развития цифровой петрографии появилось новое направление – виртуальная петрография, открывающее возможности в сфере университетского образования для геологи-

ческих специальностей. В данной статье представлена информация о разработке цифрового атласа горных пород Восточной Антарктиды (Холмы Тала).

Ключевые слова: цифровая петрография; микроизображения плагиогнейсов, чарнокитов, эндербитов, рапаквивоподобных чарнокитов; Восточная Антарктида; Холмы Тала.

At the current stage of development of digital petrography a new direction has appeared – virtual petrography, that is opening opportunities in the field of university education for geological specialties. This article presents information about the development of a digital atlas of rocks of East Antarctica (Tala Hills).

Key words: digital petrography; microimages of plagiogneisses, charnockites, enderbites, rapakivi-congruent charnockites; East Antarctica; Tala Hills.

Введение. Цифровые микроизображения высокого разрешения позволяют не только без потери качества визуализировать шлифы, но и также демонстрировать кристаллооптические свойства минералов и структурно-текстурные особенности различных горных пород. Разработки веб-ресурсов с подобными материалами ведутся ведущими университетами мира на протяжении последнего десятилетия. Например, британский интернет-ресурс Virtual microscope был запущен в 2012 г. с целью обучения студентов специальностей наук о Земле (Earth Sciences), тем самым открыв доступ к образовательным и уникальным коллекциям горных пород, хранящихся в музеях, университетах и других учреждениях по всему миру [1]. Подобные ресурсы знакомят новые поколения студентов, преподавателей и энтузиастов с петрографией, дают возможность изучить методическую и инструментальную базы науки, предоставляя не только статичные, но и динамические петрографические изображения.

Учебные коллекции горных пород Белорусского государственного университета включают более 400 шлифов, большинство из которых исследованы методами цифровой петрографии и используются в учебном процессе дисциплин: кристаллооптика; петрография магматических пород; петрография метаморфических пород. Одной из крупнейших коллекций является коллекция Белорусской антарктической экспедиции (БАЭ) 2008–2009 гг., насчитывающая 88 образцов пород докембрийского кристаллического фундамента, которые были отобраны на территории горы Вечерняя (Холмы Тала западной части Земли Эндерби Восточной Антарктиды) и, после окончания научных исследований, переданы БГУ (г. Минск) для использования в учебном процессе и научных работах студентов и аспирантов. На рис. 1 отображена территория исследования на основе цифровой модели рельефа REMA (The Reference Elevation Model of Antarctica) с маршрутами и точками наблюдения (т. н.).

Методы. Исследование горных пород проводится при помощи цифрового микроскопа Nikon Ni-E, в комплектацию которого входят объективы серии CFI Plan Achromat Lambda, камера серии DS-Fi2, моторизованный столик H101A ProScan, контроллер PS3J100 Interactive Control Center (ICC). Данная комплектация микроскопа позволяет проводить съёмку шлифов при разных увеличениях в проходящем свете без анализатора и в скрещенных николях; создавать мультимедийные файлы исследования шлифов горных пород для целей дистанционного обучения (виртуальной петрографии), создавать мозаичные цифровые микрофотографии шлифов горных пород и др.

Цифровой микроскоп с моторизованным столиком, в отличие от обычных моделей, позволяет произвести «покадровую» съёмку всей исследуемой площади шлифа, независимо от его размера и поля зрения объектива, и составить общее мозаичное изображение. На рис. 2 представлен пример образца, не входящего в коллекцию, – мозаика шлифа амфиболита, состоящая из 37 тайлов. Разрешение изображения составляет $9\,268 \times 16\,321$ пикселя, а общий размер файла – 265 Мб.

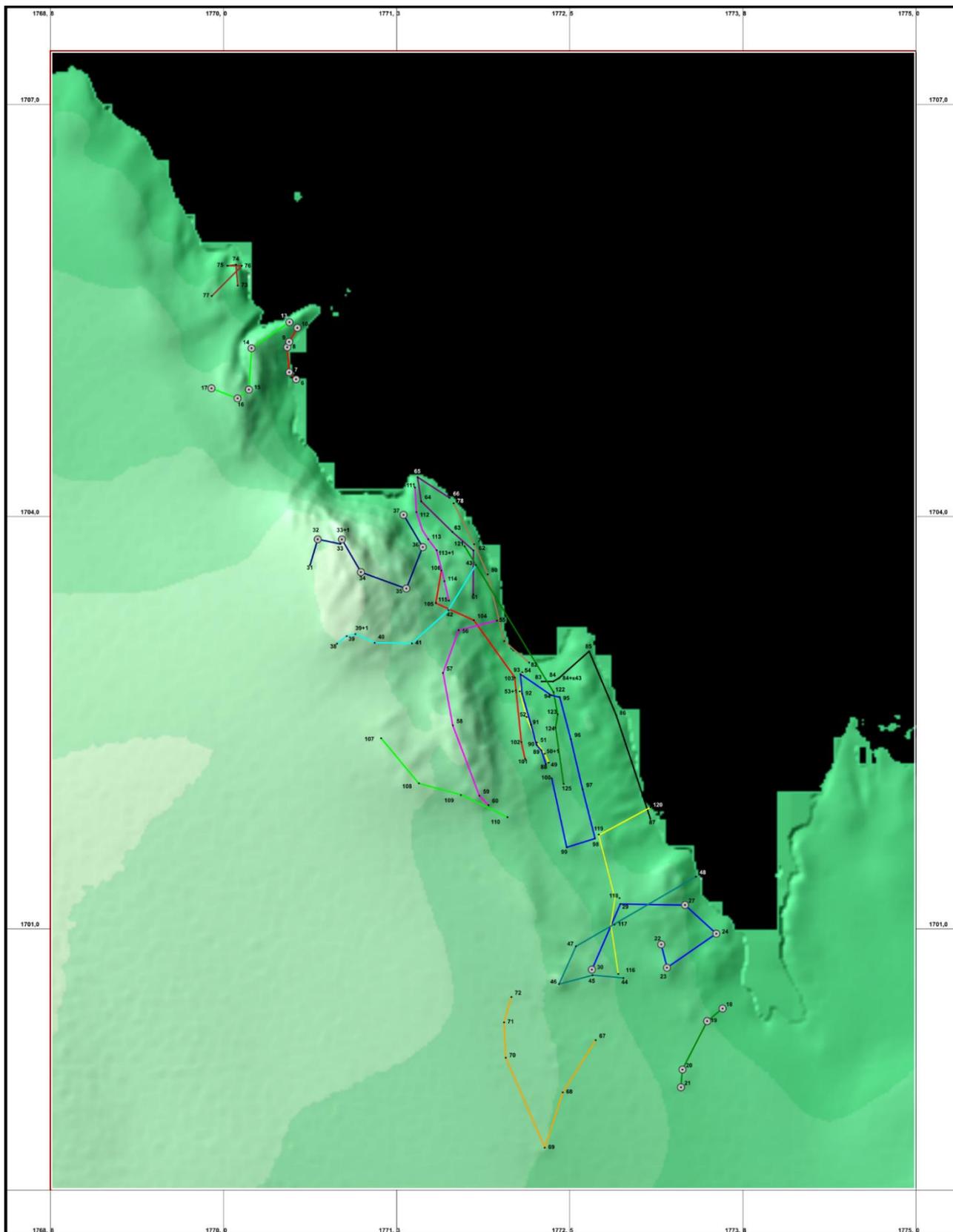


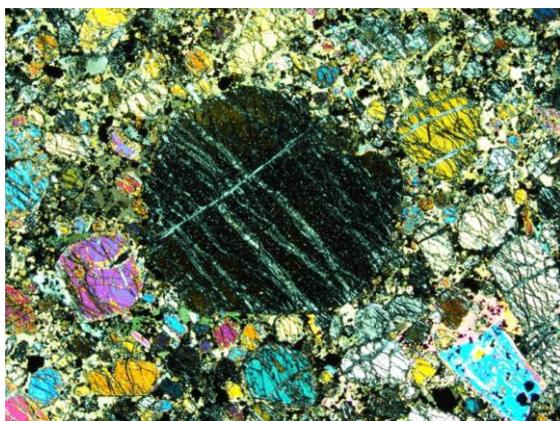
Рисунок 1 – Территория горы Вечерняя (Холмы Тала, Восточная Антарктида)
Масштаб 1 : 25 000



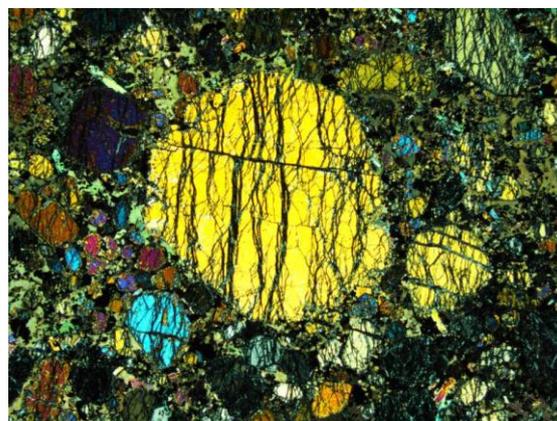
Рисунок 2 – Мозаика шлифа амфиболита, без анализатора
Поле зрения: $18,72 \times 62,5$ мм.

Создание подобных мозаик шлифов для образцов из коллекции пород докембрийского кристаллического фундамента горы Вечерняя является одной из задач разработки атласа. Это позволит не только демонстрировать студентам основные типы пород кристаллического фундамента Восточной Антарктиды, но и сохранить информацию о редких образцах. Шлифы имеют способность разрушаться или быть разрушенными кем-либо, со временем и, таким образом, можно обеспечить сохранность, переносимой ими информации.

Одним из важнейших преимуществ цифровой петрографии является возможность создания динамических изображений шлифов горных пород. Таким образом, можно визуализировать различные свойства, которые не проявляются в статике в скрещенном поляризованном свете (CPL). Например, определение изотропности и анизотропности минералов, характера погасания, изучение интерференционных окрасок и двойникования. На рис. 3 представлены кадры из gif-файла шлифа оливинита в CPL, не входящего в коллекцию образцов БАЭ 2008–2009 гг. Создание динамических элементов для шлифов горных пород кристаллического фундамента образцов из коллекции пород КФ Восточной Антарктиды является также одной из задач данной разработки.



а



б

Рисунок 3 – Микроизображения оливинита в CPL
а – погасание крупного зерна оливина, б – просветление. Размер поля зрения – 6,25 мм.

Съёмка и описание микроизображений образцов из коллекции пород кристаллического фундамента Восточной Антарктиды уже произведена.

Среди образцов, большую долю занимают чарнокиты, эндербиты, плагиогнейсы и гранитов (граниты-рапакиви). Также были встречены ортогнейсы, лейкогаббро, эклогиты и иные горные породы.

Двупироксеновые амфибол-биотитовые плагиогнейсы распространены по всей территории исследований в виде линейных тел останцев и ксенолитов среди толщ чарнокитовой серии. Состав, текстура, и структура породы говорит о её формировании в условиях гранулитовой фации регионального метаморфизма по интрузивной породе [2]. Вся толща плагиогнейсов в той или иной степени минерализована гранатом (пироп), титаномагнетитом и магнетитом. Текстура породы чаще всего полосчатая (из-за субпараллельной ориентации зёрен плагиоклаза (Pl), удлинённых субпараллельных сростков пироксена (px) и биотита (Bt). О степени метаморфизованности породы в шлифах свидетельствуют извилистые контуры зёрен Pl (плагиоклаза) (рис. 4).

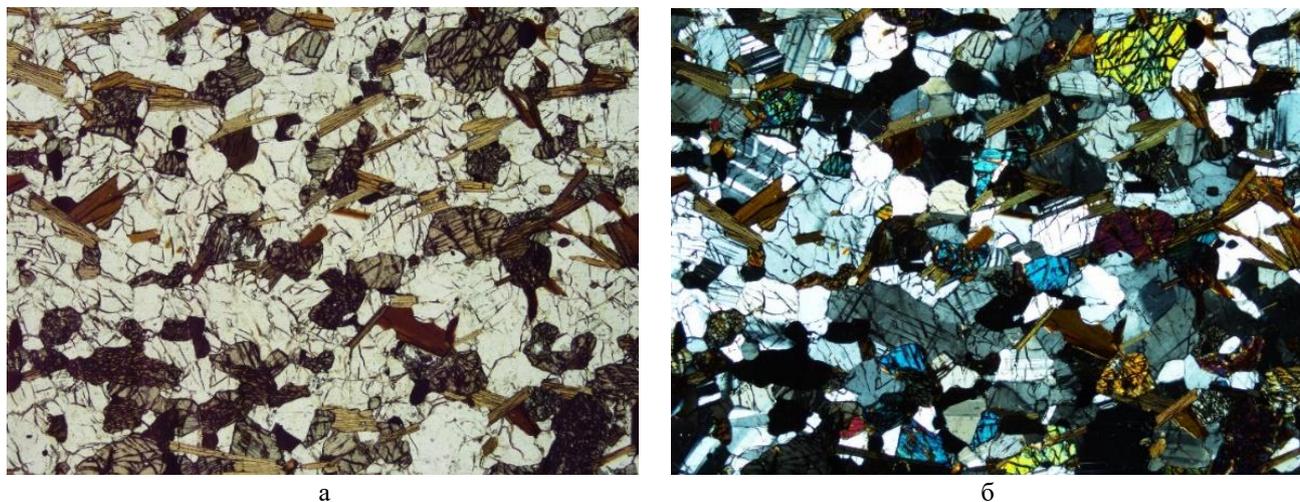
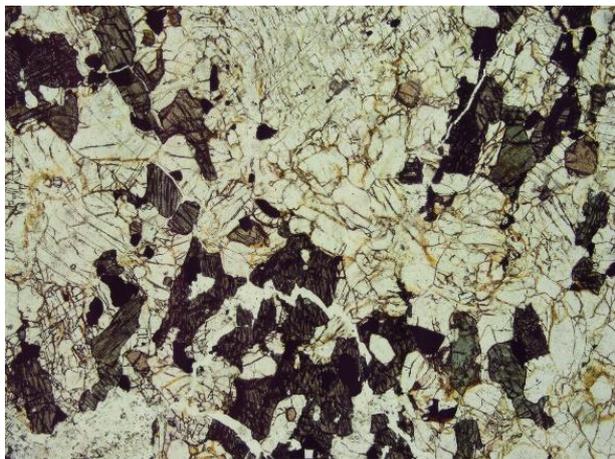


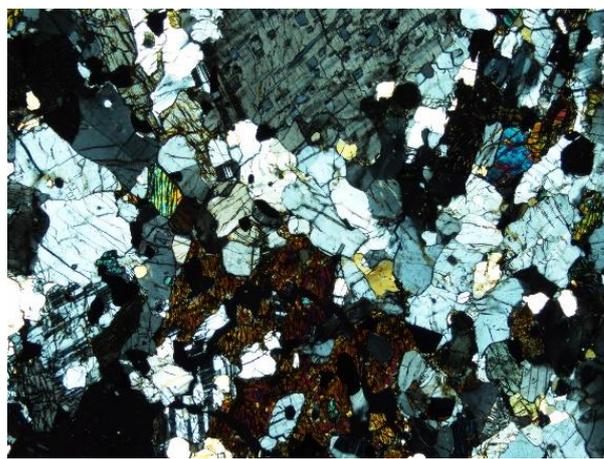
Рисунок 4 – Плагиогнейс (т. н. № 42)
а – без анализатора, б – с анализатором. Размер поля зрения – 6,25 мм.

Амфибол-пироксен-плагиоклаз-кварц-полевошпатовые чарнокитизированные эндербиты находятся в центре и на востоке территории на контактах с плагиогнейсами. Тёмноцветные минералы, представленные кристаллами ромбического и моноклинного пироксена (гора Рубин) и роговой обманки (Мысы Доступный и Обь), кристаллы граната (участок отбора образцов Восток), рудные зёрна и тонкие зерна апатита, равномерно распределены в породе. Характерна сильная трещиноватость зёрен с извилистыми границами, распределение кристаллов Pl и калиевого полевого шпата (Kfs) [3]. Текстура подчёркивается ориентацией удлинённых зёрен тёмноцветных минералов (рис. 5). Кристаллы роговой обманки (Hbl) не разрушены и, возможно, формировались по уже в разгнейсованной породе, так же, как и редкие зёрна биотита.

Наличие граната и гиперстена свидетельствует о том, что породы сформировались в условиях гранулитовой фации и были изменены в амфиболитовой фации до биотит-роговообманкового плагиогнейса. Поскольку порода была метаморфизована с привнесением вещества и перекристаллизацией, её можно назвать эндербитом, метаморфизованным на регрессивной стадии в амфиболитовой фации, когда по пироксену развивалась роговая обманка и биотит [2].



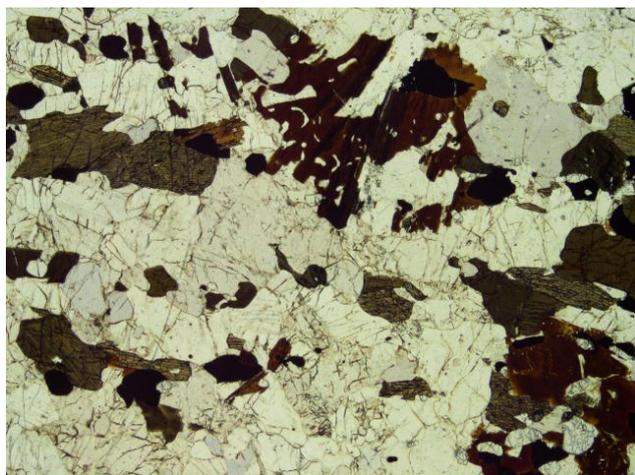
а



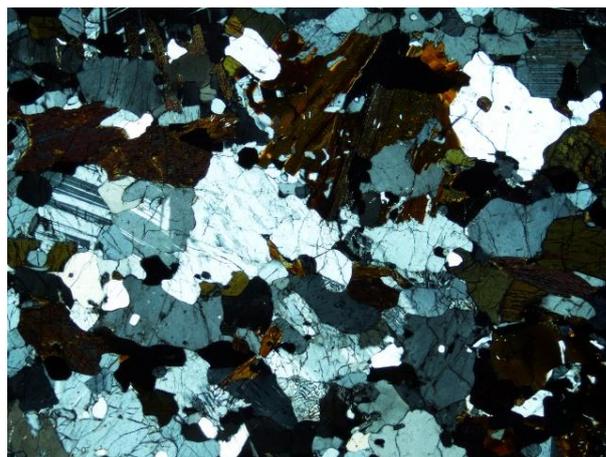
б

Рисунок 5 – Эндербит (т. н. № 20)
а – без анализатора, б – с анализатором. Размер поля зрения – 6,25 мм.

Амфибол-полевошпат-кварц-плагиоклазовые чарнокиты занимают доминирующее положение в строении участка. Для породы характерна разгнейсованность, выраженная в дифференциации лейкократовых и меланократовых минералов на нечёткие прослойки (с нечёткой полосчатостью). Эти минералы всегда идиоморфны, т. к. их рост связан с большой химической активностью, а не с порядком кристаллизации). В изучаемых образцах выделены преимущественно шестиугольные, реже овальные зёрна апатита и единичные зерна монацита таблитчатой либо округлой удлинённой формы. Содержание рудных минералов во всех образцах изменяется от 0,5 до 8 %. Зёрна кварца иногда отличаются крупными формами и равномерно распределены в породе. Среди полевых шпатов преобладает плагиоклаз. Нередко Р1 представлен в виде удлинённых зёрен с включением округлых зёрен кварца (рис. 6). На границе зёрен калиевого полевого шпата и плагиоклаза развиваются мирмекитовые агрегаты. Характерна сильная трещиноватость зёрен в виду бластеза. Гетерогранобластовая структура наблюдается во всех шлифах и её формирование обусловлено перекристаллизацией породы. Наличие гиперстена свидетельствует о том, что породы сформировались в условиях гранулитовой фации по субстрату гранодиоритового состава [2].



а



б

Рисунок 6 – Чарнокит (т. н. № 34)
а – без анализатора, б – с анализатором. Размер поля зрения – 6,25 мм.

Полевошпат-кварц-плагиоклаз-амфибол-биотитовые гнейсовато-рапакивиподобные чарнокиты имеют контакты только с чарнокитами. От чарнокитов отличаются специфической струйчатой текстурой в плане и чётковидной «очковой» на поперечном срезе [2]. Средне-крупнозернистая порода, сложенная микроклином, олигоклазом и андезином, кварцем (Qtz) и небольшим количеством тёмноцветных минералов (вплоть до единичных зёрён Hbl и Bt) (рис. 7). Для породы также характерны тонкие округлые зерна кварца, захваченные в процессе роста полевыми шпатами, мирмекиты на стыке зёрён Pl и Kfs [2]. Породу можно отнести к изменённым в регрессивной амфиболитовой фации метаморфизма чарнокитам.

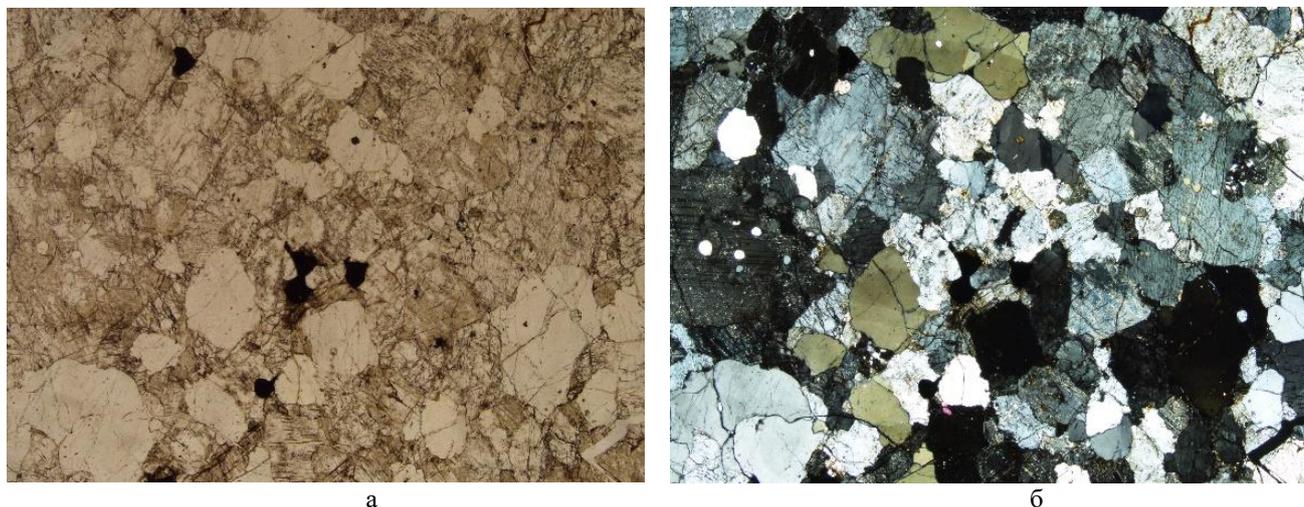


Рисунок 7 – Рапакивиподобный чарнокит (т. н. № 12-2)
а – без анализатора, б – с анализатором. Размер поля зрения – 6,25 мм.

Результаты. В процессе разработки атласа было изучено и сфотографировано 86 шлифов горных пород территории горы Вечерняя (Восточная Антарктида). Среди нереализованных задач остаются съёмка динамических изображений шлифов и их мозаик. Данный атлас является наглядным учебным материалом, который используется в учебном процессе на кафедре региональной геологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

Библиографические ссылки

1. Virtualmicroscope [Электрон. ресурс]. URL: <https://virtualmicroscope.org> (дата обращения: 05.12.2021).
2. Мясников О. В. Геологическое строение Вечернегорской территории (Западная Земля Эндерби, Антарктида) // Актуал. проблемы геологии и поисков месторождений полез. ископаемых : материалы V Университет. геолог. чтений, Минск, 8–9 апр. 2011 г. Минск, 2011. С. 17–20.
3. Мясников О. В., Василёнок Е. А. Бакунович В. А. Структурно-текстурные характеристики и вещественный состав чарнокитов Восточной Антарктиды // Современ. исследования в геологии : материалы по итогам Всеросс. науч.-практ. студен. конф., Санкт-Петербург, 10–12 апр. 2015 г. СПб., 2015. С. 152–154.