

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 548.1.026

АДУЛЯР: СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Мухаметшина Ксения Шамилевна, студент, специальность 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: gillybals@gmail.com

Каныгина Ольга Николаевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры химии, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: onkan@mail.ru

Аннотация. В данной работе проведен детальный анализ микроструктуры адуляра группы калиевых полевых шпатов, полученной в лаборатории. Основной целью исследования является изучение структурных и оптических характеристик данного минерала с использованием методов оптической микроскопии с помощью программного обеспечения ImageJ. Была рассмотрена кристаллическая структура адуляра: его основные связи и углы между ними. Представлены результаты, включающие определение размеров дисперсных частиц, цветометрический анализ и фрактальный анализ кристаллической структуры минерала. Проведенное исследование позволяет установить взаимосвязь между оптическими свойствами адуляра и его кристаллической структурой, что подчеркивает значимость структурных особенностей для понимания оптики минералов с эффектом «кошачьего глаза». Полученные данные имеют важное значение для дальнейших исследований в области минералогии и материаловедения.

Ключевые слова: адуляр, минерал, дисперсные частицы, цветометрический анализ, фрактальный анализ, адулярный блеск, ImageJ.

Для цитирования: Мухаметшина К. Ш., Каныгина О. Н. Адуляр: структурные и оптические особенности // Шаг в науку. – 2025. – № 3. – С. 13–16.

ADULAR: STRUCTURAL AND OPTICAL FEATURES

Mukhametshina Ksenia Shamilevna, student, specialty 04.05.01 Fundamental and Applied Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: gillybals@gmail.com

Kanygina Olga Nikolaevna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: onkan@mail.ru

Abstract. In this paper, a detailed analysis of the microstructure of adularia, a group of potassium feldspars obtained in the laboratory, is carried out. The main objective of the study is to investigate the structural and optical characteristics of these minerals using optical microscopy and ImageJ software. The crystal structure of adularia was considered: its main relationships and conclusions between them. The results are presented, including determination of the size of dispersed particles, colorimetric analysis and fractal analysis of the crystal structure of minerals. The study allows us to establish the relationship between the optical phenomena of adularia and its crystal structure, which leads to the primacy of structural processes for understanding the optics of minerals with the «cat's eye» effect. The data obtained are of great importance for research in the field of mineralogy and materials science.

Key words: *adularia, mineral, dispersed particles, colorimetric analysis, fractal analysis, adularia luster, ImageJ.*

Cite as: Mukhametshina, K. Sh., Kanygina, O. N. (2025) [Adular: structural and optical features]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 13–16.

Адуляр – редкий минерал группы калиевых полевых шпатов, разновидность низкотемпературного ортоклаза, известный под названием «лунный камень». Получил название от гор Адула в Швейцарии, где были впервые найдены кристаллы этого минерала [1]. На Южном Урале его прозрачные кристаллы встречались в пегматитах Ильменских гор по реке Черемшанке; к югу от Златоуста – у деревни Селяниной [2].

«Лунный камень» представляет собой один из наиболее интересных и загадочных минералов, относящихся к классу полевых шпатов с общей формулой $KAlSi_3O_8$ [3]. Щелочные полевые шпаты – обычные составляющие кислых и щелочных интрузивных и эффузивных пород [6]. Его уникальное оптическое свойство, такое как иризация, делает его предметом изучения не только минерологов, но и ювелиров.

Иризация камня – оптический эффект внутреннего цветового сияния при освещении на ровном сколе или после полировки, на гранях или плоскостях спайности некоторых минералов, возникающий под действием интерференции световых волн.

В основе кристаллической структуры адуляра лежит чередование слоев тетраэдров. $[SiO_4]^{4-}$ состоят из одного атома кремния, окруженного четырьмя атомами кислорода, которые расположены в вершинах тетраэдра. Эти тетраэдры соединяются друг с другом, образуя цепочки и слои, что создает основу для более сложной структуры. Алюминий $[AlO_4]^{5-}$ в адуляре находится в тетраэдрической координации с кислородом, где один атом алюминия окружен четырьмя атомами кислорода, изображенном на рисунке 1. Эта комбинация создает трехмерную сеть, которая обеспечивает прочность и стабильность минерала.

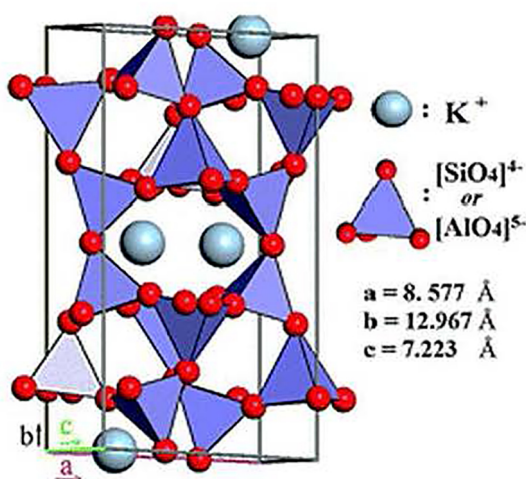


Рисунок 1. Кристаллическая структура адуляра: красные сферы – атомы кислорода; атомы кремния и алюминия находятся внутри синих тетраэдров $[SiO_4]^{4-}$ и $[AlO_4]^{5-}$, катионы калия, уравнивающие заряд, представлены синими сферами

Источник: взято из работы [4]

Моноклинная сингония адуляра проявляется в его кристаллической решетке, характеризующаяся тремя осями: a , b и c . Ось b является осью симметрии, в то время как оси a и c наклонены относительно друг друга под углом, отличным от 90° . Это наклонение приводит к образованию уникальных углов между связями в структуре. Например, угол между связями $Si-O$ в тетраэдрах может варьироваться в 120°

и 90° [8]. Это зависит от конкретной конфигурации и расположения атомов, от расположения соседних тетраэдров и октаэдров, что, в свою очередь, влияет на общую стабильность и свойства минерала.

Силы, действующие между атомами в адуляре, включают ионные связи между калийными и алюминиевыми ионами с кислородом, а также ковалентные связи внутри тетраэдров кремния. Эти связи обес-

печивают прочность. Углы между связями в тетраэдрах определяются геометрией координации кремния и кислорода; они стремятся к минимизации энергии системы, что приводит к возникновению характерных углов [5].

Оптические свойства адуляра также связаны с его моноклинной симметрией. Минерал демонстрирует

явление двойного лучепреломления. Это явление возникает из-за анизотропии структуры, вызванной наклоном осей симметрии. В результате адуляр обладает характерным эффектом «кошачьего глаза», изображенного на рисунке 2, или «адулярной игры» – оптического феномена, который возникает из-за интерференции света, отражающегося от слоев внутри минерала.



Рисунок 2. Эффект «кошачьего глаза» лунного камня

Источник: взято из работы Гоголева Е. М., Фарафонов Е. П. Прикладная оптика: учебное пособие – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 184 с.

В статье предложены результаты исследования микроструктуры минерала (размеры включений, цветовые параметры R (красный), G (зеленый), B (голубой)), полученные методами оптической микроскопии с помощью приложения ImageJ [10].

При увеличении 160 крат на рисунке 3а видны черные включения, которые объясняются наличием трещин в процессе формирования минерала; в левом нижнем углу можно увидеть адулярный (голубовато-сиреневый) блеск.



а



б

Рисунок 3. Поверхность минерала адуляра при увеличениях: а) 160X; б) 270X

Источник: фото автора К. Ш. Мухаметишиной

При увеличении 270 крат на рисунке 3б видна однородная поверхность, покрытая небольшими белыми частицами изометрической формы размерами около 4 мкм. Для дальнейшего анализа использовали изображение при увеличении 160 крат.

При цветометрическом анализе разделили исходное изображение на составные по каналам, провели анализ диаграмм распределения пикселей и определили числовые значения вклада каждого из цветов в изображении. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. Числовые значения цветовых параметров

Параметр	Красный	Зеленый	Голубой
Значение в относительных долях	0,63	0,63	0,64
Коэффициент отражения $R_0 = (0,63 + 0,63 + 0,64) / 3 = 0,63$			

Источник разработано авторами

На основании данных таблицы можно заметить, что составляющие всех цветов практически одинаковы, поэтому цвет минерала – серый. У адуляра высокий коэффициент отражения $R_0 = 0,63$. Минерал является полупрозрачным, и хорошо отражает и преломляет падающий свет.

Фрактальный анализ позволяет количественно оценивать сложность границ минеральных зёрен в минералах. Значение фрактальной размерности $D_{\text{ср}}$ близкое к 1, означает гладкую плоскость, а близкое к 2 – сильную извилистость и неоднородности объекта.

Лакунарность является степенью неоднородности заполнения пространства объемом. Чем выше лакунарность, тем больше в исследуемом объекте находится пустых областей.

Согласно результатам анализа, фрактальная размерность $D_{\text{ср}} = 1,71 \pm 0,03$, следовательно, исследуе-

мая поверхность имеет большое количество изломов и сколов, является неоднородным объектом. Лакунарность, равная $0,54 \pm 0,04$, означает, что в минерале находятся поры и включения. Фрактальный анализ объясняет хрупкость минерала.

Кристаллическая структура адуляра характеризуется моноклинной симметрией, что является важным аспектом, определяющим его оптические свойства. Минерал демонстрирует двулучевое преломление из-за различий в скорости света при прохождении через разные направления кристалла [7], что вызывает большой интерес к данному минералу. Современные методы исследования, такие как электронная микроскопия и спектроскопия, позволяют получать новые данные о свойствах и структуре адуляра для исследования горных пород.

Литература

1. Алексеев В. И., Соколова Н. Г. Эволюция упорядоченности и состава щелочных полевых шпатов гранитного массива // Записки Российского минералогического общества. – 2007. – Т. 136, № 2. – С. 62–74.
2. Буканов В. В. Цветные камни. Энциклопедия – Прага: Изд-во «Гранит», 2008. – 416 с.
3. Вертушков Г. Н. Месторождения адуляра на Урале – М., 2007. – 56 с.
4. Гордиенко В. В. Методика исследования структурного состояния щелочных полевых шпатов и их рациональная номенклатура – М., 2006. – 56 с.
5. Должанская Т. Ю. Использование типоморфных особенностей полевых шпатов для выявления внутреннего строения щелочного массива – Звенигород, 1999. – 357 с.
6. Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. М. Пороодообразующие минералы. – М., 1965. – Т. 4 Каркасные силикаты. – 483 с.
7. Кривовичев В. Г. Минералогический словарь – СПб: Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет, 2008. – 556 с.
8. Марфунин А. С. Полевые шпаты – фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение – М., 2014. – 196 с.

Статья поступила в редакцию: 12.02.2025; принята в печать: 02.07.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.