

УДК: 556.545:504.454

Распределение ртути в донных отложениях Белого моря

Федоров Ю. А., Овсепян А. Э., Савицкий В. А.

Аннотация:

Впервые детально изучено содержание ртути в колонках донных осадков как биокосных системах Белого моря. Выявлены общие закономерности вертикального распределения и фоновые концентрации валовой ртути, характерные для донных отложений Белого моря и водных объектов его бассейна.

Ключевые слова: *ртуть, Белое море, донные отложения, вертикальное распределение, фоновые концентрации.*

Mercury distribution in bottom sediments of the White Sea

Y. A. Fedorov, A. E. Ovsepyan, V. A. Savitskiy

Abstract:

The content of mercury in columns of the White Sea bottom sediments is in details studied for the first time. Common regularities of vertical distribution of mercury are revealed. Background concentration of total mercury, typical for bottom sediments of the White Sea and water objects of the basin of the White Sea are defined.

Keywords: *mercury, the White Sea, bottom sediments, vertical distribution, background concentration.*

Введение

В. И. Вернадский [1] рассматривал поверхность донных отложений мирового океана как обширную границу раздела между литосферой и гидросферой, а сами донные отложения в качестве «морской грязи», которая пронизана органической жизнью. Он писал: «Другое сгущение — донная живая пленка — наблюдается в морской грязи и донном слое воды, её проникающем и к ней принадлежащем».

Донные отложения, являясь биокосной системой, обладают способностью как аккумулировать различного рода вещества, включая ртуть, так и при смене гидрологической и биогеохимической обстановки на границе раздела сред, к их ремобилизации. Детальное изучение колонок донных отложений большой мощности, в особенности взятых из глубоководных районов морей, позволяют не только отследить хронологию накопления различных компонентов, но и выяснить характерные для данного объекта фоновые, природные уровни содержания тех или иных веществ. Знание природных уровней ртути позволяет оценивать возможности экосистем к восстановлению и самоочищению, а также даёт возможность рассчитать оптимальные и допустимые уровни антропогенного воздействия на море.

Ртуть по сей день остаётся одним из приоритетных токсикантов окружающей среды и этим озабочено мировое сообщество. Так, 19 января 2013 года, после четырех лет переговоров, участниками ООН был согласован новый международный документ по проблеме ртутного загрязнения окружающей среды, целью которого является сокращение использования ртути в промышленности, а также ликвидация накопленного ртутного загрязнения (Минаматская конвенция о ртути) [2]. Авторами настоящей работы на протяжении 10 лет проводятся исследования содержания ртути в воде и донных осадках устьевой области реки Северная Двина, а с 2008 года — донных осадков Белого моря [3, 6–8].

Целью исследования явилось изучение закономерностей распределения концентраций ртути по глубине колонок донных осадков Белого моря и выявление ее происхождения.

Материал и методика

Отбор проб донных отложений Белого моря осуществлялся с борта судна «Профессор Штокман» с использованием трубки Неймисто сотрудниками ИО РАН [8]. Для изучения вертикального распределения ртути в донных отложениях были выбраны колонки различной мощности из, предположительно, наиболее показательных районов Белого моря, включающих Кандалакшский залив, южную и северо-западную части Двинского залива, центральный и северный районы бассейна Белого моря (табл. 1).

Мощность колонок изменялась от 14 до 35 см. Шаг определения концентраций ртути составил 0.5–1.0 см. Глубины отбора донных отложений колебались в пределах 40–298 м. Определение общего содержания ртути проводилось методом атомной абсорбции в холодном паре в Гидрохимическом институте Росгидромета (аналитик А. М. Аниканов). Всего было произведено порядка 200 определений. Контроль повторяемости получаемых результатов проводился в ФГУГП «Южгеология». Погрешность определения составила 10–15%. Наименования и координаты станций отбора проб представлены в табл. 1.

Таблица 1 — Ртуть в донных осадках Белого моря

№ станции	Наименование	Координаты	Содержание ртути, мкг/г сухой массы (мкг/г с.м.)			Среднее квадратичное отклонение
			min	M_{cp}	max	
Ст. 34	Южная часть Двинского залива	N 64° 50.56□ E 39° 10.23□	0.009	0.019	0.047	0.002
Ст. 27	Северо-западная часть Двинского залива	N 65° 02.45□ E 38° 00.22□	0.013	0.023	0.035	0.001
Ст. 20	Бассейн,	N 65° 54.20□	0.012	0.024	0.095	0.016

	Северная часть	Е 38° 15.71□				
Ст. 4	Бассейн, Центральный р-н	N 65° 48.58□ Е 36° 45.90□	0.014	0.022	0.05	0.002
Ст. 8	Кандалакшский залив	N 66° 29.10□ Е 34° 06.16□	0.006	0.027	0.046	0.003
Весь массив данных			0.006	0.023	0.095	0.012

Результаты и их обсуждение

На основании анализа всего массива данных, установлено, что концентрации ртути в донных осадках Белого моря варьировали в пределах 0.006–0.095, в среднем составляя 0.023 (табл. 1). Отметим, что порядка 80% проб содержали менее 0.03 мкг/г с.м. ртути.

Ниже рассмотрим распределение концентраций ртути в вертикальном разрезе донных осадков по станциям.

Станция 34 расположена в южной части Двинского залива Белого моря, осадки отобраны с глубины 40 м, мощность разреза составила 15 см. Содержание ртути колеблется в пределах 0.009–0.047, в среднем составляет 0.019 мкг/г с.м.

Здесь, при общей тенденции уменьшения содержания валовой ртути с глубиной, отмечаются три пика концентраций. Они приурочены к горизонтам 2, 4 и 10 см (рис. 1).

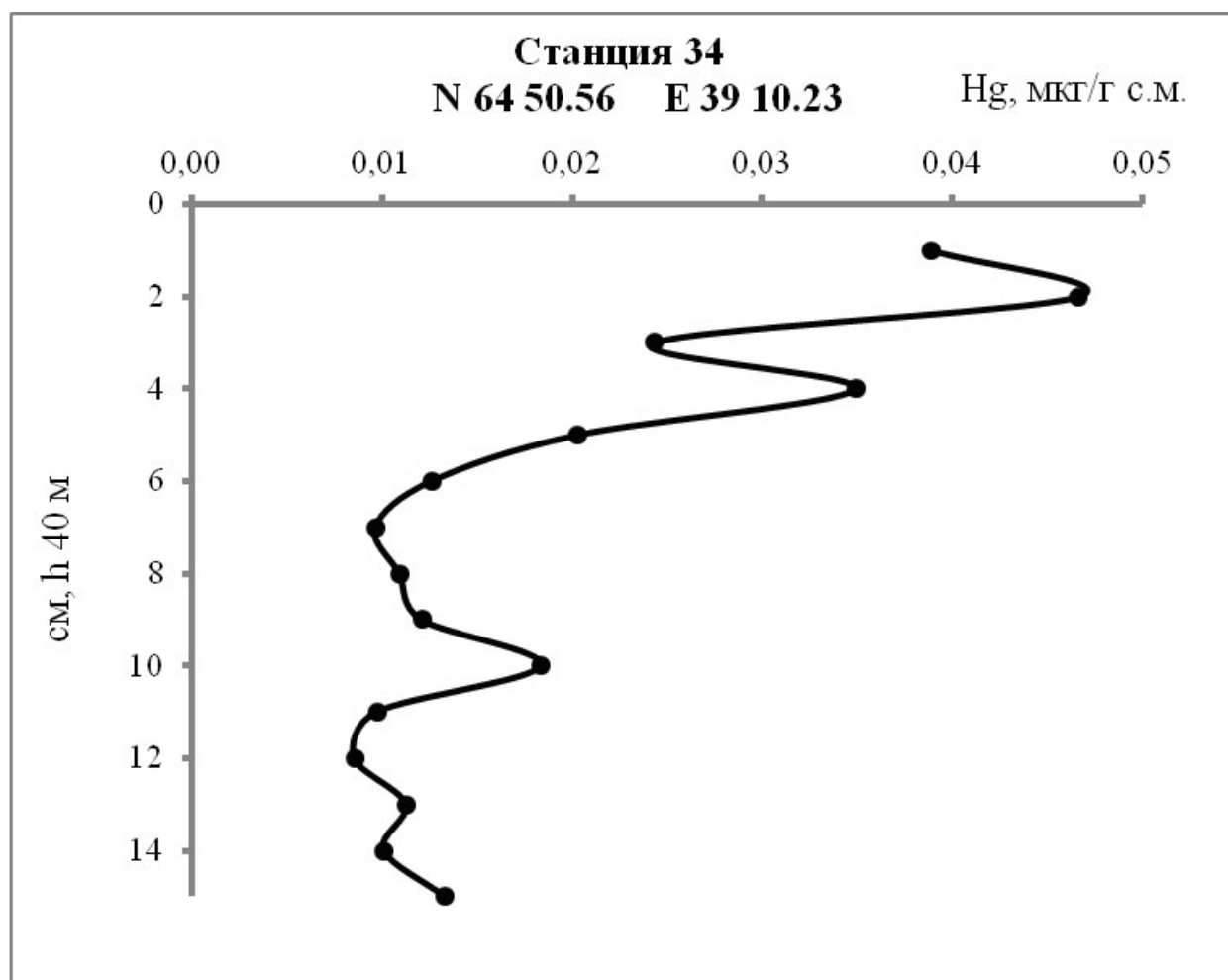


Рис. 1 — Содержание валовой формы ртути в донных осадках станции № 34

Самый верхний горизонт донных отложений (мощностью 2–3 см) содержит наибольшие для данной станции концентрации ртути (0.047 мкг/г с.м.). При этом горизонт донных осадков, непосредственно контактирующий с водной толщей (0.0–1.5 см), несколько обеднен Hg, что обусловлено естественными процессами вымывания и десорбции металла в прилегающие слои воды. Этот горизонт представлен песчано-глинистым наилком жидкой консистенции с погруженными в нем глинистыми катунами, и является, по-видимому, продуктом размыва «древних» илов. Пик concentra-

ции валовой ртути здесь, очевидно, связан с антропогенным поступлением металла.

Так, нижняя граница пика соответствует времени начала активной фазы индустриализации этого района и развития целлюлозно-бумажного производства. Вершина пика приходится на период промышленного бума, т. е. охватывает промежуток до начала 90-х годов прошлого века. Во временной интервал конца тридцатых — начала девяностых годов попадает Вторая мировая война. Формирование повышенных концентраций ртути в это время можно объяснить ее поступлением в донные отложения, главным образом, с поверхностным стоком р. Северная Двина. В меньшей степени это может быть связано с глобальным поступлением ртути через атмосферный канал. Второй пик (0.035 мкг/г с.м.) менее значителен, располагается на глубине 4–5 см. Его формирование возможно обусловлено глобальным массопереносом ртути в арктические районы, выделившейся в тропосферу вследствие интенсификации сжигания угля, нефти, торфа и боевых действий на фронтах Первой мировой и гражданской войн.

Третий всплеск концентраций на фоне общего понижения выявлен в грунте, находящемся на глубине 10 см, содержание ртути составляет здесь 0.02 мкг/г с.м. Ниже этого горизонта все установленные концентрации располагаются в коридоре значений 0.01–0.03 мкг/г. с.м. Очевидно, обозначенный интервал концентраций валовой ртути характерен для доиндустриального периода. В свете изложенного примем 0.03 мкг/г. с.м. за природный фон для осадков Белого моря. Наблюдаемые флюктуации содержания ртути, не выходящие за верхнюю границу фоновых значений, следует рассматривать как обусловленные естественными факторами. Например, соотношением в зеленовато-серых песчаных и глинисто-песчаных алевритах включений песчаного материала, гидротроилита или органического вещества.

Станция 27 расположена в северо-западной части Двинского залива Белого моря. Осадки отбирались с глубины 60 м, длина вертикального разреза составила 18 см. Содержание ртути колебалось в пределах 0.013–0.035, в среднем составив 0.023 мкг/г с.м. (рис. 2.).

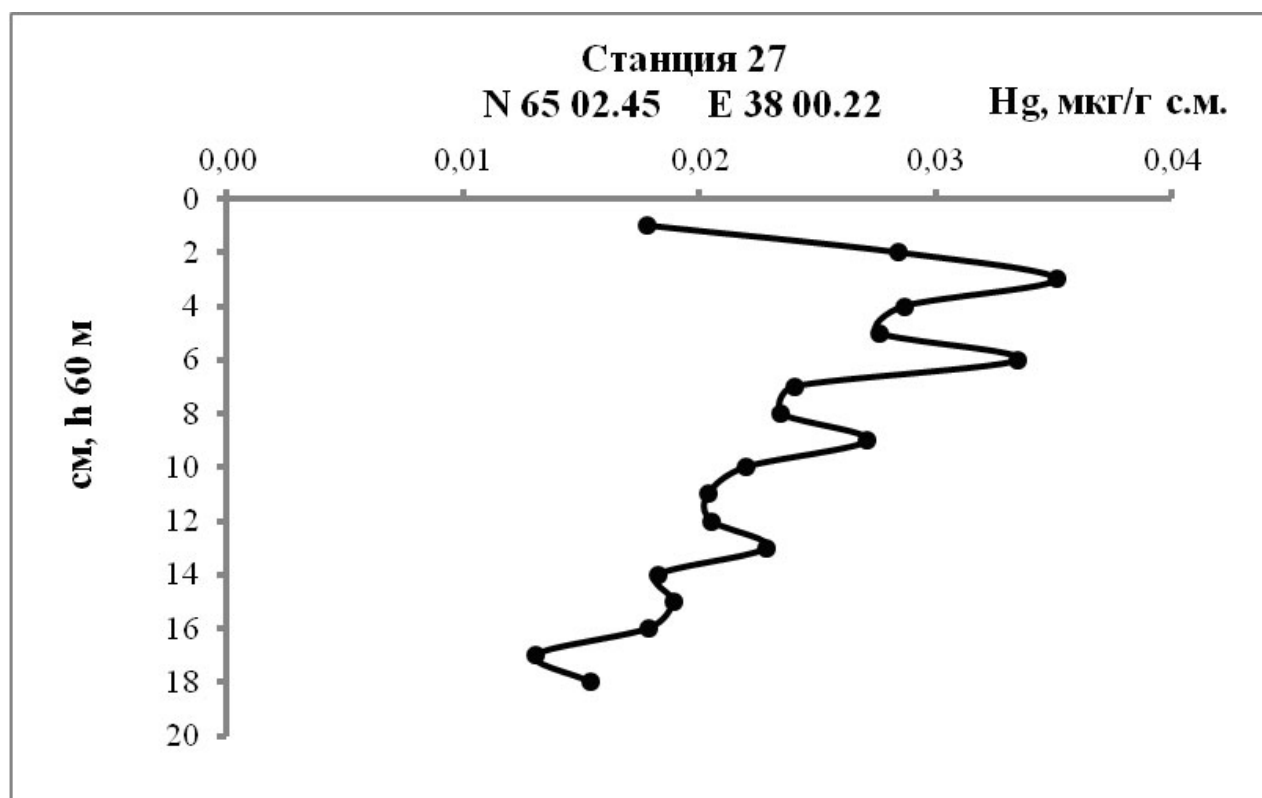


Рис. 2 — Содержание валовой формы ртути в донных осадках станции № 27

Видно, что кривая изменения концентраций ртути с глубиной подобно графику предыдущей станции. Здесь также отмечается увеличение концентраций от поверхности донных осадков до горизонта 2 см, где выявлено максимальное для данной станции содержание ртути (0.035 мкг/г с.м.) и дальнейшее уменьшение содержания ртути с глубиной. На глубине порядка 4 см отмечен всплеск повышенных концентрации ртути. Затем наблюдается чередование пиков повышенных и пониженных концентраций ртути. Состав донных отложений здесь разнообразен: в интервале 0,0–1.0 см спорадически развита тонкая прослойка окисленного глинистого наилка, которая сменяется (1.0–6.0 см) сначала на глинистые алевриты, а затем — к подошве — на обогащенные гидротороилитом глинистые алевриты. Оценивая влияние антропогенной деятельности (в период с 1914 г. до середины 90-х гг. прошлого века), выскажем предположение,

что оно четко отслеживается в интервале глубин 1.0–7.0 см. Выявленный ниже всплеск концентраций в большей мере связан с природным фактором — наличием гидротроилита (до 10% объема осадка). Коридор значений естественного фона здесь может быть обозначен в пределах 0.015–0.025 мкг/г с.м.

Станция 20 расположена в северной части бассейна Белого моря, осадки взяты с глубины 81 м, мощность колонки составила 34.5 см. Содержание ртути колебалось в пределах 0.012–0.095, в среднем составив 0.024 мкг/г с.м. (рис. 3).

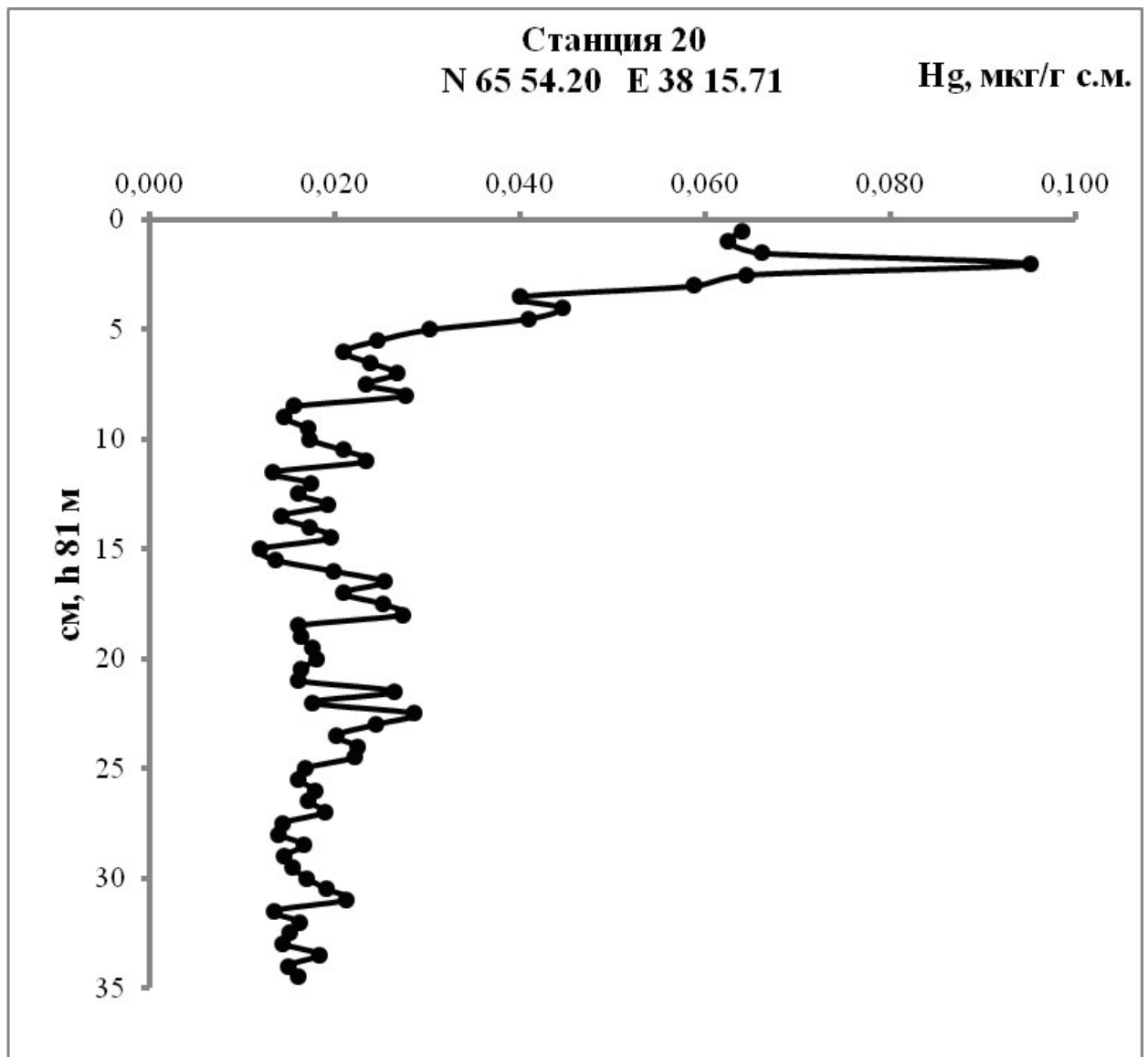


Рис. 3 — Содержание валовой формы ртути в донных осадках станции № 20

Наибольшее содержание валовой ртути приурочено к глубине 2 см, составляет 0.095 мкг/г с. м. и является максимальным для всей выборки данных. Вниз по разрезу наблюдается уменьшение содержания ртути с глубиной, некоторые скачки концентраций приурочены к глубинам 7–8, 11, 18, 22 см.

В целом при анализе распределения ртути по разрезу донных осадков следует отметить, что оно очень неравномерно. Однако общая тенденция к уменьшению содержания ртути с глубиной сохраняется. Относительно низкие концентрации отмечены в слое 0.0–1.5 см. В нижележащем горизонте 1.5–2.5 см происходит резкое возрастание концентраций до максимальных значений, минимальные приурочены к нижним слоям колонки. Пиковые концентрации ртути отмечаются также в горизонте 7.5–10.0 см донных осадков. Отметим, что для данной станции характерна наибольшая разница между максимальным и минимальным значением концентраций (4.7 раза). Возможно, это связано с наибольшей удаленностью данной станции от воздействия промышленных выбросов различных предприятий, стока речных вод и транспортных путей, и основная доля накопившейся ртути поступила с атмосферным переносом воздушных масс в индустриальное время. Кроме того, эта станция расположена в северной части бассейна Белого моря, а точнее на юго-западе Горла Белого моря. Известно, что именно вдоль западных берегов Горла в котловину Белого моря поступают более соленые воды из Баренцева моря [5]. Возможно, формирование высоких концентраций 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.

Станция 4 расположена в центральном районе бассейна Белого моря, осадки отобраны с глубины 207 м, мощность разреза составила 15 см. Концентрации ртути колебались в пределах 0.014–0.05, в среднем составив 0.022 мкг/г с.м. (рис. 4).

Максимальное содержание ртути отмечается на глубине 1 см (0.05 мкг/г с.м.), далее идет снижение концентраций — до глубины 8.5 см, где наблю-

дается некоторое возрастание значений (0.027 мкг/г с.м.). Повышенные концентрации в горизонте 8.5 см вполне могут быть обусловлены высокой долей примесей здесь гидротроилита относительно всего разреза.

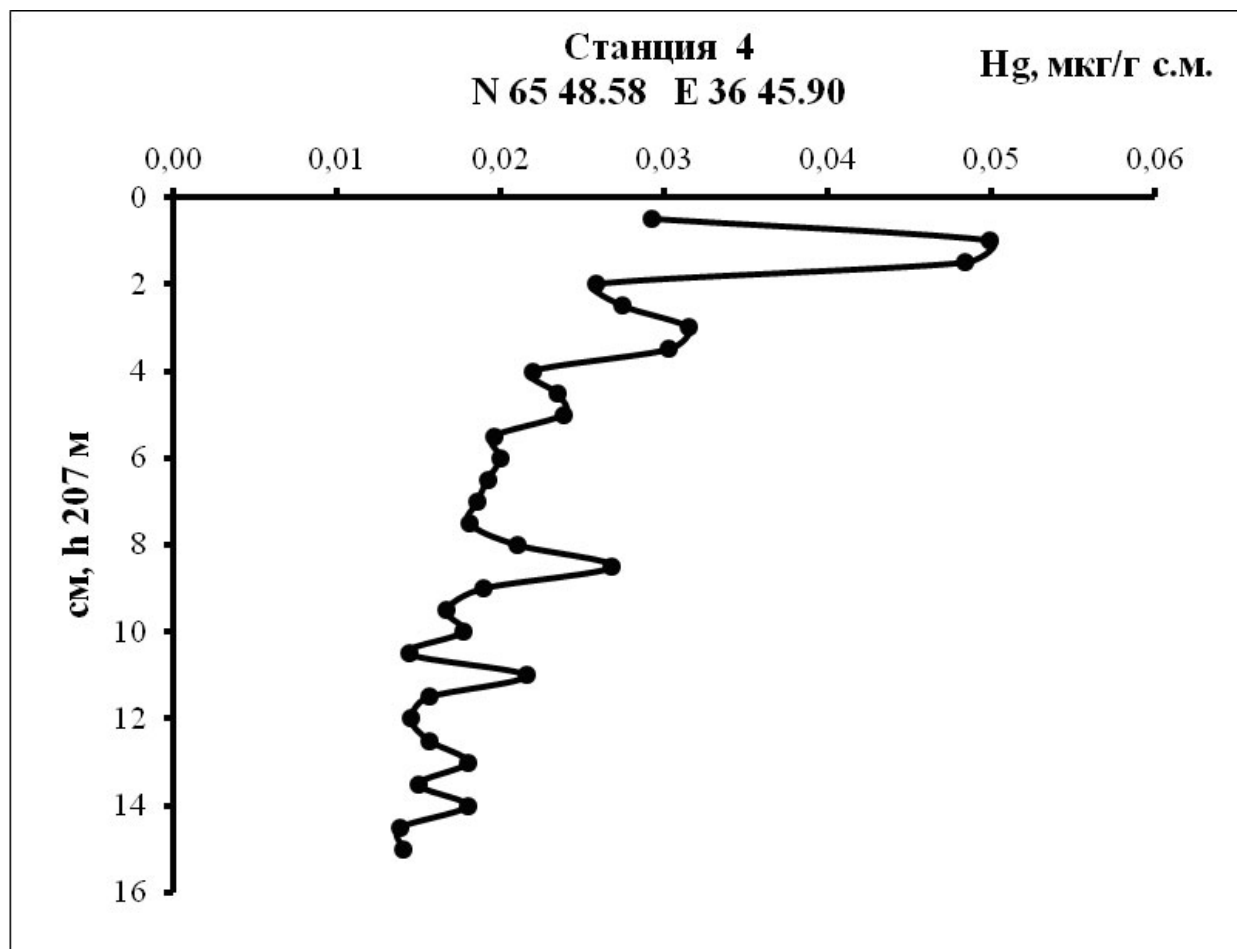


Рис. 4 — Содержание валовой формы ртути в донных осадках станции № 4

Станция 8 расположена в Кандалакшском заливе Белого моря, осадки отобраны с глубины 298 м. Длина вертикального разреза составила 20.5 см. Содержание ртути здесь колебалось в пределах 0.006–0.046, в среднем составив 0.029 мкг/г с.м. (рис. 5).

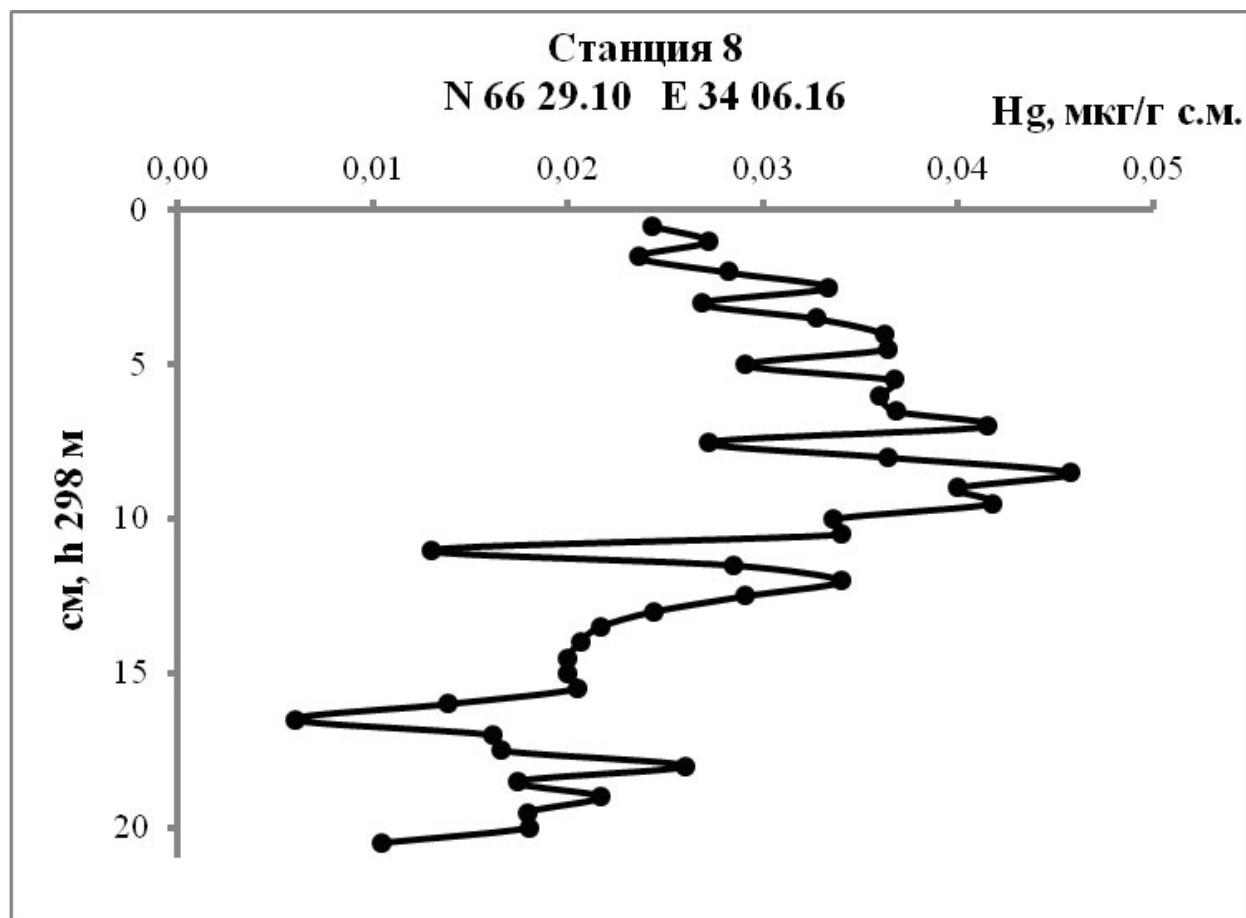


Рис. 5 — Содержание валовой формы ртути в донных осадках станции № 8

На этой станции, в отличие от других, отмечается монотонное возрастание концентраций ртути от поверхности до глубин 7.5–10.5 см. В слое 8.5 см оно достигает максимальных значений. Далее наблюдается скачкообразное снижение концентрации ртути.

Подобный характер изменения концентраций ртути резко отличается от остальных разрезов. Распределение ртути на графике можно назвать «перевернутым». Такое явление, по-видимому, является следствием перетолжения донных осадков по причине действия как природных, так и антропогенных факторов процессов. Среди природных процессов выделим сейсмическую активность, спорадически проявляющуюся в Кандалак-

шском заливе. В работе [9] представлено пространственно-временное распределение очагов ощутимых землетрясений Кандалакшской зоны. По мнению авторов, Кандалакшский грабен является структурой, в пределах ветвей которой происходит циклическая миграция очагов землетрясений, вследствие чего здесь создаются условия для формирования оползневых процессов. Добавим, что оползни могут быть также вызваны морозобойными ударами (морозное растрескивание грунтов и льда в водоемах). При растрескивании льда происходит его воздействие на борта залива, что по нашему мнению, может инициировать оползневые процессы.

Антропогенные причины формирования «перевернутого» разреза могут быть связаны также с имевшим здесь место углублением фарватера и строительством нефтебазы с использованием взрывов [4]. Эти действия, возможно, и привели к изменению сложившейся литологической обстановки. Произошло переотложение донных осадков, в результате чего они из нижних горизонтов были перемещены в верхние слои. Однозначно разделить влияние природных и антропогенных факторов и процессов не представляется возможным. Мы полагаем, что сползание загрязненных донных отложений в более глубокие районы залива было вызвано аддитивным воздействием на них как природных, так и антропогенных факторов и процессов. В настоящее время эти донные осадки оказались перекрыты более молодыми слоями, содержащими относительно низкие концентрации ртути.

Выводы

1. Концентрации ртути в донных осадках Белого моря изменяются в пределах 0.006–0.095, в среднем составляя 0.023 мкг/г с.м.
2. Для акватории Белого моря (за исключением Кандалакшского залива) выявлены следующие закономерности распределения ртути по вертикальному разрезу донных осадков:
 - a. скачкообразный характер изменения концентраций ртути с общей тенденцией к уменьшению с глубиной;
 - b. максимальные концентрации приурочены к горизонту 1.5–3.0 см донных осадков;

- c. для верхнего горизонта 0.0–1.5 см характерно наличие пониженных концентраций ртути, здесь наблюдается зона размыва отложений, окисления и резкая нижняя граница;
 - d. наличие второго пика концентраций на глубинах 7.5–10.0 см (в 2.5 раза меньше по сравнению с верхним горизонтом), связано с повышенным содержанием здесь сульфидов железа.
3. Впервые содержание ртути по разрезу донных осадков использовано в качестве индикатора проявления оползневых факторов и процессов в Белом море.
 4. Для донных отложений Кандалакшского залива выявлено и объяснено наличие «перевернутого разреза» — когда наиболее загрязненный ртутью слой в результате воздействия различных факторов оказался перезахоронен.
 5. Впервые для Белого моря установлены вариации природного фона концентраций ртути в пределах 0.01–0.03 мкг/г с.м. При этом за фоновое значение для экосистемы Белого моря была принята верхняя граница данного интервала значений, т. е. 0.03 мкг/г с.м.
 6. В целом на распределение концентраций ртути по разрезу донных осадков оказывают влияние как антропогенные, так и природные факторы. По мере удаления от устьевой области реки Северная Двина ее роль в поставке ртути в Белое море снижается, а значение глобального и регионального атмосферного массопереноса элемента — возрастает.
 7. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.А18.21.0641, грант Президента РФ НШ-5658.2013.5, проекта РФФИ (№ 12-05-00420)).

Список литературных источников

1. Вернадский В. И. Биосфера (избранные труды по биогеохимии). М.: Мысль, 1967. — 376с.
2. Общество: Международное соглашение по ртути было утверждено участниками переговоров ООН. 2013. URL: <http://www.dailyonline.ru/news/obschestvo/mezhdunarodnoe-soglashenie-po-rtuti-bylo-utverzhdde> (дата обращения: 20.03.2013).

3. Овсепян А. Э., Федоров Ю. А. Ртуть в устьевой области реки Северная Двина. Ростов-на-Дону — Москва: ЗАО «Ростиздат», 2011 г. — 198с.
4. Пересыпкин В. И., Романкевич Е. А. Биогеохимия лигнина. М.: ГЕОС, 2010. — 340с.
5. Система Белого моря. Том I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Научный мир, 2010. — 480с.
6. 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.
7. Федоров Ю. А., Овсепян А. Э., Коробов В. Б., Доценко 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.
8. Федоров Ю. А., Овсепян А. Э., Лисицын А. П., Доценко И. В., Новигатский А. Н., Шевченко В. П. Закономерности распределения ртути в донных отложениях по разрезу река Северная Двина — Белое море //Доклады Академии Наук, 2011, том 436, №1. — С. 1—4.
9. Юдахин Ф. Н., Французов В. И. Сейсмичность акватории Белого моря и прилегающих территорий и закономерности ее проявления. В кн.: Система Белого моря. Природная среда водосбора Белого моря. Т. 1. М.: Научный мир, 2010. — С. 118—147.