

УДК 693

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРНА СКВАЖИН ПОДЗЕМНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Е. Ю. ТРОЯК, И. Н. ПОЖАРКОВА, Т. А. ЛИТВИНСКАЯ

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск
E-mail: trev191186@mail.ru, pozharkova@mail.ru, tlitvinskaya0@xmail.ru

Статья посвящена исследованию образцов керна скважин участка строительства подземной исследовательской лаборатории. Цель исследования заключалась в оценке степени термических повреждений материала при воздействии температур в диапазоне от 300 до 800 °C на основе результатов микроскопического анализа и исследования цветовых характеристик образцов. В статье описаны методики проведения соответствующих лабораторных исследований. Получены данные об образовании микротрещин на поверхности материала в условиях испытаний. Выявлена зависимость изменения цветовых характеристик керна скважин подземной исследовательской лаборатории от степени нагрева.

Ключевые слова: пожар, пожарная безопасность, подземная исследовательская лаборатория, керн, горная выработка, горные породы, микроскопический анализ, RGB характеристики, целостность.

MICROSCOPIC ANALYSIS AND STUDY OF THE COLOR CHARACTERISTICS OF WELL CORES FROM AN UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY UNDER THERMAL INFLUENCE

E. YU. TROYAK, I. N. POZHARKOVA, T. A. LITVINSKAYA

Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry
of Emergency Situations of Russia
Russian Federation, Krasnoyarsk Region, Zheleznogorsk
E-mail: trev191186@mail.ru, pozharkova@mail.ru, tlitvinskaya0@xmail.ru

The article is devoted to the study of well core samples from the construction site of an underground research laboratory. The aim of the study was to assess the degree of thermal damage to the material when exposed to temperatures in the range from 300 to 800 °C based on the results of microscopic analysis and examination of the color characteristics of the samples. The article describes the methods of conducting appropriate laboratory tests. Data on the formation of microcracks on the surface of the material under test conditions were obtained. The dependence of the change in the color characteristics of the well core of the underground research laboratory on the degree of heating has been revealed.

Key words: fire, fire safety, underground research laboratory, core, mining, rocks, microscopic analysis, RGB characteristics, integrity.

Введение

На сегодняшний день реализуется проект по строительству подземной исследовательской лаборатории в геологических формациях участка «Енисейский», расположенного в 6 км от города Железногорска Красноярского края.

В состав лаборатории войдут¹:

1. поверхностная инфраструктура (здания, сооружения, объекты инженерного обеспечения);
2. два вертикальных ствола глубиной около 500 м;
3. горизонтальные выработки, соединяющие стволы ПИЛ;

© Трояк Е. Ю., Пожаркова И. Н., Литвинская Т. А., 2025

¹ Атомная энергия. «Стройка тысячелетия: общественности и федеральным экспертам показали, как

идет создание ПИЛ в Железногорске.» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/SMI/2019/10/25/98521>. (Дата обращения: 05.07.2024).

4. четыре горизонтальные камерные выработки с четырьмя вертикальными скважинами в них глубиной по 75 м.

При проектировании и строительстве подземных капитальных выработок необходимо предусматривать комплекс мер, направленных на обеспечение требуемых показателей надёжности, долговечности и безопасности строительных и ограждающих конструкций.

На основании изученных данных и проведённого анализа было установлено, что более 40 % аварийных ситуаций в подземных выработках связаны с пожарами, 30 % – с прорывами воды, около 17 % – с обрушениями, и примерно 12 % аварий происходит из-за загрязнённости выработок [1-4].

В рамках обоснования безопасности объекта подземной исследовательской лаборатории следует изучить прочностные характеристики горной породы при термических воздействиях, характерных для пожаров в горных выработках.

Целью авторского коллектива при выполнении исследования, результаты которого представлены в данном материале, являлось определение целостности образцов керна скважин подземной исследовательской лаборатории посредством микроскопического анализа, а также оценка изменения их цветовых характеристик при воздействии температур в диапазоне от 300 до 800 °С.

Материалы и методы исследования

Скальный массив представлен нижнеархейскими гнейсами, пронизанными дайками долерита или габбро-диабазы. Массив сформировался в условиях гранулитовой фации регионального метаморфизма. Гнейсы составляют около 4/5 геологической массы горного массива. Основными минералами гнейсов являются кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат. Гнейсовую толщу пронизывает серия даек долеритов как минимум двух поколений. Дайки долеритов – это интрузивные тела, которые образовались в результате внедрения магмы в трещины земной коры. Толщина даек долеритов изменяется по вертикали от 0,3 до 39 метров. Глубокий метаморфизм горных пород обуславливает большую прочность кристаллических коренных фракций, где снижение прочности определяется только наличием трещин.

В массиве архейских горных пород практически отсутствуют подземные воды, а также трещиноватые зоны, которые можно характеризовать как водопроницаемые. В четвертичных отложениях сформирована стоковая зона, питающая водотоки первого и второ-

го порядков, обеспечивающая максимальный сток поверхностных вод с территории [5]

Задача ПИЛ – подтверждение возможности безопасного глубинного захоронения РАО, что непосредственно связано с изучением прочностных характеристик массива, являющегося естественным барьером безопасности. Одним из методов изучения прочностных характеристик керна является микроскопический анализ, который основывается на исследовании внешних морфологических характеристик объекта. Оптическая микроскопия включает в себя методы наблюдения и анализа структуры образцов, которая не различима невооружённым глазом. Для этого используется оптический микроскоп, позволяющий детально изучить особенности строения образца [6].

В рамках описываемого исследования цель микроскопического анализа заключалась в определении наличия или отсутствия микротрещин в исходных образцах керна до термического воздействия, а также регистрации начальной стадии трещинообразования, в ходе которой под влиянием высоких температур в материале формируются микротрещины и микропоры. Кроме того, фиксировалась ширина и размер каждой трещины для более глубокого понимания процессов, происходящих в материале при нагреве.

Также авторами данного материала ставилась задача определения цветовых характеристик образцов керна, подвергнувшихся термическим воздействиям. В научной литературе [6, 7, 8] отмечается, что многие материалы изменяют свой цвет в зависимости от температуры и продолжительности нагрева, что позволяет оценить степень их термических повреждений. Это указывает на наличие взаимосвязи между воздействующей температурой, временем выдержки при определённой температуре (что отражает степень теплового повреждения) и оптическими характеристиками поверхностного слоя материала, включая изменение его цвета.

В системе RGB для представления численных значений координат используется один октет, что позволяет удобно обозначать каждую из трёх координат целыми числами от 0 до 255 включительно. Такой подход обеспечивает точность и гибкость в описании цветов. Поскольку в цветовой модели RGB используются три независимые величины, она представляет собой трёхмерную систему координат, где каждая точка определяется тремя координатами, соответствующими интенсивности красного, зелёного и синего цветов. Это позволяет точно описать любой цвет как уни-

кальную комбинацию этих трёх основных составляющих² [9].

Исследование образца зерна включало в себя несколько ключевых этапов:

1. Визуальный осмотр образца – это начальный этап исследования, который позволял оценить общее состояние материала и выявить возможные дефекты или особенности, влияющие на результаты последующих измерений.

2. Разметка точек замера – на этом этапе выбирались точки на поверхности образца зерна, в которых планировалось проведение измерений. Это делалось для того, чтобы получить более полное представление о распределении термических повреждений на поверхности материала.

3. Проведение замера показаний цвета – этот этап включал использование специального прибора для измерения цветовых характеристик образца зерна в выбранных точках. Прибор контроля степени термических повреждений [9], использовался для получения точных данных о цвете поверхности образца, которые затем применялись для анализа.

4. Построение поверхностной карты распределения термических повреждений – на основе полученных данных строилась цветовая карта, показывающая распределение термических повреждений на поверхности образца зерна, что позволяло визуально оценить степень и характер повреждений.

5. Анализ построенной карты – заключительный этап исследования, на котором оценивались полученные данные и делались выводы о состоянии образца зерна.

Важно отметить, что измерения значений цветовых характеристик (этап 3) в каждой точке проводились 12 раз, при этом максимальное и минимальное значения не учитывались при обработке результатов, чтобы исключить случайную ошибку. Для определения среднего результата данные 10 измерений заносились в таблицу, затем производилась их статистическая обработка. Интервал для среднего значения рассчитывался с доверительной вероятностью 0,99 [9], что позволило получить более точные и надёжные результаты исследования.

Лабораторное оборудование

Для проведения микроскопического анализа образцов зерна применялся комплекс оборудования, одним из компонентов которого являлся металлографический мик-

роскоп «Метам ЛВ-41» с системой компьютерной обработки.

Данный микроскоп представляет собой высокотехнологичное оборудование, предназначенное для проведения широкого спектра работ по пробоподготовке и визуальному исследованию под увеличением внутренней структуры различных объектов.

Для получения изображения рассматриваемой области в микроскопе предусмотрена телевизионная камера «VEC-545-USB», которая монтируется вместо окуляра $\times 10$. Камера подключается через USB кабель к компьютеру и при помощи программы «NEXSYS ImageExpert» позволяет отображать изображение в микроскопе в реальном времени, а также делать снимки высокого разрешения и редактировать их, вычислять широкий спектр геометрических параметров элементов структуры.

Как было указано выше, в рамках исследования цветовых характеристик образцов зерна применялся прибор контроля степени термических повреждений, оснащённый датчиком цвета, который представляет собой программируемый преобразователь отражённого света от исследуемого объекта в цифровой сигнал, и ЖК-дисплеем для отображения информации о цветовых характеристиках в точке замера [9].

Объекты исследования

Объектом исследования являлись образцы зерна, предоставленные Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

На рис. 1 представлен внешний вид образцов зерна скважин подземной исследовательской лаборатории после термического воздействия.

Выбор диапазона температур, который составил от 300 до 800 °С с шагом 100 °С, и времени воздействия на образцы был обоснован ранее проведёнными исследованиями [10, 11]. Время нагрева образцов задавалось равным 30 мин, что связано с полученными ранее результатами, свидетельствующими о том, что при изменении свойств зерна главным образом имеет значение температура воздействия, а не продолжительность нагрева [12].

Результаты исследований

Каждый образец, успешно прошедший визуальный осмотр невооружённым глазом, т.е. без использования вспомогательного оборудования (не имеющий внешних дефектов, препятствующих дальнейшему исследованию), помещался на предметный столик микроскопа, для подробного изучения как нижнего, так и

² Цветовые системы. История вопроса (часть 59) [Электронный ресурс] URL: <https://natural-colours.livejournal.com/35541.html> (дата обращения: 05.07.2024).

верхнего оснований на наличие микротрещин под разным увеличением.

После температурного воздействия на образцы керна, визуальным осмотром выявлено следующее:

– появление видимых невооруженным глазом трещин на образцах № 58 – термическое воздействие 500 °С; №№ 17, 18, 19, 30, 39

– 600 °С; №№ 21, 22, 23, 24, 31, 33, 55, 56 – 700 °С; №№ 42, 46 – 800 °С;

– частичное разрушение образцов №№ 27, 32, 38, 43, 48, 57 – термическое воздействие 800 °С.

В табл. 1 представлены микрофотографии образцов с микротрещинами, сделанных при помощи программы «NEXSYS ImageExpert».

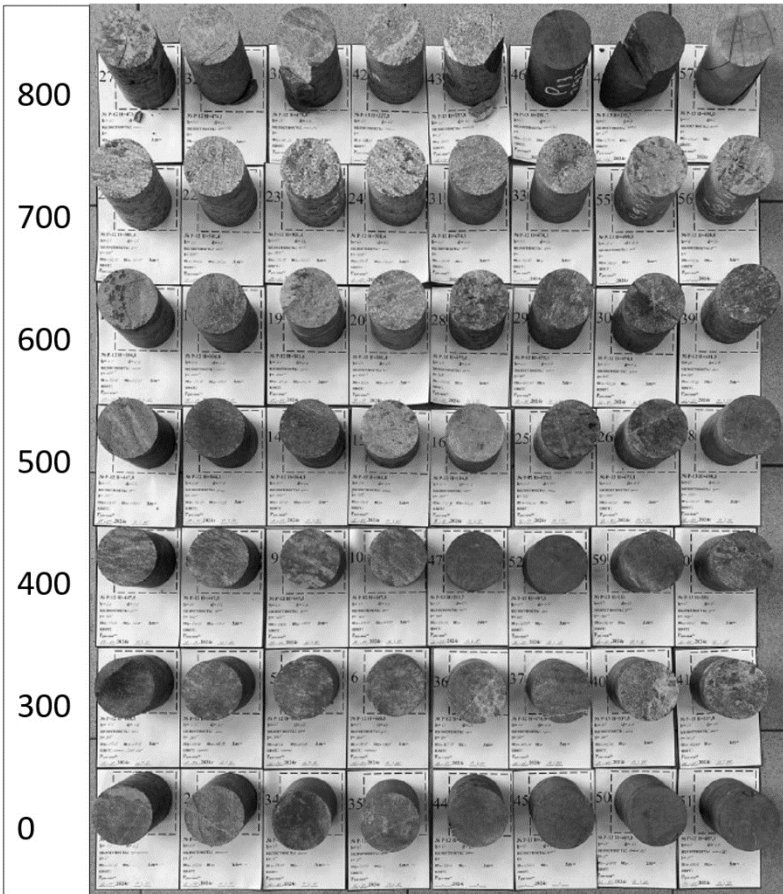
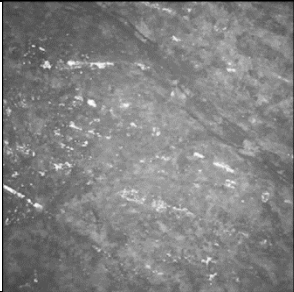
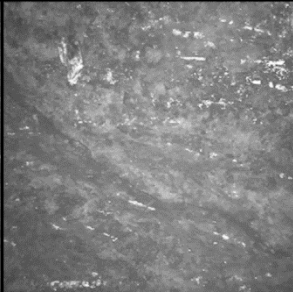
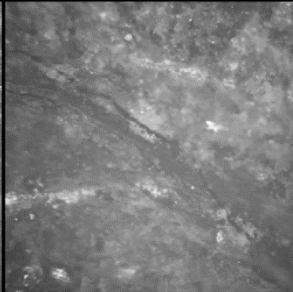
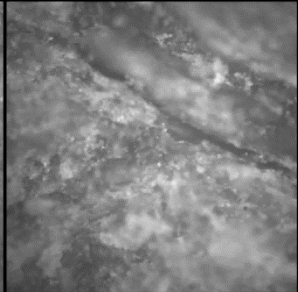
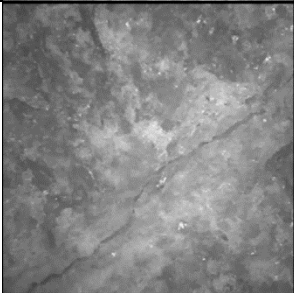
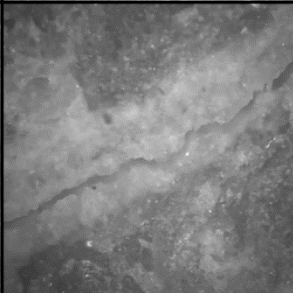
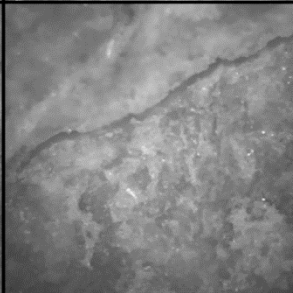
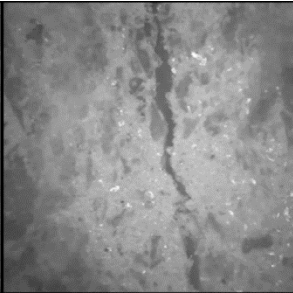
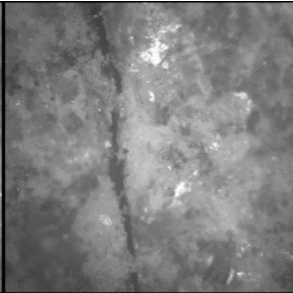
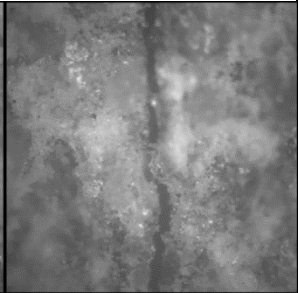
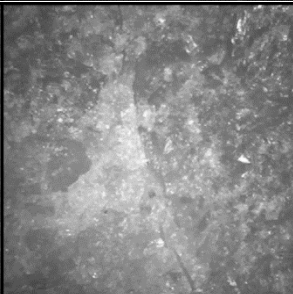
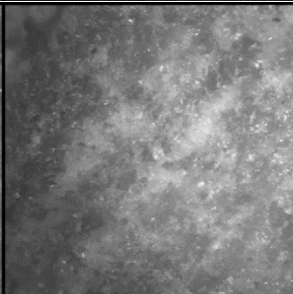
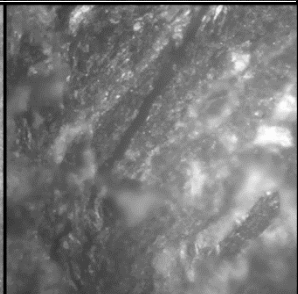
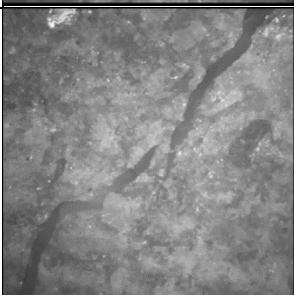
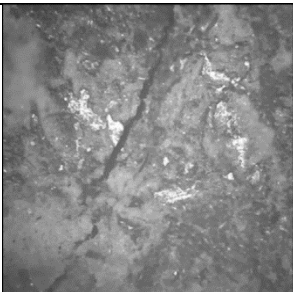
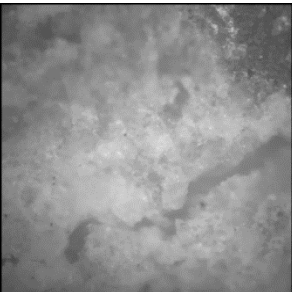
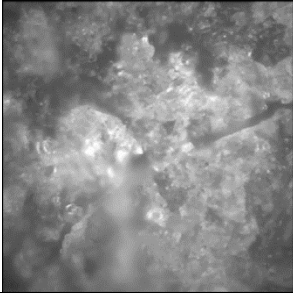
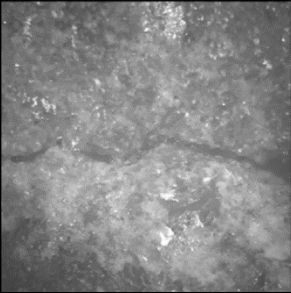
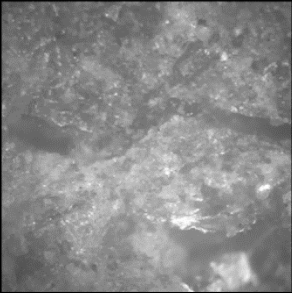
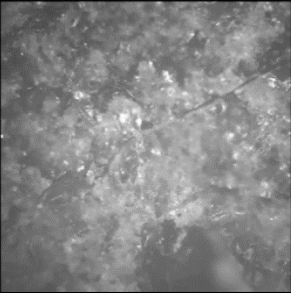


Рис. 1. Вид образцов после термического воздействия

Таблица 1. Фотографии микроскопии образцов керна с фиксацией трещин после термического воздействия

№ образца керна	Фотография образца керна с фиксацией трещин			
	300 °С			
№ 37				

№ образца керна	Фотография образца керна с фиксацией трещин			
	400 °C			
№ 47				
№ 60				
	500 °C			
№ 11				
№ 13				
№ 16				

№ образца керна	Фотография образца керна с фиксацией трещин			
	600 °C			
№ 20				
№ 28				

Измерения цветовых характеристик проводились согласно описанной выше методике в 5 точках на каждом образце. Средние значения измерений определялись, как среднее арифметическое из полученных результатов.

В табл. 2 приведены результаты измерений цветовых характеристик образцов с использованием прибора контроля термических повреждений [9].

Несмотря на то, что образцы неоднородны и каждый имеет индивидуальную характеристику RGB, прослеживается изменение цвета при воздействии температур 400–600 °C, а именно, исходный серый цвет материала приобретает розоватый оттенок. При температурах выше 700 °C образцы светлеют (рис. 2).

Таблица 2. Средние значения измерений цветовых характеристик образцов керна

№ образца согласно описи	№ скважины	Глубина отбора проб	t, °C	R	G	B
1	P-11	344,9	0	81	90	91
2	P-11	344,9		82	91	89
34	P-12	474,1		60	70	68
35	P-12	478,0		79	87	86
44	P-13	291,7		71	82	79
45	P-13	291,7		68	78	77
50	P-13	487,3		71	82	80
51	P-13	487,3		71	83	81
3	P-12	468,5	300	68	77	73
4	P-12	468,5		77	85	82
5	P-12	468,5		76	86	84
6	P-12	468,5		75	85	83
36	P-12	478,0		86	94	92
37	P-12	478,0		78	87	86
40	P-13	337,8		94	101	99
41	P-13	337,8		84	92	90
7	P-12	447,5	400	79	87	84
8	P-12	447,5		74	83	80
9	P-12	447,5		82	89	87

№ образца согласно описи	№ скважины	Глубина отбора проб	t, °C	R	G	B
10	P-12	447,5		77	86	83
47	P-13	291,7		69	78	75
52	P-13	487,3		67	76	76
59	P-13	251		72	80	77
60	P-1	251		79	87	84
11	P-12	447,5	500	90	95	92
13	P-12	364,3		65	75	72
14	P-12	364,3		76	84	81
15	P-12	104,8		108	108	105
16	P-12	104,8		102	105	101
25	P-12	473,1		80	85	81
26	P-12	473,1		70	79	78
58	P-13	498,0		76	84	81
17	P-12	104,8	600	100	99	92
18	P-12	104,8		83	86	81
19	P-12	301,4		102	105	100
20	P-12	301,4		116	117	111
28	P-12	473,1		85	90	87
29	P-12	473,1		85	90	86
30	P-12	474,1		70	79	76
39	P-12	481,8		84	89	86
21	P-12	301,4	700	123	120	113
22	P-12	301,4		110	110	106
23	P-12	301,4		106	107	103
24	P-12	301,4		129	128	124
31	P-12	474,1		100	105	101
33	P-12	474,1		93	96	91
55	P-13	498,0		102	100	94
56	P-13	498,0		105	104	98
27	P-12	473,1	800	96	97	90
32	P-12	474,1		109	108	102
38	P-12	478,0		103	104	99
42	P-13	337,8		105	105	99
43	P-13	337,8		109	104	97
46	P-13	291,7		64	69	67
48	P-13	291,7		67	71	66
57	P-13	498,0		106	102	94

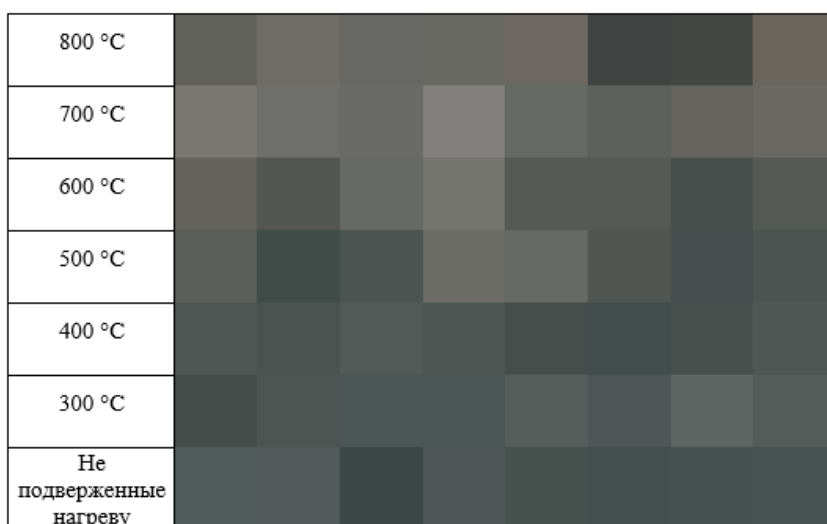


Рис. 2. Вид образцов керна после термического воздействия

На рис. 3 представлены графики зависимости цветовых характеристик от температуры воздействия на образцы. С ростом температуры значения показателей R, G, B сначала уменьшаются при воздействиях от 300 до 400 °С, затем резко увеличиваются после 400 °С. Пик данных значений приходится на 700 °С, после чего наблюдается их снижение.

Обсуждение результатов

Данные, приведенные в табл. 1 свидетельствуют о том, что при воздействии на образцы зерна температуры от 500 °С, наступает стадия трещинообразования, что может оказывать влияние на прочностные характеристики горной породы такие как целостность и несущая способность. Обнаруженные в небольших количествах микротрещины в образцах, нагретых до 300–400 °С, можно охарактеризовать как следствие неоднородности материала, поскольку данные трещины появились на стыке неоднородных включений в основной материал зерна.

Для составления объективной картины влияния термического воздействия на прочность представленных образцов требуются дополнительные исследования предела прочности горной породы на одноосное сжатие.

Также, по результатам проделанной работы было установлено, что температура оказывает влияние на цветовые характеристики образцов зерна скважин подземной исследовательской лаборатории на всем диапазоне термического воздействия. Наблюдается равномерное осветление поверхности образцов, что подтверждается увеличением значений RGB-характеристик. Стоит отметить, что при воздействии на образцы температур 400, 800 °С, значения цветовых характеристик некоторых из них уменьшаются (образцы темнеют), что может свидетельствовать об изменениях в структуре состава породы. В дальнейших исследованиях авторы ставят перед собой задачу выявления и анализа подобных изменений.

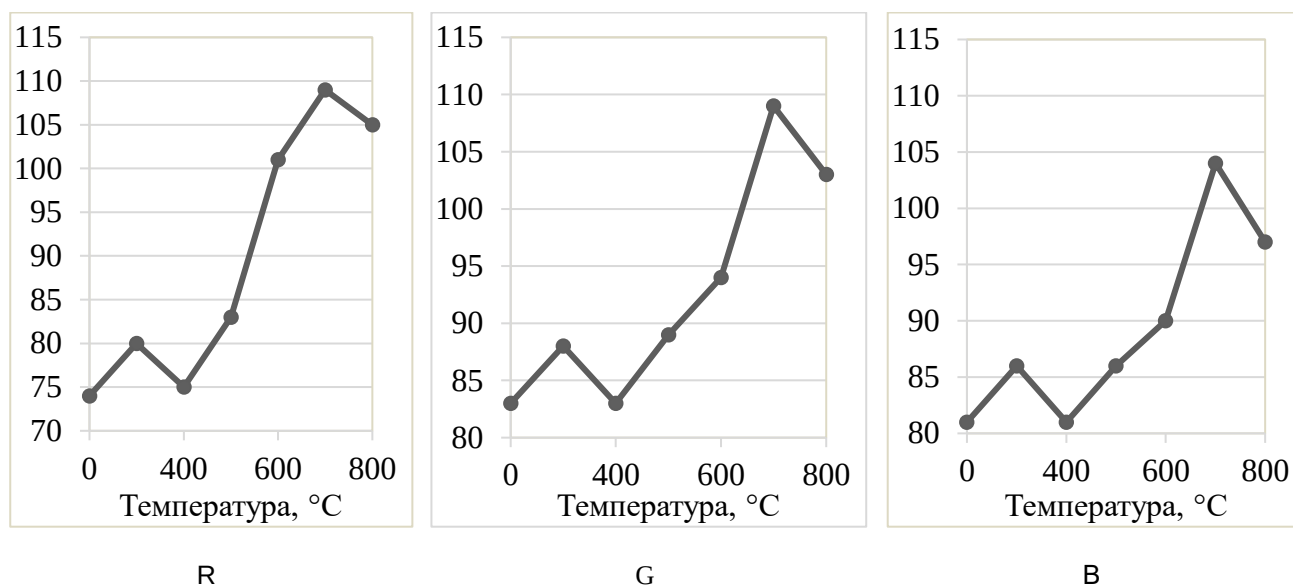


Рис. 3. График зависимости значений R, G, B от температуры воздействия на образцы зерна

Заключение

Исследование образцов зерна скважин участка недр «Енисейский» в 6 км от города Железногорск Красноярского края, позволило получить данные о микроструктуре материалов и их поведении при различных температурах.

В ходе исследования были проведены микроскопический анализ и измерение цветовых характеристик образцов зерна при термических воздействиях в диапазоне от 300 до 800 °С с шагом 100 °С, что позволило установить факт образования микротрещин на поверхности об-

разцов и определить зависимость изменения их цветовых характеристик от температуры.

Полученные результаты, могут быть использованы для характеристики физико-технических параметров горных пород участка «Енисейский», с целью обоснования безопасности сооружений подземной исследовательской лаборатории при аварийных ситуациях, связанных с пожарами. Описанная методика лабораторного исследования образцов может быть применена при экспертизе аналогичных материалов, подверженных термическим воздействиям.

Список литературы

1. Гарбер В. А. Нештатные ситуации в подземных транспортных сооружениях // Подземные горизонты. 2018. № 16. С. 20–25.
2. Скопинцева О. В., Баловцев С. В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 1. С. 78–89. DOI: 10.25018/0236–1493–2021–1–0–78–89.
3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Повышение качества расчетных обоснований проектов // БСТ: бюллетень строительной техники. 2005. № 10. С. 59–62.
4. Еремин А. К., Мухарицин Е. С. О причинах возникновения рисков аварийного обрушения зданий и сооружений // Геориск. 2009. № 3. С. 54–55.
5. Буркина Н. А., Костенко Е. М. Микроскопический анализ лекарственного растительного сырья: учебно-методическое пособие. Томск: СибГМУ, 2018. 48 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/138682> (дата обращения: 05.07.2024).
6. Чешко И. Д. Расследование и экспертиза пожаров. СПб: СПбГПБ МВД РФ, 1997. 562 с.
7. Чешко И. Д. Технические основы расследования пожаров: Методическое пособие. М: ВНИИПО, 2002. 330 с.
8. Осмотр места пожара: методическое пособие / И. Д. Чешко, Н. В. Юн, В. Г. Плотников [и др.]. М.: ВНИИПО, 2004. 503 с.
9. Горбунов А. С. Разработка метода и прибора контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара: дис. ... канд. техн. наук: 2.2.8. Красноярск, 2023. 187 с. EDN: NKCYCF.
10. Трояк Е. Ю., Мельникова Е. С. Исследование микроструктуры керна скважин подземной исследовательской лаборатории участка «Енисейский» при термическом воздействии // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 2023. С. 41–45. EDN: YJIRBO.
11. Пожаркова И. Н. Исследование температурного режима пожара в подземной

исследовательской лаборатории на основе численного моделирования // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33. № 4. С. 22–35.

12. Трояк Е. Ю., Мельникова Е. С. Изменение компонентного состава и прочностных характеристик керна скважин глубинного бурения в зависимости от продолжительности и степени нагрева // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 375-й годовщине образования пожарной охраны России. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2024. С. 399–406. EDN: ZURFBP.

References

1. Garber V. A. Neshtatnye situatsii v podzemnykh transportnykh sooruzheniiakh [Emergency situations in underground transport structures]. *Podzemnye gorizonty*, 2018, issue 16, pp. 20–25.
2. Skopintseva O. V., Balovtsev S. V. Upravlenie aerologicheskimi riskami ugol'nykh shakht na osnove statisticheskikh dannykh sistemy aerogazovogo kontrolya [Management of aerological risks of coal mines based on statistical data of the aerogas control system]. *Gornyi informatsionno–analiticheskii biulleten'*, 2021, issue 1, pp. 78–89. DOI: 10.25018/0236–1493–2021–1–0–78–89.
3. Perel'muter A. V., Slivker V. I. Povyshenie kachestva raschetnykh obosnovanii proektov [Improving the quality of design justifications of projects]. *Bst: biulleten' stroitel'noi tekhniki*, 2005, issue 10, pp. 59–62.
4. Eremin A. K., Mukharitsin E. S. O prichinakh vozniknoveniia riskov avariinogo obrusheniia zdani i sooruzhenii [On the causes of the risks of emergency collapse of buildings and structures]. *Georisk*, 2009, issue. 3, pp. 54–55.
5. Burkina N. A., Kostenko E. M. *Mikroskopicheskii analiz lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ia: uchebno-metodicheskoe posobie* [Microscopic analysis of medicinal plant raw materials: an educational and methodological guide]. Tomsk: SibGMU, 2018, 48 p. URL: <https://e.lanbook.com/book/138682> (data obrashcheniia: 05.07.2024).
6. Cheshko I. D. *Rassledovanie i ekspertiza pozharov* [Investigation and examination of fires]. SPb: SPbIPB MVD RF, 1997, 562 p.
7. Cheshko I. D. *Tekhnicheskie osnovy rassledovaniia pozharov: Metodicheskoe posobie* [Technical foundations of fire investigation: A methodological guide]. Moscow: VNIPO, 2002, 330 p.
8. *Osmotr mesta pozhara: metodicheskoe posobie* [Inspection of the fire site: a methodological guide] / I. D. Cheshko, N. V. Yun,

V. G. Plotnikov [et al.]. Moscow: VNIPO, 2004, 503 p.

9. Gorbunov A. S. Razrabotka metoda i pribora kontrolya stepeni termicheskikh povrezhdenii materialov na meste pozhara. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of a method and device for monitoring the degree of thermal damage to materials at the fire site. Cand. tech. sci. diss.]. Krasnoyarsk, 2023. 187 p. EDN: NKCYCF.

10. Troyak E. Y., Mel'nikova E. S. Issledovanie mikrostruktury kerna skvazhin podzemnoi issledovatel'skoi laboratorii uchastka «Eniseiskii» pri termicheskom vozdeistvii [Investigation of the microstructure of the core of wells of the underground research laboratory of the Yeniseisky site under thermal influence]. *Monitoring, modelirovanie i prognozirovaniye opasnykh prirodnnykh yavlenii i chrezvychainykh situatsii: Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Zheleznogorsk: Federal'noe gosudarstvennoe biudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sibirskaya pozharno-spasatel'naya akademiya» Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby Ministerstva Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoj obo-

rony, chrezvychainym situatsiiam i likvidatsii stikhiiynykh bedstvii, 2023, pp. 41–45. EDN: YJIRBO.

11. Pozharkova I. N. Issledovanie temperaturnogo rezhima pozhara v podzemnoi issledovatel'skoi laboratorii na osnove chislennogo modelirovaniya [Study of the temperature regime of a fire in an underground research laboratory based on numerical modeling]. *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2024, vol. 33, issue 4, pp. 22–35.

12. Troyak E. Y., Mel'nikova E. S. Izmenenie komponentnogo sostava i prochnostnykh kharakteristik kerna skvazhin glubinnogo burneniya v zavisimosti ot prodolzhitel'nosti i stepeni nagreva [Change in the component composition and strength characteristics of the core of deep drilling wells depending on the duration and degree of heating]. *Aktual'nye problemy pozharnoi bezopasnosti: materialy XXXVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 375-y godovshchine obrazovaniia pozharnoi okhrany Rossii*. Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut protivopozharnoi oborony MCHS RF, 2024, pp. 399-406. EDN: ZURFBP.

Трояк Евгений Юрьевич

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск
кандидат педагогических наук, доцент, заместитель начальника кафедры
инженерно-технических экспертиз и криминалистики
E-mail: trev191186@mail.ru

Troyak Evgeny Yuryevich

Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry
of Emergency Situations of Russia

Russian Federation, Krasnoyarsk Region, Zheleznogorsk

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department
of Engineering and Technical Expertise and Forensics

E-mail: trev191186@mail.ru

Пожаркова Ирина Николаевна

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерно-технических экспертиз
и криминалистики
E-mail: pozharkova@mail.ru

Pozharkova Irina Nikolaevna

Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry
of Emergency Situations of Russia

Russian Federation, Krasnoyarsk Region, Zheleznogorsk

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department
of Engineering and Technical Expertise and Forensics

E-mail: pozharkova@mail.ru

Литвинская Татьяна Анатольевна

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск
преподаватель кафедры инженерно-технических экспертиз и криминалистики
E-mail: tlitvinskaya0@xmail.ru

Litvinskaya Tatyana Anatolyevna

Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry
of Emergency Situations of Russia

Russian Federation, Krasnoyarsk Region, Zheleznogorsk

Lecturer of the Department of Engineering and Technical Expertise and Forensics

E-mail: tlitvinskaya0@xmail.ru