УДК 550.42:546.49(063):55(1/9):552.1:549.(2)

Озерова Н.А.

Новый тип гидротермальных растворов — солянокислые растворы, формирующие ртутную минерализацию (Мутновский вулкан, Камчатка)

Озерова Нина Александровна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, «Отличник разведки недр» (2006), действительный член РАЕН
E-mail: o-zero-v@mail.ru

В статье рассматривается ртутоносность фумарольных и гидротермальных продуктов Мутновского вулкана, при обсуждении привлекается материал по соседнему вулкану Горелый (**рис. 1**).

Ключевые слова: ртутоносность, ртутная дегазация, вулканы Мутновский и Горелый, фумаролы, термальные котлы, вулканическая активность.

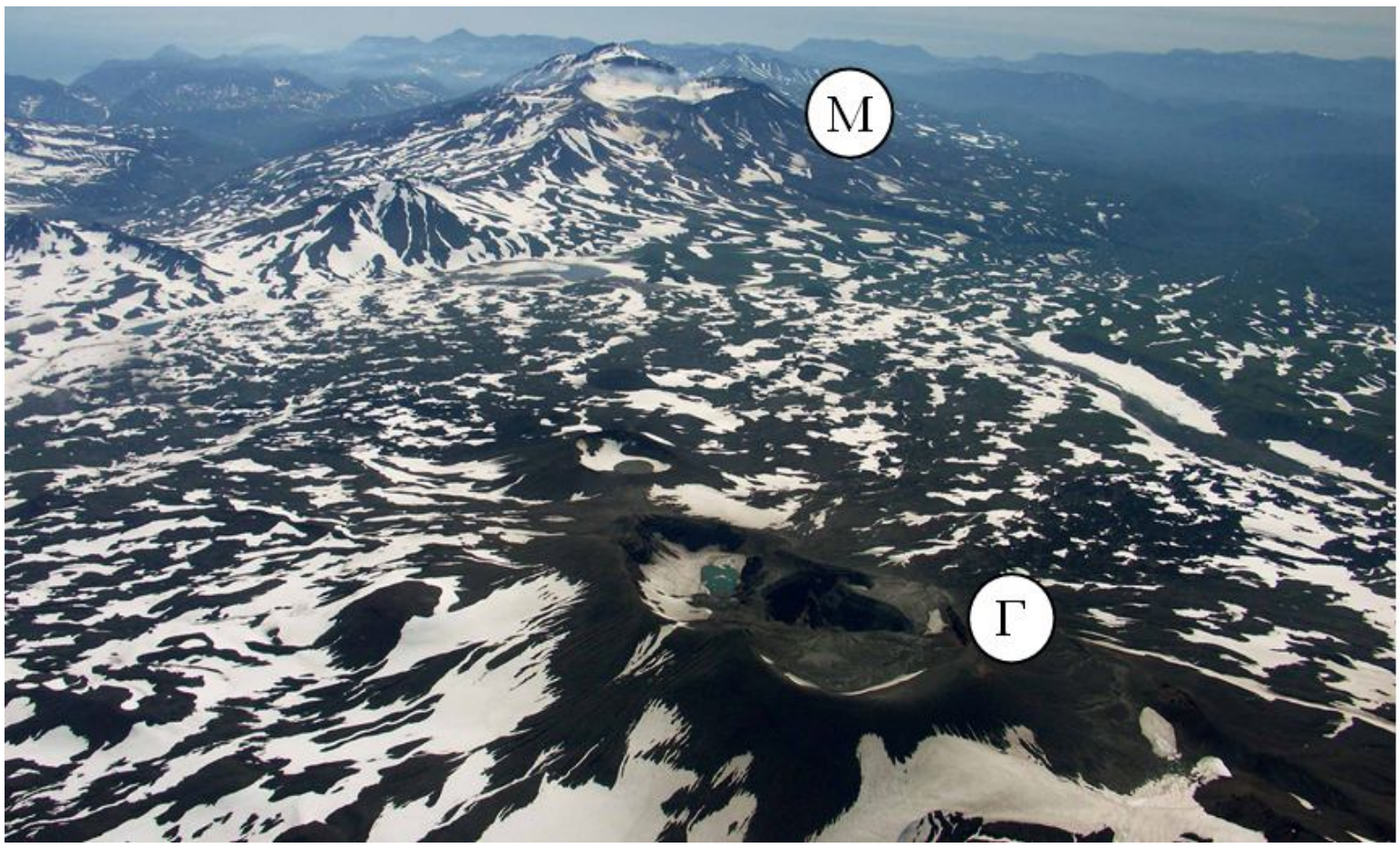

Рис. 1. Вулканы Горелый (на переднем плане — **Г**) и Мутновский (на втором плане — **М**). Вид с северо-запада. Аэрофотосъемка Озерова А.Ю.

Региональная геологическая позиция Мутновского вулкана показана на **рис. 2**. Отчетливо видно, что ртутьсодержащие объекты на Камчатке, включая Мутновский вулкан, приурочены к глубинным разломам северо-восточного простирания. Ртуть является типоморфным элементом металлогении этой провинции. В некоторых термальных источниках образуются ртутные минералы. Наиболее наглядны в этом плане Апапельские источники *[Озерова, Лебедев 1970]*, редкие ртутные минералы установлены в кальдере Узон на фоне широко проявленной ртутоносности гидротермальных образо-

ваний [Карпов 1988; Озерова и др. 1990]. Ртутоносность природных объектов обязана проявлению в этой провинции процессов ртутной дегазации. Это детально изложено в работах [Озерова 1986, 2010].

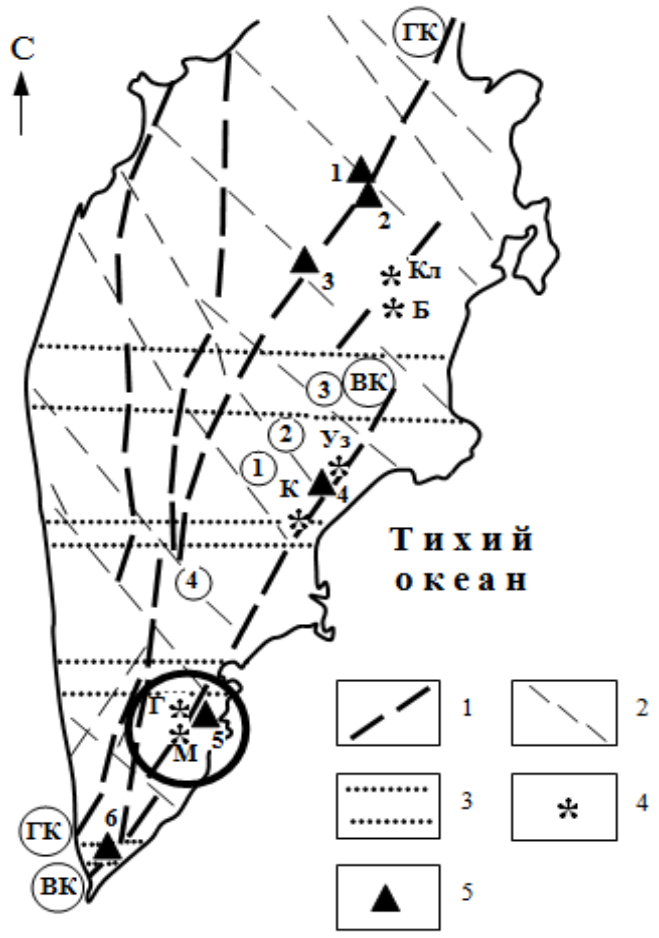

Рис. 2. Схема размещения объектов, где нами установлена повышенная ртутоносность продуктов современной вулканической и гидротермальной деятельности (тектоническая основа по Ю.И. Харченко и М.М. Лебедеву, ПГО «Камчатгеология»):

1— СВ глубинные разломы (ГК — Главный Камчатский, ВК — Восточно-Камчатский); **2** — СЗ глубинные разломы (в кружках: **1** — Жупановский, **2** — Утхолокский, **3** — Николкинский, **4** — Петропавловский); **3** — широтные раз ломы; **4** — вулканы (Ш — Шивелуч, Кл — Ключевской, Б — Безымянный, Уз — Узон, Кх — Кихпиныч, Кр — Карымский, А — Авачин ский, Г — Горелый,М — Мутновский); 5 — Hg-содержащие термальные источники (**1** — Двуюрточные, **2** — Киреунские, **3** — Апапельские, **4** — Узонские, **5** — Мутновские, **6** — Южно-Камбальные). Кружком оконтурен исследованный район с вулканами Мутновский и Горелый.

Мутновский вулкан приурочен к весьма проницаемому блоку — узлу пересечения Восточно-Камчатского, Вилючинского и южной ветви Большебанного разломов.

Наши исследования проводились с большими интервалами в течение пяти лет в основном в кратере Мутновского вулкана в пределах нижнего фумарольного поля и частично в активной воронке (**рис. 3, 4**). Содержание ртути в парогазовых струях весьма высокие: в газах высокотемпературных фумарол оно достигало $7x10^{-5}$ г/м^3, а в конденсате пара установлено самое высокое среди известных в литературе концентраций ртути — $2x10^{-3}$ г/л.

Рис. 3. Дно кратера Мутновского вулкана, нижнее фумарольное поле. Вид с запада. Фотография Озерова А..Ю.

Рис. 4. Кратер Мутновского вулкана. Вид с востока. Аэрофотосъемка Озерова А.Ю. В северной части кратера (справа на снимке) расположена активная воронка, из которой поднимается мощная фумарольная струя. Глубина воронки 180 м. Температура опробованной донной фумаролы 500° С. Содержание ртути в конденсате пара 7x10-5 г/л.

Высокие содержания ртути установлены также в гидротермально измененных породах — «грязях» из термальных грязевых котлов нижнего фумарольного поля. Грязевые котлы образуются in situ при конденсации газопаровых струй. Состав образующихся растворов из грязевых котлов представлен в таблице. Они весьма неординарны: это растворы соляной кислоты. Содержания ртути в «грязях» достигает $3,5x10^{-2}$ % и близки таковым на собственно ртутных месторождениях.

В одном из таких термальных котлов — М-1/80 (который формируется при конденсации парогазовой струи, и растворы в

котором имеют то же высокое содержание ртути и низкое значение pH -0,15) нами были обнаружены многочисленные мельчайшие, в несколько микрон, выделения сульфидов ртути. Редко это неправильные крупные выделения (до 20 мкм), иногда изолированные крупные зерна (3—5 мкм) или рой более мелких выделений. В дальнейшем эта киноварь с водными потоками мигрирует из кратера по р. Вулканная и формирует шлиховой ореол — до 140 знаков в пробе, протяженностью 12 км. Он был установлен Ю.М. Слеповым и Е.С. Апрелковым при проведении геологической съемки в районе Мутновского вулкана.

Дополнительную информацию по формам выделений ртути дает исследование температур максимумов выделения ртути при постепенном нагревании проб в широком интервале температур — от комнатной до 600° С и более и непрерывной регистрации выделения ртути с помощью атомно-абсорбционной техники *[Фурсов, Степанов 1967]*. Мы предложили называть их «термоформами». Сами по себе они не могут служить диагностическим признаком минеральных форм ртути, их следует рассматривать лишь в совокупности с другими данными. Этим методом исследовалась проба «грязи» из упомянутого выше грязевого котла (М-1/80) с высокими содержаниями ртути. Установлены три температурных максимума выделения ртути. Два из них хорошо согласуются с обнаруженной здесь киноварью и ртутьсодержащими сульфидами железа (Hg до $3x10^{-2}$%), а третий максимум с большой долей вероятности можно аппроксимировать с хлоридами ртути. Их образование здесь вполне возможно, поскольку гидротермальные растворы грязевого котла представляют собой раствор соляной кислоты $M_{51,0} = Cl_{98}/H_{97}$.

Таблица 1

Химический состав гидротермальных растворовнижнего фумарольного поля в кратере Мутновского вулкана, мг/л

Компонент	М-1/80	М-2/80	М-3/80	Компонент	М-1/80	М-2/80	М-3/80
H^+		82	60	Al^{3+}	215,9	50	202
NH_4^+		15	18	Cl^-	50756,03	3576	3004
Na^+	93,33	11	105	SO_4^{2-}		15	370
K^+	97,50	4	18	HSO_4^-	19175,9	52,5	1062
Ca^{2+}	176,35	295	196	F^-		33	122
Mg^{2+}	51,07	38	275	I^-		0,5	1,4
Fe^{2+}		39	0	**Hg^{2+}**	**2**	**$7,5x10^{-2}$**	**$5x10^{-2}$**
∑Fe	164			H_3BO_3	1695,9	80	12
Fe^{3+}		11	39	pH	0,15	1,1	1,3

Исследовались формы нахождения ртути в кислых растворах, по составу соответствующих таковым на Мутновском вулкане, путем расчета на ЭВМ равновесных концентраций растворенных форм ртути *[Шикина, Борисов, Озерова 1993]*.

В результате проведенных исследований установлено:

1) ртуть в сильнокислых хлоридных растворах с незначительным содержанием сульфидной серы (pH 0,016, ∑Cl = 1,43 моль/кг H_20, H_2S до $1x10^{-4}$ моль/кг H_20) находится в виде хлоридных комплексов $HgCl^{2-}_4$, $HgCl^-_3$ и $HgCI^0_2$ — в порядке убывания их по значимости;

2) в менее кислых растворах (pH 1,2 с ∑CI = $1x10^{-1}$) ртуть, наряду с хлоридными комплексами, находится в элементной форме.

Наблюдалась синхронная связь между усилением вулканической активности соседнего (в 15 км к СЗ) вулкана Горелый (см. **рис. 1**) и поступлением ртути в составе флюидов в кратер Мутновского вулкана. Во время сильного эксплозивного извержения вулкана Горелый в 1980 г. отмечалось значительное усиление фумарольной деятельности на фумарольных полях Мутновского вулкана. Меньший по масштабу, но заметный всплеск эксгаляций ртути на Мутновском вулкане наблюдался в 1963 г., когда в донных фумаролах активной воронки в конденсате пара было зафиксировано $7•10^{-5}$ г/л ртути. В это время, как указывали Е.А. Вакин, И.Т. Кирсанов и А.А. Пронин, усилилась деятельность фумарол Мутновского вулкана по сравнению с предыдущими годами, и заметно повысилась активность донных фумарол в кратере вулкана Горелый. С ослаблением вулканической активности в последующие годы содержания ртути в конденсатах пара из фумарольных струй Мутновского вулкана понижались до $nx10^{-6}$ (это еще повышенные значения) — $nx10^{-7}$ г/л. Здесь следует привести последнее известное содержание ртути в конденсате фумарольных газов на Мутновском вулкане, где в 2011 г. обнаружено $1,5x10^{-6}$ г/л (устное сообщение И.В. Чаплыгина).

Специальные исследования, проведенные нами совместно с В.А. Широковым для Мутновского блока Камчатки (где находятся вулканы Мутновский и Горелый), по выявлению взаимосвязи между сейсмической активностью (мантийные глубины 70—300 км), вулканической деятельностью и интенсивностью поступления ртути в составе флюидов, свидетельствуют о мантийном уровне ртутной дегазации (глубины 100—200 км) в этой провинции. Как уже отмечалось, оба эти вулкана приурочены к весьма проницаемому блоку — узлу пересечения трех глубинных разломов. Все вышеизложенное позволяет полагать, что в этом активном узле постоянно происходит подток ртутьсодержащих флюидов по зонам

разломов мантийного заложения, который заметно интенсифицируется при активизации мантийных глубин.

Высокие концентрации ртути в парогазовых струях фумарол и термальных грязевых котлах на Мутновском вулкане, представляют серьезную опасность для вулканологов и туристов, посещающих подобные объекты, поскольку ртуть по своему вредному воздействию на здоровье человека занимает среди нескольких сотен токсичных веществ одно из первых мест.

Благодарности. Автор глубоко признателен коллегам за помощь в исследованиях и консультациях: М.В. Борисову, Е.А. Вакину, В.И. Виноградову, М.А. Груздевой, И.Т. Кирсанову, А.Ю. Озерову, И.И. Степанову, Ю.П. Трухину, И.В. Чаплыгину, Н.Д. Шикиной и В.А. Широкову.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Карпов Г.А. Современные гидротермы и ртутно-сурьмяно-мышьяковое оруденение. М.: Наука, 1988. 183 с.
2. Озерова Н.А. Ртутная дегазация Земли // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. Труды XXI Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Владимира Ивановича Смирнова. М.: Макс Пресс. 2010. Т. 2. С. 373—395.
3. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986. 232 с.
4. Озерова Н.А., Карпов Г.А., Машьянов Н.Р., Груздева М.А., Чернова А.Е. О современном ртутно-сурьмяно-мышьяковом рудообразовании // Основные проблемы рудообразования и металлогении. М.: Наука, 1990. С. 244—263.
5. Озерова Н.А., Лебедев Л.М. Ртутные источники Апапель на Камчатке // Очерки геохимии ртути, молибдена и серы в гидротермальном процессе. М.: Наука, 1970. С. 49—64.
6. Фурсов В.З., Степанов И.И. О возможности определения формы нахождения ртути в горных породах и рудах // Изв. АН КазССР, 1967. Серия геол. № 1.
7. Шикина Н.Д., Борисов М.В., Озерова Н.А. Формы нахождения ртути в кислых хлоридных растворах (на примере современных гидротерм кратера Мутновского вулкана) // Геохимия. 1993. № 12. С. 1786—1789.

1. Karpov G.A. (1988). Sovremennye gidrotermy i rtutno-sur'myano-mysh'yakovoe orudenenie. Nauka, Moskva. 183 s.
2. Ozerova N.A. (2010). Rtutnaya degazatsiya Zemli. In: Fundamental'nye problemy geologii mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh i metallogenii. Trudy XXI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Vladimira Ivanovicha Smirnova. Maks Press, Moskva. T. 2. Pp. 373—395.
3. Ozerova N.A. (1986). Rtut' i endogennoe rudoobrazovanie. Nauka, Moskva. 232 p.
4. Ozerova N.A., Karpov G.A., Mash'yanov N.R., Gruzdeva M.A., Chernova A.E. (1990). O sovremennom rtutno-sur'myano-mysh'yakovom rudoobrazovanii. Osnovnye problemy rudoobrazovaniya i metallogenii. Nauka, Moskva Pp. 244—263.
5. Ozerova N.A., Lebedev L.M. (1970). Rtutnye istochniki Apapel' na Kamchatke.In: Ocherki geokhimii rtuti, molibdena i sery v gidrotermal'nom protsesse. Nauka, Moskva. Pp. 49—64.
6. Fursov V.Z., Stepanov I.I. (1967). O vozmozhnosti opredeleniya formy nakhozhdeniya rtuti v gornykh porodakh i rudakh. Izv. AN KazSSR. Seriya geol. N 1.
7. Shikina N.D., Borisov M.V., Ozerova N.A. (1993). Formy nakhozhdeniya rtuti v kislykh khloridnykh rastvorakh (na primere sovremennykh gidroterm kratera Mutnovskogo vulkana). Geokhimiya. N 12. Pp. 1786—1789.

A NEW TYPE OF HYDROTHERMAL SOLUTIONS, WHICH ARE HYDROCHLORIC ACID SOLUTION, FORMING A MERCURY MINERALIZATION (MUTNOVSKY VOLCANO, KAMCHATKA)

Nina A. Ozerova, Doctor of Geology and Mineralogy, Leading Researcher at the RAS Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry (IGEM), "Excellence in prospecting" (2006), member of Russian Academy of Natural Sciences
E-mail: o-zero-v@mail.ru

In this article, the author considers mercury levels in the fumarolic and hydrothermal products Mutnovsky volcano involving material of the nearby Gorely volcano.

The author investigated the form of mercury in acidic solutions, which composition corresponds to those on Mutnovsky volcano. For this purpose she computed equilibrium concentrations of mercury dissolved forms.

Author obtained the following results:

1) in highly acidic chloride solutions with low content of sulphide sulfur (pH 0,016, ΣCl = 1.43 mol / kg H_20, H_2S to $1x10^{-4}$ mol / kg H_20) mercury is located in the form of chloride complexes $HgCl^{2-}_4$, $HgCl^{-}_3$ and $HgCI0_2$ — in order of decreasing of its importance;

2) in less acidic solutions (pH 1.2 with ΣCI = $1x10^{-1}$) mercury, along with chloride complexes is located in elemental form

There is synchronization between the observed increase in volcanic activity of Gorely volcano, on one hand, and the receipt of mercury in fluids in the crater of the volcano Mutnovsky, on the other. During a strong explosive eruption of Gorely volcano in 1980 significantly increased fumarolic activity in the Mutnovsky volcano fumarole fields.

Special studies on the correlation between seismic activity (mantle depths 70—300 km), volcanic activity, and the intensity of mercury releases in the fluid carried out for Mutnovsky Kamchatka block (where the Mutnovsky and Gorely volcanoes are located), indicate the level of mercury mantle degassing (a depth of 100—200 km) in those province.

Keywords: levels of mercury, mercury degassing Mutnovsky and Gorely volcanoes, fumaroles, thermalpots, volcanic activity.