Авторы очень благодарны А. Хушманзаде, М.А.А. Ноголь Садату и Е.Ф. Романько – руководителям полевых работ на востоке Ирана; а также А.В. Гирнису, В.Ю. Прокофьеву и др., В.В. Ярмолюку, С.Н. Бубнову, В.А. Коваленкеру, В.Н. Волкову, А.Н. Перцеву, Л.Н. Романько, Н.Н. Тарасову и многим специалистам за исключительно ценные консультации, продолжительные плодотворные обсуждения, конструктивную критику, помощь и т.д.

Данная работа выполнена в рамках темы госзадания № 0135-2018-0034 Геологического института РАН (Н.П. Чамов), и др.

Литература:

Лучицкий И.В. Палеовулканология. М.: Наука, 1985. 275 С.

Магматические горные породы. Средние и кислые породы. Ред. Коваленко В.И., Ярмолюк В.В. М: Наука, 1983. 410 с.

Маракушев А.А. Петрогенезис. М.: Недра, 1988. 293 с.

Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б.., Романько А.Е., Плечов П.Ю., Балашова А.Л., Имамвердиев Н.А. Низкотемпературные кислые расплавы вулкана Базман, Иран // Доклады РАН, 2019. Т. 485. № 5. С. 422-425.

Русинов В.Л. Метасоматические процессы в вулканических толщах Наука, 1989. 213 с.

Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н., Соловова И.П. Физико-химические условия магмообразования в основании Сибирского плюма по данным исследования расплавных микровключений в меймечитах и щелочных пикритах Маймеча-Котуйской провинции // Петрология. 2009. Т. 17. № 3. С. 311-323.

Imamverdiyev N.A., Romanko A., Abdullayeva Sh.F., Prokofiev V., Vikentev I., Savichev A., Stepanov S., Heidari M., Rashidi B. L. CAUCASUS – E. IRAN, Middle East: Some materials on geology and metallogeny, “hot” tectonics due to the African superplume activity, melt and fluid inclusions; different data on hydrocarbons (OIL, HC), and some problems. News of Baku State University. 2014. N 3. P. 113-136.

Prokof’yev V. Yu., Bortnikov N. S., Zorina L. D., Kulikova Z. I., & Matel N.L. The Darasun intrusive-related gold-polimetallic deposit, Eastern Transbaikalia, Russia: Petrochemical, melt and fluid inclusion, REE and stable isotope (O, C, and S) studies Applid Mineralogy. Rammlmair et al. (eds). Balkema, Rottertdam, Brookfield, 2000. P. 399-402.

Romanko A., Imamverdiyev N.A., Prokofiev V., Vikentev I., Rashidi B., Savichev A., Heidari M., 2018. Some new and previous materials on Alpine magmatism, tectonics, melt and fluid inclusions, and metallogeny in Eastern Iran. International Journal of Mining Science. 2018. V. 4. Issue 1. P. 11-28.

Vikentiev I.V., Yudovskaya M.A., Mokhov A.V., Kerzin A.L., Tsepin A.I. GOLD AND PGE IN MASSIVE SULFIDE ORE OF THE UZELGINSK DEPOSIT, SOUTHERN URALS, RUSSIA. Canadian Mineralogist. 2004. V. 42. P. 651-665.

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОГО ФЛЮИДА НА ЗОНУ АРГИЛЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рычагов С.Н.[1], Сандимирова Е.И.[1], Кравченко О.В.[1], Чернов М.С.[2]

[1]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, rychsn@kscnet.ru

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, chernov@geol.msu.ru

Аргиллизированные породы широко распространены в вулканических районах и обладают особыми физико-химическими, петрофизическими и геохимическими свойствами (Ерощев-Шак, 1992; Набоко, 1980; Разумова, 1977; Hemley, Jones, 1964; Reyes, 1990). В верхних горизонтах гидротермальных систем разгрузка кислых сульфатных (хлоридно-сульфатных, гидрокарбонатно-сульфатных) растворов сложного катионного состава

приводит к интенсивному выщелачиванию вмещающих пород, образованию вторичных кварцитов, опалитов, толщи гидротермальных глин и кремнистых осадков (Коробов, 1994; Фролова и др., 2020). Разгрузка щелочных растворов на высоких гипсометрических уровнях в современных вулканических и гидротермальных системах происходит редко, но представляет большой интерес как возможный индикатор глубинного металлоносного флюида (Рычагов и др.. 2017). Настоящий доклад посвящен характеристике минералообразования в контрастных физико-химических условиях, на примере двух термальных полей Южной Камчатки.

Восточно-Паужетское термальное поле (ВПП) расположено на западном склоне Камбального вулканического хребта – резургентного тектоно-магматического поднятия в Паужетской вулкано-тектонической депрессии (Долгоживущий …, 1980). Термальное поле приурочено к кольцевому приподнятому блоку четвертичного возраста (Структура …, 1993). Общие размеры поля составляют ≥ 250×500 м, а наиболее прогретого участка – 100×200 м. Термопроявления представлены парящими грунтами, парогазовыми струями, грязеводными котлами и теплыми озерами. Максимальные температуры разгружающихся на дневной поверхности вод составляют 98°С, грунтов – 105–107°С, парогазовых струй – 108–109°С. Термальные воды кислые сульфатные и слабокислые гидрокарбонатно-сульфатные с широким катионным составом, общая минерализация не превышает 0.8 г/л. Конденсат пара имеет близкий химический состав. Грунты представляют собой гидротермальные глины, образующие сплошной чехол и распространяющиеся далеко за пределы современного горячего участка. Толща глин имеет слоистое строение. Верхний горизонт является типичной зоной сернокислотного выщелачивания. Глины сложены каолинитом, гидрооксидами и оксидами Fe и Ti; сульфатами Fe, Ca и др. металлов; опалом; халцедоном. Участками сохранилась псевдоморфная структура блоковой отдельности исходных пород – лав андезитов. Мощность горизонта колеблется от 50-80 см на горячем участке, до > 300-350 см на периферии. Ниже располагается горизонт средней мощностью 150 см, сложенный монтмориллонитовыми пластичными глинами. Для него характерно наличие большого количества линз, пленок и тонких прожилков опала и α-кварца и рассеянного в основной массе пирита. Как было отмечено ранее, горизонт пластичных глин служит водоупором и тепловым экраном и имеет определяющее значение для формирования минеральных рудных ассоциаций в структуре ВПП (Рычагов и др., 2017). Под этим горизонтом на Рудном участке вскрыты две зоны (снизу-вверх): кремнисто-карбонатно-сульфидная и фосфатно-алюмосиликатно-сульфидная. По направлению к западной границе поля зоны объединяются в единую зону более сложного состава. Горизонт «сухих» сульфидизированных глин также выдержан по простиранию термального поля. Отложения представляют собой смектитовые глины. В верхних слоях горизонта отмечается переход от каолинита к смектиту с обилием рассеянного крупнокристаллического (до 2–3 мм) пирита и полуразложенных обломков андезитов. Характерно наличие фрагментов (до 15–25 об.%), насыщенных кремнистым веществом: они образуют прослои, линзы и «пятна» в основной матрице. Вероятнее всего, фрагменты образованы метасоматическим путем за счет замещения обломков андезитов минералами кремнезема, а также смектитами и др. На периферии поля горизонт сложен типичными «синими глинами» (насыщенными сульфидами), его мощность увеличивается. Основание толщи глин представлено метасоматическими брекчиями по андезитам и трещиноватыми андезитами. Андезиты почти полностью изменены в цеолит-карбонат-хлорит-кремнисто-алюмосиликатный агрегат, развитый как в основной массе (в цементе и во фрагментах «обломков» брекчий), так и в трещинно-поровом пространстве. Из первичных минералов встречаются: плагиоклазы (An_{30-70}), титансодержащий авгит, амфиболы (роговые обманки), магнетит и титаномагнетит (TiO_2 − 1.9–17 мас. %), марганецсодержащий ильменит (MnO − 2.6–20.9 мас. %), хромсодержащая шпинель (MgO – 3–6; Al_2O_3 – 8–18; Cr_2O_3 – 1–23.4

мас. %), единичные гипидиоморфные зерна кварца размером до 1 мм с мелкими включениями калиевого полевого шпата (КПШ). Ильменит образует сростки с титаномагнетитом, цирконом и апатитом. В процессе гидротермально-метасоматических изменений пород на месте первичных титансодержащих минералов образуются титан-кальций-кремнистые смеси, сфен и рутил, а на месте выщелоченных фрагментов отлагается цеолит. Шпинелиды частично замещаются пиритом и нередко обрастают пиритовой каймой. Вероятно, к наиболее ранним гидротермально-метасоматическим преобразованиям пород можно отнести широкое развитие Mg-Fe хлорита, КПШ, кварца, кальцита и цеолитов. Среди более поздних гидротермальных образований преобладают: кальциевые и натрий-кальциевые цеолиты, кальцит и магнийсодержащий карбонат, Fe-Mg хлорит, смектиты, хлорит-смектиты, алюмосиликатные образования сложного состава, кремнисто-алюмосиликатные и цеолит-халцедоновые стяжения в виде фрагментов неправильной формы. Впервые при изучении пород основания толщи глин термального поля отмечено образование относительно крупных (до 0.1-0.2 мм) выделений халькопирита и высокое содержание As (до 5 мас. %) в пирите. Также впервые установлен гидросиликат Ca (предположительно окенит). В ассоциации с кварцем, кальцитом и цеолитами он выполняет поры и трещины. По-видимому, образование гидросиликата Ca отражает последнюю стадию гидротермального изменения пород разреза на данном участке.

Рудный участок Восточно-Паужетского термального поля расположен в области перехода от наиболее горячей к остывающей части. Здесь под горизонтом пластичных глин обнаружены зоны с фосфатно-алюмосиликатно-сульфидной и кремнисто-карбонатно-сульфидной минерализацией (Рычагов и др., 2017). Разрез толщи гидротермальных глин, в целом, типичен для данного термального поля. Исходные породы представлены лавами андезитов, интенсивно измененных и трещиноватых. Характерно наличие гидротермальных зон (составляющих более 50% от мощности нижней части разреза), полностью выполненных вторичными минералами. Состав измененных пород и гидротермальных зон представлен цеолитами, кальцитом и магнийсодержащим кальцитом, хлоритами, опалом, F-Cl-апатитом. Первичные рудные фазы практически не сохранились: по ним развиваются сфен, хлориты, пирит и др. Пирит часто содержит As (до 3–5 мас. %): мышьяк входит в состав полос, локализующихся вдоль зон роста кристаллов пирита, или образует пятна-участки в его структуре. В то же время, вторичная минерализация в данном разрезе имеет и существенные отличия. Состав цеолитов более разнообразен: на фоне преобладания Ca-цеолитов образуются натрий-кальциевые и калий-натрий-кальциевые. Среди алюмосиликатов изредка присутствуют смектиты и доминируют Fe-Mg-хлориты, иногда более сложного состава – по-видимому, отражающего переход к хлорит-иллитам и гидрослюдам. Также особенностью этого разреза является наличие в гидротермальных зонах кремнисто-железистых «стяжений» в форме жил, линз, фрагментов, полос-оторочек вокруг обломков андезитов. Количество этого материала резко возрастает к основанию вскрытого разреза и составляет до 50 % от объема зон гидротермальных изменений. Кремнисто-железистые «стяжения» образуются на первом этапе гидротермально-метасоматических преобразований пород основания толщи глин Рудного участка. На следующих этапах происходит их дробление, выполнение трещин цеолитами, карбонатами, кварцем, сульфидами и др. минералами, переход закисного железа в окисное, др. процессы. Характеристика минерального состава измененных пород и гидротермальных зон основания толщи глин Восточно-Паужетского термального поля свидетельствует о глубоком перерождении исходных пород, увеличении температуры и щелочности среды к основанию вскрытого разреза. Отмечается минералого-геохимическая зональность (сверху – вниз): каолинит-смектиты → смектиты → смектит-хлориты → цеолиты-карбонаты-хлориты → цеолиты-иллит-гидрослюды. Образование нижних зон связано с привносом щелочных и щелочноземельных элементов, As и РЗЭ.

Южно-Камбальное Центральное термальное поле (ЮКЦ) расположено в южной части Камбального вулканического хребта в 7–8 км от действующего вулкана Камбальный (последнее извержение которого произошло в 2017 г.). ЮКЦ локализовано в кольцевой морфоструктуре, по-видимому, представляющей собой эродированный кратер одного из побочных конусов плиоцен-плейстоценового стратовулкана (Сывороткин, 1993). Термальное поле отличается от других полей района, прежде всего, контрастностью физико-химических параметров разгружающихся на дневной поверхности термальных вод. pH источников колеблется от 2.8 до 7.5, притом, что воды интенсивно разбавляются метеорными. Общая минерализация достигает 4 г/л. В крупных насыщенных углекислым и серосодержащими газами котлах и пульсирующих источниках центральной части поля преобладают щелочные гидрокарбонатно-сульфатные аммониевые (кальций-аммониевые) воды с высоким содержанием многих микроэлементов (редких щелочных, цветных и черных металлов, бора, фосфора, РЗЭ). Обращает на себя внимание постоянно высокое содержание аммония, как в щелочной, так и в кислой термальной воде. Источником аммония на сольфатарных полях Камбального хребта, по-видимому, являются вулканические газы (Нехорошев, 1959). Высокой контрастностью состава и строения характеризуется толща гидротермальных глин. Каждый из 4-х участков термального поля, вскрытых скважинами, отличается литологическим строением, химическим и минеральным составами выделенных горизонтов, мощностью зон сернокислотного и углекислотного выщелачивания, и др. параметрами. Средняя мощность толщи гидротермальных глин превышает 4 м. Характеристикой, объединяющей всю толщу гидротермальных глин ЮКЦ, является наличие на каждом участке пластичных глин, образующих горизонт мощностью 70-130 см. Этот горизонт, как было показано нами на примере ВПП, может иметь большое значение в структуре поля: он служит водоупором, тепловым экраном и часто к нему приурочен комплексный геохимический барьер с образованием рудных минеральных ассоциаций. Кроме того, поровые растворы гидротермальных глин ЮКЦ, как и ВПП, характеризуются аномально высокими концентрациями редких щелочных (Li, Rb, Cs), основных щелочных и щелочноземельных элементов, содержание иттрия достигает 1–3.7 мг/л. Поровые растворы высокоминерализованные: в среднем, 5-8 г/л, на отдельных участках образуются рассолы (60–100 г/л). И гидротермальные глины, и поровые растворы в них выделяются аномально высокими, до ураганных, содержаниями Hg.

На ЮКЦ в зоне разгрузки щелочных термальных вод образуются карбонатные конкреции концентрически-зонального строения. Они были установлены ранее и охарактеризованы как "псевдошаровые агрегаты арагонита" (Карпов, 1970). Нашими исследованиями показано, что эти агрегаты не являются мономинеральными и имеют сложные химический состав и структуру. Помимо арагонита, слагающего основу каждой зоны, установлены оксиды Fe и Si, сульфаты Ca и Ba, сульфиды Fe и др. металлов, карбонаты Fe и Mn, Si-Fe-Mn образования, а также соединения азота, фосфаты кальция и редких металлов. Все отмеченные минеральные образования слагают тонкие слои, микрозоны, отдельные чешуи, почковидные и шаровидные натеки на поверхности слоев арагонита. На фоне общего для всех агрегатов концентрически-зонального строения выделяются колломорфно-полосчатые, глобулярные, крустификационные, слоистые, массивные и радиально-лучистые структуры. Разнообразие, определенная последовательность и повторяемость структур свидетельствует в пользу многостадийного пульсационного характера образования конкреций. Показано также, что карбонатные конкреции ЮКЦ образуются вследствие внедрения щелочных металлоносных растворов в открытые полости в основании толщи гидротермальных глин, последующего вскипания, охлаждения и пересыщения растворов относительно основных компонентов состава – гидрокарбоната, ортокремниевой (коллоидной и растворенной) кислоты, сульфата и

аммония. Источник ряда металлов (щелочных, цветных, редких), а также фосфора и азота, может располагаться в недрах ЮКЦ (Рычагов и др., 2021).

Таким образом, Восточно-Паужетское и Южно-Камбальное Центральное термальные поля приурочены к одной из крупнейших на Камчатке геотермальных (флюидных) систем, расположенной в недрах Камбального вулканического хребта. Термальные поля отличаются от других термоаномалий Южной Камчатки проявлением контрастных физико-химических условий в зоне разгрузки парогидротерм, что, вероятно, обусловлено влиянием глубинного металлоносного щелочного флюида на неоднородную толщу аргиллизированных горных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00102).

Литература:

Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.

Ерощев-Шак В.А. Гидротермальный субповерхностный литогенез Курило-Камчатского региона. М.: Наука, 1992. 131 с.

Карпов Г.А. Псевдошаровые агрегаты арагонита на современном термальном поле Камбального хребта (Камчатка) // Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. М.: Наука, 1970. С. 157–165.

Коробов А.Д. Гидротермальный литогенез в областях наземного вулканизма. Автореф. дисс. … докт. геол.-мин. наук. М.: ГИН, 1994. 50 с.

Набоко С.И. Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности. М.: Наука, 1980. 198 с.

Нехорошев А.С. Гидротермальная деятельность района хребта Камбального на Южной Камчатке // Бюлл. вулканол. станций. 1959. № 28. С. 23–32.

Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.

Сывороткин В.Л. Современный вулканизм Южной Камчатки и гидротермальный процесс // Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. С. 21–47.

Разумова В.Н. Древние коры выветривания и гидротермальный процесс. М.: Наука, 1977. 156 с.

Рычагов С.Н., Сандимирова Е.И., Чернов М.С. и др. Состав, строение и происхождение карбонатных конкреций Южно-Камбального Центрального термального поля (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2021 (в печати).

Рычагов С.Н., Сергеева А.В., Чернов М.С. Минеральные ассоциации основания толщи глин как индикаторы флюидного режима Паужетской гидротермальной системы (Камчатка) // Тихоокеанская геология. 2017. Том 36. № 6. С. 90–106.

Фролова Ю.В., Рычагов С.Н., Чернов М.С. и др. Инженерно-геологические аспекты изменения вулканогенных пород в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбальных термальных полей (Южная Камчатка) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 1. С. 36–51.

Hemley J.J., Jones W.R. Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis of hydrogen metasomatism // Econ. Geol. 1964. V. 59. N 4. P. 238–369.

Reyes A.G. Petrology of Philippines geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1990. V. 43. P. 279–309.

ЭКЛОГИТЫ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ: ВОЗРАСТ МЕТАМОРФИЗМА И ПРОТОЛИТА

Рязанцев А.В.[1], Голионко Б.Г.[1], Скобленко А.В.[1], Соболев С.Н.[2]
[1]Геологический институт РАН, Москва, Россия, avryazan51@mail.ru
[2]Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, Россия

Максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс является эталонным для подобных структурно-вещественных единиц, развитых в различных складчатых поясах мира.