

УДК 550.42:546.49 (282.251.22)

РТУТЬ В ВОДЕ ИСТОКА р. АНГАРЫ: ПЯТИЛЕТНИЙ ТРЕНД КОНЦЕНТРАЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ЕГО ВАРИАЦИЙ

© 2003 г. П. В. Коваль, Ю. Н. Удодов, Л. Д. Андрулайтис, В. А. Саньков, А. Е. Гапон

Представлено академиком В.А. Жариковым 03.07.2002 г.

Поступило 03.07.2002 г.

Исток р. Ангары, замыкающий естественные потоки вещества оз. Байкал, является одной из ключевых позиций в его геохимическом балансе. Особый интерес здесь представляет исследование содержания ртути. С одной стороны, это определяется ее специфическими химическими свойствами и высокой биоактивностью [1], с другой – возможным поступлением ртути из разломов Байкальской рифтовой зоны [2–5] и влиянием антропогенной эмиссии [6]. С учетом низкого содержания ртути в байкальской воде и невысокой достоверности большинства результатов, полученных в предыдущие годы [7, 8], ключевое значение приобретает аналитический аспект такой работы.

Систематического изучения распределения ртути в воде оз. Байкал не проводилось. В последние 15 лет ситуация усугубилась в связи с общим сокращением сети долговременных наблюдений. В данной работе приводятся результаты, полученные в процессе пятилетнего (1997–2001 гг.) подекадного мониторинга ртути в воде района истока р. Ангары, включая водозабор в самом истоке, колодец на берегу Байкала в пос. Лиственничное и ручей в пади Крестовая.

Образцы объемом 6 л отбирали в предварительно обработанные 2% HNO_3 пластиковые бутылки емкостью 1.5–2.0 л и анализировали в тот же день. В случае задержки с проведением химического анализа ртути на время более 10–12 ч пробы консервировались раствором (2% KMnO_4 0.5 мл/л + 50% H_2SO_4 1 мл/л).

Анализ проводился методом холодного пара с предварительным концентрированием ртути на кремнийорганическом сорбенте ПСТМ-3Т [9]. Полнота сорбции проверялась на модельных рас-

творках с известной концентрацией. Детектирование паров ртути проводилось на ртутных анализаторах РАФ 1-М и Bacharach Coleman, model 50d. С 2000 г. использовался также атомно-флуоресцентный детектор модели PSA 10.023 Merlin, оснащенный генератором холодного пара PSA 10.003. Дополнительный контроль осуществлялся также методом концентрирования выдуванием паров ртути из пробы воды большого объема (6 л), восстановленных SnCl_2 , и поглощенных в растворе (2% KMnO_4 0.5 мл/л и 50% H_2SO_4 1 мл/л). Предел обнаружения применявшейся методики – 0.0005 мкг/л, среднеквадратичное отклонение – 0.00017 мкг/л.

Полученные характеристики содержания ртути в воде станций опробования приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1.

Содержание ртути на всех станциях опробования оказалось сопоставимым. Его средний уровень в 20 раз ниже аналогичной величины для пресных вод мира [10], почти на порядок ниже ПДК водоемов рыбохозяйственного использования (0.01 мкг/л) и на два порядка ниже ПДК питьевой воды (0.5 мкг/л). Впервые результаты, полученные российской лабораторией, оказались по порядку величины сопоставимыми и перекрывающимися с интервалом содержания (в его верхней части), определенного в Байкале по серии единичных образцов авторитетными зарубежными лабораториями (0.00014–0.00202 мкг/л [11, 12]).

Временной ряд наблюдений характеризуется чередованием “спокойного” (фоновое) хода кривой с отдельными “всплесками” и периодами нерегулярного повышения концентраций до полутора порядков величины, в целом конформными для всех трех станций наблюдения (рис. 1). На среднепятилетнем фоне (~0.0025 мкг/л) особенно выделяется беспокойным трендом 1998 г. и спокойным низким уровнем – 2001 г. (рис. 1, табл. 1, 2).

Анализ статистических параметров распределения ртути (табл. 1) свидетельствует о том, что изменение концентрации ртути в воде истока р. Ангары выходит за пределы аналитической ошибки и, вероятнее всего, имеет не случайный характер.

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Иркутск
Институт земной коры
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Иркутск*

Таблица 1. Характеристики распределения ртути в воде (мкг/л) истока р. Ангары

Параметр	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	1997–2001 гг.
Среднее	0.0042	0.0079	0.0033	0.0044	0.0019	0.0043
Медиана	0.003	0.006	0.0018	0.003	0.0016	0.0025
Мода	0.003	0.01	0.001	0.002	0.0005	0.002
Станд. отклонение	0.0051	0.0059	0.0053	0.0033	0.0018	0.0048
Дисперсия	2.63E-5	3.53E-5	2.78E-5	1.06E-5	3.07E-6	2.34E-5
Эксцесс	8.6678	0.3078	16.1373	3.0578	5.1529	6.6678
Асимм.	3.0996	1.1460	3.8654	1.8951	2.2044	2.5211
Минимум	0.0010	0.0010	0.0005	0.0020	0.0005	0.0005
Максимум	0.0217	0.0210	0.028	0.0140	0.0080	0.0280
Число наблюдений	23	32	33	35	35	158

Таблица 2. Характеристики распределения ртути в воде (мкг/л) пади Крестовая (II) и колодца в пос. Лиственичное (III)

Станция		1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	1997–2001 гг.
II	Минимум	0.0014	0.001	<0.0005	0.001	0.005	<0.0005
	Среднее	0.0038	0.0096	0.0032	0.0061	0.0024	0.0051
	Максимум	0.021	0.025	0.0375	0.03	0.006	0.0375
III	Минимум	0.0020	0.001	<0.0005	0.001	0.0005	<0.0005
	Среднее	0.0044	0.0080	0.0025	0.0061	0.0026	0.0048
	Максимум	0.0188	0.02	0.023	0.027	0.008	0.030

Природа отмеченных вариаций временной зависимости пока не ясна. Есть основания полагать, что значительные флуктуации ртути в воде могут быть связаны с тектоническими процессами в Байкальской рифтовой зоне и, в частности, с ее поступлением из сейсмоактивных разломов (“ртутное дыхание”). На рис. 2 представлен временной ряд количества землетрясений в ближайшем к истоку р. Ангары эпицентральном поле землетрясений Южно-Байкальской впадины, являющейся активно развивающимся на современном этапе звеном Байкальской рифтовой системы [13]. Временная зависимость концентрации ртути в воде района истока р. Ангары (рис. 1), в частности, хорошо коррелирует с подготовкой роевой последовательности землетрясений февраля–марта 1999 г. (рис. 2). Повышенные значения концентрации ртути стали фиксироваться одновременно с сейсмическим затишьем, начавшимся после форшокового события 13.01.98 г. ($K = 11.3$) (рис. 2). Высокий уровень концентрации ртути держался до момента активизации роевой последовательности 9.02.1999 г., когда в районе истока были зафиксированы максимальные всплески концентрации ртути. Вместе с прохождением роя и спадом сейсмической активности понизилась и концентрация ртути в воде. После-

дующий период сейсмического затишья с марта 1999 г. по февраль 2000 г. отвечает минимуму концентрации ртути на временной зависимости. Восстановление фоновой активности в Южно-Байкальской впадине соответствует периоду проявления спорадически появляющихся максимумов концентрации ртути на временной зависимости. Можно полагать, что, подобно другим летучим элементам, ртуть может интенсивно выделяться из напряженной зоны в период предразрушения, являясь предвестником будущего сейсмического события. После снятия напряжений этот процесс прекращается, и содержание ртути в воде быстро снижается до фонового уровня.

Таким образом, результаты пятилетнего мониторинга ртути в воде истока Ангары подтвердили ее низкое фоновое содержание в байкальской воде, намного меньшее, чем самые жесткие экологические нормативы. Выявлен сложный и нерегулярный характер временного тренда концентрации ртути байкальского стока, в котором спокойные фоновые участки чередуются с всплесками и периодами возмущений, когда максимальные значения концентрации почти на порядок могут превышать фоновые. Наиболее значительные аномальные участки временного тренда

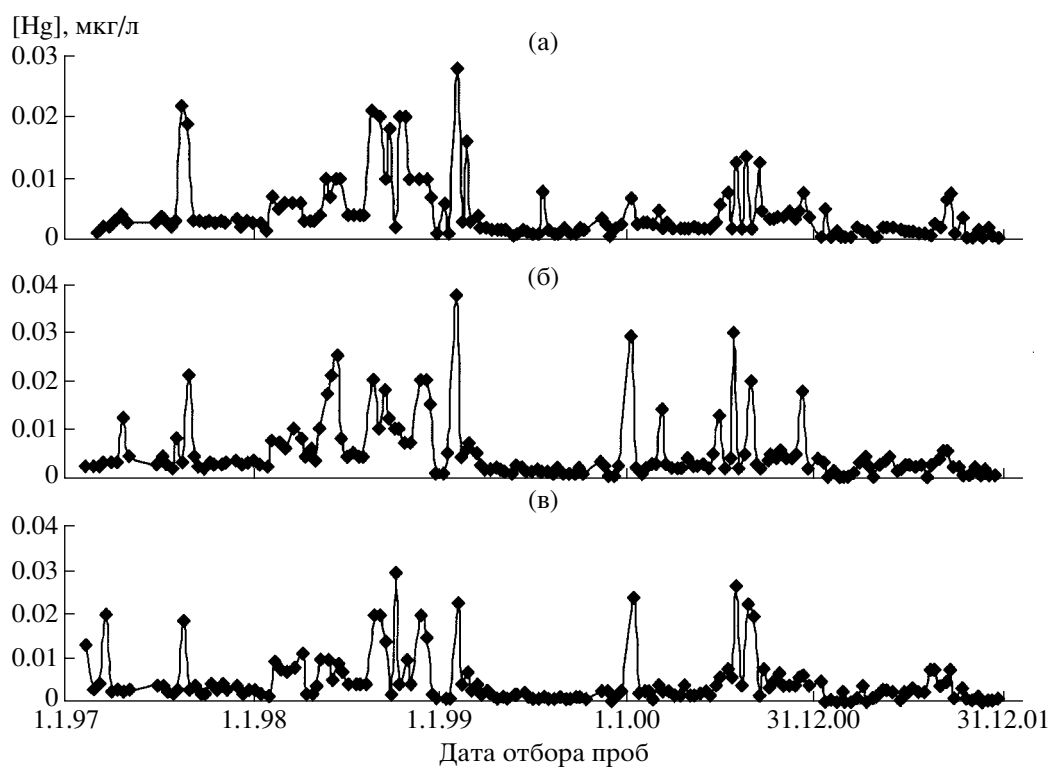


Рис. 1. Временной тренд концентрации ртути. а – исток р. Ангары; б – ручей пади Крестовая; в – колодец в пос. Листвяничное.

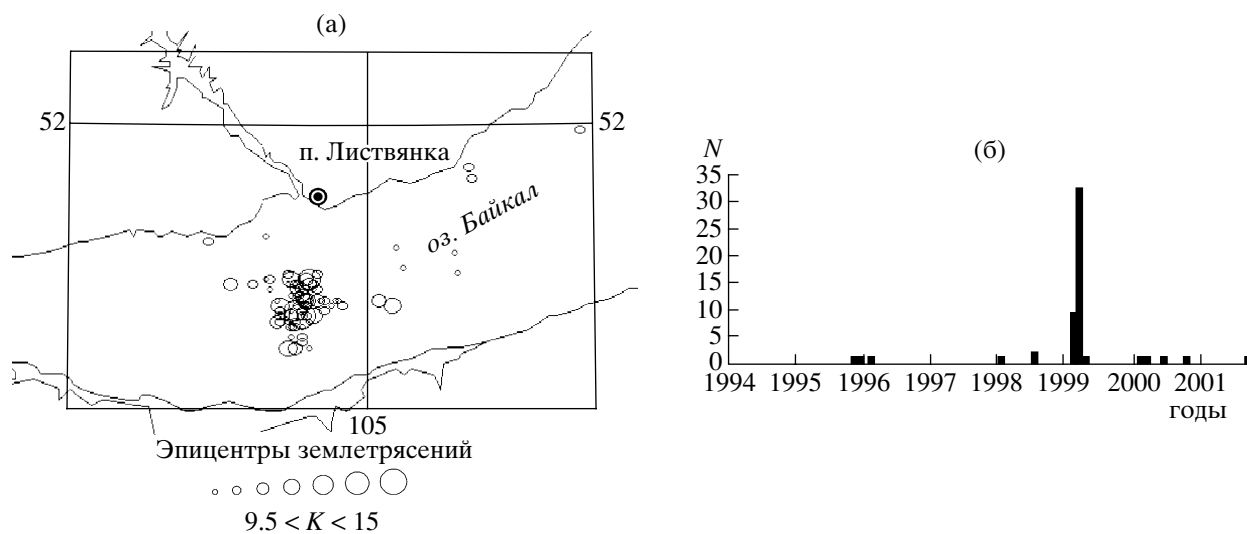


Рис. 2. Эпицентральное поле землетрясений с $K \geq 9.5$ Южно-Байкальской впадины за 1994–2001 гг. (а) и временная зависимость числа землетрясений (N) для того же периода (б). K – энергетический класс землетрясений.

ртути соответствуют периодам роевой подготовки последовательности землетрясений в прилегающей части Южно-Байкальского звена Байкальской рифтовой зоны. Выявление природы такой связи требует более детального исследования поведения легко подвижных геохимических форм (ртуть, радон, гелий, углеводороды и др.) в связи с

тектонической активностью рифтовой зоны и ее структурой.

Авторы с благодарностью отмечают внимание к данной работе С.Д. Талиева, а также благодарны своим коллегам по ИГХ СО РАН за неизменную поддержку. Каталог землетрясений предоставлен БОМСЭ ГС СО РАН.

Мониторинговые работы в истоке Ангары были поддержаны РФФИ (гранты 01-05-97236, 02-05-65295, 02-05-79144), областной администрацией, а также программами СО РАН и “Глобальные изменения окружающей среды”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Аналитический обзор. Ч. 2. Процессы биоаккумуляции и экотоксикология. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 1989. 154 с.
2. Барсуков В.Л., Беляев А.А., Бакалдин Ю.А. и др. Геохимические методы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1992. 213 с.
3. Степанов И.И. Ртуть – индикатор “горячих” гидротермальных зон и динамических процессов, сопровождающихся деформациями горных пород. Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М.: ИМ-ГРЭ, 1996. 53 с.
4. Belogolova G.A., Koval P.V. // J. Geochem. Explor. 1995. V. 55. P. 193–201.
5. Koval P.V., Kalmychkov G.V., Gelety V.F. et al. // J. Geochem. Explor. 1999. V. 66. № 1/2. P. 277–289.
6. Белеванцев В.И., Оболенский А.А., Аношин Г.Н. и др. // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 4. С. 578–582.
7. Сапрыкин А.В., Вижин В.В. // Химия в интересах устойчив. развития. 1995. Т. 3. № 1/2. С. 119–125.
8. Ланердина Т.Г. Определение ртути в природных водах. Новосибирск: Наука, 2000. 222 с.
9. Andrulaitis L.D. Determination of Mercury Contents in Lake Baikal. In: VI Intern. Conf. on Mercury as a Global Pollutant. 15–19 October, 2001. Minamata, Japan. Abstr. Minamata. 2001. P. 178.
10. Faure G. Principles and Application of Geochemistry, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1998. 600 p.
11. Folkner K.K., Measures C.I., Herbelin S.E. et al. // Limnol. and Oceanogr. 1991. V. 36. № 3. P. 413–423.
12. Leermakers M., Meuleman C., Baeyens W. In: Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances. Dordrecht: Kluwer, 1996. 563 p.
13. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы / Под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1977. 302 с.