

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.067.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ГЕОЛОГО-
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 03.03.2022 г. № 02/4

О присуждении Томасу Виктору Габриэлевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация «Свободный рост несингулярных поверхностей кристаллов из растворов» по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография» принята к защите 30 ноября 2021 г., протокол № 02/10, диссертационным советом Д 003.067.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3), приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Томас Виктор Габриэлевич, 1959 года рождения, защитил в 1992 году диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук на тему «Взаимодействие алюмосиликатного материала с азотом в условиях карбонатического восстановления» в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук. Соискатель работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории физического и химического моделирования геологических процессов (№445) ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Официальные оппоненты:

- 1) Асхабов Асхаб Магометович, академик РАН, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография», главный научный сотрудник лаборатории экспериментальной минералогии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения им. Н.П. Юшкина Российской академии наук (г. Сыктывкар); 2) Волошин Алексей Эдуардович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния», главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук (г. Москва); 3) Димитрова Ольга Владимировна, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография», ведущий научный сотрудник лаборатории кристаллографии и роста

кристаллов (кафедра кристаллографии и кристаллохимии) Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка), в своем положительном заключении, подписанном **Балицким Владимиром Сергеевичем**, доктором геолого-минералогических наук, главным научным сотрудником, **Сетковой Татьяной Викторовной**, кандидатом химических наук, старшим научным сотрудником, и.о. заведующего лабораторией синтеза и модификации минералов и **Сафоновым Олегом Геннадьевичем**, доктором геолого-минералогических наук, директором ИЭМ РАН, указала, что представленная диссертация является законченной научно-исследовательской работой, основанной на большом объеме новых экспериментальных результатов, комплексных аналитических и теоретических данных, полученных на высочайшем научно-методическом уровне, и квалифицировала диссертацию как существенный вклад в решение крупной научной проблемы; диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а диссертант В.Г. Томас заслуживает присуждения ему учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

Соискатель В.Г. Томас имеет более 100 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 18 статей в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, баз данных Web of Science и Scopus и 1 патент РФ:

1. **Томас В.Г.** О механизме транспорта вещества при гидротермальном росте кристаллов корунда в бикарбонатных растворах // Геология и геофизика. - 1996. - №7. - с. 96–99.
2. **Thomas V.G., Mashkovtsev R.I., Smirnov S.Z., Mal'tsev V.S.** Tairus hydrothermal Synthetic Sapphires Doped with Nickel and Chromium // Gems & Gemology. - 1997. - №3. - p.188 - 202.
3. **Thomas V.G., Demin S.P., Fursenko D.A., Bekker T.B.** Pulsation process at hydrothermal crystal growth (beryl as example) // J. of Crystal Growth. - 1999. - V.206. - №3. - p.203 - 214.
4. Машковцев Р.И, Стоянов Е.С., **Томас В.Г.** Состояние молекул и ионов в структурных каналах синтетического берилла с примесью аммония // Ж. Структ. Химии. - 2004. - Т.45. - №1. - с. 59-66.
5. Smirnov S.Z., **Thomas V.G., Demin S.P, Drebushchak V.A.** Experimental study of boron solubility and speciation in $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ system // Chemical Geology. - 2005. - Т.223. - p.16-34.
6. Гаврюшкин П.Н., **Томас В.Г.** Кинематика роста регенерационных поверхностей кристаллов // Кристаллография. – 2009. - Т.54. - №2. с.359 – 367.
7. **Томас В.Г., Гаврюшкин П.Н., Фурсенко Д.А.** Двумерное моделирование роста регенерационных поверхностей кристаллов // Кристаллография. - 2012. - Т.57. - №6. - с. 962-974.
8. Smirnov S.Z., **Thomas V.G., Kamenetsky V.S., Kozmenko O. A. , Large R.R.** Hydrosilicate Liquids in the System $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ with NaF , NaCl and Ta :

- Evaluation of Their Role in Ore and Mineral Formation at High T and P // Пётрология. - 2012. - Т.20. - №3. - с.300–314.
9. Томас В.Г., Смирнов С.З., Козьменко О.А., Дребущак В.А., Каменецкий В.С. Образование и свойства водно-силикатных жидкостей в системах $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ и гранит– $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ при 600°C и 1.5 кбар // Пётрология. - 2014. - Т.22. - №3. - с.327–344.
 10. Томас В.Г., Гаврюшкин П.Н., Фурсенко Д.А. Регенерация сферической поверхности монокристаллического шара: численное 2D-моделирование // Кристаллография. - 2015. - Т.60. - с. 640-650.
 11. Mashkovtsev R.I., Thomas V.G., Fursenko D.A., Zhukova E.S., Uskov V.V., Gorshunov B.P. FTIR spectroscopy of D_2O and HDO molecules in the c-axis channels of synthetic beryl. // American Mineralogist. - 2016. - V.101. - №1.- р. 175-180.
 12. Смирнов С.З., Томас В.Г., Каменецкий В.С., Козьменко О.А. Водно-силикатные жидкости в системе редкометальный гранит– $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ как концентраторы рудных компонентов при высоких давлении и температуре. // Пётрология. - 2017. - Т.25. - №6. - с.646–658.
 13. Thomas V.G. , Daneu N. , Rečnik A. , Fursenko D. A. , Demin S.P., Belinsky S.P., Gavryushkin P.N. Crystallographic assembly of macroscopic crystals by sub-parallel splicing of multiple seeds // Crystal Growth & Design. - 2017. - V.17. - №2. - p.763 - 773.
 14. Thomas V.G. , Daneu N. , Rečnik A. , Mashkovtsev R.I., Dražić G., Drev S., Demin S.P., Gavryushkin P.N., Fursenko D. A. Micro-sectoriality in hydrothermally grown ruby crystals: The internal structure of the boundaries of the growth sectors // CrystEngComm. - 2017. - V.19. - №44. - p.6594 - 6601.
 15. Thomas V.G., Fursenko D. A. Antiskeletal Morphology of Crystals as a Possible Result of Their Regeneration // Crystal Growth & Design. - 2018. - V.18. - №5. - p.2912-2917.
 16. Thomas V.G., Daneu N., Mashkovtsev R.I., Rečnik A., Fursenko D. A. The internal structure of hydrothermally grown leucosapphire crystals // CrystEngComm. - 2019. - V.21. - №7. - p.1122-1129.
 17. Kovalev V.N., Thomas V.G., Fursenko D.A. Quantitative Analysis of the Regenerating Single-Crystal Ball Evolution. // Crystal Growth & Design, 2019, 19(6), 3206-3214.
 18. Belyanchikov M.A., Abramov P.A., Ragozin A.L., Fursenko D.A., Gorshunov B., Thomas V.G. Distribution of D_2O molecules of the first and second type in hydrothermally grown beryl crystals. // Crystal Growth & Design, 2021, 21 (4), p.2283-2291.
 19. Томас В.Г., Мальцев В.С., Фурсенко И.Б. Искусственный хрусталик глаза. Патент РФ №2306903. Приоритет от 01.12.2005. Зарегистрирован в Гос. Реестре изобретений РФ 27.09.2007.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов (все положительные) от: 1) д.г.-м.н., профессора-исследователя Университета г. Нью-Йорк Штуценберга Александра Григорьевича; 2) д.т.н., главного научного сотрудника лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН Дебелова Виктора Алексеевича; 3) д.ф.-м.н., профессора кафедры теоретической физики ТГУ им. Г.Р. Державина Шибкова

Александра Анатольевича; 4) д.х.н., главного научного сотрудника, зав. лабораторией моделирования геохимических процессов ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН, Таусона Виктора Львовича; 5) д.т.н., зав. лабораторией роста кристаллов ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН; Коха Александра Егоровича, 6) д.г.-м.н., профессора кафедры минералогии и геохимии НГУ Смирнова Сергея Захаровича, 7) к.ф.-м.н., доцента, Ким Екатерины Леонидовны и д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой кристаллографии и экспериментальной физики ННГУ им. Лобачевского Чупрунова Евгения Владимировича.

В отзывах отмечено, что диссертационная работа является серьёзным научным исследованием, вносящим принципиальный вклад в решение крупной научной проблемы; изложенные в работе результаты обладают большой важностью для промышленного выращивания кристаллов. Подчеркивается значительный объем экспериментальных исследований, их качественная и комплексная проработка с применением широкого круга современных аналитических методов. Полученные соискателем результаты признаны мировым сообществом, что подтверждается их опубликованием в высокорейтинговых журналах, в большинстве статей – в качестве первого автора. Основные защищаемые положения достоверны и обоснованы.

Основные замечания и предложения по автореферату и диссертации:

1) Из отзыва ведущей организации (Балицкий В.С., Сеткова Т.В. и Сафонов О.Г.): «В диссертации уделено мало внимания значимости выполненной работы в области наук о Земле, учитывая, что диссертант представляет диссертацию на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. В отдельной главе было бы целесообразно указать генетическую связь процессов роста синтетических кристаллов с природными аналогами берилла и корунда. Сравнить внутреннее строение различных пирамид роста природных и синтетических кристаллов в зависимости от распределения в них примесей».

«Автор очень кратко описывает методику проведения экспериментов по выращиванию кристаллов берилла и корунда, в частности, состав и концентрации растворов, которые в диссертации практически не рассматриваются, значительно влияют на механизмы роста одной и той же грани кристалла»

«В главе 2 приведена методика роста кристаллов берилла по схеме синтеза и по схеме перекристаллизации, далее в результатах не указано, в чем различие и влияние этих схем на скорость и механизмы роста граней берилла»

«Нет объяснения выбора ориентации затравок, параллельных несингулярным поверхностям берилла $\{5.5.\overline{10}.6\}$ и корунда $\{10\overline{1}0\}\dots$ ».

«На наш взгляд, не совсем понятно явление «опрокидывания», описанное автором при градиентном росте (при ΔT), где температура нижней части автоклава выше верхней, ростовой. Ростовая зональность обычно появляется при разных скоростях роста, и при $T=const$ определяется величиной пересыщения раствора. Суть выращивания совершенных монокристаллов методом температурного градиента заключается в 1) оценке необходимой величины пересыщения раствора в зоне роста; 2) поддержание постоянства величины перемещения во времени. Для обеспечения этого создается специальная конфигурация арматуры в автоклаве, способствующая образованию стационарного, стабильного во времени, по возможности ламинарного движения

(циркуляции) раствора. Явлений «пульсации» при гидротермальном росте необходимо избегать.»

«Процесс гидротермальной кристаллизации протекает в герметичном сосуде и практически недоступен для наблюдения, его сложность определяется многокомпонентностью кристаллобразующей системы, что подчеркивалось многочисленными исследователями классиками гидротермального выращивания кристаллов (А.А. Штернбергом, В.А. Кузнецовым, В.А. Лобачевым, Р. Лодизом и Р. Паркером). В различных участках этой системы происходят как процессы на границе кристалл-раствор (растворение, рост кристаллов и др.), так и в объеме самого раствора (его перенос с растворенными компонентами, теплообменные явления в самом растворе, между раствором и автоклавом, арматурой, шихтой и растущими кристаллами. Практически любое из указанных явлений может лимитировать процесс роста и влиять на механизмы регенерации кристаллов. К сожалению, автор в разработке своей модели не учёл указанные ростовые факторы»

2) Из отзыва официального оппонента Асхабова А.М.:

«Вопрос о независимости скоростей роста субиндивидов от их размеров нельзя признать решенным окончательно. Для «булыжной мостовой» на кварце конкуренция холмиков, в том числе, по размерному признаку легко фиксируется. Очевидно, нужны прямые наблюдения и измерения»

«Остаются вопросы к использованию постулатов кинематической модели, предложенной П.Н. Гаврюшкиным. Конечно, надо признать, что при сделанных допущениях модель может работать, но насколько оправданы эти допущения. Реальность сложнее и разнообразнее»

«Предположение о равенстве скоростей роста микрограней и макрограней, принадлежащих одной и той же простой форме, может быть справедливо при равенстве всех других факторов, влияющих на скорость роста. В любом случае, это не универсальный закон, а лишь приближение, которое может реализоваться в определенных условиях»

«Что касается на первый взгляд неожиданного и крайне интересного явления поглощения плоских граней несингулярными поверхностями, которое ранее никто не наблюдал, то по данным, приведенным в диссертации, оно, похоже, имеет место. Но, опять же, хотелось бы иметь прямые наблюдения, осуществленные непосредственно в процессе роста»

«Очень эффектна идея связать образующиеся субиндивиды с изначально существующими на поверхности шероховатостями (выступами и впадинами). Ее невозможно оспорить, но хорошо бы иллюстрировать столь же эффектными экспериментальными примерами»

«Автор, анализируя шероховатость затравочных пластин, практически не уделяет внимания форме выступов и углублений на поверхности затравки, которые не могут быть постоянными. По этим выступам строятся те самые «соприкасающиеся дуги», которыми автор аппроксимирует выступы. Вопрос – как будет эволюционировать несингулярная поверхность, если высоты выступов разные?»

«Формулируя свою модель эволюции поверхности, соискатель ограничился рассмотрением только одного варианта представления исходной шероховатости

поверхности – совокупности соприкасающихся выпуклых дуг. Совершенно не исследованными остались другие варианты, - в частности, связанные с дефектностью затравки, особенностями ввода процесса в стационарный режим, протекания начальных стадий и т.д.»

«Так же вне детального обсуждения о скоростях роста микрограней и протяженных граней той же простой формы, остались роль скорость-контролирующих факторов, кинетики процессов на самих гранях, особенности переноса вещества, дефектов, входящих углов и т.д., которые могут оказывать сильное влияние на скорости прилегающих микрограней»

«На кварце были установлены почти все основные закономерности регенерации кристаллов. Удивляет практически полное отсутствие ссылок и соответствующих сравнений с тем, что происходит на кристаллах берилла и корунда»

3) Из отзыва официального оппонента Волошина А.Э.:

«Автор использует термин «анизотропия энергии присоединения частиц» для различного энергетического состояния частиц, занимающих разные положения на поверхности F-грани. С учетом того, что слово «анизотропия» происходит от греческого anisos — неравный и tropos — направление, нельзя признать такой термин удачным, так как в этом вопросе речь о направлениях вообще не идет, а лишь о различных структурных конфигурациях в размещении частиц.»

«На стр. 33 написано: «Рассмотрим кубический кристалл ... размером в одну кубическую ячейку. Он может быть огранен гранями двух простых форм {001} и {011}». Трудно представить себе кубическую ячейку, ограниченную гранями двух простых форм.»

«На стр. 42: «... дефекты упаковки типа краевых, винтовых и частичных дислокаций». Дефекты упаковки и дислокации – это разные дефекты различной размерности: дефекты упаковки – двумерные, дислокации – линейные дефекты.

«В главе 1 автор объясняет, почему ему не нравятся термины «сингулярная» грань и «несингулярная» поверхность и вводит вместо них термины «гладкая грань» и «регенерационная поверхность». Однако суть понятий от этого не меняется, что подтверждается тем, что новыми терминами автор почти не пользуется, а традиционные («сингулярная» и «несингулярная») звучат повсеместно. Спрашивается, зачем создавать путаницу?»

«В предлагаемых схемах реакций (напр., 3.1, 3.6 и др.) даются коэффициенты, которые не выравнивают содержания элементов в исходных веществах и продуктах реакции. Отметим, что эта небрежность характерна для всей диссертации.»

4) Из отзыва официального оппонента Димитровой О.В.:

«Глава 1. Рассматривая эволюцию фронтов роста несингулярных поверхностей и строение пирамид их роста, соискатель почти не уделил внимание работам уральской школы ростовиков (Г.В. Клещёв, А.Н. Брызгалов и др.), большой объем внимания которых уделялся особенностям гидротермального роста кристаллов кварца на несингулярно ориентированные затравки. Тем более что автор, судя по списку литературы, знаком с их работами. Почему?»

«Глава 2. Методика гидротермального роста кристаллов берилла и корунда описана слишком схематично. Тем более что значительный объем подготовительных

исследований в этой области был направлен на повышение воспроизводимости гидротермальных экспериментов. Ознакомление с конкретными рекомендациями по стабилизации ростовых процессов было бы очень интересно специалистам в области гидротермального роста.»

«Глава 4. Материал можно было бы усилить, используя анализ полей напряжений в пирамиде роста несингулярной поверхности, аналогичный подходам, использованным ленинградской школой исследователей (Ю.О. Пунин, А.Г. Штуценберг и др.). Тем более соискатель знаком с их работами. Также в этой главе нет конкретных рекомендаций по снижению свилеватости в кристаллах, выращенных на несингулярно ориентированные затравки. Их наличие существенно повысило бы практическую важность работы.»

«Глава 5. Говоря о случаях количественных различий между результатами численного моделирования и реального роста, автор объясняет эти различиями геометрий выступов на модельной (соприкасающиеся дуги) и реальной (чередующиеся выступы и углубления) поверхностях. Почему автор не оцифровал шероховатость реальных поверхностей и не использовал полученные данные для построения модельной поверхности?»

5) Из отзыва Штуценберга А.Г.:

«Глава 1. Проблема вытеснения из огранки кристалла медленнорастущих гладких граней за счет несингулярных поверхностей рассмотрена недостаточно полно и ясно. Во-первых, при регенерации идеального монокристаллического шара медленнорастущие грани не могут исчезать из огранки кристалла. Процессы, ведущие к исчезновению относительно медленнорастущих граней, требуют наличия входящих углов между субиндивидами, ключевая роль которых требует большего внимания. Во-вторых, необходимо определить применимость формулы 1.5 диссертации к микрограммам на регенерационных поверхностях. Можно ли использовать эту формулу для поверхностей с размерами микрограмм в десятки и сотни микронов? Вполне возможно, что для таких масштабов уже надо рассматривать эволюцию каждого сегмента по отдельности. В-третьих, снижение скорости роста несингулярных поверхностей по их мере эволюции с большой вероятностью связано с уменьшением числа точек роста (мест, где возможно присоединение строительных единиц к поверхности кристалла) за счет уменьшения активности дислокационных источников ростовых слоев (стандартная ситуация при росте макроскопической грани при резком увеличении пересыщения). Этот ключевой аспект проблемы требует отдельного рассмотрения.»

«Глава 3. Геометрический отбор на несингулярных поверхностях приводит к уменьшению количества индивидов на единицу длины профиля пропорционально $(время)^{-0.734}$. Вместе с тем теоретический анализ (N.H. Gray Mathematical Geology, 1984, Vol. 16, No. 1, P. 91-100) предсказывает более плавное уменьшение числа субиндивидов пропорциональное $(расстояние\ от\ подложки)^{-0.5}$. В чем могут быть причины такого различия?»

«Глава 4. Требует пояснения вопрос, почему присутствие ионов хрома приводит к уменьшению количества ламелей бёмито-подобной фазы на границах секторов роста? Не понятен термин «плоские краевые дислокации», используемый при формулировке второго защищаемого положения.»

6) Из отзыва Коха А.Е.:

«Мое замечание к работе состоит в том, что разработанную В.Г. Томасом модель лишь условно можно назвать физической. По сути, это качественная геометрическая модель. Формулировка защищаемых положений полностью это подтверждает. Кстати, защищаемые положения синтаксически написаны очень «тяжело», даже после нескольких прочтений их смысл остается до конца непонятным.»

7) Из отзыва Дебелова В.А.:

«В ходе численного моделирования Соискатель представляет исходную поверхность в виде совокупности соприкасающихся дуг различных радиусов, равномерно распределенных на отрезке $[r_{\min}, r_{\max}]$. При этом, количественные отклонения между результатами численного и реального ростового экспериментов Виктор Габриэлевич объясняет различиями в геометрии шероховатостей на построенной и реальной поверхностях. Почему Соискатель не воспроизвел на модельной поверхности шероховатость поверхности реальной затравочной пластины, статистически обработав результаты профилометрии последней? Возможно, тогда число случаев с заметными количественными различиями между моделью и реальным ростом было бы меньше, а амплитуда различий – ниже.»

8) Из отзыва Таусон В.О.:

«Механизм образования ламелей "искаженного" бемита (возможно, не являющегося автономной фазой) мог быть описан численно, с учетом толщины лаллелей и атомных смещений на границе (линейная дилатация), поскольку для этого есть данные HRTEM. термодинамический анализ напряженного состояния тем более важен, что данное явление представляет интерес с точки зрения присутствия воды в номинально безводных минералах, а также при описании распределения изоморфных элементов-примесей (Урусов В.С. и ДР. Геохимия твердого тела. М., ГЕОС, 1997).»

«Важно, что в экспериментах контролировалась шероховатость поверхностей, но надо также учитывать, что она может влиять на специфическую алсорбцию примесей и, следовательно, влиять и на ростовые параметры (кинетику, геометрию).»

«На рис. 26 не удалось найти с и d, указанные в подписи. Пришлось обратиться к диссертации, где на рис. 5.20 они обнаружились.»

«Пренебрежение диффузией в модели (п.3, с.32) - довольно сомнительный постулат, как в этом случае описывать распределение примеси в растущем кристалле? Для этого в большинстве моделей используется ростовое число Пекле с коэффициентом диффузии в знаменателе.»

«Хотелось бы понять, почему на поверхности наблюдаются атомно-гладкие участки, с шероховатостью на уровне параметра элементарной ячейки, и фазоподобные образования с размерами от нанометров до первых микрон. Могут ли они рассматриваться как "генетические предшественники субинливидов" (с. 39, 41). Похоже на то, что они не только подвержены геометрическому отбору, но и каким-то образом способны к взаимному приспособлению. Можно ли это учесть в авторской модели?»

9) Из отзыва Смирнова С.З.:

«В качестве замечания хотелось бы отметить слишком малое количество примеров проявления построенной автором модели на природных кристаллах. Это, очевидно, обусловлено спецификой самой работы. Автор делает акценты, главным образом, на

экспериментальных данных. Но более разнообразные примеры проявлений обнаруженных закономерностей в природе привлекли бы большее внимание минералогов и петрографов к результатам представленной работы.»

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Асхабов Асхаб Магометович, Волошин Алексей Эдуардович и Димитрова Ольга Владимировна являются высококвалифицированными специалистами в области кристаллографии, роста кристаллов (в том числе и гидротермального роста), их регенерации и экспериментальной минералогии. Оппоненты имеют многочисленные публикации в высокорейтинговых изданиях в области исследования, соответствующей тематике диссертации, и способны объективно оценить данную диссертационную работу.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что направление ее научно-исследовательской деятельности полностью соответствует тематике диссертации, а специалисты могут объективно и аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана принципиально новая модель для описания процессов свободного роста несингулярных поверхностей кристаллов из раствора. **Объяснены** движущие силы этих процессов. **Доказано** качественное и количественное соответствие модели реальному росту несингулярных поверхностей кристаллов. **Показана** применимость подходов, применяемых для описания роста несингулярных поверхностей к описанию других вопросов кристаллогенеза, связанных с регенерацией.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:

1. Границы наиболее быстрорастущих, возможных для данных ростовых условий, простых форм, не проявляющиеся в виде плоских участков на регенерирующих шарах, но фиксирующиеся в огранке субиндивидов, могут расти плоским фронтом при условии точной параллельности протяженной затравочной пластины этим граням.

2. Объем, сформированный растущей несингулярной поверхностью кристалла, представляют собой совокупность большого числа кристаллографически параллельных друг другу пирамид роста граней, ограничивающих субиндивиды. По границам этих пирамид роста развиваются плоские краевые дислокации, порождающие системы напряжений, оптически различимые в виде так называемых свищей. Эти напряжения приводят к появлению локальных нарушений стехиометрии в областях, близких к таким границам, и образованию по границам наноразмерных включений посторонних фаз.

3. Причиной формирования макроскопически шероховатого фронта роста несингулярной поверхности, состоящего из большого числа субиндивидов, является наличие на такой поверхности к моменту начала ее роста исходных и новообразованных микроскопических выступов и углублений.

4. Движущими силами геометрического отбора между субиндивидами на фронте роста несингулярных поверхностей являются: (а) неравенство скоростей роста граней различных простых форм, ограничивающих субиндивиды, и (б) морфологические,

геометрические и кристаллографические особенности элементов шероховатого рельефа этой поверхности перед началом ростового процесса.

Применительно к проблематике диссертации использованы экспериментальные методики гидротермального метода выращивания кристаллов различных разновидностей берилла и корунда с использованием стандартных и оригинальных методик (свыше 3000 опытов), роста водорастворимых кристаллов из низкотемпературных растворов (свыше 300 опытов), **проведено свыше 200 численных экспериментов**. **Применен комплекс традиционных и современных аналитических методов исследования поверхности выращенных кристаллов:** гониометрия простых форм, участвующих в огранке субиндивидов, профилометрия поверхности затравок и фронтов роста, оптическая, конфокально-оптическая и сканирующая электронная микроскопия фронтов роста. **Проведено исследование внутреннего строения и состава пирамид роста несингулярных поверхностей методами «мокрой химии», масс-спектроскопии и рентгеноспектрального микроанализа; оптической и электронной просвечивающей микроскопией высокого разрешения фрагментов этих пирамид роста и выполнено их ИК-спектроскопическое исследование.**

Изучены основные закономерности эволюции фронтов роста несингулярных поверхностей и **раскрыты** основные факторы, влияющие на пути этой эволюции. **Изложены** новые экспериментальные данные о тонких особенностях внутреннего строения пирамид роста несингулярных поверхностей. **Предложен** новый механизм формирования кристаллов антискелетного габитуса, как следствия их регенерации в условиях чередующихся актов растворения и роста. **Разработаны** экспрессные экспериментальные методы корректного измерения скоростей роста одновременно растущих граней.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждено патентом РФ и заключается в **разработке** способа поиска ориентировок затравочных пластин, позволяющих осуществлять быстрый гидротермальный рост кристаллов плоским фронтом и **предложении** конкретных ориентировок для случая роста кристаллов берилла и корунда. **Выявлены** конкретные пути снижения свилеватости кристаллов, выращенных на несингулярно ориентированные затравки, позволяющие получать кристаллический материал, пригодный к изготовлению оптических элементов. Впервые **показана** возможность сращивания нескольких затравочных пластин в одну затравку единой ориентировки, что означает решение «проблемы исходной затравки» для случая роста кристаллов на несингулярно ориентированные поверхности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что комплекс аналитических исследований выполнен на сертифицированном современном оборудовании: двухкружном гониометре ZRG-3, оптическом микроскопе Olympus BX-51 с фотокамерой Olympus ColourView III, конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Olympus Lext OLS 4000, профилометре Taylor-Hobson, сканирующем электронном микроскопе Mira-3LMU TESCAN, масс-спектрометре с индуктивно связанный плазмой XSERIES2 ICP-MS, рентгеновских микроанализаторах JXA-5A и JXA-8100, EDS спектрометре ISIS 300, совмещенном с просвечивающим электронным

микроскопом высокого разрешения JEM-2010F, спектрометре Bruker Vertex 70 FTIR, оснащенном ИК-микроскопом Hyperion 2000.

Теоретическая часть работы заключается в построении физической модели роста несингулярных поверхностей кристаллов с последующей проверкой адекватности описания моделью реальных ростовых процессов. **Продемонстрировано** полное качественное и хорошее количественное соответствие реальному росту несингулярных поверхностей. **Предложенная модель, базируется** на сопоставлении экспериментальных и аналитических результатов автора с современными представлениями по рассматриваемому вопросу, что позволило **выявить** основные параметры, влияющие на ростовые процессы. **Использованы** современные комплексные подходы к интерпретации информации, полученной в ростовых и численных экспериментах.

Личный вклад соискателя. Работа представляет собой итог и обобщение результатов многолетних исследований, проведенных автором в лаборатории физического и химического моделирования геологических процессов ИГМ СО РАН. Усилиями соискателя была сформулирована основная цель исследования, составлен конкретный план работ. Соискателем же или под его непосредственным руководством разработаны все оригинальные методики, использованные в работе. Большая часть ростовых экспериментов спланирована, подготовлена и поставлена самим автором. Им же проводилась обработка результатов экспериментов. Инstrumentальные измерения проведены при непосредственном участии автора. Использованные в численном моделировании вычислительные программы были написаны и верифицированы непосредственно соискателем. Им же проводились численные эксперименты и осуществлялась обработка их результатов. Из 33 работ (в том числе, 18 – в рецензируемых научных журналах, цитируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus) по теме диссертации 27 опубликованы за первым авторством соискателя. Результаты исследований доложены и апробированы на российских и зарубежных конференциях.

На заседании 03 марта 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Томасу Виктору Габриэлевичу учёную степень доктора геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по специальности 25.00.05, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 17, «против» - 0, «недействительных бюллетеней» - 0.

Заместитель председателя диссертационного совета, академик РАН

В.С. Шацкий

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.г.-м.н.

О.Л. Гаськова

05.03.2022 г.

