

О ПРОЦЕССАХ РТУТНОЙ ДЕГАЗАЦИИ В КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ И ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОЙ РТУТНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Н.А. Озерова¹, А.Ю. Озеров²

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия, e-mail: ozerov@rinet.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного Отделения РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: ozerov@ozegov.ru

Объекты исследования на Камчатке: вулканы Безымянный, Ключевской, Мутновский, кальдера Узон, районы термальных Киреунских источников и холодных Пиначевских, участки зон глубинных разломов, а также надводная атмосфера по маршруту рейсового судна Петропавловск-Камчатский–Усть-Камчатск. Для сравнения приведены данные по вулканам Менделеева и Головнина (остров Кунашир) и Эбеко (остров Парамушир).

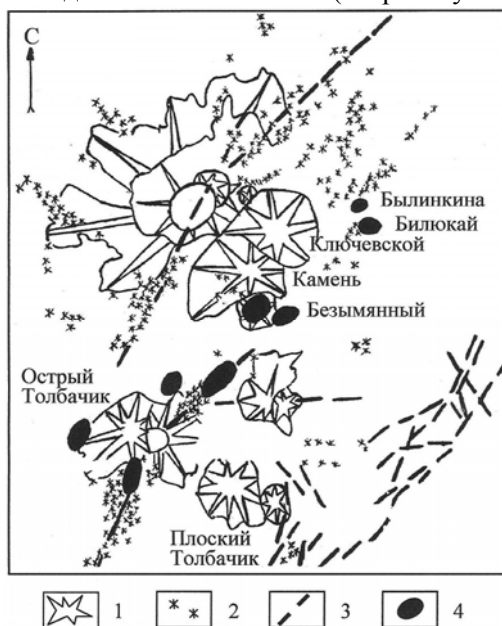


Рис. 1. Ключевская группа вулканов (геологическая основа по данным И.В. Мелекесцева) 1 - вулканы позднелейстоцено-голоценового возраста; 2 – шлаковые и лавовые конуса позднелейстоцено-голоценового возраста; 3 – разломы; 4 – участки с повышенными содержаниями ртути

Вулканы Камчатки. Вулканы Ключевской и Безымянный расположены в зоне СВ глубинных разломов (рис. 1). При облетах этой зоны на вертолете (высота 500 м) установлены ртутные аномалии в приземной атмосфере. Они приурочены к подножью вулканов; кроме того, выявлен протяженный – около 4 км ореол между вулканами Острый Толбачик и Безымянный, приуроченный к зоне глубинных разломов, в отсутствие современной вулканической и гидротермальной деятельности. Были также предприняты атмосферические исследования ртути (Hg) непосредственно на этих вулканах (вертолетный вариант). На вулкане Безымянный, находящемся в активной стадии, выполнена серия облетов по профилю запад–восток через кратерную область. На высоте 500 м зафиксированы аномалии в кратере (10^{-9} – 10^{-8} г/м³), а также при пересечении газового шлейфа от фумарол на вершине экстрезивного купола. На вулкане Ключевской проведение таких исследований было весьма затруднено. Мы провели серию облетов на вертолете над вершинным кратером (4822 м) на высоте 600 м над кромкой кратера и не обнаружили Hg аномалий, а проводить исследования на более низких высотах не позволили активно поднимающиеся воздушные потоки, связанные с

донными фумаролами. В то же время при облетах восточного склона Ключевского вулкана через шлаковые конуса Билокай и Былинкиной (в настоящее время неактивных) было установлено на высотах 5–10 м от кромки кратеров отчетливое выделение Hg в атмосферу (аномалии 10^{-9} – 10^{-8} г/м³). Источник Hg в атмосферических ореолах на вулканах Ключевской и Безымянный, как следует из сеймовулканической модели глубинного строения этих вулканов [Utnasin et al., 1976; Озеров и др., 1997], связан с очагом мантийного заложения.

Чтобы представить те концентрации Hg, которые поступают в атмосферу за счет фумарольной деятельности, приведем данные по ртутоносности флюидов из донных фумарол Мутновского вулкана. В нашем распоряжении был материал из кратера вулкана за 5 лет; при этом дважды мы посещали кратер в периоды активности фумарольной деятельности. Наблюдалась синхронная связь между усилением вулканической активности соседнего вулкана Горелый 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 Донном фумарольном поле Мутновского вулкана. Содержание Hg в газах высокотемпературных фумарол (Т на выходе до 280° С) достигало $7 \cdot 10^{-5}$

г/м³, а в конденсате пара было установлено самое высокое среди известных в литературе концентраций Hg в конденсатах – $2 \cdot 10^{-3}$ г/л. Меньший по масштабу, но заметный всплеск эксгаляций ртути в Мутновском вулкане наблюдался в 1963 г.: в донных фумаролах активной воронки (Т – 500° С) было зафиксировано $7 \cdot 10^{-5}$ г/л Hg в конденсате пара. В это время, как указывали Е.А. Вакин, И.Т. Кирсанов и А.А. Пронин [Вакин и др., 1966], усилилась деятельность фумарол Мутновского вулкана по сравнению с предыдущими годами, и заметно повысилась активность донных фумарол в кратере вулкана Горелый. С ослаблением вулканической активности содержания Hg в конденсатах пара из фумарольных газов Мутновского вулкана понижались до $n \cdot 10^{-6}$ – $n \cdot 10^{-7}$ г/л. Специальные исследования, проведенные с В.А. Широковым для Мутновского блока Камчатки (где расположены вулканы Мутновский и Горелый) по выявлению взаимосвязи между сейсмической активностью (мантийные глубины 70–300 км), вулканической деятельностью и интенсивностью поступления Hg-содержащих флюидов, свидетельствуют о мантийном уровне ртутной дегазации в этой провинции [Озерова и др., 1988].

Гидротермальные системы Камчатки. В кальдере Узон широко развита газогидротермальная деятельность с проявлениями Hg минерализации [Карпов, 1988]. Рудные минералы обогащены ртутью; установлен площадной литохимический Hg ореол [Озерова и др., 1990]. По широтному профилю через кальдеру выделены два Hg ореола в приземной атмосфере (пешеходный вариант) (рис. 2). Первый ореол – Восточный, протяженностью 3 км приурочен к Восточному термальному полю и термальному полю в районе озера Фумарольное. Здесь в газовой фазе термальных источников установлено до $2,8 \cdot 10^{-5}$ г/м³ Hg. При исследованиях на дельтаплане на высотах 10–25 м установлен ореол, тяготеющий по площади к Восточному ртутному ореолу. Второй ореол в приземной атмосфере – Западный, протяженностью 1,5 км, находится вне поля гидротермально измененных пород и современной гидротермальной деятельности, но расположен в весьма проницаемой для Hg-содержащих флюидов зоне – участке пересечения СВ и СЗ нарушений, принадлежащих основным системам глубинных разломов Камчатки. Исследования, проведенные с вертолета (высоты 100–180 м) в районе Киреунских термальных источников, также позволили выявить атмосферические Hg аномалии. Они проявлены на участке Верхней группы Киреунских источников, где известна слабая гидротермальная минерализация. Кроме того, по двум профилям, в СЗ направлении уже за пределами термальных источников, снова наблюдалось заметное увеличение содержаний Hg в атмосферном воздухе, что очевидно связано с приближением к узлу пересечения двух региональных разломов, весьма проницаемому для Hg-содержащих флюидов.

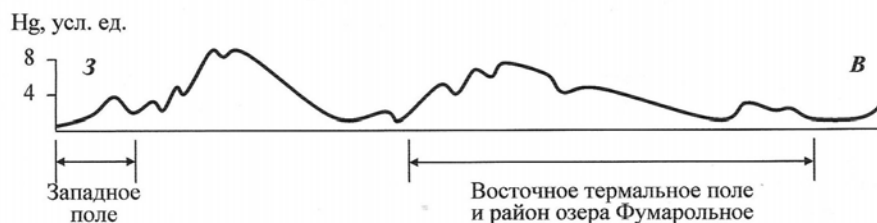


Рис. 2. График распределения ртути в приземной атмосфере (пешеходный вариант) по профилю через кальдеру Узон

Далее, в результате исследований содержаний Hg в надводной атмосфере прибрежной акватории Тихого океана установлена серия атмосферических Hg аномалий (рис. 3). Эти ореолы, по данным сейсмологических исследований (МОВ), приурочены к зонам разломов. СЗ глубинные разломы на территории Камчатки четко пролонгируются на Hg надводные ореолы в океане. Один из них – Утхалокский контролирует поступление Hg в кальдеру Узон. Другой пример – Жупановский СЗ разлом. На участке его продолжения в океан проявлена Hg аномалия в надводном ореоле. На континенте, в узле его пересечения с Восточно-Камчатским разломом фиксируются повышенные – до $1,8 \cdot 10^{-4}$ % концентрации Hg в донных осадках кратерного озера в кальдере Академии наук (Карымский вулкан) – по данным Г.А. Карпова [Новейший и современный вулканизм..., 2005]. Обогащение Hg очевидно обусловлено влиянием Hg-содержащих газов при формировании шлакового конуса в прибрежной части озера. Особо следует отметить район Пиначевских холодных (9°С), в отличие от вышерассмотренных, источников, расположенных в зоне Петропавловского СЗ разлома. Пешеходное Hg профилирование показало наличие аномалий в воздухе над источниками (которые фиксируют наиболее проницаемые зоны) при полном отсутствии проявлений гидротермальной деятельности.

При трассировании этого разлома в океан наблюдается четкая Hg аномалия в надводном ореоле. Из всего вышеизложенного следует, что совокупное рассмотрение ртутности в сопряженных зонах глубинных разломов океан–континент свидетельствует о ртутной дегазации в пределах таких структур.

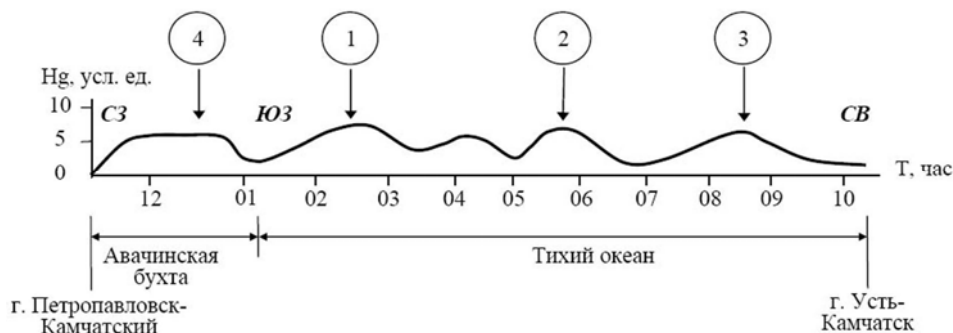
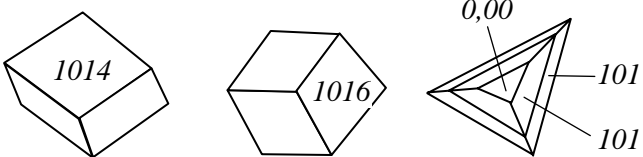


Рис. 3. Сглаженная кривая распределения ртути в надводной атмосфере по профилю маршрута рейсового судна г. Петропавловск-Камчатский–Усть-Камчатск и обратно (при регулярной привязке к штурманской карте). СЗ глубинные разломы на Камчатке пролонгируются на термоаномалии в океане (на рис. – цифры в кружках): Жупановский – 1, Утхалокский – 2, Николкинский – 3, Петропавловский – 4

Остановимся на образовании Hg минерализации из газовой фазы. На Мутновском вулкане в кратере установлено образование киновари в грязевом котле из солянокислых растворов (рН – 0,15; Т – 100°C), которые представляют собой естественные конденсаты высокотемпературных фумарольных струй. В дальнейшем киноварь мигрирует из кратера по р. Вулканная и формирует шлиховой ореол до 140 знаков в пробе, протяженностью 12 км [Озерова и др., 1988]. Наиболее информативен в плане ртутности в Курило-Камчатской провинции вулкан Менделеева. Здесь широко проявлена ртутная минерализация и установлена ртутно-колчеданная залежь [Озерова и др., 1969]. На выходах фумарол отлагается сера с небольшим количеством сульфидов железа и киновари. Мелкие включения HgS установлены и в кристаллах серы. На площадках, где «работают» только сольфатары, в пустотах и порах обнаружены выделения HgS. Сера, отлагающаяся на выходах парогазовых струй, на всех изученных нами вулканах Камчатки и Курильских островов обогащена Hg – до 0,13 %. Hg здесь очевидно связана с тонкодисперсной HgS, поскольку она не может существовать в сольфатарах в виде самородной ртути; кроме того, при плавлении серы она не возгоняется, как это должно происходить в случае ее присутствия в самородной форме, и переплавленная сера по-прежнему обогащена Hg. Ежегодное выделение Hg только в связи с фумарольной серой оценивается для вулкана Менделеева в пересчете на HgS более 40 кг. Кристаллизация HgS из газовой фазы описана также на ряде объектов Калифорнии [White, 1967; White, Roberson, 1962]. Так например, установлено, что на верхних горизонтах месторождения Сульфур Бэнк HgS ассоциирует с хорошо ограненными кристаллами серы, образовавшимися из газовой фазы; в таких кристаллах, кроме того, отмечались ее включения. Наши совместные исследования с В.С. Балицким и В.В. Комовой [Балицкий и др., 1983] по гидротермальной перекристаллизации киновари позволили получить в условиях опыта на крышке автоклава кристаллы киновари из газовой фазы (Т – 200°C), по составу и температуре близкой таковой на вулкане Менделеева (Т – до 130°C [Абдурахманов и др., 2003]). По морфологии и размерам (0,05–0,2 мм) кристаллы киновари аналогичны некоторым, наблюдавшимся на вулкане Менделеева (табл.) [Озерова и др., 1969; Ozerova et al., 1982].

Если рассматривать проблему газового переноса ртути шире, то следует напомнить о газовых месторождениях с высокими концентрациями Hg в газе, которые выделяются нами как эманационный класс Hg месторождений [Ozerova, 2006]. Примером является месторождение Зальведель-Пекензен в Германии. Здесь, помимо самородной ртути, которая извлекается в больших количествах, известны другие ртутные минералы: альмаркит (HgPb) и свинцовые амальгамы. Отсутствие сульфидов Hg лимитируется отсутствием сероводорода. Месторождение приурочено к зоне глубинного разлома, принадлежащего планетарной структуре – линеаменту Карпинского. В пределах этого линеамента на территории Днепровско-Донецкой впадины с Hg-содержащими газовыми месторождениями установлены газортутные ореолы по зонам глубинных разломов мантийного заложения и т.д.

Таблица. Сравнение морфологических типов кристаллов киновари в условиях эксперимента и на вулкане Менделеева

Условия отбора	Размеры кристаллов	Морфологические типы кристаллов киновари
В условиях эксперимента	0,05–0,2 мм	Одиночные ромбоидры: (1014) и (1016), а также формы представляющие комбинацию маленького пинакоида (0,001) и узких плоских ромбоидров (1015) и (1016)
На вулкане Менделеева, Северо-Восточное поле	0,05–0,2 мм	

Резюме: процессы ртутной дегазации в Камчатском регионе проявлены более широко, чем только в связи с вулканическими процессами, и реализуются по зонам глубинных разломов мантийного заложения; возможность образования ртутной минерализации из газовой фазы как в связи с фумарольной деятельностью, так и с газовыми месторождениями не вызывает сомнения.

Список литературы

- Абдурахманов А.И., Разжигаева Н.Г., Рыбин А.В.** Современная вулканическая и сейсмическая активность вулкана Менделеева // Вестник Сахалинского музея 2003. №10. С.1-4.
- Балицкий В.С., Озерова Н.А., Комова В.В.** Гидротермальная кристаллизация и типоморфные особенности киновари и антимонита. М.: Недра, 1983. 119 с.
- Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Пронин А.А.** Активная воронка Мутновского вулкана // Бюл. вулканол. станций, 1966. № 40.
- Карпов Г.А.** Современные гидротермы и ртутно-сурьмяно-мышьяковое оруденение. М.: Наука, 1988. 183 с.
- Новейший** и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.
- Озеров А.Ю., Арискин А.А., Кайл Ф. и др.** Петролого-геохимическая модель генетического родства базальтового и андезитового магматизма вулканов Ключевской и Безымянный, Камчатка // Петрология, 1997. Т. 5. № 6. С. 614-635.
- Озерова Н.А., Айдиньян Н.Х., Добровольская М.Г. и др.** Современное ртутное рудообразование на вулкане Менделеева (Курильские острова) // Геология руд. месторождений, 1969. № 5. С. 17-33.
- Озерова Н.А., Карпов Г.А., Машьянов Н.Р. и др.** О современном ртутно-сурьмяно-мышьяковом рудообразовании // Основные проблемы рудообразования и металлогении. М.: Наука, 1990. С. 244-263.
- Озерова Н.А., Шикина Н.Д., Борисов М.В. и др.** Ртуть в современном гидротермальном процессе // Современные гидротермы и минералообразование. М.: Наука, 1988. С. 34-49.
- Ozerova N.A., Balitskii V.S., Komova V.V. et al.** Behavior of Mercury and Antimony in Recent Vapor Hydrotherms of the Kurile-Kamchatka Volcanic Zone // Hydrothermal Mineral-Forming Solutions in the Areas of Active Volcanism. New Delhi, 1982. P. 141-148.
- Ozerova N.A.** Mercury-hydrocarbon deposits – new genetic type of mercury deposits // Understanding the genesis of the ore deposits to meet the demands of the 21st century. 12 the Quadrennial IAGOD Symposium. M.: CD-ROM, 2006. 4 p.
- Utnasin V.K., Abdurakhmanov A.L., Anosov G.I. et al.** Types of magma foci of island arc volcanoes and their study by the method of deep seismic sounding of Kamchatka // Volcanoes and Tectonosphere. Tokai University Press, 1976. P. 123-137.
- White D.E.** Mercury and base-metal deposits with associated thermal and mineral waters // Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York, 1967 (Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М., 1970. С. 479-528).
- White D.E., Roberson C.E.** Sulfur Bank, California a Mayor Hot-Spring Quicksilber Deposit // Petrologic Studies. Geol. Soc. Amer. a volume to honor. A.F. Buddington, 1962.