

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ГЛИНЫ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА): ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СУБАКВАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ

Р.Г. Давлетбаев, О.В. Ковина

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: rychnsn@kscnet.ru

Аргиллизированные породы, в т.ч. гидротермальные глины, широко распространены в областях современного вулканизма. Характеристике их химического и минерального составов, физико-химических условий образования как на дневной поверхности, так и в недрах гидротермальных систем посвящены многие работы [Набоко и др., 1965; Русинов, 1989; Ерошев-Шак, 1992; и др.]. В целом, исследования были направлены на решение общих гидрогеотермических, минералогических и др. задач. Детальное изучение разрезов этих гидротермальных новообразований на всю глубину их залегания позволило обратить внимание на большую роль приповерхностного горизонта глин и других аргиллизированных пород в геохимии современных эндогенных процессов, контролирующих восходящие потоки металлоносных флюидов в структуре геотермальных месторождений [Рычагов и др., 2007, 2008]. В настоящем сообщении подводятся итоги следующего этапа исследований гидротермальных глин, залегающих на поверхности термоаномалий: распространения толщи как «самостоятельного» геологического тела, определения ее физических параметров, изменения состава и свойств глин в зависимости от положения в вертикальных разрезах и от температурных и физико-химических характеристик геотермальной среды, изучения роли отдельных минералов как вероятных концентраторов Au, Hg, полиметаллов, редких и др. элементов. Исследования выполнены в Паужетско-Камбальном-Кошелевском геотермальном районе на юге Камчатки. Объектами работ послужили термальные поля Верхне- и Восточно-Паужетское, Центральное и Южно-Камбальное; Нижне- и Верхне-Кошелевская термоаномалии (рис. 1). Изучение приповерхностного горизонта гидротермальных глин заключалось в проходке шурфов и скважин колонкового бурения (всего пройдено 26 выработок, в т.ч. на площади Нижне-Кошелевской термоаномалии – 20, глубиной до 3.0 м) с целью вскрытия полных разрезов и детального послойного описания толщи с отбором проб на минералогические, геохимические, электронно-микроскопические и др. виды аналитических работ. Методика исследований подробно изложена в статье [Рычагов и др., 2008].

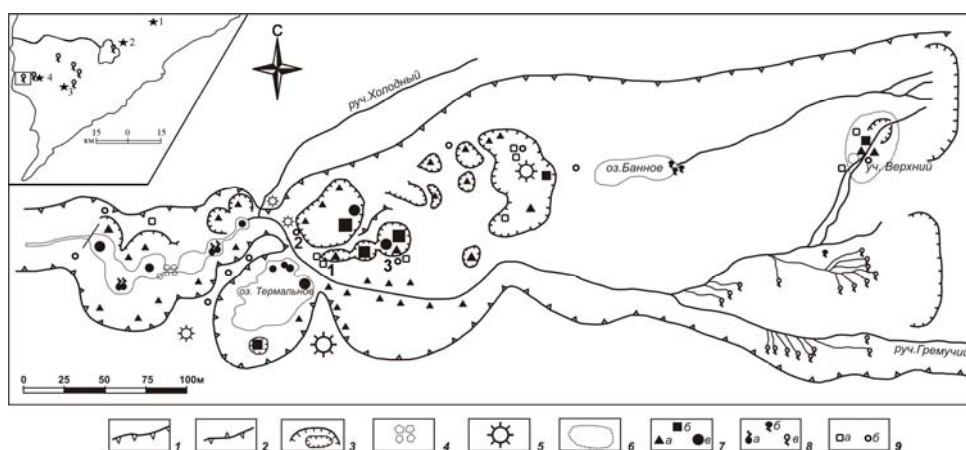


Рис. 1. Схема строения Нижне-Кошелевской термоаномалии, по работе [Рычагов и др., 2008], с изменениями. 1 – геоморфологические границы термоаномалии (основной уступ); 2 – внутренние геоморфологические границы; 3 – отрицательные термальные структуры; 4 – каменные развалы; 5 – отдельные высоты; 6 – границы локального термального поля; 7 – паро-газовые источники: а – газовые струи, б – грязевые котлы, в – кипящие озера; 8 – водные источники: а – крупные пульсирующие, б – мелкие разгрузки термальных вод, в – холодные источники; 9 – горные выработки: а – шурфы (1 – НК-1/06ШХ), б – скважины (2 – НК-10/06ШХ, 3 – НК-11/06ШХ). На врезке показаны действующие вулканы (1 – Желтовский, 2 – Ильинский, 3 – Камбальный, 4 – Кошелевский) и основные группы термальных источников, с востока на запад: разгрузки в бухте Теплая оз. Курильского, термальные поля Камбального вулканического хребта (Северное, Центральное и Южное), Паужетское геотермальное месторождение, Верхне-Кошелевские паровые струи, Нижне-Кошелевская термоаномалия (в квадрате).

Разрезы на Верхне-Паужетском термальном поле характеризуются классическим зональным строением: верхний слой (0 – 15-25 см) представлен ассоциацией каолинит + лимонит + смектиты + сера + барит + Fe-Al-Mg-Ca-сульфаты и отвечает зоне сернокислотного выщелачивания; в следующем интервале мощностью 20-50 см формируются «синие глины», глубже – монтмориллонитовые (монтмориллонит + хлорит-смектиты + иллит-смектиты + гематит + магнетит + минералы кремнезема) (рис. 2 а). Разрезы глин Нижне-Кошелевской термоаномалии существенно отличаются от таковых Паужетского месторождения. Каждый разрез имеет индивидуальное строение (рис. 2 б-г). Поверхностный горизонт глин мощностью ≥ 10 см служит зоной механического и химического выветривания с интенсивным окислением пирита, магнетита и гематита и высаживанием на акавльном температурном барьере самородной серы и сульфатов металлов. Основная по мощности нижележащая толща глин соответствует зоне углекислотного выщелачивания (ассоциация минералов монтмориллонит + хлорит-смектиты + иллит-смектиты + гематит + магнетит + пирит), но с необычно высоким содержанием сульфидов железа (пирит и марказит?) и минералов кремнезема. Толща неоднородна. Слои, насыщенные минералами кремнезема в ассоциации с пиритом, выделяются как вблизи дневной поверхности, так и у подошвы толщи. Как правило, концентрации Au, Ag, Hg, щелочных и редких элементов в этих слоях гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии от одного до трех порядков превышают средние значения для гидротермально измененных пород района. Таким образом, для разрезов гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии характерна неоднородность минерального и химического составов, высокая концентрация пирита, наличие минералов кремнезема в ассоциации с сульфидами железа. Разрез Южно-Камбального Центрального поля характеризуется высоким содержанием пирита в монтмориллонитовых глинах в интервале 30-135 см, верхний слой представляет собой переходную зону между серно- и углекислотным выщелачиванием, нижний резко отличается по составу и сложен более чем на 90% монтмориллонитом и почти не содержит пирита. Такое строение глин, аналогично с некоторыми разрезами Нижне-Кошелевской термоаномалии (рис. 2 г), объясняется тем, что шурф вскрыл активную парогазовую зону. Температурный (от 98 до 107⁰C) и физико-химический режимы зоны (наличие в пароводяной смеси коллоидов кремния и железа, а также высокая активность сероводорода) определяют формирование мощной окремненной и пиритизированной толщи глин.

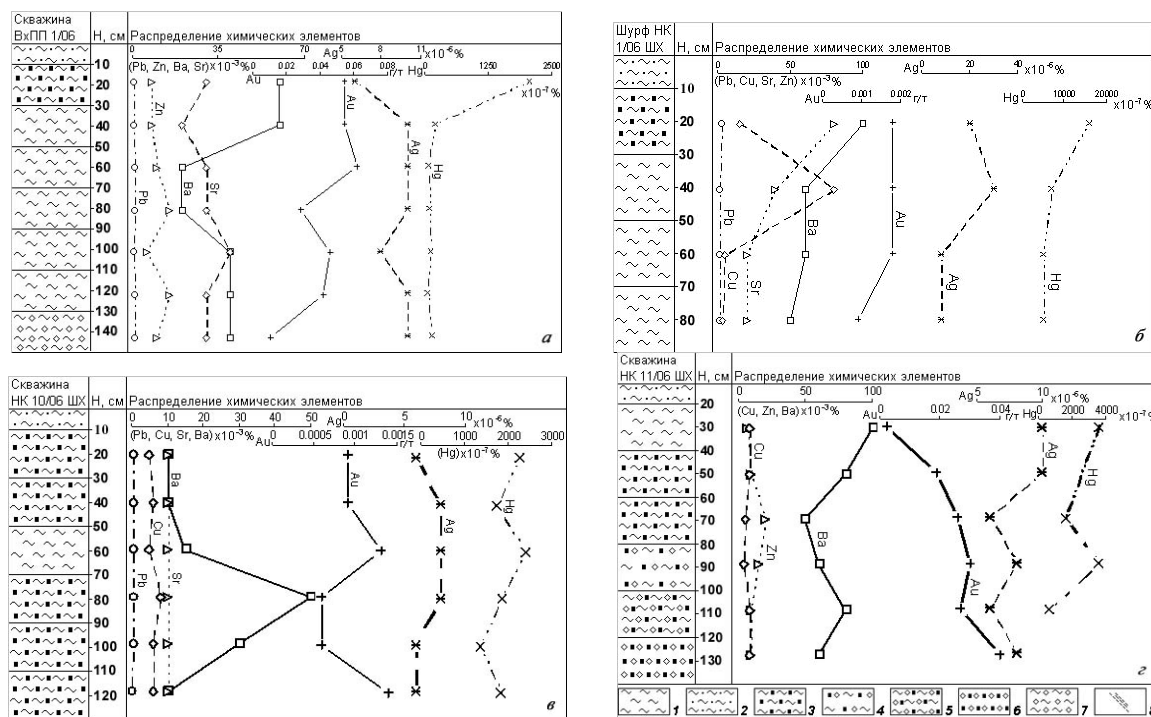


Рис. 2. Строение некоторых разрезов гидротермальных глин Верхне-Паужетского термального поля (а) и Нижне-Кошелевской термоаномалии (б-г). 1 – глины зоны углекислотного выщелачивания; 2 – то же, сернокислотного; 3 – глины с высоким содержанием пирита; 4 – интервалы, сложенные глинами, обломками пород и сульфидами; 5 – то же, с меньшим количеством глины; 6 – интервалы, сложенные окремненными обломками пород и пиритом, глина практически отсутствует; 7 – обломки пород и глина; 8 – зоны трещиноватости, вскрывающие относительно сухой пар.

Химический состав гидротермальных глин характеризуется увеличением содержания SiO_2 от верхнего к нижним слоям (табл. 1). Распределение остальных компонентов неоднородно как в вертикальных разрезах, так и по площади Нижне-Кошелевской термоаномалии. Содержания петрохимических компонентов колеблются в широких пределах (вес. %): $\text{SiO}_2 = 39.53 - 58.1$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.78 - 26.36$, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2.58 - 10.27$, $\text{K}_2\text{O} = 0.2 - 2.13$, соединений серы (ппп) = $8.67 - 24.58$. Гидротермальные глины остывшего термального поля Промежуточное [Вакин и др., 1976] имеют химический состав, отвечающий, в среднем, монтмориллонитовым глинам (проба НК-Пром 1/06 в табл. 1). Отобранные также за пределами термоаномалии в качестве эталонных аргиллизированные породы (проба НК-20/06-2) отличаются от современных гидротермальных глин высоким содержанием SiO_2 , низкой суммой $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ и соединений серы. Следовательно, в гидротермальных глинах термоаномалии происходит активный современный процесс перераспределения основных породообразующих компонентов между слоями и, по-видимому, в пределах слоев. Это перераспределение отражает высокую динамику изменения состава минеральных кристаллических и аморфных фаз.

Таблица 1. Химический состав гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии

Компо- ненты	НК- 1/06	НК- 1/06	НК- 1/06	НК- 1/06	НК- 10/06	НК- 10/06	НК- 10/06	НК- 10/06	НК- 10/06	НК- 10/06	НК- 16/06	НК- 9/06-1	НК- 9/06-2	НК- 10/06-2	НК- Пром 1/06	НК- 20/06-2
	ШХ-1	ШХ-2	ШХ-3	ШХ-4	ШХ-1	ШХ-2	ШХ-3	ШХ-4	ШХ-5	ШХ-6	ШХ					
	Интервалы отбора проб, м															
	0.7-0.9	0.5-0.7	0.3-0.5	0.1-0.3	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-0.9	0.9-1.1	1.1-1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1-0.3	0.1-0.3
	Содержание компонентов, вес. %															
SiO_2	53.12	51.52	45.97	39.53	52.59	52.19	50.97	52.12	52.61	54.23	58.1	53.68	54.07	54.96	51.71	61.03
Al_2O_3	21.3	26.36	25.77	25.94	14.93	14.94	14.78	15.59	15.45	15.52	18.03	20.04	17.88	18.78	20.56	20.47
Fe_2O_3	2.86	1.87	2.24	1.75	8.76	8.67	9.13	8.02	7.45	6.87	4.83	5.05	5.19	5.87	7.03	1.49
FeO	0.64	0.71	1.08	1.00	1.14	0.86	1.14	0.86	0.86	0.57	0.5	1.08	1.22	0.79	2.22	0.57
CaO	0.054	0.024	0.01	0.016	1.83	1.93	2.55	2.27	2.34	2.32	1.49	1.08	1.17	0.01	3.35	0.711
MgO	0.307	0.209	0.294	0.219	3.32	3.36	2.97	3.06	3.21	3.49	1.58	1.3	1.54	2.63	2.19	1.13
Na_2O	0.328	0.403	0.427	0.61	0.035	0.058	0.029	0.095	0.089	0.076	1.51	0.548	0.54	0.153	1.54	0.458
TiO_2	0.882	0.853	0.932	1.56	0.897	0.918	1.03	0.98	1.01	1.03	0.807	1.03	1.04	0.995	1.31	1.08
K_2O	0.638	0.607	0.617	1.36	0.2	0.314	0.367	0.3	0.3	0.212	2.13	0.512	0.63	0.252	1.08	0.927
MnO	0.017	0.015	0.014	0.011	0.109	0.114	0.161	0.149	0.159	0.157	0.183	0.071	0.061	0.103	0.099	0.018
P_2O_5	0.136	0.153	0.132	0.217	0.489	0.538	0.889	0.564	0.564	0.34	0.196	0.0201	0.155	0.117	0.073	0.245
ппп	17.75	16.09	20.39	24.58	14.2	14.77	14.48	14.85	14.83	14.41	10.29	13.57	14.57	13.85	8.67	11.110
Сумма	98.032	98.814	97.866	96.793	98.5	98.662	98.496	98.858	98.872	99.225	99.646	98.341	98.066	98.5	99.832	99.239

Примечание. Химический анализ выполнен в АЦ ИВиС ДВО РАН методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе «S4 PIONEER». Аналитики Е.В. Карташева и Н.И. Чеброва.

Количественный минералогический анализ образцов гидротермальных глин показал, что в разрезах толщи глин Нижне-Кошелевской термоаномалии преобладает монтмориллонит (монтмориллонит-сметит), в верхнем слое присутствует каолинит, тонкая фракция пирита рассеяна по всему разрезу. Глины Верхне-Паужетского термального поля имеют более сложный состав: каолинит (каолинит-сметит) присутствует во всех слоях, выделяется горизонт «синих глин» присутствием кварца, калиевого полевого шпата, альбита и более высоким содержанием пирита. Изученные образцы обладают псевдоморфной структурой: тонкие листообразные глинистые частицы слагают микроагрегаты, в основном, повторяющие форму обломков и кристаллов исходных пород (рис. 3 а-г).

Такая структура наиболее характерна для глин Верхне-Паужетского термального поля. Микроструктура глин является переходной между псевдоглобулярной и губчатой. На некоторых участках наблюдаются агрегаты сфероидальной формы диаметром от 1 до 30 мкм, на других – листообразные агрегаты, образующие мелкоячеистую сетку типа губки. На поверхности микроагрегатов, на стенках пор, выполненных глинистыми минералами, образуются кристаллы пирита кубической сингонии с размерами граней $\leq 1-4$ мкм. Изучение состава фрагментов глин и слагающих их отдельных частиц и кристаллов на энергодисперсионном спектрометре показало значительное разнообразие катионного состава: Fe, Al, Mg, Ti, Mn, Ca, K, Na, P, F (устное сообщение В.Н. Соколова и М.С. Чернова, МГУ). Диагностика многих минералов затруднена вследствие того, что они образуют колломорфные структуры, характерные для начальных стадий раскristаллизации силикатных гелей. Вероятно, этим объясняется разнообразие катионного состава во многих слоях глин: образуются изоморфные минеральные смеси [Рычагов и др., 2008]. Они наиболее типичны для «молодых» гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии.

Охарактеризован минеральный состав шлиховых проб, полученных при отмучивании глинистых минералов из каждого слоя толщи гидротермальных глин. Большая часть разрезов отмечается высокими значениями содержания пирита в шлихах. Количество пирита в тяжелой фракции глин каждого слоя разреза Южно-Камбального Центрального термального поля превышает 90 об.%. Аналогичный, практически мономинеральный, состав шлихов отмечается

для многих разрезов Нижне-Кошелевской термоаномалии, за исключением отдельных слоев. В целом, пирит является основным минералом тяжелой фракции глин. Серый шлик для разреза Верхне-Паужетского термального поля представлен, в основном, кварцем и ассоциацией кварц + пирит для нижних слоев; магнетит присутствует на всех горизонтах, гематит - в средней части. Минеральный состав шлиховых проб из гидротермальных глин изученных разрезов на фоне преобладания зерен пирита характеризуется достаточно большим разнообразием и коррелирует с минеральным и химическим составами глин.

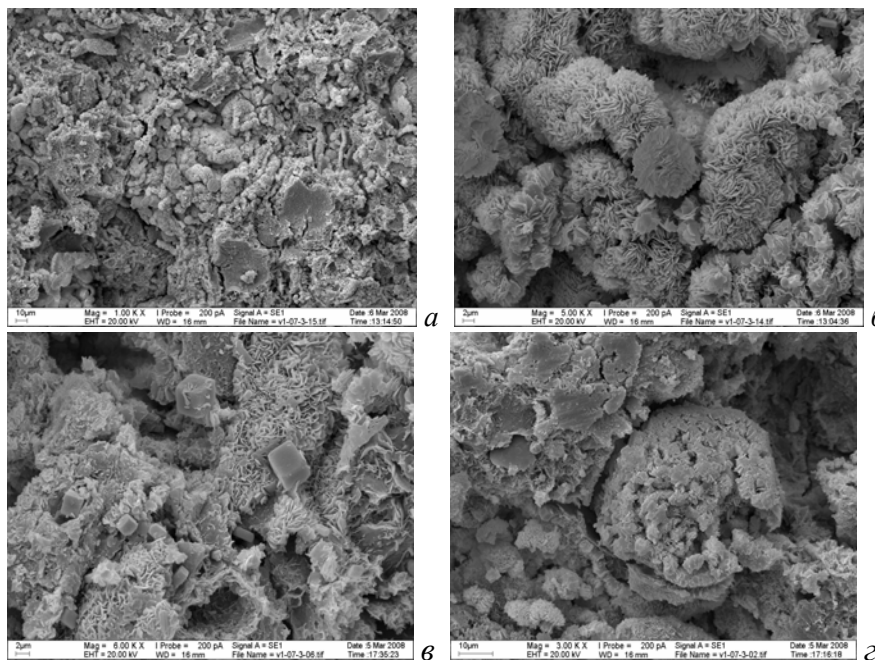


Рис. 3. Состав и структура гидротермальных глин из разреза Верхне-Паужетского термального поля по данным изучения на растворном электронном микроскопе (МГУ, кафедра инженерной и экологической геологии, по материалам В.Н. Соколова и М.С. Чернова): *а* – наиболее типичная для паужетских глин псевдоморфная структура, *б* – губчатая и псевдоглобулярная структура, *в* – листообразные агрегаты и кристаллы кубической формы новообразованного пирита, *г* – микроагрегаты в форме глобулей.

Таким образом, детальное изучение толщи глин, залегающих на поверхности геотермальных аномалий Паужетско-Камбально-Кошелевского района показало, что толща представляет собой геологическое тело, имеющее большое значение в строении гидротермально-магматических систем. Гидротермальные глины образуют на поверхности геотермальных аномалий (термальных полей) практически непрерывный чехол средней мощностью 1.5 – 1.7 м, площадь распространения чехла $\geq n \times 10^4 \text{ м}^2$. Глины, а также образующийся в них пирит в числе других современных гидротермальных новообразований, отличаются высоким уровнем концентраций Au, Ag, Hg, Ba, В, щелочных и редкоземельных элементов. Химический и минеральный составы глин существенно отличаются от таковых на различных объектах. Для Верхне-Паужетского термального поля характерно четко выраженное зональное строение глин: верхний слой мощностью до 20-30 см представляет собой зону сернокислотного выщелачивания (каолинит + каолинит-сметтит + лимонит + самородная сера + сульфаты Са, Ва и др.), нижний – углекислотного выщелачивания (монтмориллонит + монтмориллонит-сметтит + хлорит-сметтит + иллит-сметтит + пирит + гематит + магнетит и др.); между этими зонами находится горизонт «синих глин», насыщенных пиритом, мощностью 15 – 30 см. Последний служит субаквальным геохимическим (сульфидным) барьером, что было показано в работах [Королева и др., 1993; Пампура, 1985]. Для гидротермальных глин Нижне-Кошелевской термоаномалии характерно неоднородное строение от разреза к разрезу, наличие мощных толщ пиритизированных и окварцованных монтмориллонитовых глин, в отдельных слоях преобладает гематит. Пиритизированные и окремненные участки разрезов приурочены к высокотемпературным фумаролам и зонам продувки «сухого» (перегретого) пара. Эти участки выделяются и относительно высокими концентрациями в глинистых минералах и монофракциях пирита Au, Ag, Hg, некоторых других элементов. В целом, высокий геохимический фон в гидротермальных глинах Нижне-Кошелевской термоаномалии связан с поступлением газо-гидротермального флюида из глубинного источника, о чем свидетельствуют геологические, геофизические и изотопные данные [Долгоживущий..., 1980; Лебедев, Декусар, 1980]. Аналогичный геохимический режим формируется на Южно-Камбальном Центральном термальном поле, для которого имеются обоснованные предположения о связи гидротермальной конвективной ячейки с периферическим магматическим очагом Камбального вулкана [Структура..., 1993].

Следовательно, для гидротермальных глин, формирующихся в условиях высоких температур, поступления из глубины >> 2 – 3 км металлоносных растворов, углекислого газа и углеводородов, активного смешения их с водами поверхностного формирования, наличия интенсивно охлажденных блоков пород за счет контрастных физико-химических параметров среды - характерно неоднородное строение толщи и образование термодинамического сульфидного барьера мощностью до 1.0 м. Барьер, в отличие от такового на паужетских термальных полях, образуется на разных глубинах и на отдельных участках глин, мелких блоках - вокруг фумарол, пульсирующих источников, в зонах продувки пород перегретым паром. На основании изложенного, гидротермальные глины Паужетского геотермального месторождения можно отнести к новообразованиям зрелого типа, формирующимся на протяжении голоцена, гидротермальные глины Нижне-Кошелевского геотермального месторождения и Южно-Камбального термальных полей, по-видимому, являются более молодыми образованиями, как и сами вмещающие их геологические структуры. Температурные и физико-химические условия и особый геохимический режим в зонах восходящего металлоносного флюида Нижне-Кошелевской термоаномалии и Южно-Камбального термального поля, по-видимому, определяют следующие особенности строения гидротермальных глин: разнообразие минерального состава толщи, наличие широкого ряда катионов (Fe, Mg, Mn, Al, Ti, Ca, K, Na и др.) в структуре смешанослойных минералов, большую роль коллоидных соединений в формировании глин и геохимических барьеров. Минералами-концентраторами рудных элементов в гидротермальных глинах служат пирит, сульфаты и, по-видимому, ряд алюмосиликатов. Последние обладают пористой структурой и способностью к широкому замещению катионов, перечисленных выше. В отдельных разрезах пирит является основным сорбентом Au и Hg, на других участках в сорбции принимают участие гематит, минералы кремнезема, смешанослойные образования. В связи с этим, одно из специальных направлений наших исследований заключается в изучении роли «неавтономных минеральных фаз» (по [Таусон и др., 2006]), образующихся на поверхности зерен сульфидов, в накоплении и перераспределении микроэлементов на субквальных геохимических барьерах геотермальных месторождений. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 09-05-00022а) и Президиума ДВО РАН (проекты 09-П-СО-08-004, 09-П-СО-08-006, 09-III-A-08-418, 09-III-B-08-467).

Список литературы

- Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В.** Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
- Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
- Ерошев-Шак В.А.** Гидротермальный субповерхностный литогенез Курило-Камчатского региона. М.: Наука, 1992. 131 с.
- Королева Г.П., Ломоносов И.С., Стефанов Ю.М.** Золото и другие рудные элементы в гидротермальной системе // Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. С. 238-280.
- Лебедев М.М., Декусар З.Б.** Проявление углеводородов в термальных водах Южной Камчатки // Вулканология и сейсмология, 1980. № 5. С. 93-97.
- Набоко С.И., Карпов Г.А., Розникова А.П.** Гидротермальный метаморфизм пород и минералообразование // Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. С. 76-118.
- Пампура В.Д.** Геохимия гидротермальных систем областей современного вулканизма. Новосибирск. Наука, 1985. 153 с.
- Русинов В.Л.** Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука, 1989. 213 с.
- Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В.** Роль гидротермальных глин и образующегося в них пирита в современных рудно-геохимических процессах на геотермальных полях (Южная Камчатка) // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых). Иркутск. Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. Т. 3. С. 103-108.
- Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королева Г.П.** Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелевского и Паужетского геотермальных месторождений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 116-134.
- Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
- Таусон В.Л., Логинов Б.А., Акимов В.В., Липко С.В.** Неавтономные фазы как потенциальные источники некогерентных элементов // Докл. РАН. 2006. Т. 406. № 6. С. 1-4.