

ГЕОЛОГИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ВУЗАХ

УДК 549.02

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ГОЛУБОЙ ОКРАСКИ МАГМАТОГЕННОГО КВАРЦА

© 2019 г. А. Ю. Альбеков, А. В. Жабин
Воронежский государственный университет

DOI: 10.24411/1997-8316-2019-19904

Аннотация: исследован состав и микроструктура порфировых выделений кварца голубого цвета в метариолитах лебединской свиты михайловской серии. Установлено, что кварц приобретает голубую окраску вследствие тончайшего (на уровне 1–5 микрометров) расслоения, которое может быть вызвано достаточно быстрым остыванием магматической массы либо обусловлено более поздним тектоническим воздействием. Основное влияние на возникновение окраски оказывают образующиеся вокруг микрочастиц кварца полости.

Ключевые слова: голубая окраска кварца, микроструктура, метариолиты, Курский блок.

Александр Юрьевич Альбеков e-mail: petrology@list.ru

TO THE QUESTION ABOUT THE NATURE OF BLUE COLOR OF MAGMATOGENIC QUARTZ

A. Yu. Albekov, A. V. Zhabin
Voronezh State University

Abstract: the composition and microstructure of porphyry precipitates of blue quartz in the metarhyolites of the Lebedinsky suite of the Mikhailovskaya series are studied. It is established that quartz acquires a blue color due to the delicate (at a scale of 1–5 micrometers) bundle, which can be caused by a fairly rapid cooling of the magmatic mass, or due to a later tectonic effect. The main influence on the appearance of coloration is formed by the cavities formed around the microparticles of quartz.

Key words: blue-colored quartz, microstructure, metarhyolites, Kursk unit.

Кварц (SiO_2) является одним из главных минералов как группы окислов, так и семейства кремнезема и широко распространен в литосфере. Содержит в небольших количествах примеси Al, Fe, Ca, Mg, Ti, Na, K, Li, OH и др. Установлено 12 полиморфных модификаций кристаллического SiO_2 , из них основные – а-кварц (тригональный низкотемпературный), б-кварц (гексагональный высокотемпературный), b_2 -тридимит (гексагональный), в-квистобалит (кубический) [1]. Все они устойчивы при нормальном давлении, образование их определяется температурой среды. При давлении свыше 2 ГПа образуется моноклинный коэсит, свыше 10 ГПа – самая плотная модификация кварца – гексагональный стишовит. Кристаллическая структура а- и б-кварца представлена каркасом из связанных вершинами $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдров, спирально закрученных вдоль тройных осей симметрии, вследствие чего различаются правые и левые энантиоморфные формы.

Кварц выделяется в виде отдельных зерен, хорошо ограненных призматических, редко ромбоэдрических кристаллов, зернистых и шестоватых агрегатов, сливных микроволокнистых и сферолитовых масс (халцедон). Помимо полиморфных модификаций, в зависимости от окраски, выделяется несколько его кристаллических разновидностей: горный хрусталь – водянисто-прозрачный крупнокристаллический; дымчатый кварц (раух-топаз) – дымчато-бурый; морион – слюдяно-черный; цитрин – желтый, оранжевый; аметист – фиолетовый; розовый кварц [1].

Голубой кварц. Одной из редких природных разновидностей является кварц голубой окраски. Задачей данной работы является попытка установить причины ее возникновения.

Традиционно, причиной возникновения голубой окраски кварца, по Д. Дэна с соавторами [1], считается присутствие в нем

тончайших игольчатых включений рутила, который селективно рассеивает голубую часть спектра обычного света (эффект Тиндаля). Голубое окрашивание кварца может быть также связано с наличием в нем более крупных включений, очевидно газовой-жидких веществ. Светорассеивание, видимо, во многом зависит от количества и размеров включенного материала.

Причины образования голубой окраски. На основе сравнения с другими окрашенными разновидностями кварца и учитывая то, что кварц имеет стабильную кристаллическую решетку и ограниченные возможности изоморфизма, представляется, что это не единственные причины, благодаря которым кварц получает голубое окрашивание [1–5]. Авторы предполагают различные причины образования голубой окраски у природного магматогенного кварца: 1 – мелкие включения различных минералов (рутил, сфен, турмалин, содалит, дюмортьерит и др.); 2 – изоморфные примеси в кварце; 3 – широко проявленные газовой-жидкие включения; 4 – специфическая микроструктура кристаллов кварца.

Методы проведения исследований

Для диагностики каждой из предполагаемых причин возникновения окраски были использованы различные методы:

1) Установление наличия или отсутствия микроскопических включений различных минералов (рутил, сфен, турмалин, содалит, дюмортьерит и др.) проводилось с использованием: а) микроскопических исследований кристаллов кварца в шлифах оптическими методами на поляризационном микроскопе; б) исследований электронным сканирующим микроскопом JSM-6380LV в отраженных электронах (Воронежский госуниверситет).

2) Диагностика возможных изоморфных примесей в исследуемом кварце проводи-

лась рентгеноспектральным локальным анализом на электронном сканирующем микроскопе JSM-6380LV с рентгеноспектральным микрозондовым анализатором Jeol 6460 (Воронежский госуниверситет, аналитик С. М. Пилюгин). Ускоряющее напряжение 20 кV, ток зонда 25 нА, диаметр зонда 5 мкм. Точность анализов систематически (через каждые 1,5–2 часа) контролировалась по природным и синтетическим эталонам.

3) Наличие газово-жидких (флюидных) включений и их состав изучены в пластинках толщиной 200–300 мкм с двусторонней полировкой. Исследования выполнялись на установке "Linkam" (г. Черноголовка, аналитик М. Новикова) с рабочим температурным интервалом от –196 до 600°С (THMSG 600) и автоматическим режимом нагревания и охлаждения образца со скоростью от 0,1 до 90 град/мин. Приборная точность измерений соответствовала 0,1°С. Систематическая калибровка установки производилась по природным (CO₂, Samperio, Alps) и синтетическим (H₂O) включениям в кварце.

4) Исследование микроструктуры кристаллов кварца произведено на электронном сканирующем микроскопе JSM-6380LV (Воронежский госуниверситет) в неполированных зернах окрашенного кварца.

Объект исследования

Объектом исследования являются метариолиты лебединской свиты михайловской серии Курского мегаблока Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) с широко проявленными порфиrowыми вкраплениями кварца голубой окраски. Изучаемые образования вскрыты в шахте им. Губкина (г. Губкин, Белгородская область).

Макроскопически метариолиты представляют собой темно-серые до черных по-

роды с буроватым или зеленоватым оттенком. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, что выражается в некотором рассланцевании породы, появлении директивных текстур (в отдельных образцах сохраняется массивная текстура), развитии биотита, мусковита, кальцита и вторичных амфиболов.

Порфиrowые вкрапления представлены неравномерно распределенными изометричными или субизометричными зернами кварца голубой окраски, количество которых достигает до 30, редко 40%. Размер кристаллов колеблется от долей миллиметра до сантиметра (рис. 1).

Результаты исследований

Причина 1. Мелкие включения различных минералов (рутил, сфен, турмалин, содалит, джумортьерит и др.).

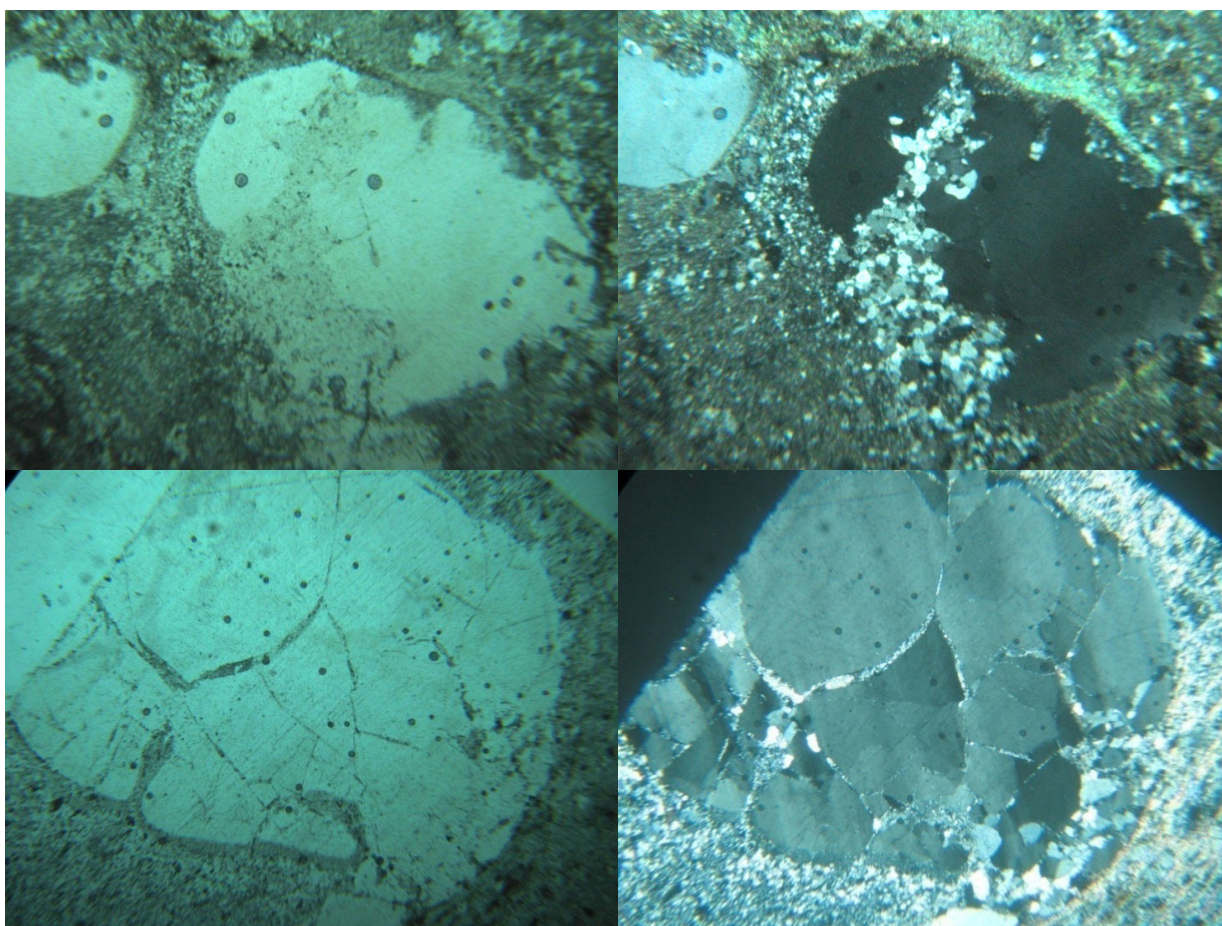
Проведенные исследования показали, что порфиrowые вкрапления представлены кварцем изометричной или субизометричной формы. Границы отдельных зерен округлые, четкие, в то же время, как и у сосуществующих с ними отдельных кристаллов, значительно корродированны с развитием по зонам коррозии мелкого перекристаллизованного кварца, реже полевых шпатов (рис. 2). Размеры крупных вкраплений в пределах шлифов – до 12 мм по удлинению (обычно 3–4 мм), мелкие зерна – 0,8x1,0 мм. Некоторые зерна имеют зональное или волнистое погасание.

Основная мелко-тонкозернистая масса сложена кварцем, полевым шпатом, кислым плагиоклазом, тонкозернистыми кристаллами биотита, мусковита, кальцита, вторичными амфиболами, апатитом и девитрифицированным вулканическим стеклом.

Микроскопическое исследование, как и просмотр поверхности зерен кварца на электронном сканирующем микроскопе в отраженных электронах не показали нали-



Рис. 1. Фотографии образцов метариолитов михайловской серии с порфиристыми включениями голубого кварца



а

б

Рис. 2. Микрофотографии включений голубого кварца с вросками тонкозернистых минералов

Увеличение 7,5х: а – проходящий свет, б – николи скрещены

чие микроскопических фаз рутила или любного другого минерала.

Причина 2. Изоморфные примеси в кварце.

Установление возможных изоморфных примесей в кварце с помощью высокоточных анализов типа масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) не реализуется вследствие установленной трещиноватости зерен и развития по трещинам различных минералов. По этой причине был использован точечный рентгено-спектральный микрозондовый анализ, который позволил установить, что кварц голубой окраски состоит практически из чистого оксида кремнезема и содержит в незначительном количестве (примерно на уровне 2σ) примеси хрома, марганца, натрия, калия, железа, магния и кальция (табл.). К сожалению, проведенные рентгеноспектральные микрозондовые исследования не позволили диагностировать многие рудные, редкие и рассеянные элементы, по этой причине достоверно диагностировать природу голубой окраски кварца не представляется возможным, но установлено, что значимые концентрации титана в кварце отсутствуют.

Авторы отдают себе отчет, что используемый при проведении исследований энергодисперсионный спектрометр обладает слабой способностью измерять низкие концентрации элементов. Для анализа необ-

ходимо использовать более «чуткие» вторично-ионные зонды. В связи с этим возможность присутствия микроконцентраций титана в исследуемых кристаллах голубого кварца не исключается.

Причина 3. Широко проявленные газожидкие включения.

Проведенные исследования показали, что в изученных зернах голубого кварца флюидные включения представлены только водными разностями. Они локализируются во всех случаях вдоль залеченных трещин, не выходящих за пределы зерен (первично-вторичные). Большинство включений неправильной, иногда "амебовидной" формы, сильно вытянутые и изогнутые, объемные, нередко темные или с затемненными краями (рис. 5). В среднем их размер порядка 10–20, реже до 30–50 мкм. Температура плавления льда от 0,1 до 0,8° С. Учитывая крайне незначительное количество газожидких включений в исследованных образцах, можно сделать вывод об их непричастности к возникновению окраски кварца.

Причина 4. Специфическая микроструктура кристаллов кварца.

Для оценки влияния микроструктуры зерен кварца на его окраску были проведены сравнительные исследования не только порфировых вкрапленников голубой окраски из метариолитов михайловской серии, но и образцы кварца серого и белого цвета

Таблица

Результаты микрозондового рентгеноспектрального анализа порфировых зерен голубого кварца

№	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
1	99,90	0,00	0,06	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,15	0,17	100,14
10	99,52	0,00	0,09	0,00	0,10	0,13	0,08	0,08	0,20	0,00	100,20
13	99,50	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,14	0,03	99,75
1	99,86	0,00	0,08	0,00	0,04	0,00	0,01	0,03	0,00	0,13	100,15
8	99,75	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	99,87

Примечание: № соответствует точкам анализа: 1, 10, 13 (рис. 3); 1, 8 (рис. 4).

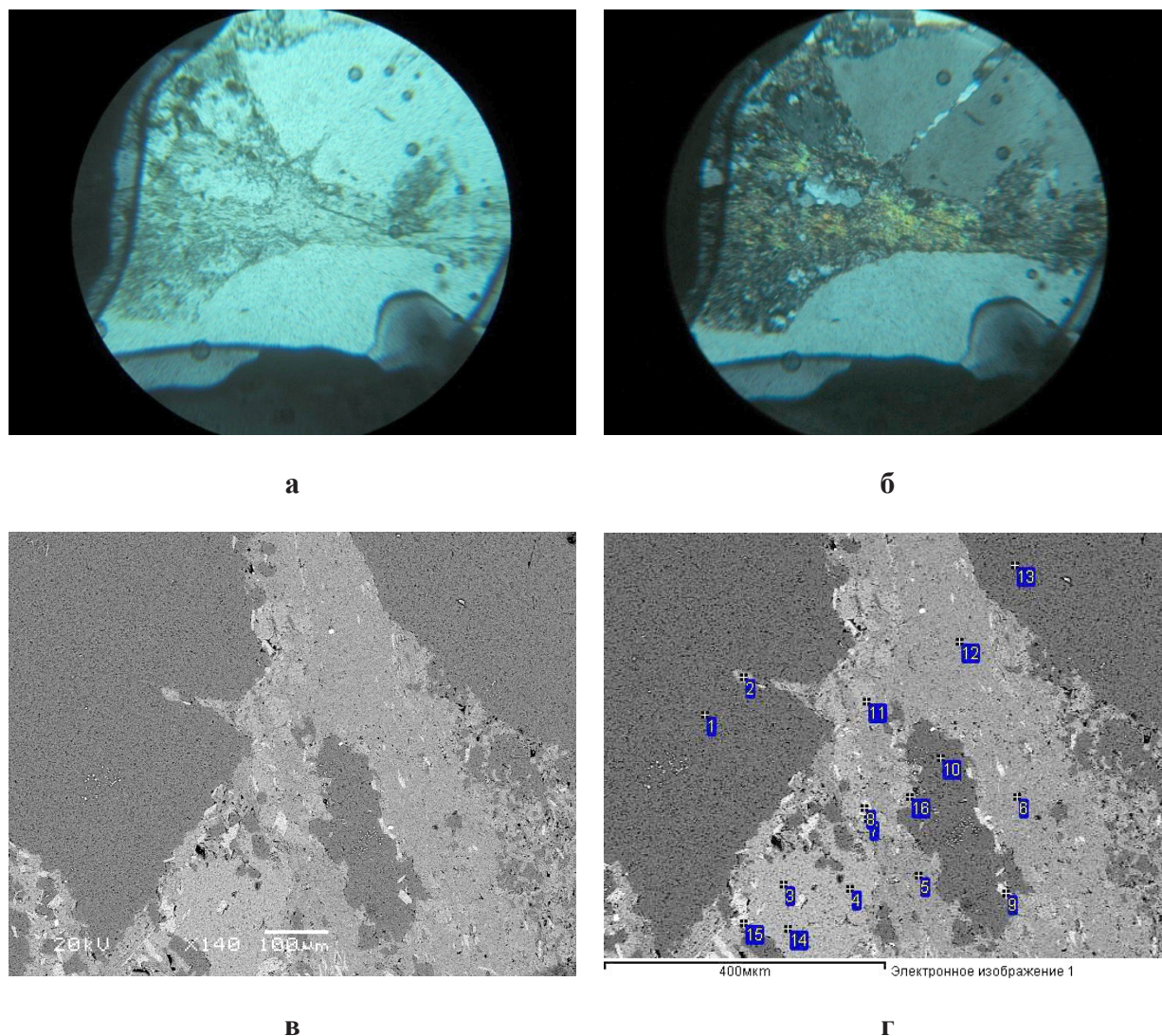


Рис. 3. Микрофотография зерен голубого кварца с минералами основной массы породы (шлиф 1)

а – увеличение 60х, проходящий свет; б – увеличение 60х, николи скрещены; в – тот же участок в отраженных электронах; г – то же с точками произведенных микрозондовых анализов

из расположенных в одном регионе гранитов павловского интрузивного комплекса (рис. 6) и железистых кварцитов из Михайловского железорудного карьера (рис. 7). Исследование структуры кварца из гранитоидов и железистых кварцитов показало, что они обладают плотным строением с незначительными сколами раковистого облика (рис. 6, 7).

Микростроение зерен кварца голубой окраски из исследованных образцов мета-

риолитов разительно отличается от них. Главной чертой зерен является их тончайшая "пластинчатая раздробленность", хорошо видимая на рисунке 8. Весь кристалл кварца состоит из мельчайших пластинок размером 1–2 x 5–6 микрон со свободным пространством между ними. Подобное строение, возможно, способствует возникновению эффекта интерференции световой волны на границе микроблоков, что приводит к возникновению голубой окраски.

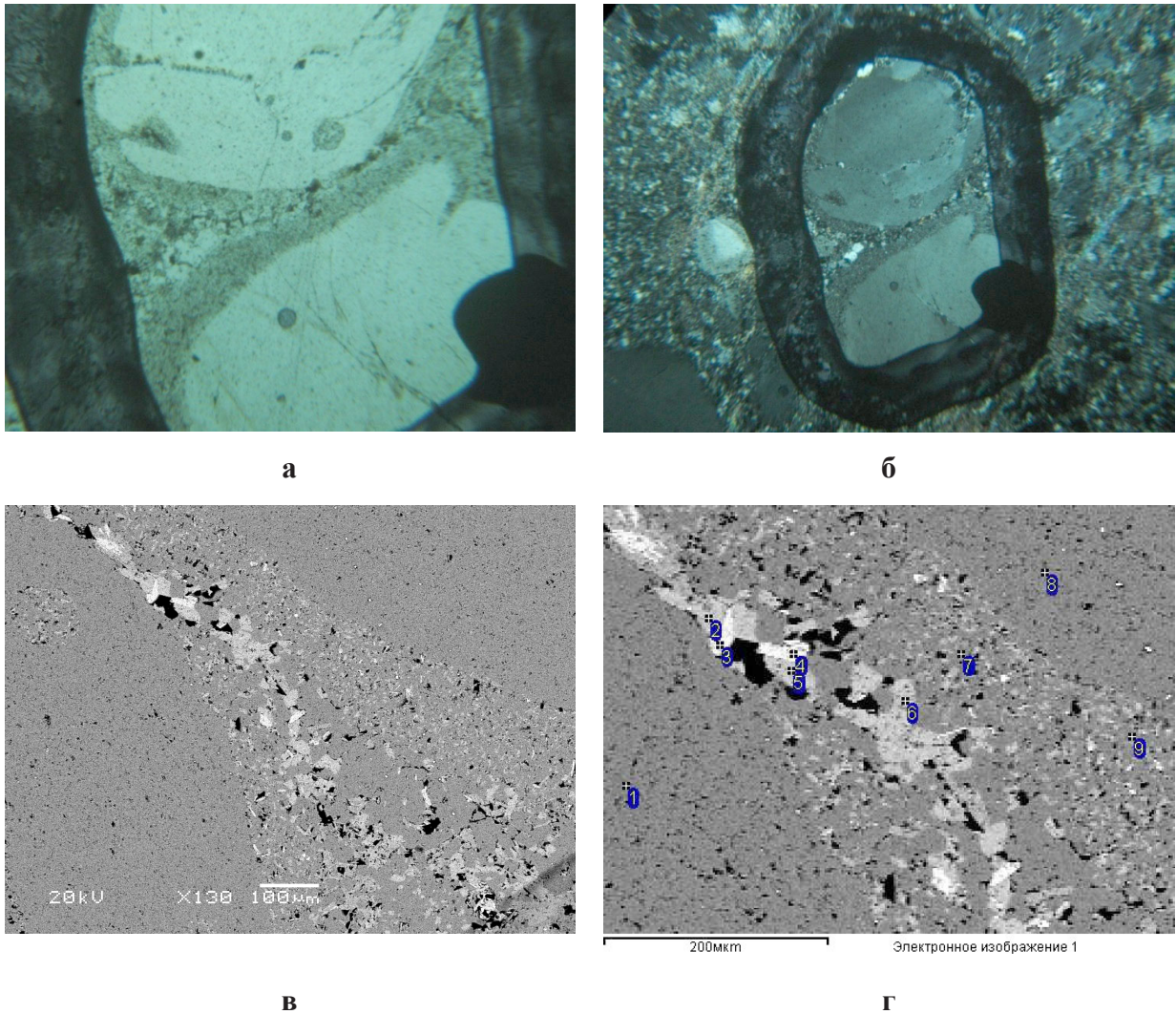


Рис. 4. Микрофотография зерен голубого кварца с оторочкой криптозернистого минерального агрегата

а – увеличение 20х проходящий свет; б – увеличение 10х, николи скрещены; в – тот же участок в отраженных электронах; г – то же с точками произведенных микрозондовых анализов

Таким образом, не исключая возможность присутствия микропримеси минералов титана, предполагается, что кварц приобретает голубую окраску вследствие тончайшего (на уровне 1–5 микронов) расслоения, что может быть вызвано достаточно быстрым остыванием магмати-

ческой массы (актуально для риолитов), либо вследствие более позднего тектонического воздействия. При этом основное влияние на возникновение окраски оказывают полости, образующиеся вокруг микрочастиц кварца.

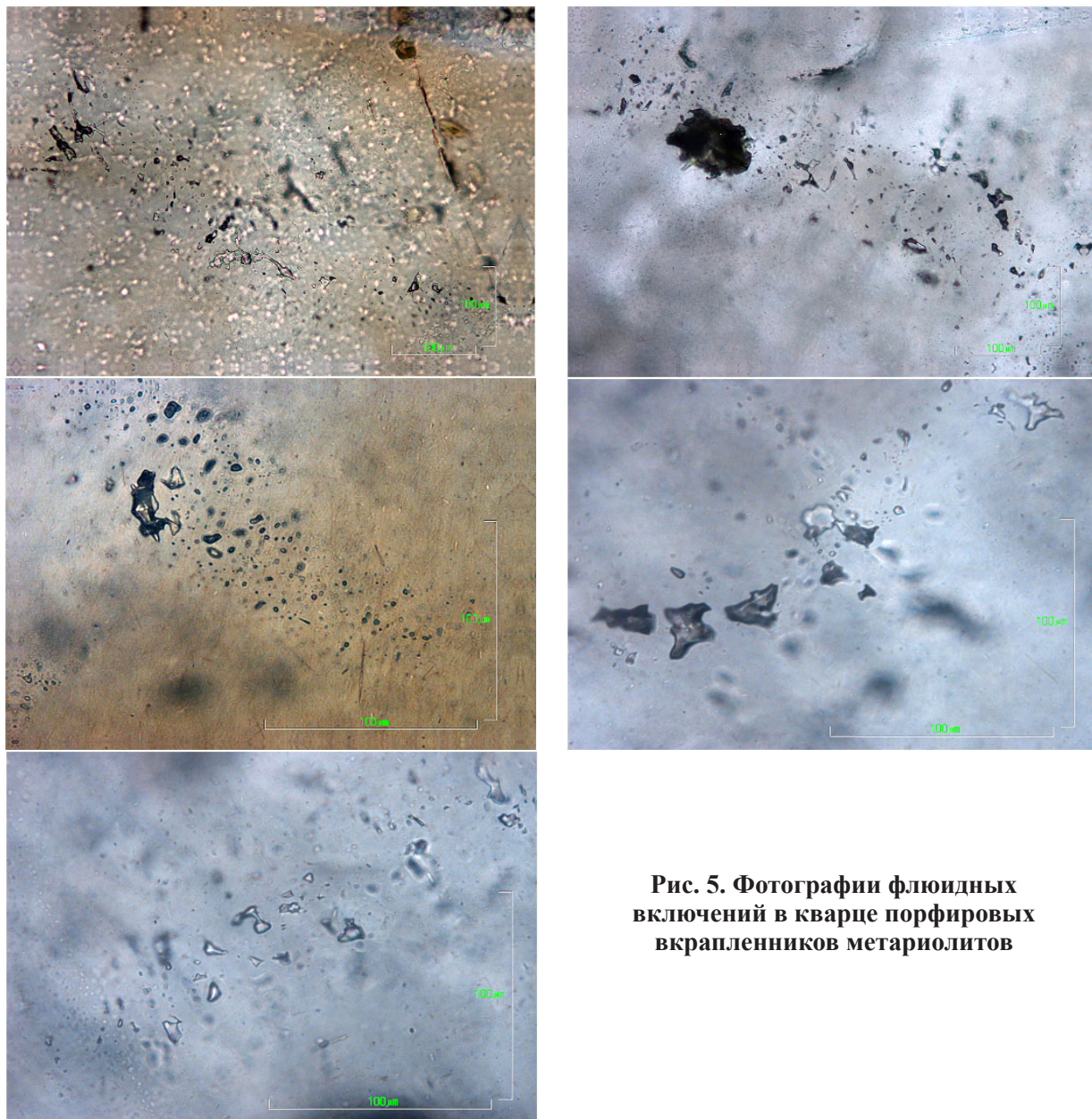


Рис. 5. Фотографии флюидных включений в кварце порфировых вкрапленников метариолитов

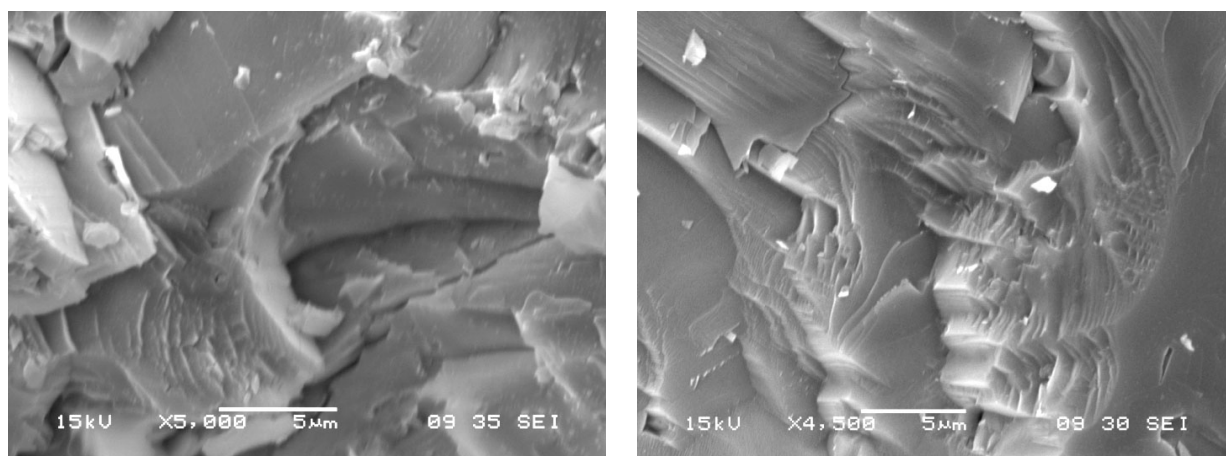


Рис. 6. Микроструктура зерен кварца из мигматизированных гранитоидов павловского комплекса Шкурлатовского карьера

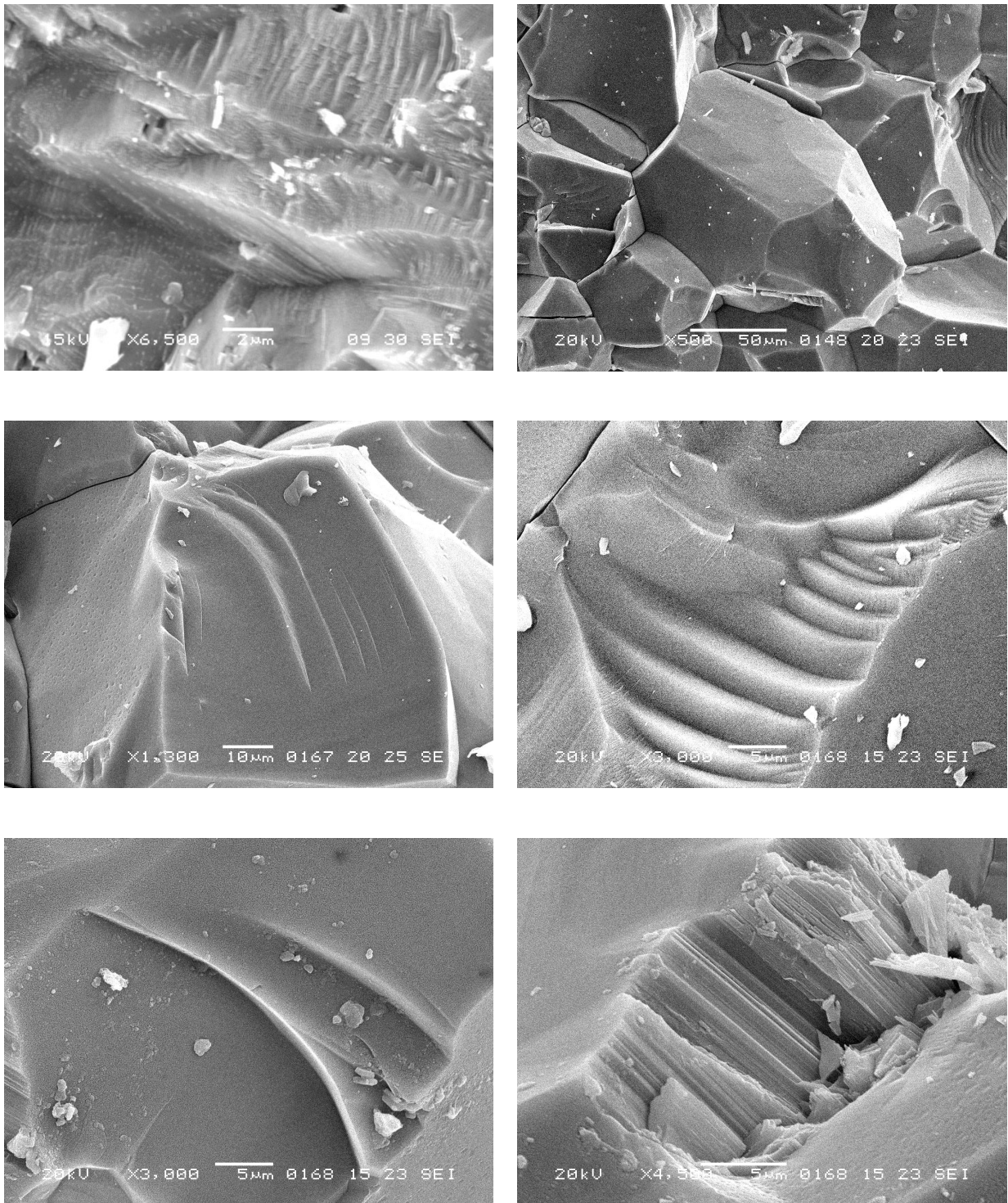


Рис. 7. Микроструктура зерен кварца из железистых кварцитов Михайловского железорудного карьера

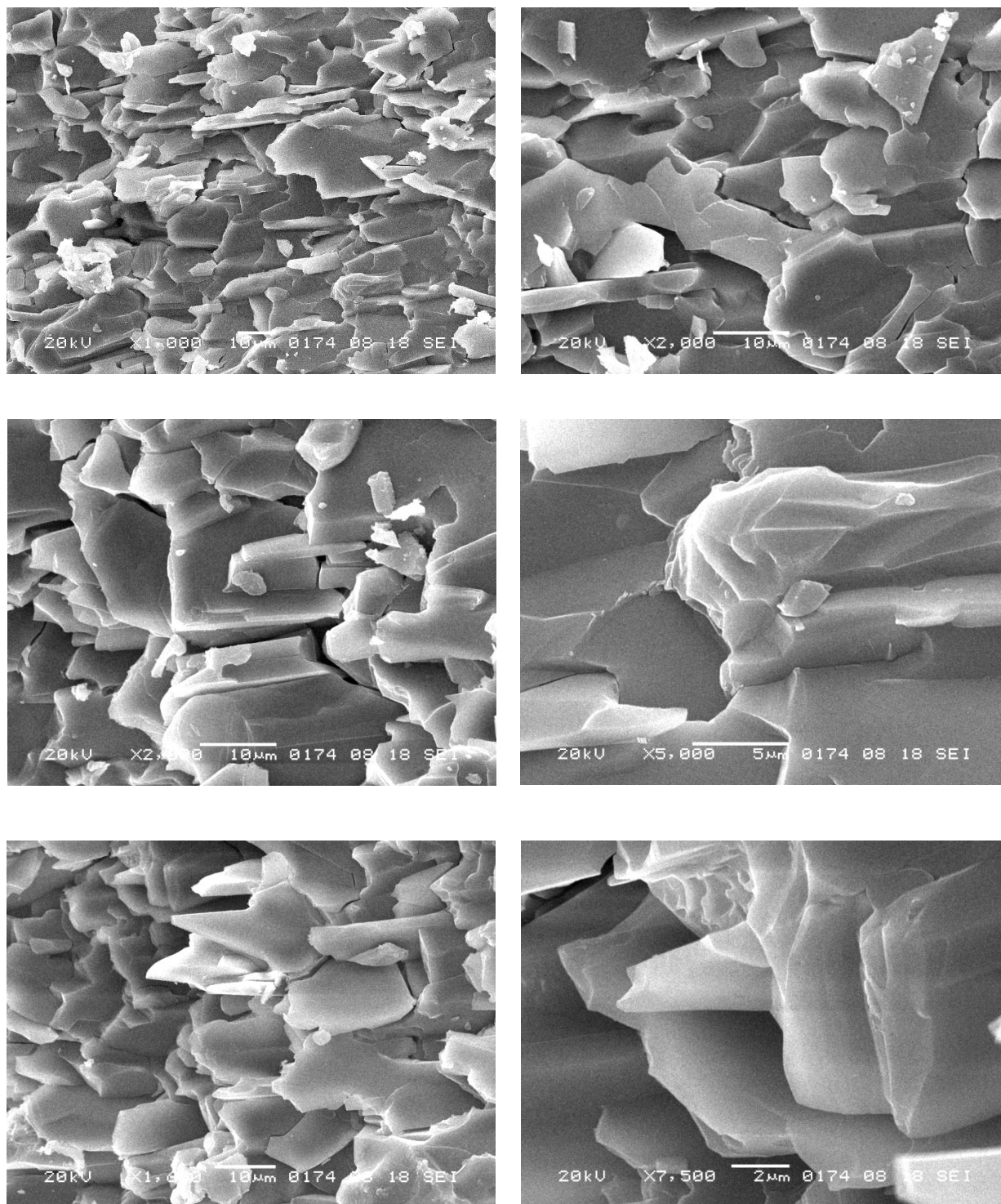
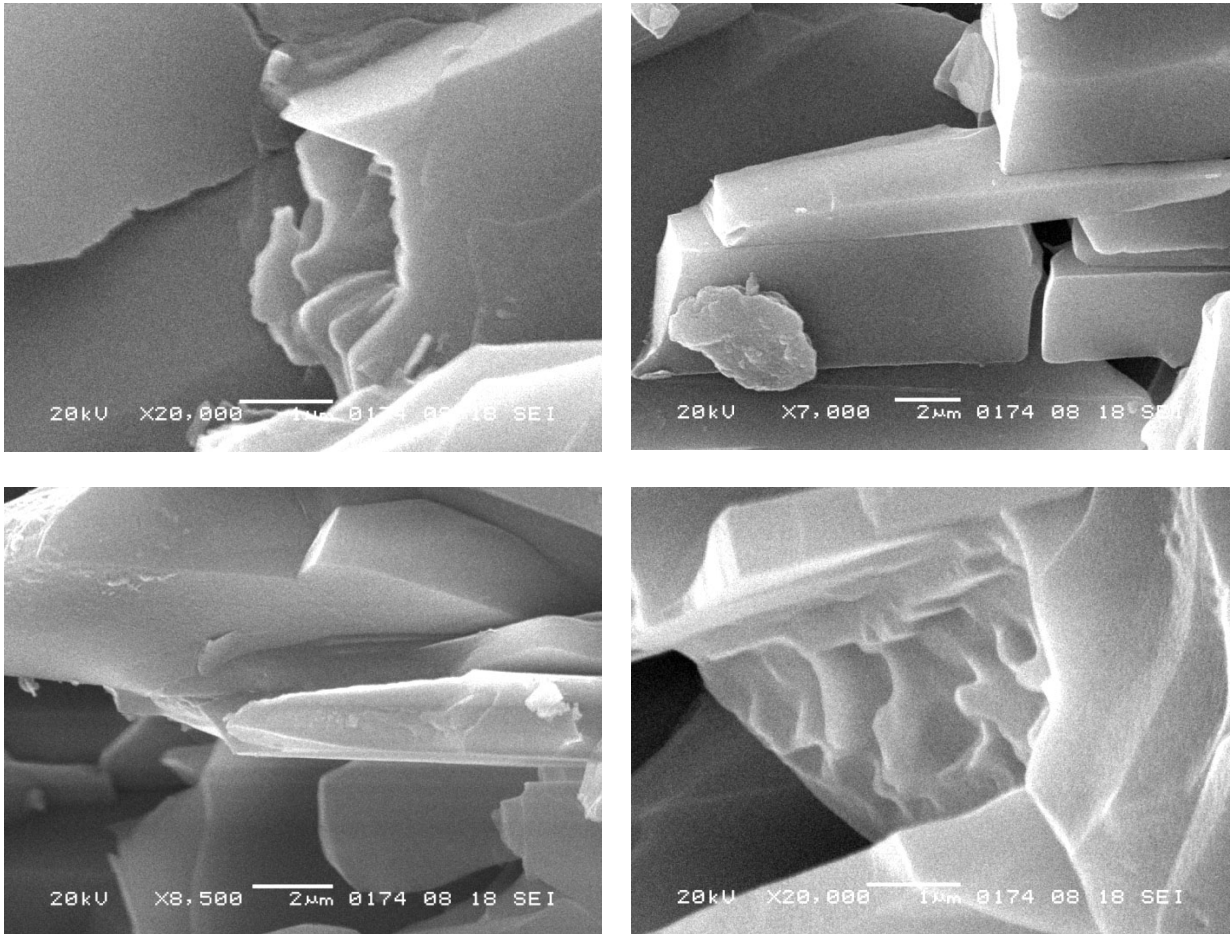


Рис. 8. Микроструктура зерен "голубого" кварца
(продолжение на следующей странице)



Л и т е р а т у р а

1. Дэна Дж. Д. и др. Система минералогии. – М., 1953. – Т. 2. – 774 с.
2. Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н. Геология месторождений поделочных камней. – М.: Недра, 1976. – 250 с.
3. Оценка качества камнесамоцветного сырья и коллекционного материала // Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней (ювелирно-поделочных, декоративно-облицовочных). – М., 1983. – Вып. 25. – 103 с.
4. Щеголев И. Н. О голубом кварце базальных горизонтов нижней свиты курской серии КМА // Вопросы геологии КМА. – Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 1977. – Вып. 1. – С. 95–97.
5. Seifert, W. Distinctive properties of rock-forming blue quartz: inferences from a multi-analytical study of submicron mineral inclusions / W. Seifert, D. Rhede, R. Thomas et al. // Mineralogical Magazine. – 2016. – 75 (4). – P. 2519–2534.