

УДК 551.468.3+504.064

РТУТЬ В ДОННЫХ ОСАДКАХ АКВАТОРИИ И В УСТЬЯХ РЕК: КАЛИНИНГРАДСКИЙ ЗАЛИВ

Н.А. Богданов¹, Б.В. Ермолаев², О.В. Басс³, А.Н. Паранина⁴

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия

² Геологический институт РАН, Москва, Россия

³ Институт природопользования, территориального развития и градостроительства им. И. Канта, Калининград, Россия

⁴ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия



Исследовано распределение Hg в донных наносах устьев рек, на открытой акватории российского сектора Вислинской лагуны – в Калининградском заливе, и в изолированном от него островами одноименном морском канале. Установлено: от весны к осени активизация штормов и сгонно-нагонных явлений в лагуне, усиление промывного режима русел обеспечивают в устьях рек существенное снижение, а в динамически ослабленных условиях канала – увеличение количества Hg, которое за прошедшие 20 лет возросло с 0,023 до 0,082 мг/кг. Однако безопасный уровень содержания Hg (0,3 мг/кг) за период 2000–2019 гг. в обследованных водных объектах еще не превышен максимальными концентрациями металла (до 0,261 мг/кг).

Ключевые слова: ртуть, методы определения, изменчивость содержания, донные осадки, Калининградский залив.

Введение

Важность контроля в биосфере такого опасного токсиканта, как *ртуть* трудно переоценить. Особенно актуален мониторинг в динамически неоднородных зонах открытой акватории внутренних, пограничных с другими странами, ресурсозначимых водоемов и в устьях впадающих рек. Донные отложения как депонирующая среда являются важным индикатором долговременного экологического состояния водного объекта. Примером служит Калининградский залив или российский сектор Вислинской лагуны, отчлененной от Балтийского моря одноименной пересыпью (Балтийская коса – в России).

Государственная сеть контроля качества поверхностных вод суши в Калининградской области охватывает всего лишь 13 пунктов (18 створов). Гидрохимический мониторинг акватории залива отсутствует с 1989 г. Ежемесячные рейдовые полуночные наблюдения проводились литовским отделением Госкомгидромет СССР в эстуарии Калининградского залива и в бухте Приморской на 15 фиксированных станциях контроля. Качество состояния донных отложений не оценивалось. В последние десятилетия оценки загрязнения российского сектора лагуны носят фрагментарный характер (по продолжительности, периодичности измерений и площади обследования). Они проводятся с разными целями различными организациями (2000–2015 гг.: АтлантНИРО, ГеоГидроБалт (Калининград), Эколого-аналитический центр (Москва), ЦЭИ-ЭНЕРГО (Санкт-Петербург) и др.). Результаты оценок не передаются в Мировой центр океанографических данных (г. Обнинск) и малодоступны для широкого круга исследователей [Богданов, Басс, Воронцов, 2019].

Изменчивость концентраций ЗВ в донных наносах водоема исследована слабо [Экологические..., 1999, 2002; Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Об экологической..., 2018; Богданов, 2018; Янин, 2018; Bogdanov, 2018 и др.].

Цель работы – диагностика тенденций, опасности накопления и оценка достоверности методов определения *ртути* в донных осадках динамически разнородных участков акватории и в аллювии устьев рек, впадающих в Калининградский залив (рис. 1).

Мелководный (глубины до 5,5 м) Калининградский залив включает акватории: на СВ – эстуарная часть с палеоруслом и дельтой р. Преголя, Калининградским морским каналом (КМК, отделен от северных берегов залива искусственными намывными островами); на С – бухта Приморская; центральная и южная части – собственно лагуна (от г. Балтийск до Польши). Прибрежное пологоволнистое дно сложено лагунными средне- и мелкозернистыми кварцполевошпатовыми песками с незначительной примесью тяжелых минералов (монацит, циркон, апатит); с глубин 2–3 м дно переходит в плоскую поверхность, по оси которой прослеживается прорезь старого фарватера. С ростом глубины донные осадки замещаются заиленными (до 15–35%) обводненными (до 62%) алевритоглинистыми осадками темно-серого и черного цвета творожистой консистенции с включениями обломков и створок раковин моллюсков и с характерным запахом H_2S (восстановительные гидрохимические условия). Исследованы донные наносы: слой 0–0,1 м; мелко- и тонкозернистые пески, примеси гравия, алеврита, пелита; темноцветные илы с запахом H_2S ; устья основных рек (Мамоновка, Прохладная, Преголя, Гравевка, Нельма, Приморская); участки КМК (станции

№ 7, 8), а также в Приморской (напротив станции № 6) г. Светлый). Время обследований – летние периоды и эстуария залива (сектор между пос. Ушаково и 2000, 2001, 2015 и 2019 гг. (рис. 1, таблица).



Рис. 1. Станции отбора проб донных наносов: устья рек и КМК

Fig. 1. Sediment sampling stations: river mouths and KSC

Таблица

Условия седиментации, многолетняя и сезонная изменчивость и методы определения Hg в донных осадках устьев рек Прохладной, Граевки и в КМК

Table

Sedimentation conditions, long-term and seasonal variability, and methods for determining Hg in bottom sediments of the mouths of the rivers Prokhladnaya, Graevka, and KSC

Объект		Отбор проб		Hg, мг/кг	Метод	Состав наносов	Динамические условия седиментации (рис. 2)
		№ станции	год.месяц				
р. Прохладная		2	2000.06	0,016	ААС	Пески мелко- и тонкозернистые	Открытая акватория залива: входящий угол мола у пос. Ушаково, значительные сгонно-нагонные явления
			2001.06	0,010			
КМК, субширот- ный участок: по- селки Ижевское – Взморье	р. Граевка	4	2000.06	0,011 0,023	ААС	Пески мелкозерни- стые, примеси средне- и тонкозер- нистых частиц	Незначительные сгонно- нагонные явления; дина- мически ослабленная зона циркуляций в бухтах; пароходная волна, взму- чивание донных наносов турбулентциями от работы винтов плавсредств; пре- имущественный перенос вещества, энергии и ЗВ к востоку – в сторону устья р. Преголи
	пос. Ижевское: ниже устья р. Граевка, судовой ход, причалы	7	2000.08	0,077 0,136	ААС	Пески мелко- и тон- козернистые, приме- си черных творожи- стых илисто- глинистых осадков с запахом H ₂ S	
			2001.06	0,133			
	пос. Взморье: вдоль берега, причалы, су- довой ход	8	2000.08	0,023 0,096			
				0,008– 0,136			
			2015.11 (6 проб)	0,015– 0,216			
Фон			2000.06 2019.06	0,023– 0,082	Участки рек Деймы и Преголи, удаленные от крупных промышленных объектов и селитьбы		
Целевой безопасный уровень концентрации				0,3	Рекомендации и ориентировочные оценки эколого- гигиенической опасности для человека и экосистем: гол- ландские списки ЗВ, региональный норматив [Нормы..., 1996; СП 11-102-97..., 1997; Бессонов, Янин, 2005; Bakk et al., 2010; Bogdanov, 2018]		
Минимально опасная концентрация с токсикологиче- скими рисками (срочная ремедиация)				10			

Примечание. ААС – атомно-абсорбционная спектрометрия.

Note. AAC – atomic absorption spectrometry.

Методы

Пробы донных осадков отбирались с борта маломерных плавсредств песчано-галечным стругом, грунтовой трубкой, грейферным дночерпателем (объем 5 л) согласно требованиям ПНД Ф 12.1:2.2:2.2.3:3.2-03 Методические рекомендации по отбору проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод. Москва 2014. Поскольку толщина донных отложений в заливе не превышает 0,5 м, точечные пробы отбирались в одном слое. Пробы массой не менее 500 см³ помещали в пластиковую емкость с пробкой. Далее пробы хранились в холодильнике. На стационарной базе пробы сушились при комнатной температуре в затемненных условиях. После перемешивания образцы ситовались через сито 1 мм. Готовая навеска пробы массой 100 г паковалась в пластиковые пакеты с замком. Пробоподготовка и определения *Hg* выполнены аккредитованными лабораториями по метрологически аттестованным, но разным по точности методикам: а) высокочувствительная непламенная атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) с применением техники «холодного пара» (2019 г., прибор «Юлия-5К» с пределом обнаружения (ПО) 0,005 мг/г); б) использование модифицированной схемы эффекта Зеемана и спектрометров «ИМГРЭ-900» (2000–2001 гг.), «РА-915+» (2015 г.). ПО = 0,001–0,005 мг/кг (2015 г.).

Официально утвержденные гигиенические или рыбохозяйственные нормативы содержания ЗВ в донных отложениях поверхностных водных объектов в пределах населенных мест в России отсутствуют. Ориентировочная диагностика эколого-гигиенической опасности накопления *Hg* осуществлена сравнением результатов определений с *фоновым* содержанием и *пороговыми уровнями* опасных концентраций: отечественный региональный и норвежский нормативы, голландские списки ЗВ (таблица) [Нормы..., 1996; СП 11-102-97..., 1997; Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Бессонов, Янин, 2005; Волох, Янин, 2005; Богданов, 2018; Bak et al., 2010; Bogdanov, 2018].

Результаты и обсуждение

Опасность накопления. Ртуть и ее соединения постоянно присутствуют в окружающей среде и в живых организмах [Лыжина и др., 2012; Kaim, Schwederski, 1994]. Они представляют собой высокотоксичные кумулятивные яды (токсиканты), поражающие жизненно важные органы и системы человека (кровенворная, ферментативная, нервная, почки) [Янин, 2005; Noelle, Selin, Elsie, 2010]. Метилированная форма ртути хорошо растворима в жирах и легко проникает сквозь биологические мем-

браны, плаценту, отрицательно воздействует на эмбрион и плод [Clarkson, Magos, 2006]. Поступившая в организм из окружающей среды ртуть накапливается преимущественно в крови, печени, почках, головном мозге и очень медленно выводится из организма. Острое отравление соединениями ртути приводит к летальному исходу уже через 5–6 дней. Недельная безопасная доза поступления общей ртути составляет 5 мкг на килограмм массы человеческого тела (метилртуть – 3,3 мкг/кг); токсическое действие возникает при поступлении 0,4 мг/сут (нормы установлены ФАО и ВОЗ). Основное воздействие связано с парами ртути и поступлением с продуктами питания, питьевой водой [Янин, 2005]. Так, вода и донные наносы, загрязненные ртутью и поглощаемые аквафлорой, бентосом и рыбами, по трофическим цепям попадают в организм человека, угрожая жизни и здоровью людей [Горбунов, Ляпунов, Ермолаев, 2019].

Источники *Hg*: разного рода твердые, жидкие, газообразные отходы; разливы на грунт и в водные объекты *Hg*-содержащих веществ на объектах промышленности, транспорта, сельского хозяйства, селитбы; выбросы установок по сжиганию топлива; трансграничные переносы ЗВ и др. Вторичная контаминация связана со взмучиванием и перераспределением загрязненных донных наносов плавсредствами [Экологические..., 1999, 2002; Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Бессонов, Янин, 2005; Богданов, 2018; Об экологической..., 2018; Bogdanov, 2018].

Условия и факторы накопления-рассеяния *Hg*. К основным из них, помимо наличия и особенностей функционирования источников, относятся гидрометеорологические и литодинамические условия: ветровой режим, сгонно-нагонные явления, прибрежная динамика вод и наносов, сорбционная способность донных осадков и взвесей; сезонные колебания водности рек и др. (рис. 2, таблица).

Обстановка для самоочищения рассматриваемых объектов становится благоприятной в осенне-зимний период, когда водность рек увеличивается, а прибрежная гидро- и литодинамика усиливается. Максимальные отметки уровня воды в заливе приходятся на сентябрь–февраль (>80% случаев; до +180 см 3–4.12.1999 г. при 3 и ЮЗ ветрах и –136 см 20.10.1989 г., В и СВ ветры). Энергетический потенциал морфо- и литодинамических процессов у берегов и в устьях рек на открытой акватории лагуны на несколько порядков выше, чем в КМК. На субширотном участке морского канала характерно формирование динамически застойных зон слабых циркуляций вод, наносов и накопления ЗВ (устье р. Граевка, бухты у поселков Ижевское, Взморье).

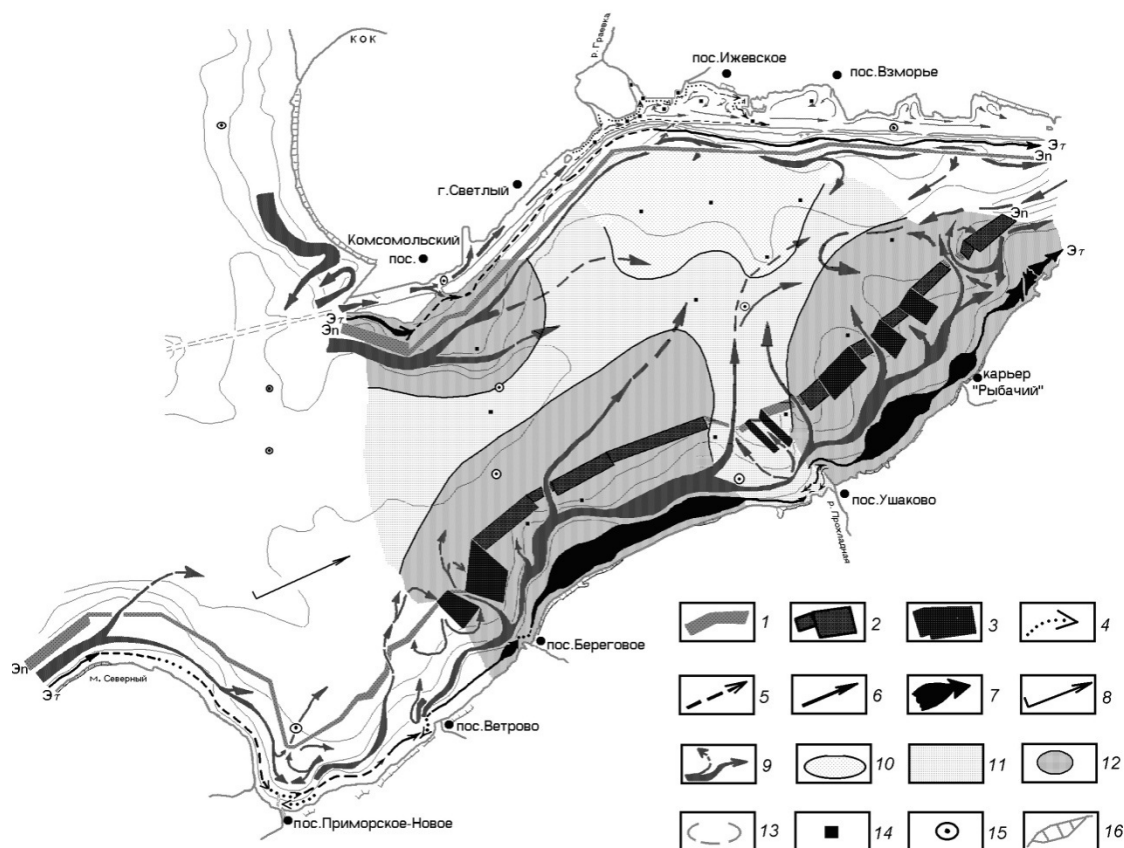


Рис. 2. Гидро- и литодинамика эстуария Калининградского залива [Богданов, Воронцов, Морозова, 2004]

Потоки волновой энергии, Т/с: 1, 2 и 3 – поперечные к берегу, $\Sigma_n = 1-500$, 501–1000 и 1001–1496 соответственно; 4, 5, 6 и 7 – вдольбереговые, $\Sigma_\tau = 0,01-1,1$; 1,2–10; 11–50 и 51–104 соответственно; 8 – результирующая ветра направлением 242° повторяемостью 62% за период отбора проб соответствовала среднемуголетним параметрам (метеостанция «Калининград»); 9 – преобладающий перенос воды, взвесей и ЗВ; 10, 11 и 12 – взвешенные вещества, мг/л: 12–50, 51–100 и 101–231 соответственно; 13 – рельеф дна; 14–15 – точки отбора проб; 16 – уступы размыва берега

Fig. 2. Hydro- and lithodynamics of the estuary of the Kaliningrad Gulf [Bogdanov, Vorontsov, Morozova, 2004]

Wave energy fluxes, T/s: 1, 2 and 3 – transverse to the shore, $\Sigma_n = 1-500$, 501–1000 and 1001–1496 respectively; 4, 5, 6 and 7 – along-shore, $\Sigma_\tau = 0,01-1,1$; 1,2–10; 11–50 and 51–104 respectively; 8 – the resulting wind direction of 242° with a repeatability of 62% for the sampling period corresponded to long-term average parameters (Kaliningrad weather station); 9 – the predominant transfer of water, suspensions and pollutants; 10, 11 and 12 – suspended solids, mg / l: 12–50, 51–100 and 101–231 respectively; 13 – bottom topography, 14–15 – sampling points; 16 – edges of erosion of the shore

Аналогичные особенности динамики характерны и для прилегающей к КМК северной части открытой акватории эстуария залива (рис. 2) [Богданов, Воронцов, Морозова, 2004; Экологические..., 1999; 2002].

Именно сезонным особенностям прибрежной динамики принимающего водоема, колебаниям водности и промывного режима русел впадающих водотоков принадлежит контролирующая роль в изменчивости концентраций ЗВ и Hg в донных наносах [Богданов, Басс, Воронцов, 2019].

Нормирование накопления ртути. В отечественном региональном нормативе [Нормы..., 1996; СП 11-102-97..., 1997] и в голландском списке ЗВ [Бессонов, Янин, 2005] уровни опасности практически совпадают, соответственно: $<0,3$ мг/кг – целевой уровень, не загрязненные донные отложения; 10 и

11,1 мг/кг – уровень вмешательства или опасное загрязнение. В норвежской системе нормирования – более жесткий подход к ранжированию уровней загрязнения: $<0,15$ мг/кг – фон; 0,15–0,63 мг/кг – удовлетворительный; 0,63–0,86 мг/кг – умеренный; 0,86–2 мг/кг – опасный («плохо», в исходной транскрипции) и $>1,6$ мг/кг – очень опасный («очень плохо») [Bakk et al., 2010].

Изменчивость содержания, тенденции и опасность накопления. В условиях осенне-зимней активизации сгонно-нагонных и волноприбойных явлений в устьях рек, впадающих в открытую акваторию лагуны, аллювий очищается от ЗВ. В нашем случае – от Hg.

В донных осадках бухт субширотного участка КМК превышение опасных уровней концентрации

Hg не зафиксировано (метод измерений – ААС) ни в 2000–2001 гг., ни в 2015 г., а в районе порта г. Светлый летом 2019 г. концентрации ртути снизились до 0,009 мг/кг против 0,140 мг/кг летом 2000 г. Наиболее вероятными причинами тому могут быть условия активного режима судоходства, периодические ремонтные дночерпания на фарватере по поддержанию рабочих глубин судового хода морского канала.

За период 2000–2019 гг. (методы определения – одинаковые: ААС) нами все же отмечены увеличения содержания, мг/кг: фон – в 3,6 раза (аллювий р. Дейма: с 0,023 до 0,082); в северном динамически застойном секторе эстуария залива – до 1,7 раза (с 0,090 до 0,155); по южной, динамически активной прибрежной зоне его акватории – до 1,4 (с 0,050 до 0,070). Незначительные накопления, сравнимые с ошибками определений (на величины 0,001–0,004 мг/кг), – по оси главного фарватера эстуария (зона противотечения со стороны устья р. Преголи).

Содержание Hg, определяемое методом ААС («холодного пара») с использованием ртутных анализаторов, было сравнимо между собой за разные годы в точках контроля, что свидетельствует об адекватности методов определения. Максимальных концентраций за рассматриваемый период контроля в рамках *удовлетворительных* условий *слабого загрязнения* достигло содержание ртути в осадках динамически застойных зон КМК, эстуария и в бухте Приморской (0,261, 0,155 и 0,252 мг/кг соответственно).

Экологическая обстановка по Hg в донных отложениях региона остается достаточно благополучной. Целевой уровень 0,3 мг/кг пока не превышен. Опасения вызывает возрастание за прошедшие 20 лет

концентраций ртути как на *фоне*, так и в *эстуарии* залива.

Заключение

В отношении изменчивости содержания Hg в аллювии устьев рек бассейна Вислинской лагуны можно выделить основные причины: открытость / изолированность принимающей акватории; сезонность гидрометеорологических, волно-энергетических и сгонно-нагонных явлений; водность и промывной режим русел рек. Осенне-зимняя активизация этих природных факторов обуславливает самоочищение аллювия в устьях рек открытых берегов лагуны.

Динамически ослабленные условия на участках акватории при значительном скоплении источников ЗВ способствуют современному накоплению Hg. Однако количество ее в донных наносах за период 2000–2019 гг. было ниже опасных пороговых уровней концентрации. Лишь в отдельных местах за последние 20 лет накопление ртути в донных осадках достигло *слабого уровня загрязнения*, но в пределах *целевого порога* – 0,3 мг/кг. Экологическая опасность на данном этапе накопления металла пока отсутствует.

Окончательное выяснение причин такого рода изменчивости и достоверности количества *ртути* в донных осадках требует проведения дополнительных исследований функционирования источников и условий накопления *ртути* с применением высокочувствительных методов анализа.

Работа выполнена по теме ГЗ № 0148-2019-0005, № АААА-А19-119021990091-4.

ЛИТЕРАТУРА

- Бессонов В.В., Янин Е.П. Способы оценки и ремедиации загрязненных ртутью городских почв // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. М. : ИМГРЭ, 2005. С. 160–180.
- Богданов Н.А. Международный форум Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды: ключевые направления и основные итоги – 2017 // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 1 (43). С. 107–123.
- Богданов Н.А., Басс О.В., Воронцов А.В. Гидро- и литодинамический контроль химического загрязнения внутренних водоемов: Калининградский залив // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 1 (49). С. 14–39.
- Богданов Н.А., Воронцов А.А., Морозова Л.Н. Тенденции химического загрязнения и динамика Калининградского залива // Водные ресурсы. 2004. № 5 (31). С. 576–590.
- Волох А.А., Янин Е.П. Выявление техногенных аномалий ртути в реках с использованием термического атомно-абсорбционного анализа // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. М. : ИМГРЭ, 2005. С. 126–133.
- Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Ермолаев Б.В. Распределение ртути в природных и урбанизированных средах Карелии (DOI: 10.33396 / 1728-0869) // Экология человека. 2019. № 4. С. 10–17.
- Лыжина А.В., Бузинов Р.В., Унгурану Т.Н., Гудков А.Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.
- Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив // Разработан ОАО «Ленморниипроект» по заказу Управления по охране окружающей среды мэрии Санкт-Петербурга. Введен в действие 22 июля 1996 г.
- Об экологической обстановке в Калининградской области в 2017 году: Государственный доклад. Калининград : Министерство природных ресурсов и экологии Калининград. обл., 2018. 201 с.
- ПНД Ф 12.1:2.2:2.2.3:2-03. Методические рекомендации по отбору проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод. М., 2014.

- СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. 66 с.
- Экологические проблемы Калининградской области и Юго-Восточной Балтики. Калининград : КГУ, 1999. 104 с.
- Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона. Калининград : КГУ, 2002. 230 с.
- Янин Е.П. Ртуть в России: ресурсы, производство, потребление // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики : сб. науч. трудов. М. : ИМГРЭ, 2005. С. 5–34.
- Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М. : НП АРСО, 2018. 415 с.
- Bakk T., Kallqvist T., Ruus A., Hylland K., Breedveld G. Development of sediment quality criteria in Norway // J. Soils Sediments. 2010. V. 10 (2). P. 172–178. DOI: 10.1007/s11368-009-0173-v
- Bogdanov N.A. Heavy metals in soils as indicator of sanitary state of territories: monitoring of the south of Astrakhan region // J. of Health and Environ. Research. 2018. V. 4 (4). P. 119–129. DOI: 10.11648/j.jher.20180404.11.
- Clarkson T.W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // Crit. Rev. Toxicol. 2006. V. 36. P. 609–620.
- Kaim W., Schwederski B. Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life. Chichester : John Wile and Sons, 1994, 401 p.
- Selin N.E., Sunderland E.M., Knightes C.D., Mason R.P. Sources of Mercury Exposure for U. S. Seafood Consumers: Implications for Policy // Environ Health Perspect. 2010. Jan. V. 118 (1). P. 137–143.

Авторы:

Богданов Николай Александрович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоморфологии, Институт Географии РАН, Москва, Россия.

E-mail: nabog@inbox.ru

Ермолаев Борис Владимирович, научный сотрудник, лаборатория химико-аналитических исследований, Геологический институт РАН, Москва, Россия.

E-mail: ermolaev-bv@mail.ru

Басс Олег Васильевич, кандидат географических наук, доцент, Институт природопользования, территориального развития и градостроительства им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: o.bass@mail.ru

Паранина Алина Николаевна, кандидат географических наук, доцент, кафедра физической географии и природопользования, факультет географии, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: galina_paranina@mail.ru

Geosphere Research, 2020, 2, 76–82. DOI: 10.17223/25421379/15/6

N.A. Bogdanov¹, B.V. Ermolaev², O.V. Bass³, A.N. Paranina⁴

¹ *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *Geological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³ *Institute of Nature Management, Territorial Development and Urban Planning. I. Kant, Kaliningrad, Russia*

⁴ *Herzen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia*

MERCURY IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE SHIP CHANNEL AND RIVER MOUTHS: THE VISTULA LAGOON

The control of mercury in the biosphere is of lasting importance, as it is a toxicant of the first hazard class. Bottom sediments, as a depositing medium, are an important indicator of the long-term ecological state of a water body. In Russia, the hygienic standards for the content of pollutants in bottom sediments of surface water bodies within populated areas have not been approved. To diagnose Hg accumulation, we used comparisons of our results with the background content and threshold levels of hazardous concentrations. These are the domestic regional and Norwegian standards, the Dutch lists of pollutants.

The distribution of mercury in bottom silt-pelitic and fine and fine-grained sands of dynamically heterogeneous zones of the Kaliningrad Gulf, in the Kaliningrad Sea Canal (KSC) is related to the open water area and in river mouths that flow into this Russian sector of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea, was investigated. Peculiarities of accumulation - mercury scattering are traced for the period 2000–2019. Hg determinations were carried out by accredited laboratories using metrologically certified, but different in accuracy methods: 1) highly sensitive flameless atomic absorption spectrometry (AAS) using the “cold steam” technique (Julia-5K instrument with a detection limit of 0.005 mg/g), 2) using a modified scheme of the Zeeman effect and mercury spectrometers (detection limits Hg = 0.001–0.005 mg/kg).

It has been established: from spring to autumn, the activation of storms and surges in the lagoon, the strengthening of the leaching regime of the channels provide a significant decrease in river mouths, and in the dynamically weakened conditions of the Kaliningrad Sea Canal, an increase in the amount of mercury. The use of the IVA method has led to significant overestimation of the mercury content. In bays of the navigable sea channel, in dynamically problematic areas of the estuary of the gulf and the Primorskaya Bay, and also against the background (alluvium of the Daima River) over a 20-year period, metal accumulated in bottom sediments (up to 0.155–0.261 mg/kg; determination method - AAS). Against the background, the concentration increased by 3.6 times (from 0.023 to 0.082 mg/kg). In the dynamically weakened and active zones of the estuary – 1.7 and 1.4 times, respectively (from 0.90 to 0.155 mg/kg and from 0.050 to 0.070 mg/kg, respectively). The process ensured a transition from predominantly background accumulation of mercury (<0.15 mg/kg) to satisfactory conditions of a weak level of their pollution with the toxicant of bottom sediments. However, the safe target level of Hg = 0.3 mg/kg is still not exceeded and the current environmental and epidemiological situation regarding the mercury content in the component of surface water bodies that deposit pollutants in the region can be considered successful.

Comparison of the results of mercury determinations by different methods indicates the inadmissibility of using low-sensitivity analysis methods for this purpose (inversion voltammetry). The indisputable priority in analytics belongs to the high-precision method of atomic absorption spectrometry using the technique of “cold vapor” and mercury spectrometers.

Keywords: mercury, variability, alluvium, bottom sediments, Vistula lagoon.

References

- Bessonov V.V., Yanin E.P. *Sposoby otsenki i remediatsii zagraznennykh rtsut'yu gorodskikh pochv* [Mercury. Methods for assessment and remediation of mercury-contaminated urban soils] // *Rtut'*. Problemy geohimii i ekologii, analitiki. Moscow: «IMGRE», 2005. pp. 160–180. In Russian
- Bogdanov N.A. *Mezhdunarodnyy Forum Nauchnogo soveta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiyene okruzhayushchey sredy: klyuchevyye napravleniya i osnovnyye itogi – 2017*. [International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on human ecology and environmental hygiene: key areas and main results] // *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2018a. № 1(43). pp. 107–123. In Russian
- Bogdanov N.A., Bass O.V. *Izmenchivost' soderzhaniya rtuti v donnykh otlozheniyakh ust'yev rek basseyna Vislinskoy laguny i v Kaliningradskom morskoy kanale* [Variability of mercury content in bottom sediments of the mouths of the rivers of the basin of the Vistula lagoon and Kaliningrad sea channel] // *Geografiya: razvitiyenuki i obrazovaniya*. T. 2 / by Ed. S.I. Bogdanov, D.A. Subetto, A.N. Paranina. St. Petersburg: «RSPU of name A.I. Herzen publishing house», 2019. pp. 43–49. In Russian
- Bogdanov N.A., Bass O.V., Vorontsov A.A. *Gidro- i litodinamicheskii kontrol' khimicheskogo zagryazneniya vnutrennikh vodoyemov: Kaliningradskiy zaliv* [Hydro- and lithodynamic control of chemical pollution of inland waters: Kaliningrad Bay] // *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2019. № 1(49) pp. 14–39. In Russian
- Bogdanov N.A., Vorontsov A.A., Morozova L.N. *Tendentsii khimicheskogo zagryazneniya dinamika i Kaliningradskogo zaliva* [Trends of chemical pollution and the dynamics of the Vistula Lagoon] // *Vodnyy resursy*. 2004. № 5(31). pp. 576–590. In Russian
- Volokh A.A., Yanin E.P. 2005. Detection of man-made anomalies of mercury in rivers using thermal atomic absorption analysis // *Rtut'*. Problemy geohimii, ekologii, analitiki. Moscow: «IMGRE», 2005. pp. 126–133. In Russian
- Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Ermolaev B.V. *Raspredeleniye rtuti v prirodnykh i urbanizirovannykh sredakh Karelii. Severo-Zapad Rossii* [Distribution of Mercury in Natural and Urban Environments of Karelia, Northwest Russia]. *Ekologiyacheloveka*. 2019. № 4. pp. 10–17. In Russian
- Lyzhina A.V., Buzinov R.V., Unguryanu T.N., Gudkov A.B. *Khimicheskoye zagryazneniye produktov pitaniya i ego vliyaniye na zdorov'ye naseleniya Arkhangel'skoy oblasti* [Chemical contamination of food and its impact on the health of the population of the Arkhangelsk region] // *Ekologiya cheloveka*. 2012. № 12. pp. 3–9. In Russian
- Normy i kriterii otsenki zagryaznenosti donnykh otlozheniy v vodnykh ob'yektakh Sankt-Peterburga. Regional'nyy normative* [Norms and criteria for assessing the pollution of bottom sediments in water bodies of St. Petersburg. Regional standard] // Developed by «Lenmorniproekt» OJSC by order of the Department of Environmental Protection of St. Petersburg City Hall. Effective July 22, 1996. In Russian
- Ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2017 godu: Gosudarstvennyy doklad* [On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2017: State Report]. Kaliningrad: «Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad Region», 2018. 201 p. In Russian
- SP 11-102-97. Inzhenerno-ekologicheskoye izyskaniya dlya stroitel'stva* [SP 11-102-97. Engineering and environmental surveys for construction]. Moscow: «PNIIS Gosstroy of Russia», 1997. 66 p. In Russian
- Ekologicheskoye problem Kaliningradskoy oblasti i Yugo-Vostochnoy Baltiki* [Environmental problems of the Kaliningrad region and the South-Eastern Baltic]. Kaliningrad: «KSU publishing house». 1999. 230 p. In Russian
- Ekologicheskoye problemy Kaliningradskoy oblasti i Baltiyskogo regiona* [Environmental problems of the Kaliningrad region and the Baltic region]. Kaliningrad: «KSU publishing house», 2002. 104 p. In Russian
- Yanin E.P. *Rtut' v Rossii: resursy, proizvodstvo, potrebleniye* [Mercury in Russia: Resources, Production, Consumption] // *Rtut'*. Problemy geohimii, ekologii, analitiki. Moscow: «IMGRE», 2005. pp. 5–34.
- Yanin E.P. *Tekhnogennyye rechnye ily (usloviya formirovaniya, veshchestvennyy sostav, geokhimicheskie osobennosti)* [Technogenic river silts (formation conditions, material composition, geochemical features), Moscow. NP ARSO, 2018. 415p. In Russian
- Bakk, T., Kallqvist, T., Ruus, A., Hylland, K., Breedveld, G. Development of sediment quality criteria in Norway. *J Soils Sediments*. 2010. V. 10(2). pp. 172–178. DOI: 10.1007/s11368-009-0173-v
- Bogdanov N.A. Heavy metals in soils as indicator of sanitary state of territories: monitoring of the south of Astrakhan region // *J. of Health and Environ. Research*. 2018b. № 4(4). pp. 119–129. DOI: 10.11648/j.jher.20180404.11
- Clarkson T. W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // *Crit. Rev. Toxicol.* 2006. V. 36. pp. 609–620.
- Kaim W., Schwederski B. *Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life*. Chichester: John Wiley and Sons, 1994, 401 p.
- Noelle E. Selin, Elsie M. Sunderland, Christopher D. Knightes, Robert P. Mason. Sources of Mercury Exposure for U. S. Seafood Consumers: Implications for Policy // *Environ Health Perspect.* 2010. Jan. V. 118 (1). pp. 137–143.
- PND f 12.1.2:2.2:2.3:3.2-03 (Guidelines for sampling soil, soil, sediment, silt, and sewage sludge. Moscow, 2014).

Author's:

Bogdanov Nikolay A., Dr. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of Geomorphology, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: nabog@inbox.ru

Ermolaev Boris V., Researcher, Laboratory of Chemical and Analytical Research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: ermolaev-bv@mail.ru

Bass Oleg V., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Institute of Nature Management, Territorial Development and Urban Planning. I. Kant, Kaliningrad, Russia.

E-mail: o.bass@mail.ru

Paranina Alina N., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Environmental Management, Faculty of Geography, Herzen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia.

E-mail: galina_paranina@mail.ru