

УДК 556.545:504.454

РТУТЬ В ДОННЫХ ОСАДКАХ БЕЛОГО МОРЯ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ИСТОЧНИКИ И ХРОНОЛОГИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ

© 2019 г. Ю. А. Фёдоров¹, А. Э. Овсепян¹, В. А. Савицкий¹,
А. П. Лисицын², В. П. Шевченко², А. Н. Новигатский²

¹ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: fed29@mail.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 10.07.2017 г.

После доработки 07.08.2017 г.

Впервые для акватории Белого моря определены закономерности вертикального и латерального распределения ртути в донных осадках. Выявлен скачкообразный характер изменения концентраций валовой ртути с общей тенденцией к уменьшению с глубиной. Установлены природные вариации концентраций ртути в пределах 0.01–0.03 мкг/г с.м. Верхнее значение, равное 0.03 мкг/г с.м., принято за естественное «фоновое» содержание элемента. На распределение концентраций ртути по разрезу донных осадков оказывают влияние как антропогенные, так и природные факторы и процессы. По мере удаления от морской границы устьевой области реки Северной Двины ее роль в поставке ртути в Белое море снижается, а роль глобального и регионального атмосферного переноса элемента возрастает. Содержание ртути использовано в качестве индикатора проявления оползневых процессов в Кандалакшском заливе Белого моря. Изучена хронология накопления элемента в донных осадках Белого моря и рассчитана доля ртути антропогенного происхождения.

Ключевые слова: природные концентрации, вертикальное и пространственное распределение, индикатор оползневых процессов, доля антропогенной ртути, влияющие факторы

DOI: <https://doi.org/10.31857/S 0030-157459153-162>

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть по сей день остается одним из приоритетных поллютантов окружающей среды, и этим обстоятельством озабочено мировое сообщество [20, 21]. Ртуть, поступающая в океаны, моря, озера, накапливается в донных осадках (отложениях). На важность изучения донных отложений указывал В.И. Вернадский [2]. Он рассматривал поверхность донных отложений Мирового океана как обширную границу раздела между литосферой и гидросферой. Донные отложения, являясь относительно открытой системой, обладают способностью аккумулировать различные вещества, включая ртуть, в том числе к ее ремобилизации при смене гидрологической и биогеохимической обстановки на границе раздела «вода – донные отложения» [21].

Детальное изучение колонок донных отложений позволяет не только изучить хронологию накопления различных компонентов, но и выяснить характерные для данного

объекта фоновые, природные уровни содержания ртути. В свою очередь, знание фоновых уровней содержания элемента позволяет рассчитать долю ртути, поступившей в акваторию моря в результате деятельности человека. Ртуть применяется человеком с древних времен. Использование ртути возросло с началом индустриального периода, который, по разным оценкам, начался 250–300 лет назад [22]. Наряду с увеличением поставки ртути в окружающую среду за счет антропогенной деятельности в глобальном масштабе на экосистему Белого моря оказывает влияние поставка ртути из региональных источников. Развитие энергетики, промышленного производства, агломерация г. Архангельска, пуск в строй Соломбальского целлюлозно-бумажного комбината (СЦБК) в конце 1930-х и Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК) в начале 1950-х гг., использовавших ртуть в технологическом цикле попутных производств, способствовали загрязнению Беломорского региона.

Данная работа является частью исследований по программе «Система Белого моря» (руководитель – А.П. Лисицын) и Ведущей научной школы (руководитель – Федоров Ю.А.), в рамках которых проводятся исследования геохимии тяжелых металлов, в том числе ртути [3–5, 8–11, 15, 19]. Целью исследования явилось изучение закономерностей пространственного и вертикального распределения концентраций ртути в колонках донных осадков Белого моря и выявление ее происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб донных отложений Белого моря осуществлялся в августе 2004 г. в 64-м рейсе НИС «Профессор Штокман» с использованием трубки Неймисто [9]. Для изучения вертикального и пространственного распределения валовой ртути в донных отложениях были выбраны колонки различной мощности из наиболее показательных районов Белого моря, включающих Кандалакшский залив, южную и северо-западную части Двинского залива, центральный и северный районы Бассейна (таб., рис. 1).

Таблица. Вариации валового содержания ртути в донных осадках Белого моря

№ станции	Район	Координаты (с.ш./ в.д.)	Содержание ртути, мкг/г сухой массы (мкг/г с.м.)			Среднеквадратичное отклонение (мкг/г с.м.)
			мин	ср. знач.	макс	
34	Южная часть Двинского залива	64° 50.56' 39° 10.23'	0.009	0.019	0.047	0.002
27	Северо-западная часть Двинского залива	65° 02.45' 38° 00.22'	0.013	0.023	0.035	0.001
20	Бассейн, Северная часть	65° 54.20' 38° 15.71'	0.012	0.024	0.095	0.006
04	Бассейн, Центральный р-н	65° 48.58' 36° 45.90'	0.014	0.022	0.050	0.002
08	Кандалакшский залив	66° 29.10' 34° 06.16'	0.006	0.027	0.046	0.003
Весь массив данных			0.006	0.023	0.095	0.0028

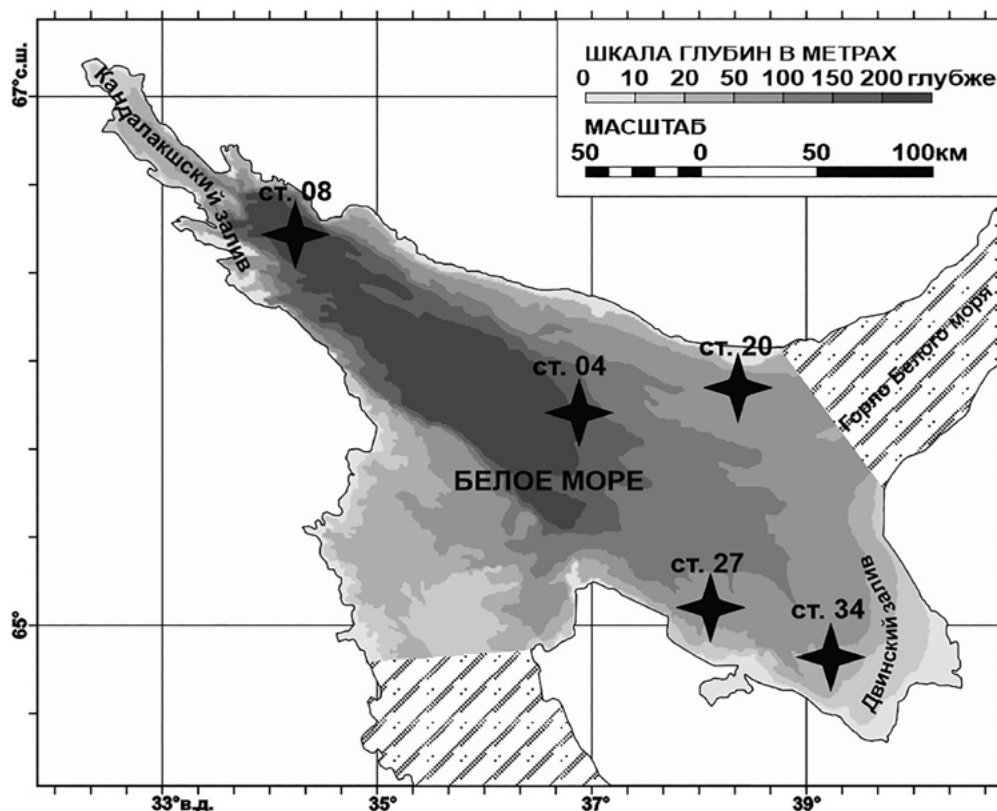


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Белом море.

Глубины отбора донных отложений от поверхности воды колебались в пределах 40–298 м. Длина колонок донных осадков изменялась от 14 до 35 см. Шаг определения концентраций валовой ртути составил 0.5–1.0 см. Определение общего содержания ртути проводилось методом атомной абсорбции в холодном паре в Гидрохимическом институте Росгидромета (аналитик Аниканов А.М.). Всего было произведено порядка 200 определений. Все концентрации валовой ртути пересчитаны на сухую массу (с.м.) и выражены в мкг/г с.м. [9]. Пределы обнаружения ртути методом атомной абсорбции в холодном паре достигали 0.0005–0.001 мкг/г.

Контроль повторяемости получаемых результатов проводился в ФГУГП «Южгеология». Погрешность определения составила 10–15%. Для датировки донных осадков были привлечены результаты определения скоростей осадконакопления [18]. Отметим, что при проведении расчетов привлекались сведения по скважинам, наиболее близко расположенным к станциям, где производился отбор проб для определения содержания валовой ртути. Для станций 34 и 27 скорость осадконакопления принята за 0.4 мм/год, для станций 20, 04 и 08 — соответственно 0.69, 0.85 и 0.46 мм/год.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание валовой ртути в донных осадках Белого моря варьирует в пределах 0.006–0.095 мкг/г с.м., в среднем составляя 0.023 мкг/г с.м. Среднеквадратичное отклонение составило 0.0028 мкг/г с.м. При этом порядка 80% проб содержали менее 0.03 мкг/г с.м. валовой ртути. Это, а также анализ распределения валовой ртути по геологическим разрезам позволило обоснованно принять данную величину за фоновое значение, которое является верхним порогом интервала ее естественных содержаний [9]. Все уровни содержания валовой ртути ниже величины 0.03 мкг/г с.м. следует рассматривать как соответствующие условиям отсутствия значимого влияния деятельности человека на экосистему моря. Для других районов Арктического бассейна имеются данные, позволяющие говорить о фоновых концентрациях ртути на уровне 0.02 мкг/г с.м. у центрального и западного побережья Гренландии, 0.025–0.03 мкг/г с.м. в восточной части Гудзонова залива [17]. Отметим работу [1], где для залива Петра Великого Японского моря установлены донные отложения с кон-

центрациями валовой ртути на уровне 0.025 мкг/г с.м. в качестве незагрязненных.

Ниже обсудим распределение содержания ртути в вертикальном разрезе донных осадков по отдельным станциям.

На ст. 34 осадки отобраны с глубины 40 м, глубина отбора составила 15 см (рис. 2а). Содержание ртути колебалось в пределах 0.009–0.047 мкг/г с.м., в среднем составив 0.019 мкг/г с.м. Здесь на фоне уменьшения содержания ртути с глубиной выделено 3 пика повышенного содержания, расположенных на глубинах 2, 4 и 10 см.

К подповерхностному слою (как минимум мощностью 2–3 см) донных отложений, который представлен песчано-алевритовым наилком полужидкой консистенции, приурочен первый самый контрастный пик содержания валовой ртути. Вершина пика соответствует времени начала активной фазы индустриализации данного района и развития целлюлозно-бумажного производства (1930–1960 гг.). В этот временной интервал попадают также военные действия, относящиеся к периоду Второй мировой войны. Формирование повышенных концентраций ртути в это время можно объяснить ее поступлением в донные отложения, главным образом, с поверхностным стоком р. Северной Двины. Это косвенно подтверждается содержаниями валовой ртути выше значения её естественного фона. В меньшей степени это может быть связано с глобальными источниками поступления ртути через атмосферный канал [20, 21]. Второй пик выражен менее ярко. В хронологическом порядке он располагается выше начала этапа индустриального развития цивилизации (около 100 лет назад). Его формирование может быть обусловлено глобальным переносом в арктические районы ртути, выделившейся в тропосферу вследствие интенсификации сжигания угля, нефти, торфа и боевых действий на фронтах Первой мировой войны. Вершина третьего пика относится к началу этапа индустриального развития, но его формирование, скорее всего, обусловлено причинами природного характера. Наблюдаемые флуктуации содержания ртути, не выходящие здесь за уровень естественного фона, следует рассматривать как обусловленные, например, присутствием в зеленовато-серых песчаных и пелитово-песчаных алевритах включений гидротроилита и/или органического вещества.

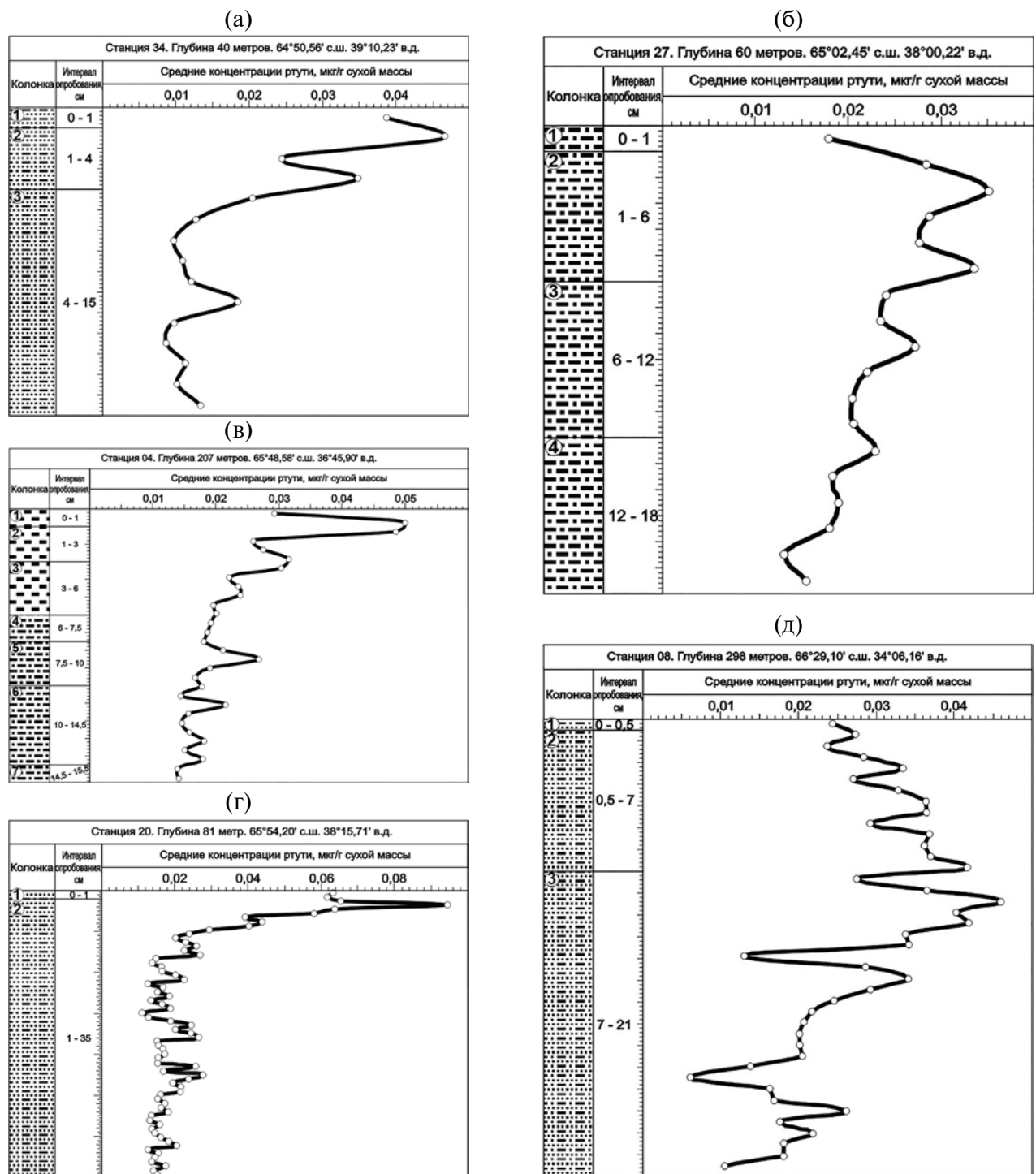
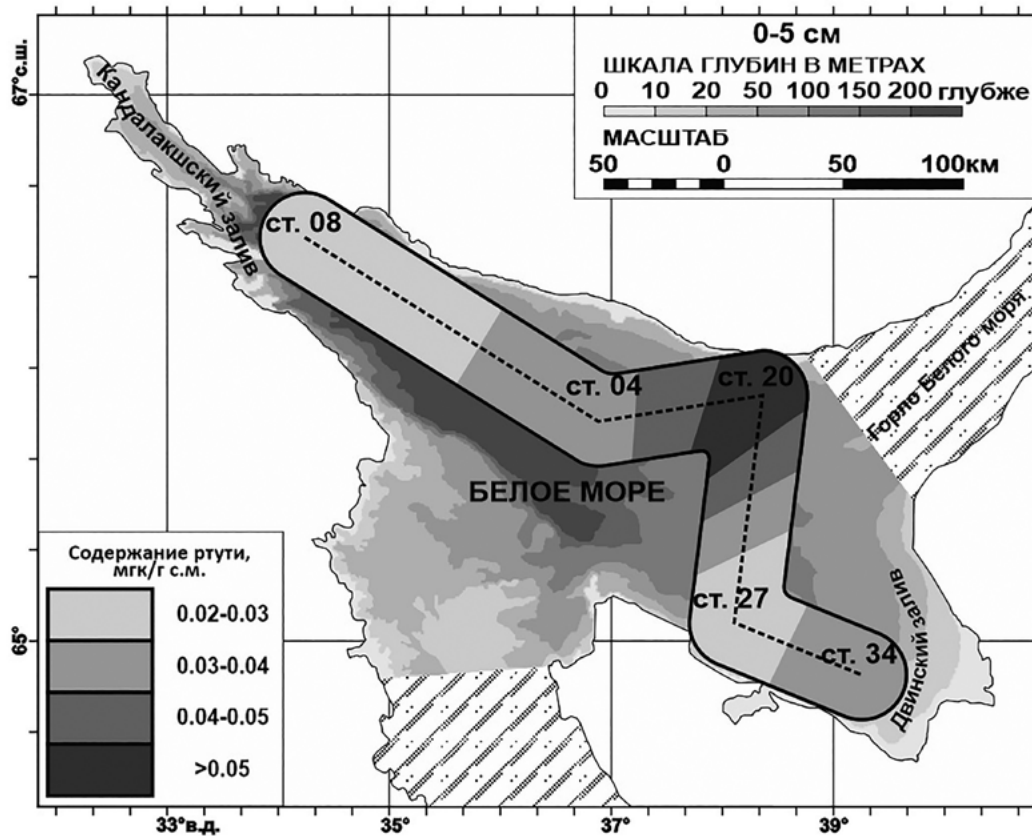


Рис. 2. Распределение валового содержания ртути в вертикальном разрезе донных отложений Белого моря. (а) – ст. 34. 1 – песчано-алевритовый наилкок бурого цвета с включениями глинистых образований; 2 – песчаный алеврит зеленовато-серый, плотный, с редкими включениями гидротроилита; 3 – пелитово-песчаный алеврит зеленовато-серый. (б) – ст. 27. 1 – пелитовый наилкок коричнево-красный, полужидкий, нижняя граница резкая; 2 – пелитовый алеврит слабопесчанистый серый с зеленоватым оттенком; 3 – пелитовый алеврит, обогащенный гидротроилитом (до 10% объема осадка); 4 – пелитовый алеврит оливково-серый). (в) – ст. 04. 1 – пелитовый наилкок коричнево-красный, полужидкий, слабо флокулированный; 2 – пелитовый наилкок темно-коричневый, полужидкий с элементами мелких железистых аутигенных включений, окраска неоднородная, линзовидная; 3 – переходная зона, пелитовый наилкок с примесью песка, серый со слабым буроватым оттенком, с гидротроилитом в виде черных пятен, нижний контакт постепенный; 4 – алевропелит зеленовато-серый; 5 – алевропелит серый с зеленоватым оттенком, с редкими пятнами гидротроилита; 6 – алевропелит, но более однородный; 7 – алевропелит серый с зеленоватым оттенком, с отчетливыми стяжениями гидротроилита. (г) – ст. 20. 1 – песчано-алевритовый наилкок буровато-серый, поверхность осадка неровная, с присыпками песка, нижняя граница достаточно резкая; 2 – песчаный алеврит серый с зеленоватым оттенком, текстура неоднородная, близкая к линзово-слоистой, отмечаются нечетко выраженные примазки органики (гидротроилит). (д) – ст. 08. 1 – тонкая пленка жидкого наилкока темно-коричневого цвета, с поверхности флокулированного; 2 – алевропелит буровато-серый; 3 – алевропелит однородный, серый с зеленоватым оттенком.

(а)



(б)

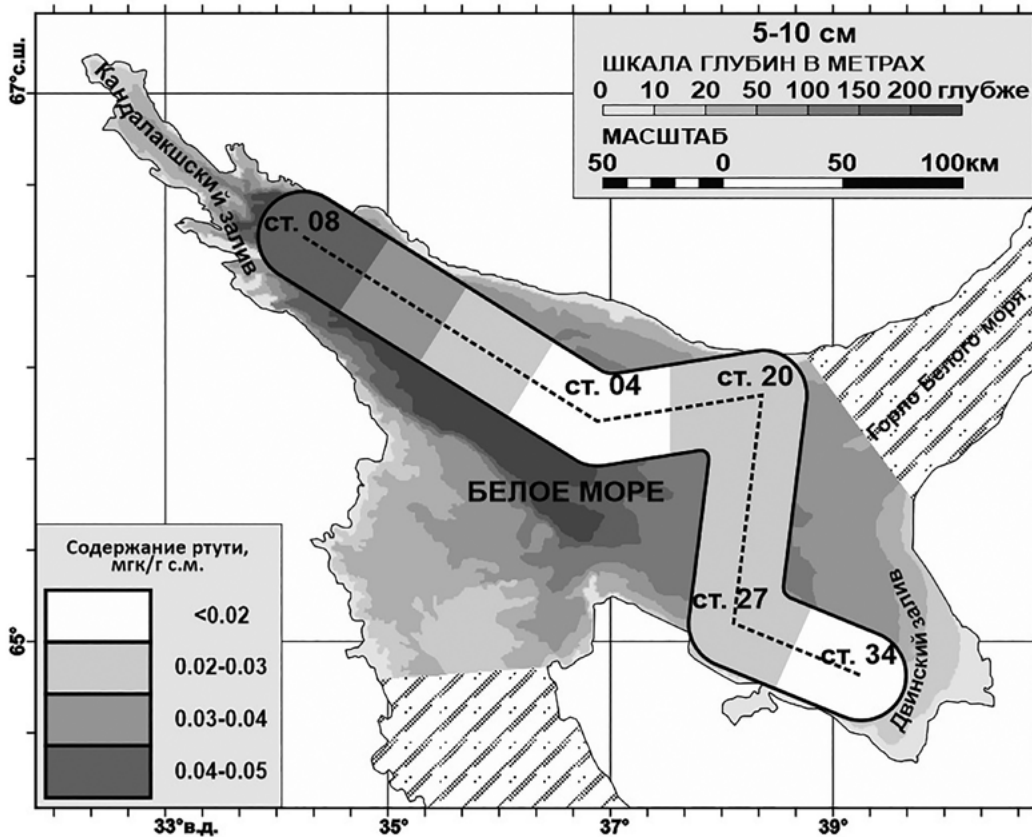


Рис. 3. Распределение валового содержания ртути в донных осадках Белого моря. (а) – слой 0–5 см; (б) – слой 5–10 см.

Осадки на ст. 27 отобраны с глубины 60 м. Длина колонки составила 18 см (рис. 2б). Содержание ртути колебалось в пределах 0.013–0.035, в среднем составив 0.023 мкг/г с.м. На глубине 2–3 см отмечен всплеск повышенных концентраций валовой ртути. Затем наблюдается чередование пиков повышенных и пониженных содержаний ртути. Состав донных отложений здесь разнообразен – в интервале 0–1 см развита тонкая прослойка окисленного пелитового наилка, которая сменяется (1–6 см) сначала на пелитовые алевриты, а затем – к подошве – на обогащенные гидротроилитом пелитовые алевриты. Коридор значений естественного фона здесь может быть обозначен в пределах 0.015–0.03 мкг/г с.м. Оценивая аддитивное влияние антропогенной деятельности (в период с 1870 г. до середины 1990-х гг.) отметим, что оно четко отслеживается в интервале глубин 1–5.5 см и связано с событиями глобального, регионального и локального характера. Второй пик по времени совпадает с началом индустриальной революции и золотой лихорадки в Калифорнии. Выявленные ниже всплески содержания валовой ртути в большей мере связаны с природным фактором – наличием гидротроилита (до 10% объема осадка).

На ст. 04 донные осадки отобраны с глубины 207 м из слоя 0–15 см (рис. 2в). Концентрации валовой ртути колебались в пределах 0.014–0.05, в среднем составив 0.022 мкг/г с.м. Максимальное содержание ртути отмечается на глубине 2 см. Этот всплеск датируется 80–90-ми годами прошлого столетия. Второй пик приходится на глубину 3–3.5 см и его формирование может быть датировано 1960–1970-ми годами. Наиболее вероятно предположить, что повышенное содержание ртути сформировалось здесь под влиянием поступления атмосферных осадков, загрязненных ртутью из района развития целлюлозно-бумажного производства. Далее по разрезу идет снижение концентраций валовой ртути до глубины 8.5 см, где отмечено некоторое возрастание ее содержания (до 0.027 мкг/г с.м.). Именно в этом горизонте наблюдается примесь пятен гидротроилита, что является предпосылкой к закреплению ртути в данном слое.

На ст. 20 осадки взяты с глубины 81 м, мощность колонки составила 34.5 см. Содержание валовой ртути колебалось в пределах 0.012–0.095, в среднем составив 0.024 мкг/г с.м. (рис. 2г). Наибольшее содержание валовой ртути (первый пик) приурочено к глубине 1.5–2 см, составляя 0.095 мкг/г с.м. и являясь

максимальным для всей выборки данных. Этот пик приурочен к середине 70–80-х годов прошлого века. Второй пик менее контрастен и располагается на глубине 3.5–4 см. Его образование соответствует середине 30–50-х годов XX века. При содержании валовой ртути 0.030 мкг/г с.м. на глубине отбора пробы 5 см наблюдается изгиб кривой. Далее вниз по разрезу имеет место монотонное уменьшение содержания ртути с глубиной. Распределение ртути по глубине здесь можно рассматривать как идеальную модель гиперболического вида. Отдельные пики содержания ртути приурочены к глубинам 7–8, 11, 18, 22 см и обусловлены естественными причинами.

В целом, при анализе распределения валовой ртути по разрезу донных осадков следует отметить, что оно неравномерно. Относительно низкое содержание ртути отмечено в слое 0–1.5 см. В нижележащем слое 1.5–2.5 см происходит резкое возрастание содержания ртути до максимальных значений, минимальные значения приурочены к нижним слоям колонки. Пики содержания ртути отмечаются также в слое 7.5–10 см донных осадков. Обращает внимание то, что для станции характерна наибольшая разница между максимальным и минимальным значением содержания ртути (4.7 раза). Данная станция в наибольшей степени удалена от прямого воздействия промышленных выбросов различных предприятий, стока речных вод и транспортных путей, поэтому основная доля накопившейся ртути поступила, вероятно, в результате атмосферного переноса в индустриальное время, аналогично поступлению свинца, кадмия, сурьмы [14, 20–23]. Кроме того, эта станция расположена в северной части Бассейна, к юго-западу от Горла. Известно, что вдоль западных берегов Горла в котловину Белого моря поступают более соленые воды из Баренцева моря [13]. Возможно, формирование высокого содержания ртути в верхнем горизонте осадков обусловлено именно наличием здесь зоны контакта вод разной солености и связанной с этим активизацией процессов осаждения ртути со взвешенным веществом в донные отложения. По времени максимум концентрации валовой ртути приурочен к 70–80-м годам прошлого века.

На ст. 08 осадки отобраны с глубины 298 м. Мощность вертикального разреза составила 20.5 см. Содержание ртути здесь колебалось в пределах 0.006–0.046 мкг/г с.м., в среднем составив 0.029 мкг/г с.м. (рис. 2д). На этой станции, в отличие от других, отмечается сначала

постепенное возрастание концентраций валовой ртути от поверхности до глубин 7.5–10.5 см. На глубине 8.5 см оно достигает максимальных значений. Далее наблюдается скачкообразное снижение концентраций ртути. Подобный характер изменения концентраций ртути резко отличается от остальных разрезов. Распределение валовой ртути по разрезу мы назвали «перевернутым». Оно может быть обусловлено воздействием на донные отложения как природных, так и антропогенных факторов и процессов. Ниже рассмотрим их.

По сведениям [16], в Кандалакшском заливе наблюдались с 1847 по 1995 г. три периода активизации землетрясений: 1847–1935 гг., 1935–1970 гг., 1970–1990 гг., что могло привести к поперечному смещению донных осадков от бортов залива к его осевой части. Образование оползней также могло быть связано с морозобойными ударами (морозное растрескивание грунтов и льда в водоемах). При растрескивании льда происходило его воздействие на борта залива, что, по нашему мнению, было способно инициировать оползневые процессы.

Антропогенные факторы формирования «перевернутого» разреза могли быть связаны с имевшими место в заливе строительными работами. Так, анализ данных за 1996–1999 гг. [6] показал, что наиболее загрязненными районами залива являются его кутовые части. В это время в заливе проводилось строительство углубленного фарватера и расширение нефтебазы с использованием взрывов. Мы полагаем, что они могли также привести к изменению сложившейся литологической обстановки. Произошло переотложение донных осадков, следствием чего явилось их перемещение из нижних горизонтов в верхние. Таким образом, в результате течения природных и антропогенных процессов имело место сползание загрязненных донных отложений в более глубокие районы залива. И в настоящее время они перекрыты слоями более молодых и менее загрязненных донных осадков.

Наши предположения подтверждаются современными исследованиями геодинамики Кандалакшского залива Белого моря [7]. В соответствии с представленным в их работе поперечном разрезом, ст. 08 находится в зоне действия оползневых процессов. Формирование осадков здесь происходило не только путем сползания донных отложений, но также посредством осаждения взвесей, возникших в ходе гравитационных явлений. Попытаемся

рассчитать время формирования зарегистрированного по данным валового содержания ртути оползня.

Как уже говорилось выше, верхняя граница самого загрязненного слоя находится на глубине 7.5 см. При скорости образования осадков в Кандалакшском заливе, равной 0.46 мм/год, она могла быть перекрыта более молодыми осадками примерно за 163 года. Но возрастание содержания ртути выше «фонового» (0.03 мкг/с.м.) фиксируется с глубины 2.0–2.5 см. Поэтому, логично предположить, что именно на этих глубинах, по-видимому, и располагается кровля оползня. Тогда, время его проявления может быть датировано началом 50–60-х годов прошлого столетия. Ниже до подошвы оползня (на глубине 15 см) располагаются перемещенные донные осадки, сформировавшиеся в период проявления наиболее значимых техногенных событий.

Для всех станций мониторинга отметим наличие относительно более низких уровней содержания ртути в самом верхнем слое, т.е. на границе раздела вода – донные отложения (0–1 см). Это объясняется тем, что формирование самого верхнего слоя происходило в условиях снижения глобального и регионального поступления ртути на акваторию моря через атмосферный канал.

Проанализируем пространственное распределение валовой ртути в донных осадках Белого моря по горизонтам. Для этой цели рассчитаем среднее содержание металла и его соединений для каждой станции в горизонтах 0–5, 5–10 и глубже 10 см.

Для горизонта 0–5 см характерно следующее изменение средних концентраций по профилю (рис. 3). Максимальные значения выявлены на ст. 20 (0.057 мкг/г с.м.), минимальные – на ст. 27 (0.028 мкг/г с.м.).

Относительно низкое содержание ртути отмечено в донных осадках Кандалакшского залива, северо-западной части Двинского залива. Для Бассейна Белого моря характерны средние значения содержания ртути в донных осадках. Самые высокие значения отмечены на ст. 20, где содержание ртути составляет 0.03–0.095 мкг/г с.м. (в среднем 0.057 мкг/г с.м.).

В слое 5–10 см отмечается уменьшение среднего содержания ртути с северо-запада на юго-восток. Максимальные значения выявлены на ст. 08 (0.038 мкг/г с.м.), минимальные – на ст. 34 (0.013 мкг/г с.м.). Наименьшие уровни содержания ртути характерны для южной

части Двинского залива и центральной части Бассейна, средние значения выявлены на станциях, расположенных в северной части Бассейна и северо-западной части Двинского залива.

Глубже 10 см распределение ртути наиболее равномерно. Все значения находятся ниже уровня 0.02 мкг/г с.м., варьируют от 0.011 мкг/г с.м (на ст. 34) до 0.020 (на ст. 08).

Таким образом, анализ пространственного распределения ртути по акватории Белого моря показал неоднородную картину изменения среднего содержания ртути в зависимости от приуроченности к тому или иному горизонту донных осадков. Для верхнего, наиболее показательного с точки зрения антропогенного воздействия, горизонта (0–5 см) выявлено повышенное содержание ртути в зонах контакта вод разного происхождения (Двинский залив, северная часть Бассейна). Для подповерхностного горизонта (5–10 см) относительно высокие содержания отмечаются в Кандалакшском заливе, что связано с описанным выше явлением перезахоронения донных осадков. Также сохраняются высокие концентрации на ст. 20 – в зоне контакта вод Белого и проникающих сюда вод Баренцева морей. Для нижележащих горизонтов (глубже 10 см) характерны равномерно распределенные по акватории относительно низкие концентрации ртути, сформировавшиеся в доиндустриальный период развития цивилизации. Наблюдаемые на глубинах 7.5–10 см скачки уровней содержания, возможно, связаны с повышенной здесь концентрацией сульфидов железа и, вследствие этого, связыванием и закреплением ртути в этих горизонтах. Подобное распределение описано в литературе [12] и подтверждается наличием тесной корреляции между содержанием сульфидов железа и валовой ртути в этих горизонтах.

К сожалению, нам не удалось идентифицировать пиковые содержания ртути как образовавшиеся вследствие извержений вулканов, что обусловлено затухиванием проявлений вулканической деятельности антропогенными и природными факторами и процессами.

Зная естественное фоновое содержание ртути, рассчитаем долю элемента антропогенного происхождения по формуле $C_{\text{факт.}} - C_{\text{фон}} = C_{\text{антр.}}$; $C_{\text{антр.}} / C_{\text{факт.}} \times 100\% = C_{\text{антр.}}, \%$. Наибольший процент антропогенной ртути зафиксирован в слое донных осадков (0–5 см), где он изменяется в среднем от 4% на ст. 04 до 47% на ст. 20. В нижележащих горизонтах доля антропогенной ртути приближается к нулю или равна ему, и лишь для ст. 08

составляет в среднем 20% в горизонте 0.5–10 см. Отдельные пики соответствуют высоким уровням концентраций валовой ртути, антропогенная доля которой достигает 68%. Слой донных осадков, вскрытых на всех станциях ниже глубины 10 см (за исключением ст. 08), не подвергался влиянию деятельности человека, а уровни содержания ртути здесь следует отнести к природным для акватории моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для акватории Белого моря выявлены закономерности вертикального и латерального распределения валовой ртути в донных осадках. Выявлен скачкообразный характер изменения концентраций ртути с общей тенденцией к уменьшению с глубиной. Установлен интервал вариаций природного фона концентраций валовой ртути (в пределах 0.01–0.03 мкг/г с.м.). В качестве фонового значения обоснован верхний порог интервала природного валового содержания ртути. Все уровни содержания валовой ртути ниже величины 0.03 мкг/г с.м. следует рассматривать как образовавшиеся в условиях отсутствия на экосистему моря значимого влияния деятельности человека. Установлено, что распределение содержания ртути в донных осадках по акватории Белого моря неравномерно. Среднее содержание ртути в донных отложениях Кандалакшского залива в 1.5 раза выше содержания ртути в таковых юго-западной части Двинского залива. Несколько выше средние концентрации в донных осадках северной части моря. Средние концентрации ртути для рассмотренных горизонтов донных осадков на 5 исследуемых станциях варьируют в пределах 0.011–0.057 мкг/г с.м. Для поверхностного слоя характерно следующее распределение средних концентраций: максимум – ст. 20 – 0.057 мкг/г с.м., минимум – ст. 27 – 0.028 мкг/г с.м. Изучена хронология накопления элемента в донных осадках Белого моря и рассчитана доля ртути антропогенного происхождения. На распределение концентраций ртути по разрезу донных осадков оказывают влияние как антропогенные, так и природные факторы и процессы. По мере удаления от устьевой области реки Северной Двины ее роль в поставке ртути в Белое море снижается, а роль глобального и регионального атмосферного массопереноса элемента возрастает. Содержание валовой ртути использовано в качестве индикатора проявления оползневых процессов в Кандалакшском заливе Белого моря.

Благодарности. Авторы благодарят А.Е. Рыбалко, Д.В. Ерошенко, А.А. Иванова и экипаж НИС «Профессор Штокман» за помощь в отборе проб.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов: Инициативный научный проект (ВНУТРЕННИЙ ГРАНТ ЮФУ) № 5.5795.2017/8.9 и Ведущие исследователи на постоянной основе № 5.5791.2017/6.7. Интерпретация результатов была выполнена при поддержке РНФ (проект № 14-27-00114-П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксентов К.И., Астахов А.С. Антропогенное загрязнение ртутью донных осадков залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 115–121.
2. Вернадский В.И. Биосфера (избранные труды по биогеохимии). М.: Мысль, 1967. 376 с.
3. Демина Л.Л., Филипьева К.В., Шевченко В.П. и др. Геохимия донных осадков в зоне смешения реки Кемь (Белое море) // Океанология. 2005. Т. 45. № 6. С. 851–865.
4. Леонова Г.А., Бобров В.А., Шевченко В.П., Прудковский А.А. Сравнительный анализ микроэлементного состава sestона и донных осадков Белого моря // Докл. РАН. 2006. Т. 406. № 4. С. 516–520.
5. Овсепян А.Э., Федоров Ю.А. Ртуть в устьевой области реки Северная Двина. Ростов-на-Дону – Москва: ЗАО «Ростиздат», 2011. 198 с.
6. Пересыпкин В.И., Романкевич Е.А. Биогеохимия лигнина. М.: ГЕОС, 2010. 340 с.
7. Рыбалко А.Е., Федорова Н.К., Никитин М.А., Токарева М.Ю. Геодинамические процессы в Кандалакшском заливе Белого моря их роль в формировании покрова современных осадков // Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2013. С. 237–241.
8. Система Белого моря. Т. III. Рассеянный осадочный материал гидросферы, микробные процессы и загрязнения / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2013. 668 с.
9. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Лисицын А.П. и др. Закономерности распределения ртути в донных отложениях по разрезу река Северная Двина – Белое море // Докл. РАН. 2011. Т. 436. № 1. С. 99–102.
10. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б. Особенности распределения, миграции и трансформации ртути в водах устьевой области р. Северная Двина // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 85–92.
11. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б., Догченко И.В. Донные отложения и их роль в загрязнении ртутью поверхностных вод (на примере устья р. Северная Двина и Двинской губы Белого моря) // Метеорология и гидрология. 2010. № 9. С. 44–55.
12. Федоров Ю.А., Хансварова И.М., Предеина Л.М. Особенности распределения ртути и свинца в донных отложениях Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря // Водное хозяйство. 2003. Т. 5. № 6. С. 51–58.
13. Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 335 с.
14. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 266 с.
15. Шевченко В.П., Покровский О.С., Стародымова Д.П. и др. Геохимия эпигейных лишайников водосборного бассейна Белого моря // Докл. РАН. 2013. Т. 450. № 1. С. 87–93.
16. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Сейсмичность акватории Белого моря и прилегающих территорий и закономерности ее проявления // Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А., Шевченко В.П. М.: Научный мир, 2010. С. 118–147.
17. AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. AMAP, 2005. 265 p.
18. Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov St.N. et al. Natural and artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2007. V. 274. № 2. P. 315–321.
19. Fedorov Yu.A., Ovsepyan A.E. Mercury and its connection with physicochemical water parameters (case study of the rivers of the Northern European territory of Russia) // Mercury: Sources, Applications and Health Impacts. New York: Nova Science Publishers, 2013. P. 155–172.
20. Fitzgerald W.F., Lamborg C.H. Geochemistry of mercury in the environment // Treatise on Geochemistry. V. 9. Amsterdam, N.Y.: Elsevier, 2003. P. 107–148.
21. Fitzgerald W.P., Mason R.P. The global mercury cycle: oceanic and anthropogenic aspects // Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balance / Ed. Baeyens W. et al. Kluwer Academic Publishers. 2. Environment. 1996. V. 1. P. 85–108.

22. Schuster P.F., Krabbenhoft D.P., Naftz D.L. et al. Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: A glacial ice core record of natural and anthropogenic sources // *Environ. Sci. Technol.* 2002. V. 36. № 11. P 2303–2310.
23. Zalewska T., Woron J., Danowska B., Suplińska M. Temporal changes in Hg, Pb, Cd, and Zn environmental concentrations in the southern Baltic Sea sediments dated with 210Pb method // *Oceanologia.* 2015. V. 57. P. 32–43.

Mercury in White Sea Bottom Sediments: Distribution, Sources, and Deposition Chronology

© 2019 Yu. A. Fedorov¹, A. E. Ovsepyan¹, V. A. Savitsky¹,
A. P. Lisitzin², V. P. Shevchenko², A. N. Novigatsky²

¹ *Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

e-mail: fed29@mail.ru

² *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Received July 10 2017

After revision August 7, 2017

For the first time, vertical and lateral distribution patterns of mercury in White Sea bottom sediments have been determined. An abrupt change in the nature of mercury concentrations has been revealed, with a general tendency to decrease with depth. Natural variations in mercury concentrations within 0.01 - 0.03 µg/g dry weight (dw) have been established. An upper value of 0.03 µg/g dw is taken for the natural background content of the element. The distribution of mercury concentrations in the sequence of bottom sediments is influenced by both anthropogenic and natural factors and processes. With distance from the marine -estuary boundary of the Northern Dvina River, the river's role in supplying mercury to the White Sea is reduced, and global and regional atmospheric mass transfer take over. The mercury content is used as an indicator of landslide processes in Kandalaksha Gulf of the White Sea. The accumulation chronology of mercury in White Sea sediments is studied, and the proportion of anthropogenic mercury is calculated.

Keywords: natural variations, vertical and lateral distribution, indicator of landslide processes, the proportion of anthropogenic mercury, influencing factors