

УДК 553.63.: 551.23

ИНФОРМАТИВНОСТЬ СИСТЕМ, ТИПОВ И АССОЦИАЦИЙ ВКЛЮЧЕНИЙ В ГАЛОГЕННЫХ И ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МИНЕРАЛАХ

О.П. Гончаренко, доцент

Г.А. Московский, заведующий кафедрой, доктор наук, профессор

СГУ, геологический факультет, кафедра петрографии и минералогии

E-mail: GoncharenkoOP@info.sgu.ru

Кристаллизация минеральных индивидов, как правило, сопровождается при любых природных условиях различными дефектами в их структуре. Благодаря чему минерал захватывает растворы, газы и другие компоненты минералообразующей среды, которые в последующем росте кристалла консервируются в виде включений. Результаты их исследований содержат информацию об условиях минералообразования и имеют теоретическое и практическое значение. Включения в галогенных и гидротермальных минералах классифицированы нами по генетическому признаку. В первичных включениях изученных минералов выделены системы, типы и разнообразные ассоциации вакуолей. Для галогенных минералов характерны жидкие, твердые и газовые типы включений, в которых установлены разнообразные ассоциации, отличающиеся фазовым состоянием (Г-Ж, Г-Т-Ж, Г-Т_у-Т_к-Ж, Г-Т₁-Т₂-Ж и т.д.). В гидротермальных минералах наиболее изучены флюидные включения, в которых установлены расплавные, двух- и многокомпонентные ассоциации вакуолей.

Типы и ассоциации включений позволили выделить основные генетические различия галита, сильвина, карналлита, бишофита и выявить порядок кристаллизации гидротермальных минералов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта «Университеты России - фундаментальные исследования» № 09.01.031.

Informativity of the systems, types and associations of inclusions within halogenic and hydrothermal minerals

O.P. Goncharenko, G.A. Moskovsky

Crystallization of mineral individuals in any natural settings is generally accompanied by various structure defects. The solutions, gases and other components of the mineral-forming medium are preserved as inclusions; in the course of subsequent crystal growth. The results of these inclusions contain information on the conditions of mineral formation and are important both, for theory and practice. Inclusions in halogenic and hydrothermal minerals are classified according to genetic characters. The systems, types and various associations of vacuoles are recognized in primary inclusions from the examined minerals. Halogenic minerals are characterized by liquid, solid and gaseous inclusion types, with various associations of diverse phase states (G-L, G-S-L, G-S_g-S_x-L, G-S₁-S₂-L, etc.). Fluid inclusions are best studied in hydrothermal minerals; melting associations of vacuoles, as well as two- and multi-component ones, are recognized in such inclusions.

The types and associations inclusions let receive the principal genetic variants of halite, sylvite, carnallite, bischofite, and reveal the order of crystallization of hydrothermal minerals.

Введение

При образовании минералов любого генезиса происходит захват микрокапель вещества, которые локализуются в виде изолированных включений в кристаллах минералов. Включения представляют собой «участок кристалла,

вещественно не входящий в его закономерную структуру, герметически изолированный в процессе роста минерала-хозяина и имеющий с ним фазовую границу». Законсервированный материал во включениях представляет собой реликт материнской среды, содержащий в себе обширную информацию об исходном химическом составе растворов и термодинамических условиях среды минералообразования. Изучением включений занимается наука термобарогеохимия, возникшая на стыке геохимии и минералогии. Она основана на разностороннем исследовании с «мерой и числом» минералообразующих растворов и расплавов, законсервированных во включениях. Исследования включений в минералах позволяют экспериментально и аналитически восстанавливать динамику глубинных процессов и явления минералообразования, решая тем самым вопросы объективного познания генезиса различных минеральных образований.

Теоретическое значение термобарогеохимии определяется также возможностью создания моделей геохимических систем через выяснение агрегатного состояния и геохимии минералообразующих растворов, использованием минералогической термобарометрии. Данные этих исследований используются при рассмотрении вопросов металлогении руд, петрологических аспектов магматизма, гидротермальных процессов и метаморфизма. Изучение включений в эвапоритах позволяет выявлять физико-химические условия древнего галогенеза, восстанавливать этапы и стадии их формирования. Прикладное значение термобарогеохимии определяется использованием новых методов поисков полезных ископаемых по данным исследования включений в минералах: звуковой и вакуумной декрепитации, хроматографического анализа газовой фазы включений, анализа состава водных вытяжек, ультрамикрочимического анализа индивидуальных включений и др. Исходные физико-химические параметры включений в минералах часто используются для получения дефицитных кристаллов и аморфных тел.

Огромный интерес исследователей, проявленный к этой области геологических знаний,





объясняется прежде всего большими возможностями получения уникальных сведений о химическом составе, термодинамических условиях формирования геологических тел, причинах и последствиях перекристаллизации, вторичных изменениях в породах и других данных, которые невозможно получить с помощью традиционных минералого-геохимических методов исследования минерального вещества.

Самые первые сведения о газовой-жидких включениях встречены в трудах ученого раннего средневековья Абу-Райхан Бируни (973-1048). Он впервые нашел им применение при оценке драгоценных камней. Вся предыстория исследования включений связана, главным образом, со статическим изучением газовой-жидких вакуолей в минералах различного происхождения (в основном - магматического). Истоки специальных методов исследования связаны с научной деятельностью ученых 18 века Д.Бюстера, Г.Деви, Г.Сорби и А.П.Карпинского, которые уделяли большое внимание включениям и придавали им огромное генетическое значение.

Успешное развитие термобарогеохимии в России началось в сороковых годах XX-го столетия. Российскими учеными были разработаны методы физико-химического анализа включений в рудных и магматических минералах. Основоположниками термобарогеохимии процессов эндогенного минералообразования были В.Ф.Лесняк [1], Н.П.Ермаков [2], Ю.А.Долгов [3], Л.И.Колтун [4], В.А.Калюжный [5], П.В.Клевцов [6], и др. Благодаря их исследованиям термобарогеохимия сформировалась как научное направление. Теоретические основы условий возникновения включений в минералах, методика и техника их исследований, интерпретация данных изложены в трудах Н.П.Ермакова [2, 3], В.А.Калюжного [5], Г.Г.Леммлейна [7], А.В.Пизнюра [8], Э.Роддера [9, 10], Г.Смита [11], В.А.Кормушина [12], Ф.П.Мельникова [13], Такуноучи [14], О.И.Петриченко [15], В.М.Ковалевича [16] и др. В конце шестидесятых - начале семидесятых годов прошлого столетия под руководством О.И.Петриченко начато изучение включений в галогенных минералах. Впервые предложенные им методы ультрамикрочимического анализа растворов включений в солях уже в самом начале позволили получить уникальные данные о химическом составе исходной рапы древних солеродных бассейнов Украины, установить физико-химические условия диагенеза и катагенеза, выявить условия формирования рудных калийно-магниевых солей, установить палеогеографические особенности соленакопления и т.д.

В 1975 году изучением включений в минералах начали заниматься сотрудники кафедры петрографии и минералогии и НИИ Геологии Саратовского университета под руководством профессора К.М.Сиротина. Договорные работы выполнялись по двум направлениям: геохимия галогенеза Прикаспийской впадины (Г.А.Московский, О.П.Гончаренко) и термобарогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых на Южном Урале и Дальнем Востоке (С.К.Сиротин). За время существования лаборатории (15 лет) был выполнен большой объем хозяйственных исследований, опубликовано более полусотни статей, получено 4 авторских свидетельства на изобретения, защищены две кандидатские диссертации (Г.А.Московский, О.П.Гончаренко). Основными методическими приемами, использованными в лаборатории, являлись: гомогенизация, декрепитация, химические методы исследования включений - ультрамикрочимический анализ индивидуальных вакуолей для галогенных пород, спиртовые и водные вытяжки для гидротермальных минералов, хроматографический анализ газовой фазы, иммерсионный анализ твердой фазы, криометрия газовой-водной смеси. Несмотря на резкое сокращение финансирования в геологии, начиная с 1990 года, существенный научный задел сотрудников лаборатории позволил им в дальнейшем выполнять работы термобарогеохимического плана в составе группы вулканологов на Дальнем Востоке (О.П.Гончаренко), вести исследования галогенных отложений по грантам Министерства образования РФ, Университетов России, получить патент РФ на изобретение, защитить докторскую диссертацию (Г.А.Московский).

Классификация включений в минералах и их информативность

Среди широкого разнообразия включений, встреченных нами при изучении гидротермалитов и галогенных отложений в соответствии с подходами Э. Роддера [9, 10], Н.П.Ермакова [2], Ю.А.Долгова [3], О.И.Петриченко [15, 17] и др. выделяются три различных системы микровключений: 1) включения минералообразующих сред в виде сингенетических микросистем рассолов, растворов и расплавов, являющиеся материнскими для каждого включающего микросистему минерала; 2) включения окружающих сред, не участвующих в образовании кристаллов минералов и их агрегатов; 3) твердые включения, захваченные минералами при росте из геохимической среды. Наиболее информативными являются системы

микровключений первого типа, поскольку они отражают физико-химические данные среды минералообразования. Системы включений второго типа отмечаются в минералах различного происхождения и характеризуют состояние окружающей среды и ее изменение во времени. Подобные вакуоли отмечаются в минералах возгонов (сера, галит и др.), образующиеся при фумарольной деятельности. Твердые включения (в дальнейшем они называются нами ксеногенными) захватывались минералом-хозяином в твердом состоянии. Их информативность возрастает при изучении аллотигенного минералообразования, а также магматических и гидротермальных аксессуаров.

При изучении эвапоритовых и гидротермальных минералов нами исследовались, главным образом, включения первой системы, которые в генетическом отношении делятся на первичные и вторичные. Первичными называются включения, образование которых связано со временем и процессами кристаллизации минерала-хозяина, а вторичные образуются после полной кристаллизации минерала в результате проникновения постороннего вещества по трещинам и пустотам внутрь кристалла. Среди первичных включений выделяют аутигенные - реликты минералообразующих растворов и ксеногенные - случайно захваченные в процессе роста минерала. Проведенные нами термобарогеохимические исследования в минералах галогенных пород из разрезов Прикаспийской впадины и в гидротермалитах Курило-Камчатского региона, Кушмурунского грабена Тургайского прогиба и Хингано-Олонойского оловорудного района позволили систематизировать включения в изученных минералах по фазовому состоянию вакуолей (рис. 1). В каждом установленном типе включений выделяются разнообразные ассоциации вакуолей.

Включения в минералах галогенных пород

Наиболее полные обобщения многолетних исследований по включениям в галогенных минералах проведены Э.Роддером [9], О.И.Петриченко [15], В.М.Ковалевичем [16] и др. Соавторами данной работы впервые методы изучения включений в галогенных минералах

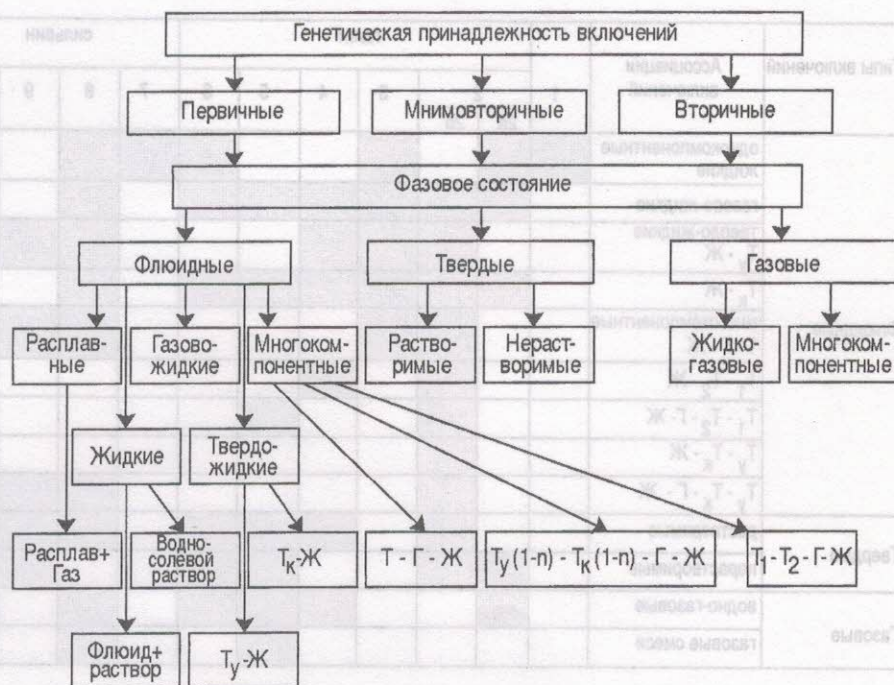


Рис. 1. Классификация включений минералообразующих сред в галогенных породах и гидротермалитах

использованы для Прикаспийского региона. Изучены более 60 разрезов скважин прибортовой зоны Прикаспия и получены фрагментарные данные по его центральным районам. Наиболее приемлемым минералом для исследования флюидных и твердых включений оказались галит и сильвин; в меньшей степени изучены включения в карналлите и бишофите.

Систематика включений

Согласно принятой нами классификации (см. рис. 1), в эвапоритовых минералах выделены три системы включений: жидкие, твердые и газовые. В каждой из этих систем микровключений установлены определенные ассоциации (рис. 2).

Жидкие включения для минералов галогенных пород являются наиболее распространенными. Встречаясь во всех соляных минералах, они могут быть представлены однофазовыми (жидкими), двухфазовыми (газово-жидкими и твердо-жидкими) и многофазовыми ассоциациями. Жидкая фаза в них представлена водным раствором (Ж), твердая фаза - минералами узниками (T_y) сильвином (T_1), карналлитом (T_2) и бишофитом (T_3) (см. рис. 2). Иногда одновременно с образованием минерала-хозяина происходит захват ксеногенного материала (T_k), который может быть представлен растворимыми (галит и сильвин) и слабо-растворимыми (гипс, ангидрит, терригенный материал) минералами. Минералы заключительных стадий галогенеза характеризуются,

Типы включений	Ассоциации включений	галит						сильвин				карналит	бишофит	кизерит	сера		
		1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			2a	2б													
Флюидные	однокомпонентные жидкие																
	газово-жидкие																
	твёрдо-жидкие																
	T _y -Ж																
	T _к -Ж																
	многокомпонентные																
	T-Г-Ж																
	T ₁ -T ₂ -Ж																
T ₁ -T ₂ -Г-Ж																	
T _y -T _к -Ж																	
T _y -T _к -Г-Ж																	
Твёрдые	растворимые																
	нерастворимые																
Газовые	водно-газовые																
	газовые смеси																

Рис. 2. Распределение ассоциаций включений в минералах галогенных отложений. Условные обозначения: \blacksquare - область распространения ассоциаций включений в минералах: 1 - «лодочковом галите»; 2 - седиментационном галите; 2^а - начальной стадии садки солей, 2^б - эвтоническом галите; 3 - галите высаливания; 4 - перекристаллизованном галите; 5 - диагенетическом галите; 6 - шпатовом галите; 7 - седиментационном водно-прозрачном сильвине; 8 - раннедиагенетическом сильвине; 9 - диагенетическом сильвине; 10 - перекристаллизованном сильвине; 11 - карналлите; 12 - бишофите; 13 - кизерите; 14 - скрытокристаллической сере; 15 - перекристаллизованной сере

главным образом, двух- и многофазовыми ассоциациями включений: Т-Ж, T₁-T₂-Ж, Т-Г-Ж, T₁-T₂-Г-Ж. Жидкая фаза представлена водным раствором, твёрдая фаза - минералами-узниками сильвином, карналлитом и бишофитом. Выпадение минералов-узников связано с понижением температуры высокоминерализованных растворов. Газовые включения могут быть захвачены в процессе кристаллизации минерала или выделены в самостоятельную фазу в результате изменения термодинамических условий. Изучение включений в различных генетических типах галита, сильвина, карналлита и бишофита показало, что каждый из этих минералов характеризуется определенным набором ассоциаций включений первого типа. Их распределение в минералах солей рассмотрены ниже.

Твёрдые включения. Образование твёрдых включений связано прежде всего с захватом посторонних механических частичек во время роста минерала (ксеногенные первичные включения) и в результате их проникновения по трещинам (вторичные включения). Существенно-твёрдые включения встречаются во всех минералах галогенных пород. Характерно, что совместно с твёрдыми включениями очень часто присутствуют относительно незначительные количества жидкости и газа.

Газовые включения. Существенно-газовые включения типичны для минералов заключи-

тельных стадий галогенеза. Наибольший интерес представляют, в основном, первичные существенно-газовые включения в сильвине, карналлите и бишофите. В молочно-белом сильвине существенно-газовые включения представляют собой микровключения округлой формы, которые распределены по всему объёму кристалла минерала. Газ в вакуолях находится под большим давлением. В карналлите и бишофите существенно-газовые включения встречаются в виде одиночно расположенных вакуолей. Давление газа в них достигает нескольких десятков-сотен атмосфер.

Включения в галите

Галит является наиболее распространённым минералом галогенных отложений. Особенность этого минерала заключается в том, что он встречается во всех трех химических типах солеродных бассейнов (сульфатном, хлоридном, содовом) и в отложениях всех стадий галогенеза, начиная с галитовой. Галит относится также к группе эвтонических или конечных минералов [15, 18]. На основании данных исследования особенностей морфологии галита в изученных разрезах, агрегатного состояния и физико-химических параметров растворов включений в нем выделены следующие его разновидности:

первично-седиментационный «лодочковый» и «перистый» галит, седиментационный галит высаливания, седиментационный эвтонический, перекристаллизованный эвтонический и диагенетический шпатовый галит.

Для первично-седиментационного «лодочкового» и «перистого» галита характерна первая ассоциация включений. Жидкие включения в нем возникают во время интенсивного роста кристалла. Зональность с плохо выраженными ритмами свидетельствует о сравнительно равномерном испарении в бассейне без резких температурных перепадов [9, 16, 17]. «Лодочковые» разности галита представляют собой уплощенные воронкообразные кристаллы с зональностью, обусловленной чередованием водянопрозрачных зон и зон, насыщенных вакуолями включений. Их образование обуславливается суточными вариациями температур верхнего слоя рапы и, соответственно, разной скоростью кристаллизации. «Лодочковый» галит образуется в поверхностном слое рапы и характерен для современных соляных озер (Эльтон, Баскунчак, Индер, Мертвое озеро и др.). В ископаемом состоянии «лодочковый» галит сохраняется редко, так как плавающие лодочки быстро тонут и продолжают рост в придонных условиях, образуя так называемый «перистый» галит с вертикально ориентированной осью третьего порядка. Зональность в «перистом» галите также связана с периодически меняющейся скоростью роста кристаллов, но причина здесь, видимо, менее чем для «перистой» разности связана с изменением температуры. При дорастании «перистого» галита водяно-прозрачной разностью в придонных условиях (галит дорастания и шпатовый галит) образуются, как правило, азональные жидкие включения.

Включения в галите высаливания твердо-жидкие (Т-Ж, рис. 2) по составу, кубической формы, очень мелкие и лишь изредка достигают 100-150 мкм. Твердая фаза в них представлена минералом-узником сильвином, на долю которого приходится около 1 % объема вакуоли включения. Выпадение галита высаливания является результатом смешивания высококонцентрированной рапы с раствором хлористого натрия. Особенность этой разновидности седиментационного галита заключается в том, что каждый кубический зародыш состоит из шести пирамидальных воронок, соответствующих шести граням куба. Скелетные кубические зародыши, попадая на дно содеродного бассейна, дорастали прозрачным галитом. Реликты скелетных кубических зародышей занимают центральную часть зерен; их размер не превышает 0,5-1,0 мм.

Включения в седиментационном эвтоническом галите образуют четкую ритмичную зональность в виде елочки. Для него наиболее характерными являются двух- и многофазовые ассоциации включений жидкого типа: Т-Ж, Т-Г-Ж, T_1 - T_2 -Ж, T_y - T_k -Ж, T_2 - T_3 -Ж, T_1 - T_2 -Г-Ж, T_2 - T_3 -Г-Ж (см. рис.2). Включения кубической формы. Жидкая фаза представлена высококонцентрированными растворами, твердая фаза - минералами-узниками (T_y) сильвином (T_1), карналлитом (T_2), бишофитом (T_3) и ксеногенным терригенным материалом (T_k). Для твердо-жидких включений с минералами-узниками отмечается постоянное соотношение фаз: сильвин занимает 1,5-2,0 % объема всей вакуоли, а карналлит и бишофит - 8,0-10,0 %. Размер включений изменяется от 100 мкм до 200 мкм. Твердые ксеногенные включения ангидрита и сильвина встречаются, как правило, в прозрачной части зоны.

Включения в перекристаллизованном эвтоническом галите представлены реликтами зональных и азональных флюидных вакуолей. Зональные реликты чаще всего встречаются в центральной части зерен. Между зональными реликтами располагаются жидкие включения по агрегатному составу близкие к включениям в седиментационном эвтоническом галите: Т-Ж, Т-Г-Ж, T_1 - T_2 -Ж, T_1 - T_k -Ж (см. рис. 2). В перекристаллизованной его разности включения имеют неправильную форму, значительно больших размеров, порядка 0,1-2,0 мм. Газ в этих вакуолях находится под давлением в десятки атмосфер и представлен водяными парами и смесью газов. Твердые включения в перекристаллизованном эвтоническом галите представлены прозрачными призматическими и таблитчатыми кристаллами ангидрита и идиоморфными зернами сильвина и карналлита.

Включения в диагенетическом шпатовом галите по составу отличаются однокомпонентностью микросистемы. Это существенно жидкие включения кубической или неправильной формы (см. рис. 2), размер их изменяется в широких пределах - от 0,1 до 3,0 мм. Встречаются они в виде единичных беспорядочно расположенных вакуолей или групп включений без четкой ориентировки в их расположении. Жидкая фаза представлена водным раствором.

Включения в сильвине

Вопрос о времени образования сильвина в галогенных отложениях до настоящего времени остается дискуссионным. В связи с чем характеристика включений и выделение седиментационной его разности приводится условно. В пределах Прикаспийской впадины сильвин является одним из самых распростра-

ненных минералов среди отложений калийных и калийно-магниевого пород. Нами выделяются следующие его разновидности: седиментационный водянопрозрачный сильвин, раннедиагенетический мелочно-белый сильвин, диагенетический красный сильвин и перекристаллизованный шпатовый сильвин.

Включения в седиментационном водянопрозрачном сильвине представлены первой ассоциацией вакуолей (см. рис. 2). Это жидкие включения, образующие зональность, напоминающую первично седиментационную структуру галита. Включения, как правило, имеют негативную форму минерала-хозяина и очень малые размеры (доли мкм).

В раннедиагенетическом мелочно-белом сильвине отмечаются участки зонально расположенных газовой-жидких ассоциаций включений с постоянным соотношением фаз. Газовая фаза занимает 1.5-2.5% от объема вакуоли, газ во включении находится под давлением в несколько десятков атмосфер (10-20 атм.) и представлен смесью газов. Форма вакуолей кубическая, размер - от долей мкм до 100 мкм. Кроме того, для раннедиагенетического сильвина показательное присутствие трех- и многофазовых включений. Они содержат в себе, в основном, кристаллики ксеногенного галита и газовую фазу (см. рис. 2). Газ во включениях, в большинстве случаев, находится под повышенным давлением, о чем свидетельствует вскипание растворов при вскрытии включений. Относительный объем газа в вакуолях изменяется в достаточно широких пределах. Твердая фаза иногда представлена минералом-узником карналлитом и занимает 2-4% объема включения. Помимо твердой и газовой фаз в вакуоли присутствует терригенный материал. Включения встречаются в виде одиночно расположенных вакуолей или редко небольшими скоплениями. Форма их неправильная, удлиненная, иногда в виде отрицательного кубического кристалла. Размер включений достигает 80-100 мкм. Твердые включения представлены галитом удлиненной и клиновидной формы. Кроме кристалликов галита в сильвине отмечаются и ксеногенные включения карналлита. Существенно газовые включения в мелочно-белом сильвине имеют округлую форму или приобретают вид каналов.

Для красного средне- и крупнозернистого диагенетического сильвина характерны, в основном, твердые микровключения окислов железа и включения кубического галита. В прозрачных, просматриваемых участках отмечаются жидкие включения с фазовым состоянием, аналогичным трехфазовым включениям в мелочно-белом сильвине: T_2 -Г-Ж, T_2 - T_k -Г-Ж (см. рис. 2).

Включения в перекристаллизованном шпатовом сильвине представлены, в основном, существенно газовыми вакуолями и кристаллами голубого галита кубической, овальной, клиновидной, удлиненной, изометричной формы. Размер их от 5 до 250 мкм. Часто в перекристаллизованном сильвине совместно с твердыми включениями галита находятся газовая и жидкая фазы. Существенно газовые включения имеют кубическую, кубоктаэдрическую и трубчатую форму, размер их изменяется от долей мкм до 250 мкм. Распределены они хаотично. Трубчатые включения приурочены к краевым частям зерен минерала. Давление газа во включениях достигает сотни атмосфер. Газово-жидкие включения, обнаруженные в шпатовой разновидности сильвина, встречаются в виде одиночно расположенных вакуолей. Они отличаются неправильной формой, размер включений достигает 100-150 мкм. Газовая фаза имеет сложный состав, давление газа достигает сотни атмосфер.

Включения в карналлите

Включения в карналлите представлены твердыми кристалликами ангидрита, галита и сильвина. Красный цвет карналлита обусловлен микровключениями гематита. Жидкие включения встречаются сравнительно редко. Они, как правило, имеют округлую или негативную форму минерала-хозяина. Включения этой ассоциации вытянуты в отдельные цепочки в определенном направлении, реже - в виде одиночно расположенных вакуолей. Размер их составляет 50-100 мкм. Наряду с однофазовыми ассоциациями включений, в карналлите попадаются и двухфазовые (газово-жидкие) с одинаковым соотношением фаз (см. рис. 2). Газ в них сжат до нескольких десятков атмосфер. Жидкие включения с твердой фазой нами обнаружены лишь в единичных кристаллах карналлита. Они имеют неправильную форму размером до 80-100 мкм. Твердая фаза представлена бишофитом и занимает до 15-25% объема всей вакуоли. Особенностью карналлита является присутствие газовых включений размером от 0,1 до 2 мкм. Расположены они полосами в минерале параллельно зональности кристалла. Газ этих микровключений находится под давлением в несколько сотен атмосфер.

Включения в бишофите

Затруднения, возникающие при изучении включений в бишофите, связаны с тем, что этот минерал является неустойчивым даже к незначительному изменению термобарических



условий. Это приводит к его перекристаллизации и к исчезновению первичных включений, а вторичные, возникающие при залечивании трещин, практически невозможно отличить от первичных. Особенностью жидких включений в бишофите является их шарообразная форма; включения сгруппированы и вытянуты в один или несколько рядов. Отдельные вакуоли имеют отрицательную форму кристалла минерала, размер их не превышает 20 мкм. В жидкости часто присутствует пелитовый материал. На границе зерен обнаружены газово-жидкие включения в виде изогнутых каналов, тонких трубок, образование которых связано с перекристаллизацией минерала. Твердые включения представлены минералами соленосных отложений: галитом, сильвином, ангидритом и аутигенными минералами.

Включения в сере

Включения в сере нами исследованы по единичным образцам Эльтонской и Индерской солянокупольных структур. Самородная сера в Прикаспийском регионе представлена двумя генетическими разновидностями: первичной скрытокристаллической и вторичной кристаллической. В кристаллах серы отмечаются сингенетичные и вторичные жидкие включения, а также твердые ксеногенные включения аутигенных минералов. Первичные ассоциации включений представлены жидкими и газово-жидкими вакуолями округлой, удлиненной и угловатой формы. Они приурочены к зонам роста кристаллов. Размер их составляет от нескольких мкм до 100-130 мкм. Газ во включениях находится под давлением несколько десятков атмосфер. Крупные существенно-жидкие включения, размером от 0.п до 2 мм, часто неправильной формы и размещены в кристалле хаотично.

Включения в гидротермальных минералах

Включения в гидротермалитах изучались нами в трех основных объектах: Курило-Камчатская гряда, Кушмурунский грабен Тургайского прогиба и Хингано-Олонойский оловорудный район. Петрографический и минералогический анализ гидротермалитов из разрезов Камчатки и Курильских островов показал, что наиболее информативными минералами для изучения в них включений являются кварц, кальцит, ангидрит, вайрацит, адуляр, пренит, эпидот и в меньшей степени кристобалит. Для разрезов Кушмурунского грабена наиболее доступными для изучения включений оказались минералы: кварц,

кальцит, альбит, пренит, карбонат, анальцим и эпидот. В разрезах Хингано-Олонойского оловорудного района нами изучены включения в кварце, турмалине, топазе, флюорите.

При классификации включений в гидротермальных минералах для выделения ассоциаций включений нами учитывались физико-химические параметры минералообразующей среды, захваченной при росте кристалла минерала. Учитывая эмпирические критерии определения генезиса флюидных включений Э.Роддера [9], при петрографическом описании включений в изученных нами минералах использовались дополнительные признаки: характер расположения и форма вакуолей, их размеры, частота встречаемости, объемные соотношения фаз и по возможности определение состава твердой фазы (минерала-узника или захваченных кристаллов). Это позволило нам систематизировать включения и выделить следующие основные их ассоциации.

Для минералов из гидротермальных разрезов Паужетской (юг Камчатки) и Кипящей (о. Итуруп) гидротермальных систем выделено четыре ассоциации вакуолей из первой системы включений (включения минералообразующих сред или первичные жидкие и флюидные включения (см. рис. 1)).

Первая ассоциация флюидных включений представлена расплавленными вакуолями (рис. 3). Они отмечаются в метасоматическом кварце и во вкрапленниках плагиоклазов. Включения содержат стекло и газ, иногда встречаются многокомпонентные вакуоли. Они отличаются изометричными формами октаэдрического или кубоктаэдрического облика, размер их не превышает 50 мкм. Гомогенизация расплавленных включений в кварце составляет 1000-800 °С, в плагиоклазе - 1200-1000 °С.

Вторая ассоциация включений (см. рис. 3) отличается более правильными формами - это, в основном, форма отрицательного кристалла. Вакуоли образуют небольшие трехмерные группы в теле кристалла или расположены в виде одиночных вакуолей. Последние, как правило, отличаются большими размерами (до 100-200 мкм) относительно размера вмещающего их кристалла и встречаются изолированно на расстоянии друг от друга и часто параллельно внешним граням кристалла. Вакуоли, образующие трехмерные группы, характеризуются равномерным фазовым заполнением и незначительными размерами до 20-30 мкм. Для данного типа характерно газово-жидкое и твердогазово-жидкое фазовое состояние; газовая фаза составляет 5-8 % объема вакуоли, а на долю твердой фазы приходится - 8-10 %. Минерал-узник представлен галитом и реже ангидритом.

Типы включений	Ассоциации включений	Курило-Камчатский регион								Кушмурунский грабен							Хингано-Олонойский р-н							
		1		2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		1 ^a	1 ^б		3 ^a	3 ^б						9 ^a	9 ^б	10 ^a	10 ^б									
Флюидные	однокомпонентные жидкие																							
	газово-жидкие зональные																							
	азональные																							
	твёрдо-жидкие T _y -Ж																							
	T _к -Ж																							
	многокомпонентные Г-T _y -Ж																							
	Г-T _к -Ж																							
	расплавные																							
	стекло-газ																							
	Твёрдые	растворимые																						
нерастворимые																								

Рис. 3. Распределение ассоциаций включений в гидротермальных минералах.

Условные обозначения: ■ - область распространения ассоциаций включений в минералах: Курило-Камчатский регион: 1 - кварц; 1^a - кварц метасоматический, 1^б - кварц прожилковый; 2 - ангидрит; 3 - эпидот; 3^a - эпидот метасоматический, 3^б - эпидот прожилковый; 4 - адуляр; 5 - вайрацит; 6 - пренит; 7 - кристобаллит; 8 - кальцит. Кушмурунский грабен: 9 - кварц; 9^a - кварц метасоматический, 9^б - кварц прожилковый; 10 - альбит; 10^a - альбит метасоматический, 10^б - альбит прожилковый; 11 - эпидот; 12 - анальцит; 13 - кальцит; 14 - пренит; 15 - карбонат. Хингано-Олонойский район: 16 - кварц; 17 - калишпат; 18 - эпидот; 19 - касситерит; 20 - турмалин; 21 - флюорит

Температура гомогенизации описанного выше типа включений составляет от 460-350 °С до 300 °С. Подобные вакуоли нами обнаружены в кварце, кальците, эпидоте и частично в ангидрите.

Третья ассоциация включений характеризуется главным образом реликтами прямоугольных и гексагональных форм. Располагаются они либо вдоль границ между двумя растущими участками, образуя ряды, либо в виде субпараллельных групп. Иногда вакуоли имеют сложную картину распределения в плоскости, подчеркивая зоны роста. Включения этого типа по своему фазовому состоянию газовой-жидкие. В них зачастую отмечается метастабильное состояние, которое выражается в выпадении твердой фазы при нагревании газовой-жидких включений до температуры 120-180 °С. Твердая фаза представлена галитом, которая при дальнейшем нагревании растворяется при температуре 230-210 °С. Проведенный нами сравнительный анализ частоты встречаемости метастабильных вакуолей в гидротермальных минералах различных геотермальных систем позволяет сделать вывод о том, что метастабильное состояние во включениях из гидротермальных минералов более молодых геотермальных систем на несколько порядков выше по сравнению с их древними аналогами. Полная температура гомогенизации включений третьей ассоциации составляет 290-180 °С; эти вакуоли характерны для кварца, кальцита, адуляра, вайрацита, пренита и ангидрита.

Четвертая ассоциация включений отличается большим разнообразием форм с неправильными прихотливо-извилистыми формами и имеют сложную картину распределения в плоскости, часто подчеркивая зоны роста. По фазовому состоянию это газовой-жидкие включения, их гомогенизация происходит при температуре от 150 до 80 °С. Этот тип включений характерен, в основном, для кальцита и редко отмечается в ангидрите.

Твердые включения представлены растворимыми водными и безводными хлоридами калия, натрия, кальция. Нерастворимые твердые включения представлены ангидритом, кварцем, пиритом, киноварью и другими минералами.

Микроскопическое изучение включений в минералах из гидротермально-метасоматических разрезов Кушмурунского грабена (Южное и Верховое месторождения бентонитовых глин) свидетельствует о присутствии в них твердых, жидких и существенно-газовых вакуолей.

Первая ассоциация включений представлена расплавными вакуолями, которые встречаются во вкрапленниках оливина, пироксена, плагиоклаза и кварца. Они часто имеют изометрическую негативную форму кристалла-хозяина, иногда характеризуются ограниченными и зигзагообразными контурами. Гомогенизация магматических расплавов соответствовала (предположительно) 800-1000 °С.

Вторая ассоциация флюидных включений пространственно локализуется в плоскостях граней роста кристалла, образуя зональность в



их расположении, но иногда в определенных зонах минерала-хозяина вакуоли представляют одиночные, не ориентированные (азональные) между собой включения. Первый подтип второй ассоциации флюидных включений характеризуется правильными формами в виде отрицательного кристалла размером, не превышающим 15-25 мкм. По фазовому состоянию отвечают: однофазовому, двухфазовому (Г-Ж) и трехфазовому (Т-Г-Ж) состояниям (см. рис. 3). Твердая фаза в них представлена галитом, реже ангидритом. Подобные вакуоли характерны для эпидота, кварца, метасоматического альбита и кальцита; температура гомогенизации их составляет 290-380 °С и 280-190 °С.

Азонально расположенные включения в минералах образуют скопления различной формы. Включения двухфазовые (Г-Ж), размер вакуолей не превышает 25-50 мкм. Такие включения характерны для эпидота, кварца, адуляра и пренита. Температура гомогенизации газовой-жидких включений соответствует двум интервалам 370-300 °С и 300-265 °С. В более крупных (до 80-90 мкм) вакуолях отмечается ксеногенный твердый материал, представленный ангидритом, аутигенным кварцем (Г-Т_к-Ж). Газово-жидкие включения по форме характеризуются, в основном, реликтами прямоугольных, гексагональных и округлых форм. Азональные Г-Ж включения характерны главным образом для кварца, кальцита, пренита, адуляра, карбоната (см. рис. 3).

Твердые включения представлены двумя ассоциациями: растворимыми и нерастворимыми минералами. Растворимые представлены водными и безводными хлоридами калия, магния и кальция, нерастворимые - ангидритом, пиритом, пирротинном и кварцем.

Существенно-газовые включения овальной формы характерны для кварца, альбита и кальцита.

В пределах Хингано-Олонойского оловорудного района (месторождение Каменистое) наиболее изученными на сегодняшний день оказались флюидные включения, в которых выделяются четыре ассоциации.

Первая ассоциация вакуолей представлена расплавленными включениями каплевидной формы размером, не превышающим 1 мкм. Они характеризуются зональным расположением в теле кристалла. Температура их гомогенизации составляет 1300-1100 °С. Расплавленные включения отличаются присутствием газовой фазы, которая составляет 60-80 % от объема вакуоли. Они имеют овальную форму или негативную форму кристалла-хозяина размером до 5-10 мкм. Подобные вакуоли характерны для метасоматического кварца и калишпата.

Вторая ассоциация включений представлена газовой-жидкими (Г-Ж) вакуолями овальной или

прямоугольной, часто изометричной ромбоэдрической формы, размером от 3 до 10 мкм. Объем газовой фазы составляет в них 30-60 %. Они располагаются закономерно по зонам роста кристалла минерала-хозяина. Гомогенизация и декрепитация включений характеризуется двумя температурными интервалами - 540-400 °С и 460-330 °С. Данная ассоциация отмечается в кварце дорудной стадии (первый температурный интервал) и в раннем кварце рудной стадии, в метасоматическом эпидоте (второй интервал температур). Для позднего кварца рудной стадии включения второй ассоциации отличаются короткопризматическими, гексагональными и удлиненно-овальными формами (Г-Ж). Их размер не превышает 2 мкм, объем газовой фазы составляет 15-40 %. Температура декрепитации соответствует 350-280 °С. Данная ассоциация включений характерна для крупнозернистого касситерита, встречающегося в линзах, гнездах и прожилках. Температура гомогенизации включений в касситерите составляет 390-320 °С.

Третья ассоциация включений представлена газовой-жидкими вакуолями, расположенными азонально в теле минерала-хозяина или в виде одиночных вакуолей. Объем газовой фазы в них меняется от 20 до 45 % объема включения. Температура гомогенизации составляет 300-280 °С (азональные включения, размером 5-8 мкм, в позднем кварце рудной стадии и в водно-прозрачном сиреневом флюорите) и 270-250 °С (одиночно - расположенные включения, размером 10-12 мкм, в турмалине).

Четвертая ассоциация включений характеризуется широким разнообразием форм, зачастую с неправильными прихотливо-извилистыми формами и сложной картиной распределения в плоскости, иногда подчеркивающей зоны роста кристалла минерала или азонально расположенные в нем. По фазовому состоянию это газовой-жидкие (Г-Ж) и газовой-твердо-жидкие (Г-Т_у-Ж) включения (см. рис. 3). Газовая фаза составляет 10-15 %, а твердая 8-12 % объема вакуоли. Твердая фаза представлена галитом, температура гомогенизации ее составляет 170-150 °С. Газ гомогенизирует при температуре 210-190 °С. Подобные включения встречаются в прозрачных кристаллах флюорита изумрудно-зеленого цвета.

Выводы

Таким образом, проведенное изучение включений в галогенных и гидротермальных минералах позволило классифицировать вакуоли микровключений по основным системам и типам. Каждый из выделенных типов харак-

теризуется определенным набором ассоциаций включений, которая в свою очередь определяется фазовым состоянием и физико-химическими параметрами среды образования того или иного минерала.

Выделенные типы и ассоциации включений в галогенных минералах позволяют установить не только порядок образования этих минералов, но и выделить их генетические разности. Обобщенный анализ систематики включений и результаты геолого-петрографического изучения разрезов позволили получить дополнительные данные для расчленения галогенных отложений. На основании многолетних исследований соленосных пород нами впервые для Прикаспия получены уникальные сведения о составе исходной рапы кунгурского солеродного бассейна, об особенностях накопления калийно-магниевого хлоридов и сульфатов, а также установлены физико-химические условия диагенетических и катагенетических изменений солей [18, 19]. Тем не менее остается ряд нерешенных проблем. Так, недостаточно изучены включения в минералах солянокупольных структур, широко развитых в Прикаспии (особенно в центральных ее районах). Изучение включений в галогенных минералах из соляных штоков принципиально важно не только для выявления условий и закономерностей преобразования солей, связанных с образованием куполов, но и для проведения поисково-разведочных работ на калийно-магниево-соли, нефть, газ, серу, полиметаллы и др. Кроме того, практически не изучены процессы вторичного жилобразования в эвапоритах. Их образование можно связывать с поровыми и межкристалльными растворами галогенных пород, хотя в некоторых случаях возможно предположение и эндогенной природы жильных минералов.

Систематика включений в гидротермальных минералах позволила установить порядок кристаллизации их из гидротерм, зональность и

особенности проявления контактово-метасоматических процессов в изученных геотермальных системах Паужетки (юг Камчатки) и вулкана Баранского (о. Итуруп) [20]. Изучение морфологических особенностей и физико-химических параметров флюидных включений в гидротермальных минералах имеет принципиальное значение при выяснении зональности гидротермально-метасоматических процессов с целью построения моделей системы, а также при определении устойчивости некоторых гидротермальных минералов. Установленная нами разница истинного состояния температурного режима геотермальной системы В.Баранского (о. Итуруп), полученная по результатам гомогенизации многокомпонентных включений в минералах и данным температур, замеренных при бурении скважин, позволяет оценить количество поступающей тепловой энергии из скважин после их проходки и тем самым оценить перспективы геотермальной системы в использовании ее как природного энергоносителя. Практически не изученные твердые включения аутигенных минералов могут сыграть определенную роль при решении вопроса рудоносности гидротерм.

Для месторождений бентонитовых глин Верховое и Южное (Кушмурунский грабен) впервые проведенные нами исследования включений в гидротермально-метасоматических минералах позволили выделить зону высоко- и среднетемпературных пропицитов [21]. Однако практически остались неизученными газовые и твердые включения в минералах. Их изучение важно при выяснении рудоносности гидротермальных растворов и их источнике.

Таким образом, несмотря на полученный авторами огромный фактический материал по изучению включений в галогенных и гидротермальных минералах, необходимость продолжения подобных исследований несомненна не только в силу их информативности, но и в силу практической значимости данного направления.

Библиографический список

1. Лесняк В.Ф. Основы анализа физико-химических свойств минералообразующих растворов по включениям в минералах. Львов: Изд-во Львовского ун-та, 1964. 219 с.
2. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра, 1972. 375 с.
3. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 272 с.
4. Колтун Л.И., Пизнюр А.В. Исследование минералообразующих растворов для поисков и разведки рудных тел // V Всесоюзное Совещание по термобарогеохимии (тезисы докладов). Уфа, 1976. С. 133-134.
5. Калюжный В.А. Методы вивчення багатофазових включень у мінералах. К.: Видавництво Академ. Наук Укр. РСР, 1960. 168 с.

6. Клевцов П.В., Леммлейн Г.Г. Физико-химический анализ жидких включений в кварце, содержащих кристаллики галита и сильвина // Зап. Всесоюз. Минералог. об-ва. 1955. Ч.84, вып. 1. С. 47-52.
7. Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов. М.: Наука, 1973. 327 с.
8. Пизнюр А.В. Основы термобарогеохимии. Львов: Изд-во Львовск. ун-та, 1975. 103 с.
9. Роддер Э. Флюидные включения в минералах Т. 1. М.: Мир, 1987. 387 с.
10. Роддер Э. Флюидные включения в минералах Т. 2. М.: Мир, 1987. 632 с.
11. Смит Г. Геологическая термометрия по включениям в минералах. М.: Иностран. лит., 1956. 122 с.



12. *Кормушин В.А.* О способе выражения концентрации минералообразующих растворов // III Всесоюзное Совещание по термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов. М., 1968. С. 246-427.
 13. *Мельников Ф.П.* Методы исследования газовой-жидких включений в минералах // Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород. М., 1975. С. 109-164.
 14. *Такуноучи С., Кеннеди Дж.К.* Бинарная система H_2O-CO_2 при высоких температурах и давлениях // Термодинамика постмагматических процессов. М., 1968. С.110-136.
 15. *Петриченко О.И.* Методы дослідження включень у мінералах галогенних пород. К.: Наукова Думка, 1973. 91 с.
 16. *Ковалевич В.М.* Физико-химические условия формирования солей Стебниковского калийного месторождения. К.: Наукова Думка, 1978. 99 с.
 17. *Петриченко О.И.* Атлас микровключений в минералах галогенных пород. К.: Наукова Думка, 1977. 182 с.

18. *Московский Г.А., Гончаренко О.П.* Геохимия заключительных стадий галогенеза в раннепермском солерудном бассейне Прикаспия. Геология освоения ресурсов галогенных формаций // Материалы Международной конференции. Проблемы формирования и комплексного освоения месторождений солей. Пермь: ГИ УРО РАН, 2001. С.144-156.
 19. *Московский Г.А., Гончаренко О.П.* Гидрохимические аспекты гипотез галогенеза (на примере кунгурских солей Прикаспия) // Недра Поволжья и Прикаспия. 2001. № 28. С. 18-22.
 20. *Гончаренко О.П.* Температурные условия развития геотермальной системы вулкана Барнского (о. Итуруп) // Геохимия. 1993. № 2. С.237-242.
 21. *Гончаренко О.П., Шелепов Д.А.* Особенности гидротермальной минерализации в тафrogenных областях на примере Кушмурунского грабена (по данным изучения включений) // Труды X Международной конференции по термобарогеохимии. 10-14 сентября 2001 г. г. Александров. ВНИИСИМС. С.387-398.

УДК 086.5:552.147:552.55(551.763.3/781)(470.44/47)

МОДЕЛИ КРЕМНЕНАКОПЛЕНИЯ В МОРСКИХ БАСЕЙНАХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е.Ф. Ахлестина, старший научный сотрудник НИИ Геологии
А.В. Иванов, директор НИИ Геологии

E-mail: niig@sgu.ssu.runnet.ru

В поздне меловое и палеогеновое время фиксируется максимальное развитие кремненакопления на территории Нижнего Поволжья. Представлены модельные реконструкции кремненакопления в сантонском, палеоценовом и среднеэоценовом морских бассейнах. При этом использованы результаты анализа основополагающих критериев: типа бассейна, гидродинамического режима, особенностей биоты, характера окружающей суши, особенностей климата, источников кремнезема, ландшафтных особенностей морского дна, генетических типов осадков, а также взаимоотношений кремнистых осадков с иными.

Models of silicon accumulation in marine basins of Volga region

E.F. Akhlestina, A.V. Ivanov

The maximum development of silicon accumulation in the region of the Volga river is recognized during the late cretaceous and palaeogene periods. Some models of reconstruction of silicon accumulation in the Santonian, Palaeocene and Middle Eocene marine basins are represented. Analysis of such main criteria as: type of basin, hydrodynamic conditions, peculiarities of biota, surrounding land, climate, source of silicon, features of landscape on the marine bottom, genetic types of sediments and interrelation of silicon-containing sediments with others were applied for proposed reconstruction here.

Максимальное развитие кремненакопления, связанного с образованием опоковидных силицитов, приурочено к позднему мелу и палеогену. В это время на рассматриваемой территории существовал морской бассейн, представляющий собой шельфовую северо-

восточную часть океана Тетис. Развитие его происходило в результате тектонических движений Альпийского пояса, сопровождавшихся глобальными колебаниями уровня океана и изменениями климата.

Результаты собственных многолетних исследований меловых и палеогеновых отложений рассматриваемой территории, анализ имеющегося опубликованного [1-18] и фондового материала (прежде всего по палеогеографии и литолого-фациальным особенностям строения, состава и генезиса поздне меловых и палеогеновых отложений региона) позволяют осуществить реконструкцию и представить модель кремненакопления в указанный отрезок времени.

При построении модели использовались основополагающие критерии, выделенные С.А.Морозом с соавторами [11] при построении модели кремненакопления в палеоценовом бассейне Русской плиты и М.Л.Ирвин [19] для моделей карбонатакопления. Это прежде всего тип бассейна, его режим, органический мир, характер окружающей суши, особенности климата, источники кремнезема, основные ландшафтные зоны морского дна и генетические типы осадков, взаимоотношение с другими осадками (см. рис. и табл.).

