

# РТУТЬ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ЧУКОТСКОГО МОРЯ И ПРИМЫКАЮЩИХ РАЙОНОВ АРКТИКИ

*М.В. Иванов*

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

## Введение

Наиболее информативной частью водных систем с позицией оценки степени их устойчивого загрязнения являются донные осадки, несомненно связанные со всеми другими компонентами и способные аккумулировать вклады различных источников. Типичные содержания ртути в донных осадках на 3-4 порядка выше, чем в воде. Это снимает многие аналитические трудности и делает, как правило, оценку картины загрязнения бассейна по донным осадкам существенно более надежной, чем по воде [*Сухенко, Васильев, 1995*].

Чукотское море и прилегающая часть Северного Ледовитого океана отличается от других арктических бассейнов тем что, находится в большой удаленности от районов с развитой промышленностью и в бассейнах рек, впадающих в Чукотское море отсутствуют промышленные объекты. Этот район также расположен вне зоны влияния трансграничного переноса ртути от техногенных источников в странах Восточной Азии [*Dastoor, Laroque, 2004*], что делает его весьма благоприятным для изучения природного поступления ртути в донные осадки.

Чукотское море относится к областям современного растяжения земной коры, геодинамический план и локализация проявлений современной геологической деятельности в нем в общих чертах контролируется грабен-рифтовой системой субмеридиональных и субширотных рифтогенных структур, сформированных в мезозое - раннем кайнозое. Среди неотектонических структур этой системы наиболее известен Чукотский грабен, протягивающийся от Восточной Чукотки на юг до, по крайней мере, каньона Геральда в Чукотском море на севере. Он как часть грабен-рифтовой системы в неоген-четвертичное время претерпел активизацию, сопровождавшуюся базальтовым вулканизмом и гидротермальной деятельностью [*Астахов и др., 2010*].

## Материалы и методы

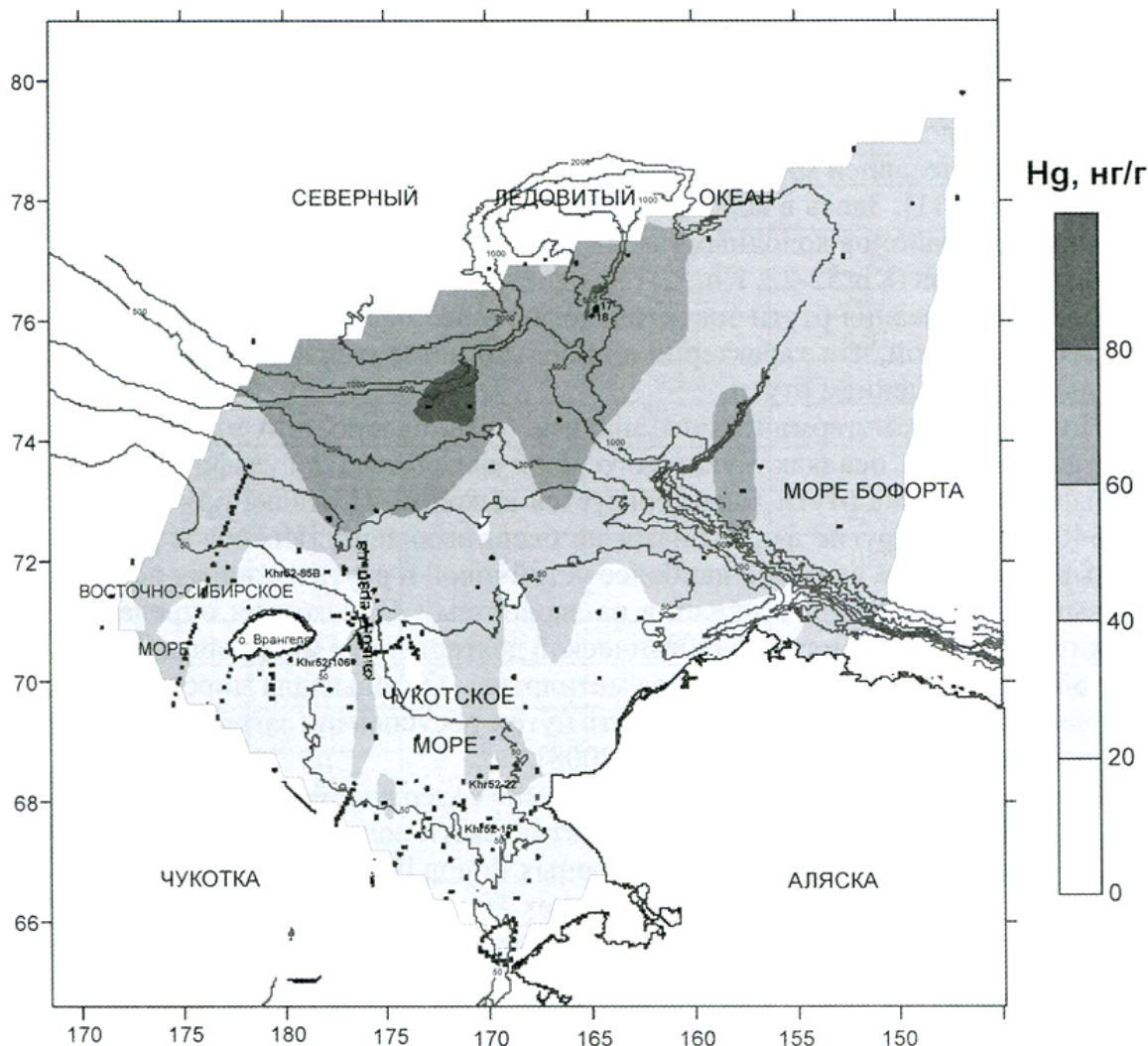
В работе использованы пробы донных осадков, отобранные в экспедициях на НИС «Профессор Хромов» в 2002, 2004, 2009 г.г., ГИСУ «Север» в 2006 г., МБ «Шуя» в 2006 г., НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2008 г. Пробы отбирались дночерпателями, бокс-корером, гравитационными и гидростатическими трубками. На содержание Hg проанализировано около 400 проб донных осадков. Использовался анализатор ртути Ра-915+ с приставками РП-91С, ПИРО-915. Нижний предел обнаружения - 0,5 нг/г. Стандартными образцами на ртуть служили ГСО 7183-95, СПДС-1,2,3. Внешний контроль ежегодно выполнялся в лаборатории фирмы-производителя (ООО «Люмэкс», г. Санкт-Петербург).

Для определения форм нахождения ртути в донных осадках использовалась комбинированная схема термического и атомно-абсорбционного анализов с

экспериментально-аналитическим подходом [Гелетий и др., 2005]. Определение Al, Ti, Fe, Mn, Ba и микроэлементов в осадках выполняли методами атомной абсорбции на приборе «Hitachi Limited» (модель 180-5) с пламенным атомизатором, атомной эмиссией на спектрально-аналитическом комплексе PLASMAQUANT 110 ДВГИ ДВО РАН.

Гранулометрический состав донных осадков определялся на лазерном анализаторе «Анализетте-22».

Статистические параметры распределения были определены с помощью программы GeoStat (версия 7.06).



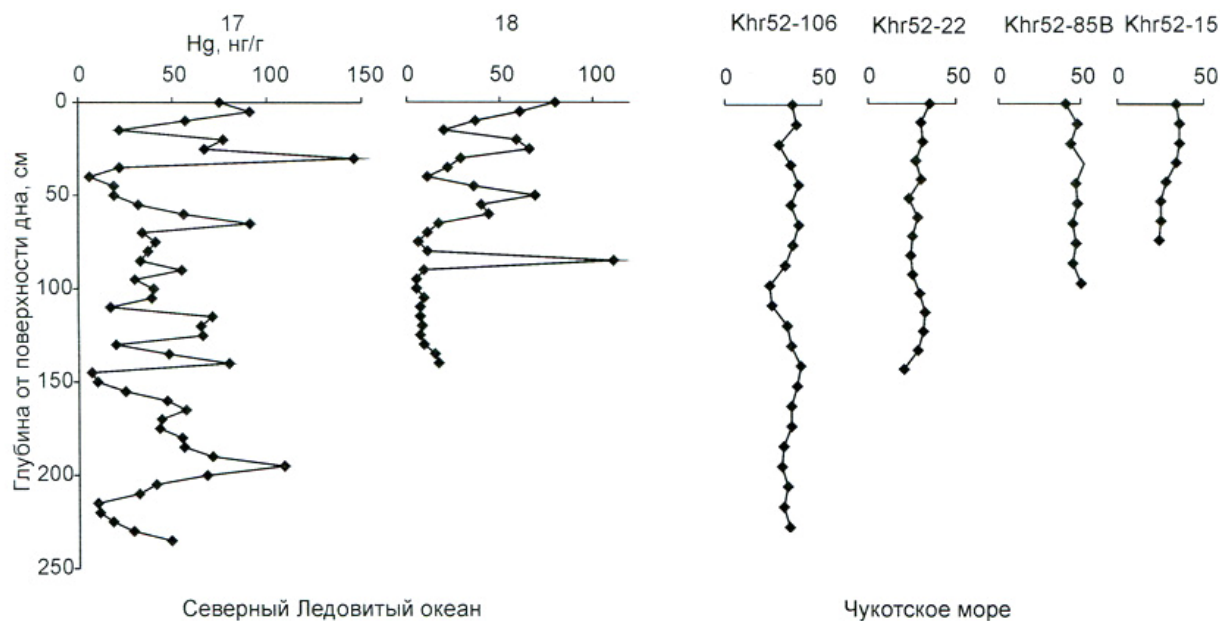
**Рис. 1.** Содержание ртути в поверхностных донных осадках Чукотского моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана  
Точками показаны станции отбора. Изолиниями рельеф дна (м).

### Результаты и обсуждение

В результате обработки данных было установлено, что содержания ртути изменяется с глубиной залегания осадков. Район исследований характеризуется выборкой 199 проб поверхностных донных осадков (0-5 см), которые подразделяются на 3 группы: 1) до глубин 50 м (n=116); 2) интервале глубин 50-100 м (n=59) и 3) в интервале глубин 100-4000 м (n=24). Содержания ртути в целом для данного района варьирует от 6 до 92 нг/г, при среднем и медианном содержании 29 и 26 нг/г. За фоновое содержания принято значение медианы для подвыборки проб (n=96), без повышенных и аномальных содержаний (n=26). Фон равен 26 нг/г.

Основным фактором определяющих изменчивость содержания ртути в донных осадках Чукотского моря и прилегающих районов является наличие окисленных или

восстановленных осадков. Превышение над фоном в 2-3 раза характерно для глубоководной части (глубина 100-4000 м) района (рис. 1), где распространены окисленные осадки. В пределах его отмечены максимумы содержаний, приуроченные к зоне покмаков на Чукотском плато в пределах кайнозойской рифтогенной структуры «рифт Норсвилд» с глубинами 570-680 м [Хаин и др., 2009]. Установлено, что здесь могли иметь место в прошлом разгрузки газосодержащих флюидов [Астахов и др., 2010]. Большое поле осадков с содержанием ртути более 80 нг/г находится на материковом склоне в районе выхода на него с континентальной части неотектонических структур мезозойской грабен-рифтовой системы Чукотского моря [Астахов и др., 2010а, Логвина и др., 2011], а с океанической - кайнозойской рифтогенной структуры «рифт Чарли» [Хаин и др., 2009].



**Рис. 2.** Содержание ртути (нг/г) по колонкам донных осадков Чукотского моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана.

В мелководной части (0-100 м) Чукотского моря, где распространены восстановленные осадки различного состава, содержания ртути значительно меньше, но также прослеживается влияние отдельных структур грабен-рифтовой системы. Оно проявлено в появлении субмеридиональных полос с повышенными содержаниями вдоль каньона Геральда и восточнее, вдоль т.н. Центрального прохода. Одним из механизмов более интенсивного накопления ртути в осадках отрицательных неотектонических структур предполагается различие в гранулометрическом составе осадков. Другим механизмом предполагается дополнительное поступление эндогенных флюидов по активным разломным зонам.

Подобная картина распределения ртути в поверхностных донных осадках характерна для других районов Арктики с природными источниками ее поступления. В центральной части Северного Ледовитого океана, где распространены окисленные осадки содержания составляет 80-100 нг/г. Концентрации ртути в поверхностных донных осадках прибрежной части моря Бофорта составляет 20-100 нг/г, прибрежной части Восточно-Сибирского и моря Лаптевых моря 20-40 нг/г, в районе устья крупных рек они составляет 60-80 нг/г.

При анализе распределения ртути в колонках донных осадков можно отметить, что в глубоководной части оно характеризуется весьма большой изменчивостью по вертикали, что связано с чередованием в разрезе окисленных и восстановленных осадков, накапливавшихся, соответственно, в периоды трансгрессий и регрессий [Астахов, 2010].

Содержания ртути в колонки (17, 18), отобранные в районе покмарков составляют от 10 до 146 нг/г (рис. 2). Во вскрытых отложениях повышенных содержаний углеводородных газов или признаки их недавней миграции к поверхности дна обнаружены не были [Логвина и др., 2011]. Здесь в колонках выявлены наличие прослоев кальцита, что типично для районов холодных газовых выходов [Деркачев, 2002]. В колонках донных осадков (Khr52-22, Khr52-15), с шельфа южной части Чукотского моря (рис. 2), содержания ртути значительно меньше, около 35 нг/г. Они уменьшаются с глубиной, что характерно для большинства колонок в районах с природным поступлением ртути.

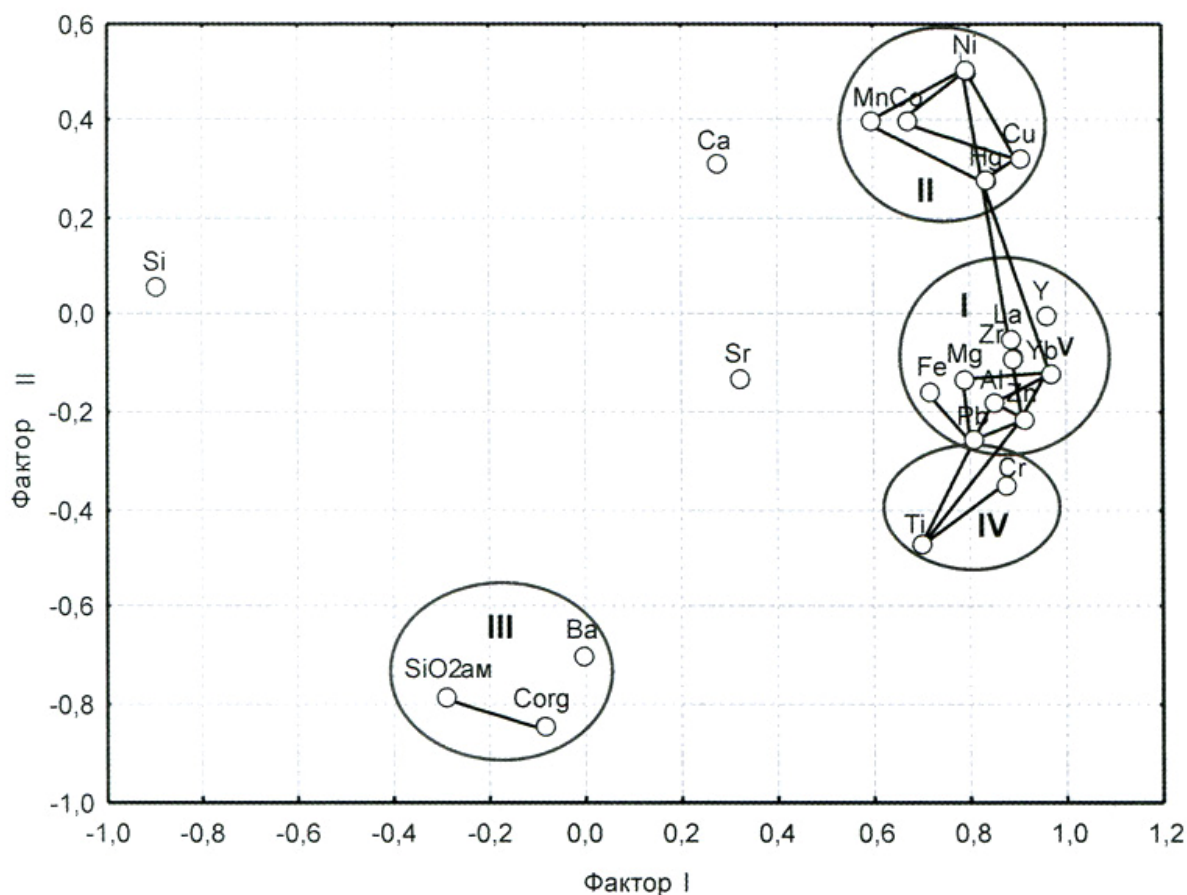
Таблица 1. Статистические параметры распределения концентраций химических элементов в поверхностных донных осадках Чукотского моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана.

Элемент	Кол-во проб	S	min	max	Ед.изм.
Hg (45)	57	36	7	92	нг/г
Al (10,45)	57	6,3	2,51	9,58	%
Ca (2,53)	57	1,6	0,55	3,81	%
Fe (3,33)	57	4	1,03	6,02	%
Mg (1,34)	57	1,4	0,35	2,16	%
Si (23,8)	57	29,3	21,78	40,49	%
As (6,6)	21	3,02	1,52	7,1	10 <sup>-4</sup> %
Ba (800)	57	700	445	886	10 <sup>-4</sup> %
Co (20)	57	30	5	100	10 <sup>-4</sup> %
Cu (57)	57	29	8	61	10 <sup>-4</sup> %
Mn (0,067)	57	0,19	0,007	0,611	%
Ni (95)	57	40	8	101	10 <sup>-4</sup> %
Se (60)	21	0,238	0,04	0,6	10 <sup>-4</sup> %
Sn (10)	21	2,57	0,09	11,84	10 <sup>-4</sup> %
Pb (20)	57	9	4	14	10 <sup>-4</sup> %
Ti (0,45)	57	0,39	0,16	0,49	%
Zn (80)	57	97	31	143	10 <sup>-4</sup> %

Примечание. S, min, max – статические параметры (среднее, минимальное и максимальное значения). При расчете аномальные и ураганные значения не принимались во внимание. В скобках показан кларк для осадочных пород по Виноградову А.П. (1962).

По результатам термического анализа, установлено, что ртуть в поверхностных донных осадках Чукотского моря находится в сульфидной форме. Сульфидная форма ртути характеризуется выходом из осадка при температуре 340-410°C. Другие формы нами не были выявлены [Иванов и др., 2007]. Сульфидная форма является наиболее устойчивой и ртуть в донных осадках не оказывает существенного влияния на экосистему. Однако при определенных геохимических условиях и биохимической деятельности микроорганизмов может образовываться высокотоксичная метилртуть. Опасные для морской биоты и человека формы ртути могут возникать путем ресуспензии загрязненных осадков при их перемещении [Аксентов, 2008].

Статистические параметры распределения содержаний химических элементов поверхностных донных осадках Арктического полигона приведены в табл. 1. Сопоставление с кларком для осадочных пород [Виноградов, 1962] показывает, что в целом средние значения для всех элементов близки, за исключением Pb, Se и Sn для которых зафиксированы более низкие значения и для Mn, характеризующегося более высоким значением.



**Рис. 3.** Диаграмма факторных нагрузок (метод главных компонент, вращение вэри-макс) и значимые положительные корреляционные связи химических элементов донных осадков Чукотского моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана. Линиями показаны очень сильные корреляционные связи.

Для оценки взаимоотношений ртути с другими химическими элементами донных осадков проб был выполнен корреляционный и R-факторный анализ массива данных (60 проб). Установлено, что Hg имеет хорошие ( $0,7 < r \leq 0,9$ ) корреляционные связи с Mn, Cu, Ni, V и Zn. Диаграмма в пространстве первого и второго R-факторов, иллюстрирует обособление отдельных элементов (Si, Ca, Sr) и 4 полиэлементных ассоциаций (рис. 3). Каждая из них определяется наличием специфических особенностей минерального состава, характерных для большинства проб в выборке и приводящих к появлению выявленных статистических закономерностей. В свою очередь, эти особенности возникают под действием определенных седиментологических процессов.

Ртуть входит в ассоциацию II и имеет хорошие корреляционные связи с Mn, Co, Ni и Cu. Вхождение ртути в полиэлементные ассоциации с Mn и микроэлементами возможно свидетельствует о влиянии на ее накопление гидротермальной деятельности, признаки которой имеются в пределах так называемой грабен-рифтовой системы Чукотского моря. Элементы ассоциации II, накапливаются в тонкозернистых осадках, но находятся в большой мере в их аутогенных компонентах, чем в терригенных.

### Заключение

Результаты исследований показали, что основным фактором, определяющим изменчивость содержаний ртути в поверхностных донных осадках и колонках Арктического полигона, является наличие окисленных или восстановленных осадков. В шельфовых районах содержания Hg близки к фону, а в глубоководных превышают фон в

2-3 раза. Ассоциация Hg-Mn-Co-Cu-Ni показывает, что присутствуют только природные источники ртути в районе исследования.

Антропогенное загрязнение осадков ртутью нами не отмечено, но нельзя исключать, что какая-то часть ртути, поступающая с тихоокеанскими водами и взвесью через Берингов пролив и накапливающаяся в южной части Чукотского моря, может иметь антропогенное происхождение.

Отсутствие зависимости содержания органического вещества от содержания ртути, говорит о преобладающем характере поступления ртути из эндогенных источников в этом районе, а не из атмосферы, что характерно для многих водных бассейнов [Гелетий и др., 2007, Fitzgerald, Mason, 1996].

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Мировой океан», ДВО РАН грант (12-III-B-07-123) и РФФИ (грант 12-05-91167-ГФЕН\_a).

Автор благодарит Е.А. Гусева, О.В. Дударева, Ван Рудзяна, А.Н. Колесника, А.Г. Мочалова и Р.Б. Шакирова за предоставления дополнительных проб донных осадков для изучения. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность А.С. Астахову за ценные советы, конструктивные замечания и пожелания при обсуждении рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

Астахов А.С., Босин А.А., Колесник А.Н. и др. Геологические исследования в Чукотском море и примыкающих районах Северного Ледовитого океана в экспедиции RUSALCA-2009 // Тихоокеанская геология. 2010. Том 29. № 6. С. 110-116.

Астахов А.С., Горячев Н.А., Михалицына Т.И. [Об условиях формирования обогащенных золотом горизонтов рудомещающих черносланцевых толщ \(на примере пермских и современных морских отложений северо-востока Азии\)](#) // ДАН. 2010а. Том 430. №2. С. 212-217.

Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.

Гелетий В.Ф., Гапон А.Е., Калмычков Г.В., Пархоменко И.Ю., Кострова С.С. Ртуть в поверхностных донных осадках озера Байкал // Геохимия. 2005. № 2. С. 220-226.

Гелетий В.Ф., Калмычков Г.В., Пархменко И.Ю. Ртуть в осадочных толще озера Байкал // Геохимия. 2007. № 2. С. 199-207.

Держачев А.Н., Обжиров А.И., Борман Г., Грайнерт Й., Зюсс Э. Аутигенное минералообразование на участках проявления холодных газово-флюидных эманаций на дне Охотского моря. В кн.: Условия образования донных осадков и связанных с ними полезных ископаемых. Владивосток: Дальнаука. 2002. С. 47-60.

Иванов М.В., Астахов А.С., Крэйн К. Ртуть в донных осадках Чукотского моря // Морские исследования ДВО РАН в Арктике. Владивосток: Дальнаука, 2006. (Тр. Аркт. регион. Центра; т. 4) с. 132-137.

Иванов М.В., Аксентов К.И., Астахов А.С. Распределение ртути в донных осадках Дальневосточных морей // Дальневосточные моря России. Кн. 3. М.: Наука, 2007. С. 461-481.

Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Крылов А.А., Гладыш В.А., Крейн К, Уитледж Т. Литолого-геохимические особенности отложений покмарков Чукотского плато // Геология морей и океанов: материалы XIX международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 1. М.: 2011, с. 88-92.

Сухенко С.А., Васильев О.Ф. Ртуть в бассейне реки Катунь: пример проявления природного источника загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. Т. 3. №1-2. 1995. С. 127-141.

Хаин В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И. Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 443-460.

*Dastoor A.P., Larocque Y.* [Global circulation of atmospheric mercury: a modeling study](#)  
// Atmospheric Envir. V. 38. 2004. P. 147-161.

*Fitzgerald W.P., Mason R.P.* [The global mercury cycles: oceanic and anthropogenic aspects](#) // Global and regional mercury cycles: Sources, Fluxes and Mass Balance Ed. W. Baeyens, R. Ebinghaus, O. Vasiliev. Kluwer Academic Publishers. 2. Environment. 1996. V. 1. P. 85-108.

**Ссылка на статью:**



**Иванов М.В. Ртуть в донных осадках Чукотского моря и примыкающих районов Арктики.** В кн.: Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Выпуск 4.- М.: ГЕОС, 2012. с. 81-87.