

Геохимическая типизация глубинных вод Мутновского геотермального месторождения и оценка их рудоносности (Южная Камчатка)

Скильская Е.Д.¹, Сергеева А.В.¹, Зобенько О.А.¹, Бойко А.У.¹, Чернев И.И.²

Geochemical characteristics and ore content of deep water of the Mutnovskoye geothermal field (Southern Kamchatka)

Skil'skaya E.D., Sergeeva A.V., Zoben'ko O.A., Boyko A.U., Chernev I.I.

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

e-mail: wideworldscience@gmail.com

² *Публичное акционерное общество «Камчатскэнерго», г. Петропавловск-Камчатский*

Приведены данные о составе глубинных вод Мутновского геотермального месторождения. Воды – щелочные (pH 8.85-9.74) и близонейтральные (pH ~6), хлоридно-сульфатные, с минерализацией 260-4465 мг/л. Повышенные содержания установлены для Br, As, Se, Sr, Ba, Li, Ag, Zn. Во взвесах присутствуют AgI, Ag₂Se и электрум.

Введение

Современные магмогенерирующие процессы, протекающие в Камчатской зоне субдукции, способствовали развитию геотермальных систем и многочисленных полей термальных источников, характеризующихся повышенными температурами, широким диапазоном значений pH, разнообразными химическими составами и дебитом [3, 4, 6, 7]. Основная часть термопроявлений располагается в Восточном вулканическом фронте, в пределах которого выделяется Восточно- и Южно-Камчатская геотермальные провинции [2], включающие наиболее крупные и высокотемпературные гидротермально-магматические системы – Узон-Гейзерную, Кошелевскую, Паужетскую и Мутновскую. На базе Паужетского и Мутновского месторождений парогидротерм построены и успешно эксплуатируются крупнейшие в России ГеоЭС суммарной мощностью 74 МВт, в задачи которых входит обеспечение энергией и теплоснабжением крупнейших населенных пунктов Южной Камчатки. Нередко к современным геотермальным месторождениям прилегают эпитеральные месторождения благородных металлов. На Камчатке такими примерами могут послужить Мутновская геотермальная система, вблизи которой располагается ряд значимых Au-Ag рудных объектов, Больше-Банное геотермальное и Au-Ag рудное месторождение, участки золото-серебряной минерализации в пределах Паужетской геотермальной системы. С момента пуска первого турбогенератора в декабре 1999 г. проводится непрерывный мониторинг изменения состояния геотермального Мутновского месторождения.

В сообщении представлены первые сведения о составе глубинных вод Мутновского месторождения парогидротерм с обсуждением условий их формирования, предположительном источнике и рудоносном потенциале. Приводится сравнение состава глубинных вод с поверхностными термопроявлениями Мутновского геотермального района и газовой-жидких включений некоторых рудных месторождений Южной Камчатки.

Геологическое строение района

Мутновский геотермальный район относится к крупному долгоживущему вулканотектоническому центру и располагается в Мутновско-Асачинском вулканическом центре на юге Камчатки. В геологическом строении района участвуют вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования, возраст которых изменяется от олигоцена до современного времени. Они представлены, в основном, базальтами и андезибазальтами, их лавами, туфами, конгломератами, песчаниками, алевролитами с суммарной мощностью более 2 км. В среднем и позднем плейстоцене из близповерхностных гранитоидных магматических очагов произошли крупные извержения игнимбритов, которые сопровождалась формированием кальдеры вулкана Горелый, а также экструзий кислой магмы (сопки Двугорбая и Скалистая) [1]. В течение

длительного времени породы подвергались интенсивной гидротермальной проработке. В нижней части разреза они карбонатизированы, хлоритизированы, цеолитизированы и пиритизированы. В верхней – подверглись аргиллизации, алунитизации и опализации [1].

Верхние разрезы на территории Мутновского месторождения парогидротерм сложены экструзивными, эффузивными и пирокластическими породами средне- и верхнеплейстоценового возраста от андезито-дацитового до риолитового составов. На юге отложения перекрыты лавами и пирокластикой Мутновского вулкана. На востоке и северо-востоке месторождение условно ограничено склонами древней постройки Жировского палеовулкана. В центральной части на поверхность выведен сложный комплекс экструзивных, пирокластических и озерноосадочных пород от риолитового до базальтового составов, которые были сформированы в кальдерных условиях, начиная со среднего плейстоцена [1].

Методы исследования

Определение концентраций макроэлементов проводилось в ИВиС ДВО РАН. Определение концентраций микроэлементов в водных и твердых пробах выполнено методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в Аналитическом сертификационном испытательном центре (г. Москва) на масс-спектрометре iCAP Qc Thermo Elemental и атомно-эмиссионном спектрометре ICPE-9000 Shimadzu.

Сухие солевые остатки, полученные с неотфильтрованных образцов, были изучены методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронных микроскопах Tescan Vega III (Центр коллективного пользования, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский) и Луга III Tescan (демонстрационный центр ООО «Тескан», г. Санкт-Петербург), укомплектованных энергодисперсионными спектрометрами Oxford Instruments X-max 80 mm². Образцы предварительно напылялись углеродом, ускоряющее напряжение электронного луча составляло 20 кВ, ток 1 нА, диаметр пучка 5 мкм.

Результаты

Для скв. 017 рН глубинных растворов щелочной, находится в диапазоне 9.26-9.74, а для скв. 053 рН близнеитральный и находится в диапазоне 6-8.85. По ионному составу глубинные воды скв. 017 хлоридно-сульфатные или сульфатно-хлоридные, калий-натриевые, а воды скв. 053 хлоридно-сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатные или хлоридно-сульфатные, калий-натриевые или кальций-натриевые. Минерализация варьирует в пределах 1074-4465 мг/л для скв. 017 и 260-1541 мг/л – для скв. 053.

Кроме основных макрокомпонентов в составе глубинных вод присутствуют специфические, такие как бор, кремнекислота, мышьяк. Согласно ГОСТ Р 54316-2011, их можно отнести к борным, кремнистым, мышьяковистым [5]. Также наблюдаются повышенные концентрации Li, Sr, Ba, V, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Se, As, Mn, Zn, Ag.

Среди солей глубинных вод скв. 017 доминируют хлорид и сульфат натрия и калия, есть небольшие количества карбонатов и гидрокарбонатов, соли аммония и кальция. Для скв. 053 на первом месте стоят сульфаты натрия и калия, хлориды находятся в сопоставимых количествах, но уступают, на третьем месте находятся гидрокарбонаты. Глубинные воды скважин примечательны высоким содержанием лития до 7 мг/л.

По содержанию рудных и рассеянных элементов сухие солевые осадки скв. 017, где среда щелочная, показывают более высокие содержания рудных элементов по сравнению с осадками водных проб скв. 053. Отметим, что и минерализация вод в скв. 017 выше, чем в скв. 053. Также в составе осадков установлены значимые содержания золота, серебра, никеля, меди, мышьяка, сурьмы.

Минеральный состав сухих осадков обеих скважины сопоставим, что обусловлено сходством составов раствора и вмещающих пород. Это рудные сульфиды, кварц, хлорид и сульфат натрия, натросилит. Индивидуальные отличия в макрокомпонентном составе глубинных растворов обусловили некоторые различия в сульфатах, кристаллизующихся при испарении воды, например, в осадках скв. 017 найден двойной сульфат калия-натрия, предположительно, афтиталит, а в осадках скв. 053 найден сульфат калия, предположительно, арканит. Есть каркасные силикаты типа адуляра и анортита, кроме того, найден слоистый натросилит $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, который мог кристаллизироваться из щелочного раствора непосредственно при выпаривании, а мог исходно находиться в составе взвешенных частиц. В осадках скв. 017, для которой характерны щелочные растворы, разнообразие рудных минералов существенно выше, чем для осадков скв. 053.

Заключение

Глубинные воды продуктивного резервуара Мутновского геотермального месторождения представлены двумя типами: 1. Слабоминерализованные (до 4 г/л), щелочные, сульфатно-хлоридные, натриевые, с повышенным содержанием бора, кремния и мышьяка (скв. 017); 2. Слабоминерализованные (до 1.5 г/л), нейтральные, хлоридно-сульфатные, кальций-натриевые и с повышенным содержанием кремния и мышьяка. Щелочная среда в первом типе вод обусловлена наличием карбонат-иона, а нейтральная – диссоциацией слабой угольной кислоты. Воды обоих типов богаты рудными компонентами.

Минеральный состав сухих солевых осадков щелочных вод разнообразнее, чем у осадков нейтральных вод. Это связано с образованием в щелочной среде хорошо растворимых гидроксо- и хлоридных комплексов, которые при изменении условий рудообразующей среды распадаются, что приводит к осаждению самородных металлов и сложных минералов, таких как сульфосоли и блеклые руды.

Таким образом, проведенные исследования показали, что щелочные нагретые флюиды Мутновского месторождения обладают высоким рудоносным потенциалом и способствуют формированию комплексных золото-полиметаллических месторождений.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВиС ДВО РАН по теме № FWME-2024-0006: «Роль гидротермальных систем Курило-Камчатской вулканической дуги в перераспределении мантийного и корового вещества в процессах минерало-рудогенеза».

Список литературы

1. Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф., Сугробов В.М. Общая характеристика Мутновского месторождения и прогнозная оценка ресурсов // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. С. 6-40.
2. Кирюхин А.В., Сугробов В.М. Модели теплопереноса в гидротермальных системах Камчатки. М.: Наука, 1987. 152 с.
3. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
4. Пилипенко Г.Ф. Современные гидротермальные системы и термальные источники Камчатки // Современные гидротермальные системы и эпитеермальные золото-серебряные месторождения Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 8-21.
5. Разумов А.Н., Адилов В.Б., Бережнов Е.С. и др. Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации // Методические указания. 2000. № 2000/34. 74 с.
6. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 216 с.
7. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Карнов Г.А. и др. Геохимия вод основных геотермальных районов Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2000. 162 с.