

На правах рукописи



Аксентов Кирилл Игоревич

РТУТЬ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

25.00.28 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток – 2013

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Астахов Анатолий Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Зверева Валентина Павловна
(ДВГИ ДВО РАН)

доктор географических наук
Чупрынин Владимир Иванович
(ТИГ ДВО РАН)

Ведущая организация: ДВФУ (Владивосток)

Защита состоится «14» июня 2013 г. в 16:00 на заседании диссертационного совета Д005.017.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук по адресу: г. Владивосток, ул. Балтийская 43.

Факс: (4232) 31-25-73


E-mail: aksentov@poi.dvo.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Отзывы просим присылать в 2-х экземплярах с заверенной подписью по адресу: 690041 Владивосток, ул. Балтийская 43, ТОИ ДВО РАН, приемная

Автореферат разослан «14» мая 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук



Храпченков Федор Фомич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Изучение распределения ртути в морских экосистемах в настоящее время является актуальной задачей в связи с её значимостью как индикатора поступления эндогенных флюидов, как поискового критерия на рудные и углеводородные залежи, так и в качестве опасного глобального загрязнителя окружающей среды. В окружающей среде ртуть находится в ультранизких содержаниях. В земной коре ртуть концентрируется в рудных месторождениях полезных ископаемых, преимущественно сульфидных, также она присутствует в угле и нефти [Озерова, 1986; Сауков и др., 1972; Федорчук, 1986]. В условиях возрастающего техногенеза происходит перераспределение ртути в окружающей среде. В глобальном масштабе ртуть мигрирует в атмосферном воздухе, куда в свою очередь поступает из природных и антропогенных источников. Конечным пунктом миграции обычно являются донные осадки.

Переходная зона между континентом и океаном является важным звеном в процессе дифференциации и накопления вещества в океане. Эстуарии и дельты рек входят в первый глобальный уровень лавиной седиментации, где осаждаются до 90 % терригенного материала, выносимого реками [Лисицын, 1988]. В последние десятилетия человек начал заметно влиять на абиотическую составляющую прибрежной морской экосистемы [Айбулатов, 2005]. Донные осадки прибрежных районов морей и океанов являются основным накопителем загрязняющих веществ, образующихся в процессе жизнедеятельности человека. От их способности аккумулировать токсичные и загрязняющие вещества в устойчивой для данной среды форме зависит локализация загрязнения и самоочищение бассейнов. В некоторых случаях донные осадки используются для индикации и мониторинга загрязнения среды, так как они дают осредненную информацию о потоках загрязняющих веществ за длительный период [Астахов и др., 2000; Опекунов, 2005].

На побережье залива Петра Великого сосредоточена основная часть производства Приморского края, что привело к интенсивному антропогенному воздействию на его акваторию. В настоящее время анализ этого загрязнения, мониторинг и выявление основных его источников стал ещё более актуальным в связи с начавшимся новым этапом освоения юга Приморья. При этом ртуть, как токсичный элемент, определение которого в компонентах морских экосистем сейчас хорошо освоено, может стать одним из удобных критериев изучения антропогенного загрязнения.

Цель работы – выявить основные закономерности накопления ртути в донных осадках залива Петра Великого за последнее столетие.

При этом были поставлены и решались следующие задачи:

- определение пространственно-временных особенностей распределения ртути в донных осадках и факторов, влияющих на её поступление и накопление;
- определение доминирующих форм миграции и нахождения ртути в морской воде, атмосферном воздухе, донных осадках;
- оценка природного и антропогенного вклада в накопление ртути донными осадками за последнее столетие.

Научная новизна. Составлена схема распределения ртути в поверхностном слое донных осадков залива Петра Великого. Изучено содержание ртути в толще современных осадков. Впервые дана количественная оценка накопленной ртути в донных осадках залива Петра Великого за последние сто лет и изучена ретроспективно динамика её потоков. Выявлены новые и детально изучены известные природные аномалии ртути, приуроченные к геологическому разлому глубинного залегания и сульфидной минерализации в породах.

Практическая значимость. Результаты данной работы могут быть применимы для обоснования геоэкологического мониторинга морских акваторий и методики поиска месторождений полезных ископаемых в условиях интенсивного антропогенного загрязнения. Полученные данные имеют большую ценность для дальнейшего планирования хозяйственной деятельности на территории и акватории Южного Приморья. Некоторые результаты уже были использованы в инженерно-экологических изысканиях в прибрежной зоне залива Петра Великого.

Личный вклад. Автор принимал участие в экспедиционных работах, где занимался отбором геохимических проб. Также автором были выполнены все определения ртути в пробах атмосферного воздуха, пресных и морских вод и донных осадках. Результаты, изложенные в диссертации, получены автором либо, с соавторами. Все расчеты и интерпретация данных сделаны автором.

Защищаемые положения:

1. Выявлено загрязнение донных осадков залива Петра Великого ртутью в результате антропогенного воздействия и при поступлении ее, их локальных геологических источников. Слой донных осадков, загрязнённый ртутью, мощностью до 40 см, распространён повсеместно за исключением участков шельфа, где современное осадконакопление не происходит.

2. На примере датированной колонки донных осадков из Амурского залива установлено, что антропогенное загрязнение ртутью началось в конце XIX века и усилилось по мере промышленного развития территории, достигнув максимума в 1980-1990-е годы. Основные участки накопления антропогенной ртути находятся в местах сброса промышленных вод и дампинга грунтов.

3. В современное время основным фактором накопления ртути в донных осадках является её поступление из антропогенных источников, на что указывает ассоциация химических элементов, включающая в себя ртуть, свинец, медь, цинк. При природном накоплении ртуть ассоциирует с органическим углеродом и железом.

4. Природный геохимический фон ртути в тонкодисперсных донных осадках залива Петра Великого составляет $20,0 \pm 6,5$ нг/г. Он был принят как среднее содержание ртути для осадков, накопленных в доиндустриальную эпоху.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на ряде совещаний, форумов, конференций, в том числе на молодежных конференциях ТОИ ДВО РАН (Владивосток, 2007, 2008, 2009, 2011 гг.), на региональных конференциях молодых ученых ДВГТУ «Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности и рационального природопользования Дальнего Востока» (Владивосток, 2004 и 2006 гг.), на международных научных конференциях по морской геологии «Геология морей и океанов» (Москва, 2005 и 2007 гг.), на международном совещании «Environment development of East Asia in Pleistocene – Holocene (boundaries, factors, stage of human mastering)» (Владивосток, 2009), на семинарах лаборатории морского рудообразования ТОИ ДВО РАН.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 20 работ, в том числе 8 статей в журналах, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 140 страницах, содержит 43 рисунка, 14 таблиц и список литературы из 138 наименований.

Благодарности. Работа выполнена в ТОИ ДВО РАН под научным руководством д.г.-м.н. Астахова А.С., которому автор выражает свою искреннюю благодарность. Диссертант признателен за обсуждение и конструктивную критику д.х.н. П.Я. Тищенко, д.г.-м.н. В.А. Абрамову, к.х.н. Е.Н. Шумилину, д.г.-м.н. Л.А. Изосову, д.г.н. В.М. Шулькину и к.г.-м.н. Р.Б. Шакирову. Автор благодарит д.х.н. Ю.А. Сапожникова, Н.А.

Среду, А.А. Марьяш, А.И. Боцула за выполнение аналитических работ; к.х.н. А.В. Савченко за расчёты форм ртути в морской воде на основе физико-химического моделирования. Всем коллегам автор выражает искреннюю признательность за поддержку и помощь.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, дана оценка научной новизны и практической значимости полученных результатов.

Глава 1. Ртуть в окружающей среде, её биогеохимические циклы

Данная глава является литературным обзором по вопросам распространения ртути в окружающей среде, формах её нахождения и биогеохимических циклах. Особое внимание уделяется переоценке содержания ртути в объектах окружающей среды в связи с совершенствованием методов её определения. Анализируются опубликованные данные по распределению ртути в компонентах морской геосистемы залива Петра Великого.

Глава 2. Литолого-геохимические характеристики современного осадконакопления в заливе Петра Великого

Рассматриваются физико-географические условия залива Петра Великого. На основе опубликованных данных даётся геологическое описание, гидрохимия придонных вод, процессы осадконакопления и состав донных осадков.

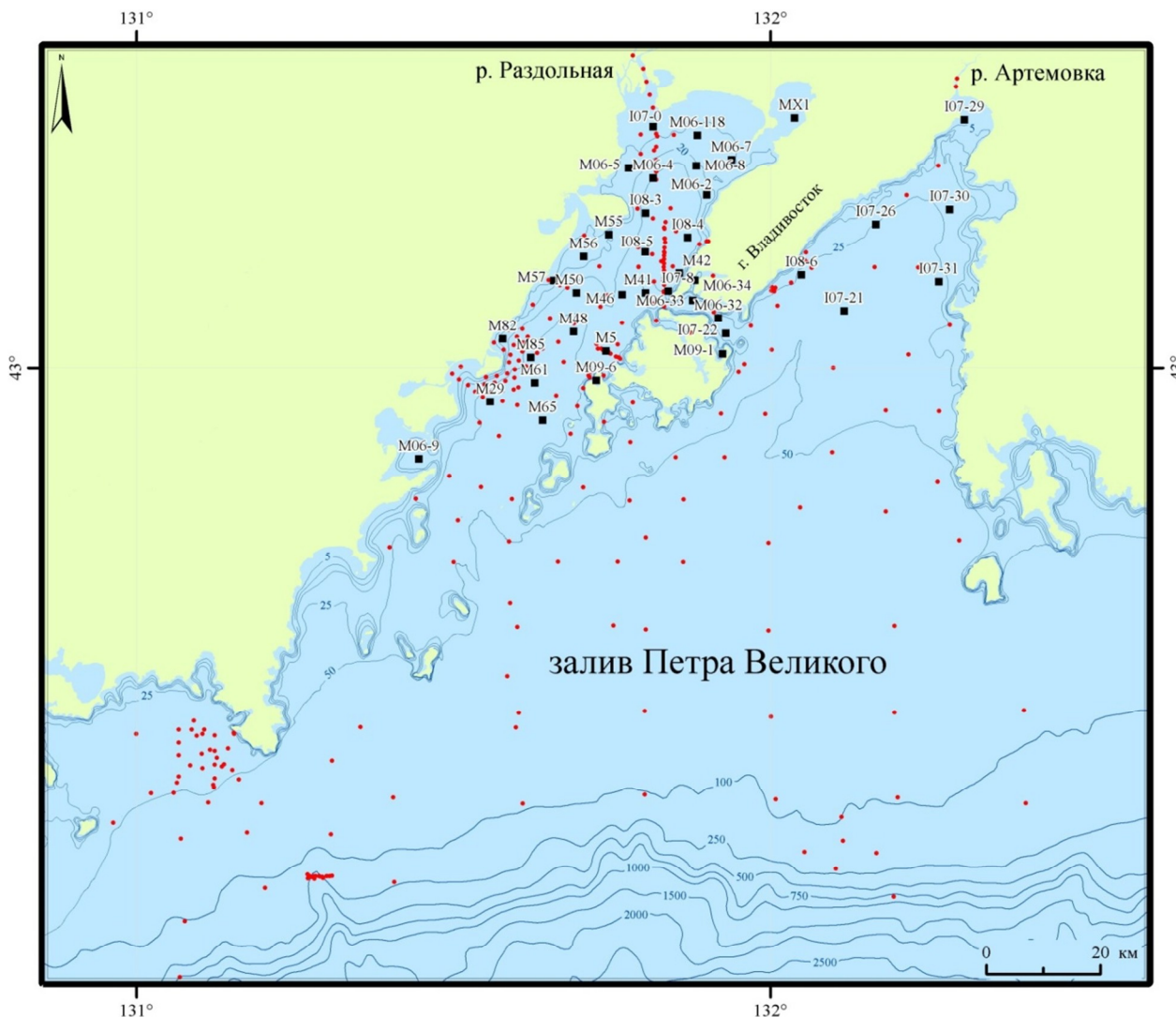
Глава 3. Материал и методы исследований

Фактический материал был получен в прибрежных и береговых экспедициях ТОИ ДВО РАН в 2003-2010 гг. За рассматриваемый период было отработано 347 литохимических станций, куда входил отбор донных осадков дночерпателем и грунтовой трубкой ГОИН ТГ-1,5. Также отбирались пробы морской воды и проводились прямые измерения ртути в атмосферном воздухе, при постоянной регистрации гидрометеорологических условий.

Количество выполненных анализов на ртуть составило: около 1000 проб донных осадков; 150 проб морской и пресной воды и более 3000 определений атмосферного воздуха. Помимо этого в донных осадках было определено: химический состав (макро- и микроэлементы, $C_{орг}$) – 200 проб; ^{210}Pb и ^{137}Cs – 120; гранулометрический состав – 130.

Методы исследований. Все определения ртути выполнялись на современном ртутном аналитическом комплексе в состав, которого входит атомно-абсорбционный спектрометр РА-915+ и дополнительное оборудование для перевода ртути из связанного состояния в атомарное в пробах пресной и морской воды методом «холодного пара» (приставка РП-91) и в пробах почво-грунтов и донных осадков методом термической деструкции (приставки РП-91С и ПИРО915+) (ООО «Люмэкс» Санкт-Петербург Россия). Калибровка выполнялась по отечественным стандартам ртути ГСО 7183-95, ГСО 7263-96, ГСО 7879-2001.

Определение химического состава донных осадков проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-6800 фирмы SHIMADZU в пламени ацетилен-воздух. Проверка достоверности результатов выполнялась по международным стандартам донных осадков PACS-2 и MESS-3. Содержание органического углерода определялось на анализаторе типа TOC-VCPN с приставкой для сжигания твердых проб SSM-5000A фирмы SHIMADZU. Гранулометрический состав донных осадков определялся оптико-механическим способом на лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22.



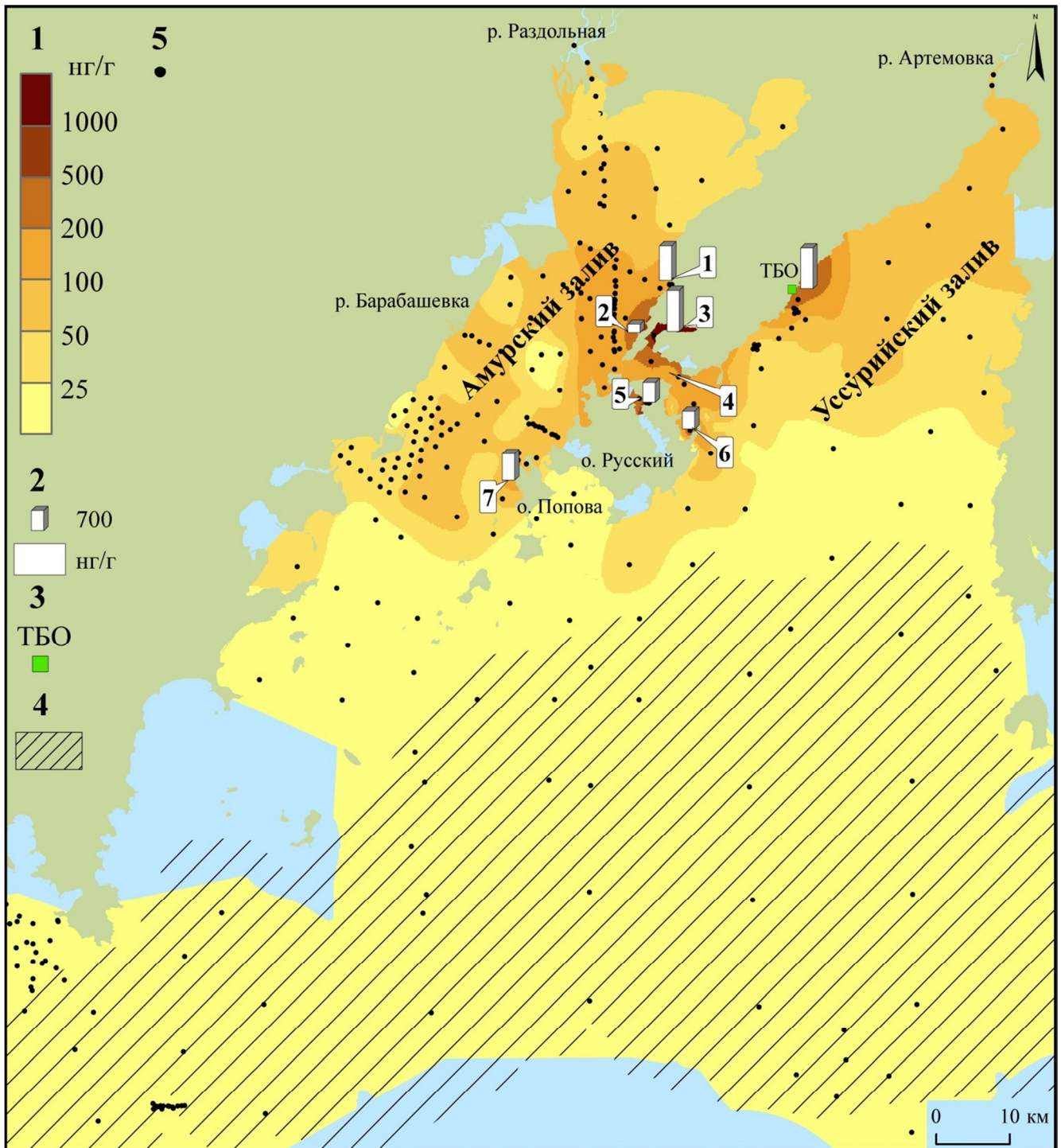
точками показаны станции отбора проб, квадратами – колонки донных осадков и их номера, линиями – изобаты, м

Рисунок 1 – Схема отбора проб донных осадков 2003-2010 гг.

Данные химического анализа были обработаны с использованием корреляционного, кластерного, факторного анализов и методов описательной статистики. Часть проб донных осадков проанализирована параллельно в нескольких аналитических лабораториях, что показало хорошую сходимость определений. Полученные результаты сопоставимы с данными других авторов, опубликованными в ведущих рецензируемых журналах.

Глава 4. Пространственно-временные особенности распределения ртути в донных осадках

По результатам опробования 2003-2010 гг. была составлена схема распределения ртути в поверхностном слое (0-5 см) донных осадков залива Петра Великого (рисунок 2). Установлено, что содержание ртути изменяется от 4 до 2500 нг/г. По распределению ртути акваторию залива Петра Великого можно условно разделить на три зоны: первая – прибрежные акватории с содержанием более 200 нг/г, расположенные в непосредственной близости от антропогенных источников; ко второй зоне относится акватория внутреннего шельфа с вариациями ртути 25-200 нг/г; в третью зону входит акватория внешнего шельфа, где содержание не превышает 25 нг/г (рисунок 2).



1 – содержание ртути; 2 – районы с максимальными содержаниями ртути; 3 – полигон твердых бытовых отходов; 4 – зона распространения реликтовых донных отложений [Структура осадков..., 1983]; 5 – станции отбора проб поверхностного слоя донных осадков. Цифрами обозначены акватории: 1 – бухта Кирпичного Завода (устье реки Вторая Речка), 2 – район дампинга грунтов, 3 – бухта Золотой Рог, 4 – пролив Босфор Восточный, 5 – бухта Труда, 6 – бухта Парис, 7 – мыс Низкий остров Попова

Рисунок 2 – Распределение ртути в поверхностном слое (0-5 см) донных осадков залива Петра Великого

Наиболее загрязненной акваторией является прибрежная зона г. Владивосток, которая включает в себя бухту Золотой Рог с содержанием ртути в донных осадках 900-1440 нг/г, пролив Босфор Восточный – 200-400 нг/г, район свалки твердых бытовых отходов (ТБО) «Горноста́й» – 700-1400 нг/г, бухта Кирпичного Завода (устье реки

Вторая Речка) – 160-500 нг/г, район дампинга грунтов в Амурском заливе – 200 нг/г. На острове Русский, в бухте Житкова, содержание ртути в донных осадках достигает 2290 нг/г, что обусловлено деятельностью воинской части в прошлом [Калинчук и др., 2010], в бухте Труда – 400-700 нг/г, здесь располагается свалка старых кораблей, донные отложения бухты сильно загрязнены нефтепродуктами.

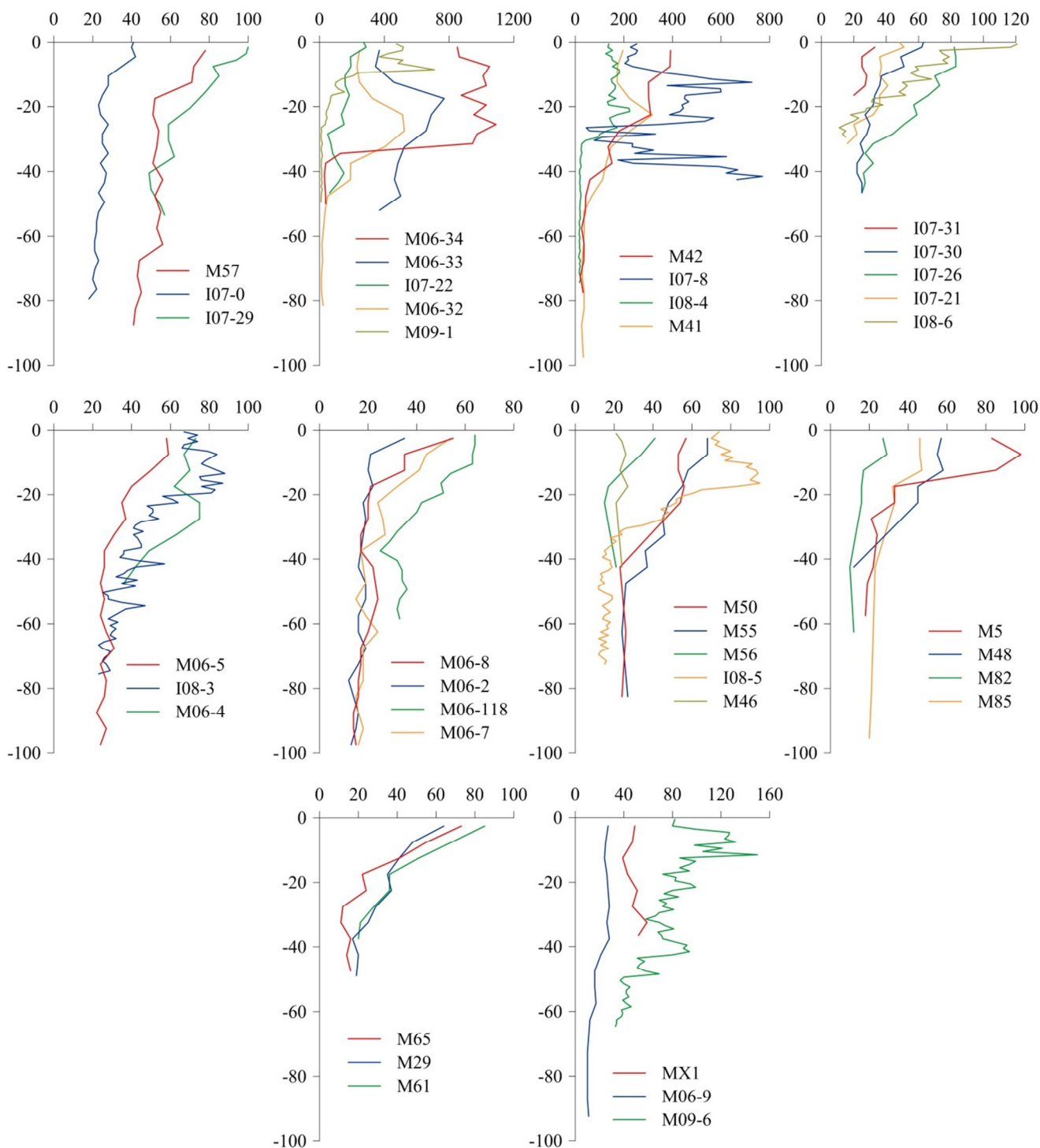
В донных осадках внутреннего шельфа (до изобаты 50 м), в области ныне действующих процессов поставки, перераспределения и накопления терригенного материала, содержание ртути увеличивается от грубозернистых к тонкодисперсным осадкам. В песках содержание ртути составляет 8-25 нг/г, в илистых отложениях изменяется от 40 до 370 нг/г. Увеличение содержания ртути в южной части Амурского залива возможно связано с выносами реки Барабашевка, в истоках которой известны сурьмяно-ртутные рудопроявления.

Минимальные содержания ртути приурочены к реликтовым пескам (рисунок 2), которые распространены на внешнем шельфе (изобаты 50-200 м). Данная акватория является аседиментационным бассейном, где современное осадконакопление практически не происходит, и представляет собой зону транзита терригенного материала с суши в открытое море.

По результатам комбинированного термо-абсорбционного анализа температура выхода ртути из образцов донных осадков составила 370-410 °С [Иванов и др., 2007], что соответствует её сульфидной форме [Таусон и др., 1995], преобладание которой характерно для морских отложений. В тоже время накоплению ртути в сульфидной форме в донных осадках залива Петра Великого способствует интенсивное антропогенное загрязнение. Обнаруженная в Амурском заливе гипоксия придонных вод может привести к интенсификации сульфатредукции в донных осадках [Тищенко и др., 2008], конечный продукт которой, сероводород, реагирует с ионами металлов, осаждая их в виде практически нерастворимых сульфидов.

В вертикальном распределении ртути в толще донных осадков наблюдается повсеместное увеличение её содержания по мере приближения к границе вода-донные отложения (рисунок 3). В зависимости от близости к источнику содержание ртути в донных осадках верхних горизонтов находится в пределах от 30-50 нг/г (южные области Амурского и Уссурийского заливов) до 900-2500 нг/г (прибрежная акватория г. Владивостока). В донных осадках нижних горизонтов содержание ртути колеблется от 15 до 30 нг/г, при среднем 20 нг/г. В бухте Золотой Рог и проливе Босфор Восточный наблюдается резкая граница между нижним (незагрязненным) и верхним (загрязненным) горизонтами. В мористых частях Амурского и Уссурийского заливов содержание ртути постепенно возрастает к поверхности. В песчаных отложениях центральной части Амурского залива (станция М46) увеличение содержания ртути к поверхности отсутствует (рисунок 3). Непрерывное увеличение содержания ртути к поверхности в колонке I08-6 (рисунок 3) обусловлено постоянно действующим полигоном твёрдых бытовых отходов г. Владивосток. Вертикальное распределение ртути в колонке донных осадков I07-8, отобранной в районе дампинга (Амурский залив), иллюстрирует изменение сброса загрязнённых грунтов с бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный (рисунок 3). В верхней части колонки в интервале 0-6 см содержание ртути находится на одном уровне 235 ± 20 нг/г, что соответствует современному поступлению ртути в донные осадки данного района. Прекращение сброса прослеживается в уменьшении содержания ртути с 730 до 235 нг/г интервале 6-13 см. Ниже 13 см кривая вертикального распределения ртути имеет хаотичную структуру, соответствующую этапам сброса. Влияние сброса загрязнённого грунта прослеживается в более глубоководной области (колонка М41), что выражено в

увеличении содержания ртути с 35 до 320 нг/г в интервале 25-55 см и дальнейшем уменьшении до 190 нг/г в интервале 0-25 см.

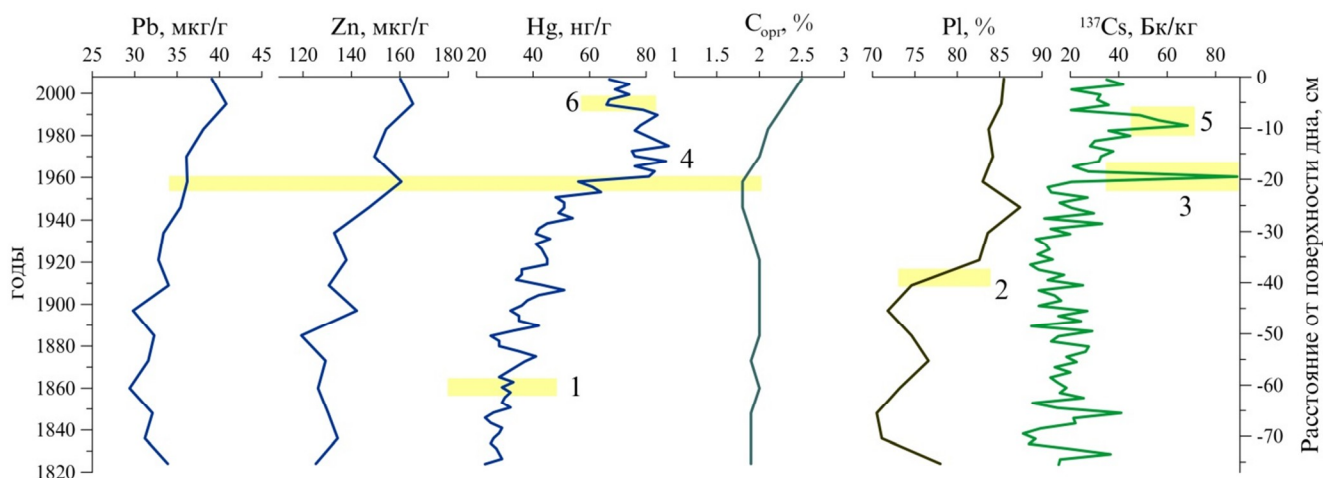


ось абсцисс – содержание ртути, нг/г; ось ординат – глубина донных осадков от поверхности дна, см

Рисунок 3 – Содержание ртути в колонках донных осадков (см. рисунок 1).

В месте отбора колонки донных осадков I08-3 (рисунок 2) скорость осадконакопления была определена по неравновесному ^{210}Pb с контролем по ^{137}Cs и составила 4,1 мм/год. При рассмотрении распределения ртути в колонке I08-3 по годам наблюдается зависимость её накопления в донных осадках от хозяйственного освоения края (рисунок 4). Донные осадки, накопленные до 1900 г., характеризуются природным содержанием ртути с минимальным антропогенным влиянием. Максимальные

содержания ртути соответствуют периоду интенсивного промышленного развития региона в 1960-1990 гг. По другим геохимическим показателям также прослеживается связь изменения их содержаний с интенсивностью антропогенного воздействия.



1 – начало освоения территории, добычи и сжигания каменного угля, 2 – интенсивная вырубка лесов и распашка земель переселенцами, сопровождавшаяся увеличением выноса пелитового (Pl) материала с суши и накоплением его в морских осадках, 3 – максимум испытания ядерного оружия в атмосфере 1963 г., 4 – этап интенсивного промышленного развития Южного Приморья, 5 – авария в бухте Чажма 1985 г. и чернобыльское событие 1986 г., 6 – уменьшение промышленного производства, прекращение добычи и сжигания местного каменного угля.

Рисунок 4 – Влияние антропогенной деятельности на состав донных осадков, накопившихся в историческое время, на примере колонки Ю8-3

Природный геохимический фон ртути в донных осадках для различных акваторий залива Петра Великого определялся исходя из следующих положений: сходный гранулометрический тип донных осадков и формирование их химического состава в отсутствие или при минимальном влиянии антропогенного воздействия. Для внутреннего шельфа геохимический фон ртути в тонкодисперсных осадках составил $20,0 \pm 6,5$ нг/г, который был принят как среднее значение из выборки её содержаний в донных осадках, накопленных в доиндустриальную эпоху. Фоновое содержание ртути в реликтовых песках составило $13,0 \pm 3,4$ нг/г.

Для количественной оценки поступления ртути в донные осадки были рассчитаны скорости её аккумуляции в донных осадках. На основе карты скоростей седиментации для голоцена [Структура осадков..., 1983] скорости современного осадконакопления, определенные по ^{210}Pb , были экстраполированы на всю акваторию Амурского и Уссурийского заливов. В дальнейшем скорости осадконакопления умножались на содержание ртути и на плотность сухого осадка. Потоки ртути рассчитывались для двух временных интервалов: доиндустриальный период (до 1900 г.) и период интенсивного промышленного развития (1960-2010 гг.). В доиндустриальную эпоху скорости аккумуляции ртути составили $0-100$ мкг/м² год, которые соответствуют общемировым значениям [Удачин и др., 2009; Covelli et al., 2006; Outridge et al., 2011; Ridley, Stetson, 2006; Sanders et al., 2006] и характеризуются природными процессами поступления ртути в акваторию. В период интенсивного промышленного освоения края скорости аккумуляции ртути возросли до 575 мкг/м² год (прибрежная акватория г. Владивосток). Начиная с 1960 г., средние скорости аккумуляции ртути в донных осадках увеличились в Амурском заливе в 3 раза, в Уссурийском заливе – в 2 раза. На основе скоростей аккумуляции ртути было рассчитано количество избыточной или "антропогенной"

ртути, накопленной в донных осадках за период промышленного освоения (рисунок 5). Практически на всей акватории Амурского и Уссурийского заливов в донных осадках присутствует "антропогенная" ртуть, вследствие этого увеличение общего содержания ртути в поверхностном слое донных осадков залива Петра Великого является результатом негативного воздействия на акваторию хозяйственной деятельности в современный период.

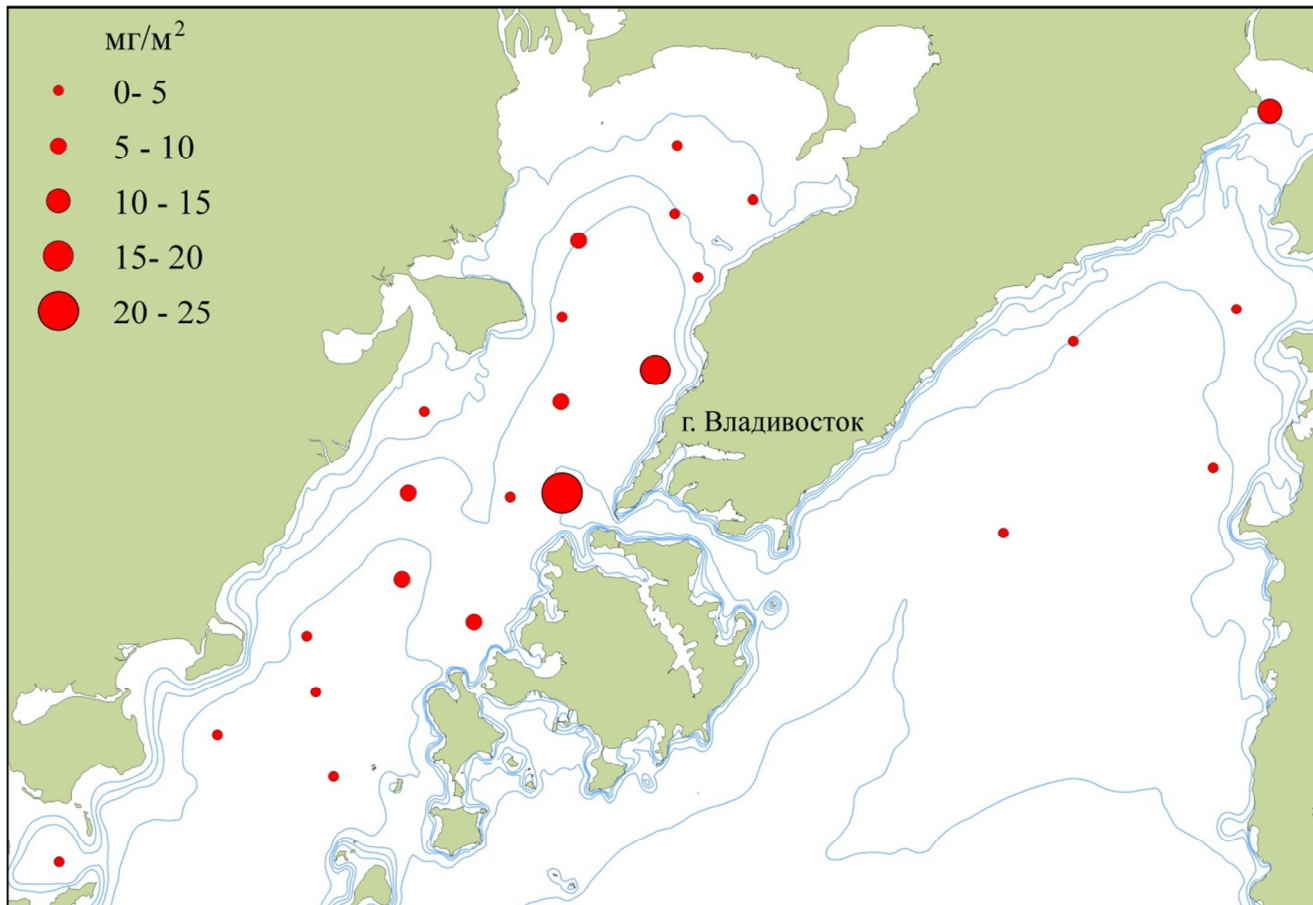


Рисунок 5 – Количество "антропогенной" ртути, накопленной в донных осадках залива Петра Великого в период 1960-2010 гг.

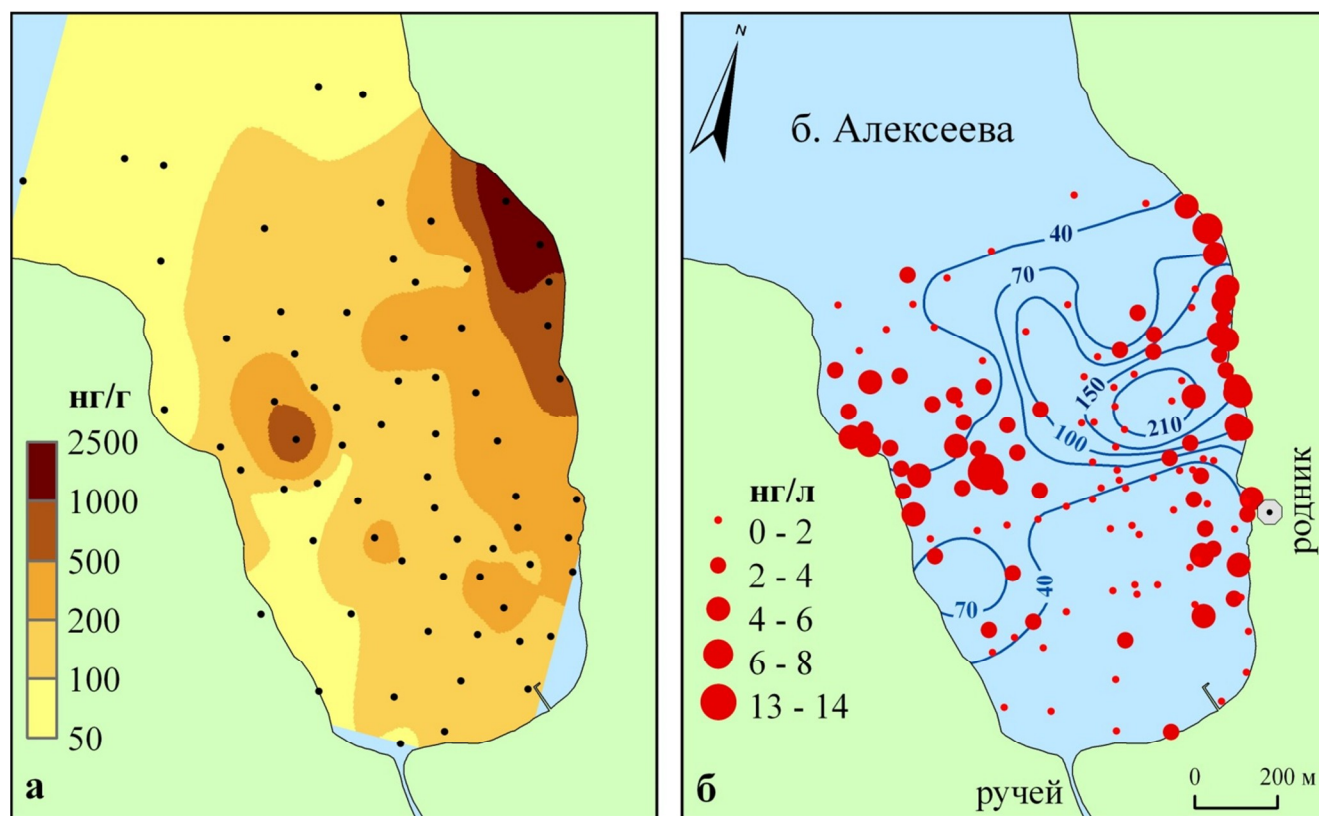
Глава 5. Источники поступления и особенности накопления ртути донными осадками

Для выявления источников поступления ртути в донные осадки было изучено её содержание в атмосферном воздухе и морской воде. По результатам многолетних исследований (2003-2011 гг.) содержание общей газообразной ртути (Hg^0) в атмосферном воздухе залива Петра Великого изменялось от 0,3 до 7,0 нг/м³. Среднее содержание составило $1,8 \pm 0,5$ нг/м³, которое было принято за региональный фон для акватории Южного Приморья. Увеличение содержания ртути до 5,0-7,0 нг/м³ наблюдается в открытой части залива при южном ветре, что является следствием поступления воздушных масс, обогащенных ртутью от промышленных источников стран восточной Азии. Данное явление было подтверждено в экспедиционных исследованиях в Японском море [Аксентов, Калинин, 2012]. Крупными локальными источниками на территории залива являются также тепловые электростанции, до недавнего времени работающие на местном угле. Их влияние было установлено в Уссурийском заливе при северо-западном направлении ветра в южной его части, когда среднее содержание ртути составило $2,7 \pm 0,3$ нг/м³. Свой вклад в содержание ртути в атмосферном воздухе залива Петра Великого вносит природная эмиссия. Вблизи

островов Русский и Попова в прибрежных зонах, где обнажаются структуры крупного разлома глубинного залегания, среднее содержание ртути составило $2,6 \pm 0,4$ нг/м³.

На большей части акватории Амурского и Уссурийского заливов содержание ртути в морской воде находилось от 0 (0,5 нг/л предел обнаружения) до 5 нг/л. Содержания ртути от 40 до 300 нг/л были обнаружены в морской воде бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный. По результатам физико-химического моделирования установлено, что преобладающей растворенной формой нахождения ртути в морской воде залива Петра Великого является HgCl_4^{2-} . Содержание её колеблется от 77 до 92 %. Сравнивая измеренные содержания ртути в морской воде с данными физико-химического моделирования сорбционных процессов [Грамм-Осипов и др., 2002], следует, что вся растворенная ртуть переходит во взвесь и удаляется в донные отложения.

Содержание ртути в донных осадках бухты Алексеева острова Попова изменяется от 50 до 2500 нг/г (рисунок 6). Максимальные содержания обнаружены в северо-западной части бухты, где распространены песчано-гравийные отложения. Во внешней части бухты содержание ртути в пелитовых осадках находится в пределах 50-200 нг/г. Увеличение содержания ртути в придонной морской воде совпадает с аномалиями ртути в донных осадках (рисунок 6). Повышенные содержания ртути в придонной морской воде и донных осадках фиксировались ранними исследованиями [Лучшева, 1995].



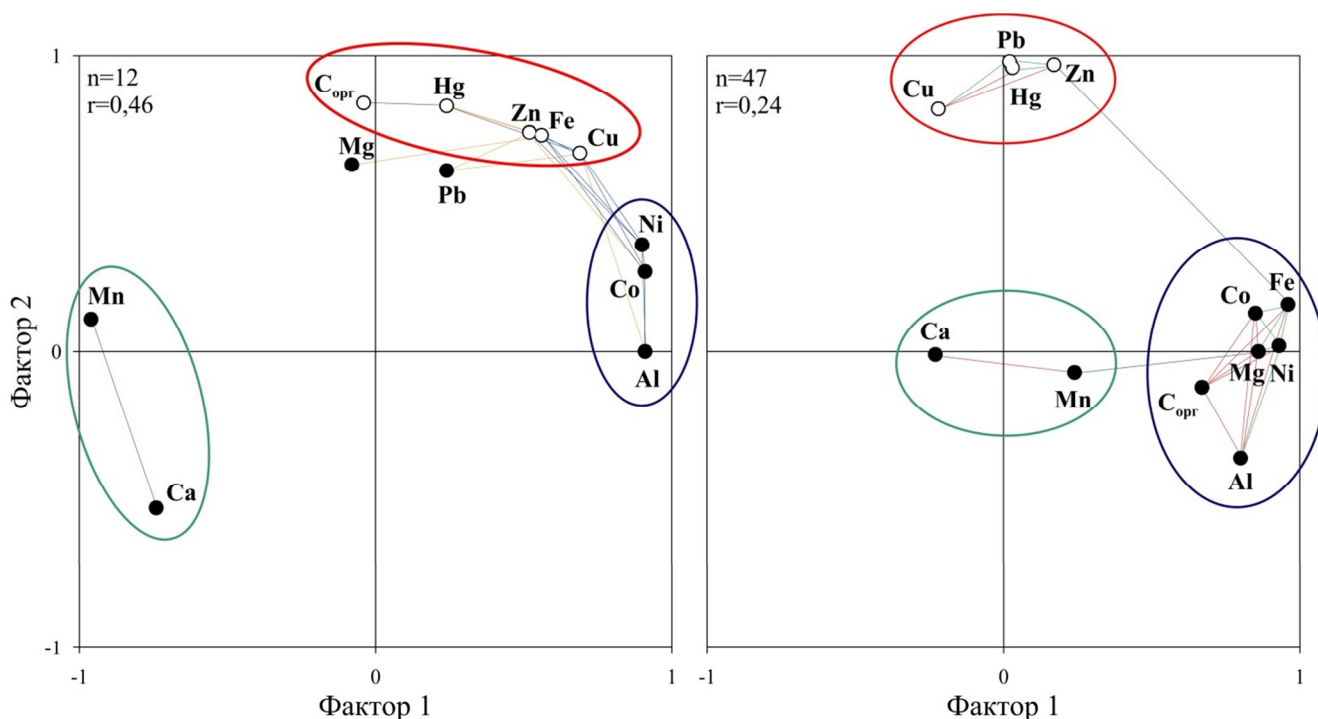
а – донные осадки; б – придонный слой морской воды, изолиниями показаны содержания ртути в морской воде 1990 г. [Лучшева, 1995]

Рисунок 6 – Содержание ртути в донных осадках и придонной воде бухты Алексеева

Вторая аномалия была обнаружена в районе мыса Низкий (северо-восточная оконечность острова Попова). Вдоль абразионного уступа содержание ртути в песках волноприбойной зоны составило 500-2500 нг/г, в придонной морской воде – 1-8 нг/л. В горных породах зон интенсивной трещиноватости и милонитизации, к которым относится уступ, содержание ртути изменяется от 140 до 900 нг/г. Также здесь

обнаружена аномалия в атмосферном воздухе, где содержание ртути превышает региональный фон в 30 раз и составляет 50-60 нг/м³. Следовательно, основным источником ртути является крупный разлом глубинного залегания, который проходит вдоль западного побережья полуострова Муравьево-Амурского и островов Русский, Попова, Рейнеке и разделяет Муравьевский антиклинорий и депрессию Амурского залива [Изосов и др., 2008; Кулинич и др., 1974; Олейников, Олейников, 2001]. Также в северной части острова Попова по разломной зоне известна сульфидная минерализация в горных породах [Гаврилов, Гвоздев, 2011], при разрушении которых происходит эмиссия ртути в окружающую среду и накопление её в прибрежной зоне.

Для выяснения литохимических особенностей накопления ртути в донных осадках было изучено распределение тяжелых металлов и органического углерода. На основе скоростей седиментации и вертикального распределения элементов были составлены две выборки данных химических анализов. В полученных выборках были рассчитаны корреляционные связи между химическими элементами и проведен факторный анализ в R-модификации методом главных компонент с вращением варимакс нормализованным (рисунок 7).



а – доиндустриальный период (до 1900 г.), б – период интенсивного промышленного развития региона (1960-2010 гг.). Линиями показаны значимые положительные корреляционные связи. Цветом – превышение критического значения: оранжевый в 1 раз; синий в 1,5 раза; красный в 2 раза; зеленый в 3 раза. Белой заливкой показаны элементы, имеющие значимые положительные корреляционные связи с ртутью

Рисунок 7 – Факторные диаграммы первых двух факторов для донных осадков

В факторной модели для доиндустриального периода первый фактор контролирует 40 % изменчивости, на его формирование влияли алюминий, кобальт, никель. На формирование второго фактора оказали влияние органический углерод и ртуть, вклад в общую изменчивость составляет 23 %. В факторной модели для современного периода осадконакопления первый фактор контролирует 38 % изменчивости, на его формирования оказали влияние железо, никель, магний, кобальт, алюминий. Второй фактор сформирован свинцом, цинком, ртутью, медью и контролирует 31 % изменчивости. Марганец и кальций в факторных моделях для обоих периодов стоят

обособлено, что также наблюдается в их взаимной корреляции и отсутствии её с другими элементами.

В доиндустриальный период ртуть имеет положительные корреляционные связи с органическим углеродом, цинком, медью и железом, что определяет её накопление природными процессами, сорбции на органическом веществе и осаждением гидроокислами железа. В современных донных осадках ртуть коррелирует с цинком, свинцом и медью и данная ассоциация является типичной для техногенных илов [Опекунов, 2005].

Заключение

1. Содержание ртути в донных осадках залива Петра Великого характеризуется высокой степенью изменчивости, от 4 до 2500 нг/г. Установлено, что главными факторами контролирующими накопление ртути в донных осадках является близость к источнику её поступления и гранулометрический состав донных осадков.

2. В исследованной толще осадков (до 1,5 м) наблюдается повсеместное увеличение содержания ртути к поверхности, а в нижних горизонтах находится практически на одном уровне, который можно выделить как природный геохимический фон.

3. В поверхностном слое донных осадков ртуть имеет положительную корреляцию со свинцом, цинком, медью, что указывает на преобладание антропогенных источников поступления ртути в акваторию в настоящее время.

4. Природные аномалии ртути в донных осадках расположены вблизи разрушающихся уступов, сложенных глиной тектонического трения и представляющих собой выходы глубинного разлома на поверхность. Содержание ртути в донных осадках аномальных зон достигает 2500 нг/г. В отличие от антропогенных аномалий, природные аномалии характеризуются увеличением содержания ртути в песчанистых отложениях. Сходство наблюдается в непосредственной близости к источникам поступления.

5. В местах, где современное осадконакопление не происходит и ведется размыв уже сформированных осадков в позднем плейстоцене и голоцене (реликтовые пески) содержания ртути в донных осадках минимальны.

6. Гидрохимические и литодинамические условия залива Петра Великого способствуют закреплению и накоплению ртути в донных осадках, о чем говорит её нахождение в наиболее устойчивой форме – сульфидной.

7. Одним из значимых источников поступления ртути в донные осадки залива Петра Великого являются атмосферные выпадения, которые можно подразделить на крупные – ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, Артемовская ГРЭС, зона влияния которых захватывает практически всю акваторию залива (согласно розе ветров) и локальные – частный сектор, котельные и кочегарки, основная часть которых также находится на побережье. Ртуть возгоняется в атмосферу при сжигании угля и выпадает на акваторию и территорию путем сухого и влажного осаждения. В дальнейшем накопленная в почве ртуть смывается во время тайфунов в прилегающую акваторию, где и оседает.

8. Поступление ртути в донные осадки залива Петра Великого контролируется преимущественно локальными источниками, однако наблюдается глобальное влияние в виде трансграничного атмосферного переноса ртути из стран Восточной Азии, но степень этого влияния трудно достоверно оценить.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи, опубликованные в научных журналах из перечня ВАК

1. Поляков Д.М., Аксентов К.И., Иванов М.В. Ртуть в донных отложениях маргинального фильтра р. Раздольная (Амурский залив) // Геохимия. 2008. № 6. С. 666-673.
2. Аксентов К.И., Астахов А.С. Антропогенное загрязнение ртутью донных осадков залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 115-121.
3. Калинин В.В., Мишуков В.Ф., Елисафенко Т.Н., Аксентов К.И. Комплексные химико-экологические исследования прибрежной зоны северо-восточной части о-ва Русский // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. С. 96-106.
4. Астахов А.С., Аксентов К.И., Белоус О.В., Гуленко Т.А., Жуковин А.Ю., Карнаух В.Н., Яновская О.С. Геологические и геоэкологические исследования в Японском море в рейсе № 45 НИС “Профессор Гагаринский” (октябрь-ноябрь 2009 г.) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 1. С. 119-124.
5. Федорец Ю.В., Шарова О.А., Косьяненко А.А., Аксентов К.И., Раков В.А., Васильева Л.Е. Экологический мониторинг морской биоты бухты Алексеева (залив Петра Великого) // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 1(6). С. 1386-1392.
6. Калинин В.В., Аксентов К.И., Иванов М.В., Лопатников Е.А. Атомарная ртуть в приводном слое воздуха северо-западной части Японского моря осенью 2011 г. // Вестник ДВО РАН. 2012. № 3. С. 58-66.
7. Аксентов К.И., Калинин В.В. Особенности распределения атомарной ртути в приводном слое атмосферного воздуха Японского моря осенью 2010 г. // Метеорология и гидрология. 2012. № 10. С. 44-52.
8. Самченко А.Н., Карнаух В.Н., Аксентов К.И. Геолого-геофизические исследования верхней части осадочного чехла и геоакустическая модель шельфа залива Посьета (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 1. С. 65-74.

Статьи, опубликованные в монографиях

9. Иванов М.В., Аксентов К.И., Астахов А.С. Распределение ртути в донных осадках дальневосточных морей // Дальневосточные моря России / Гл. ред. В.А. Акуличев. М.: Наука, 2007. Кн. 3. С. 461-481.
10. Аксентов К.И. Ртуть в абиотических компонентах экосистемы залива Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря / Отв. ред. А.С. Астахов, В.Б. Лобанов. М.: ГЕОС, 2008. С. 173-184.

Статьи в других изданиях

11. Коненко А.Б., Аксентов К.И., Иванов М.В. Методика ртутно-метрических измерений для мониторинга прибрежных и морских экосистем на примере о. Попова // Проблемы экологии рационального природопользования Дальнего Востока (Владивосток, 18-19 ноября 2004 г.): материалы Региональной конференции молодых ученых. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004. С. 130-132.

12. **Аксентов К.И., Иванов М.В.** Современное состояние морских экосистем района строительства нефтеналивного терминала в бухте Перевозная (Японское море) по результатам ртутнометрических исследований // Геология морей и океанов (Москва, 14-18 ноября 2005 г.): материалы XVI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2005. С. 188-189.

13. **Аксентов К.И.** Оценка антропогенного загрязнения ртутью донных отложений Амурского залива // Океанологические исследования (Владивосток, 21-25 мая 2007 г.): тезисы докладов конференции молодых ученых ТОИ ДВО РАН. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2007. С. 83-85.

14. **Астахов А.С., Аксентов К.И., Иванов М.В.** Антропогенное загрязнение ртутью и тяжелыми металлами залива Петра Великого; реконструкции и мониторинг по литохимическим данным // Природа без границ (Владивосток, 6-7 июня 2007 г.): материалы II Международного экологического форума. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2007. С. 217-220.

15. **Аксентов К.И.** Ртуть в донных осадках Амурского залива Японского моря // Геология морей и океанов (Москва, 12-16 ноября 2007 г.): материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии М.: ГЕОС, 2007. С. 196-198.

16. **Аксентов К.И.** Ртуть в донных осадках Уссурийского залива Японского моря // Геологи XXI века (Саратов, 2-4 апреля 2008 г.): материалы IX Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Саратов: СО ЕАГО, 2008. С. 123-124.

17. **Аксентов К.И.** Тяжелые металлы в донных осадках Амурского залива // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России (Владивосток, 28 августа-4 сентября 2008 г.): материалы II Региональной конференции молодых ученых. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 135-137.

18. **Аксентов К.И.** Ртуть в приземном слое атмосферного воздуха над территорией и акваторией залива Петра Великого // Геология, география и экология океана (Ростов-на-Дону, 8-11 июня 2009 г.): материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию рождения Д.Г. Панова. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 11-14.

19. **Ivanov M., Aksentov K.** Anthropogenic Mercury in Air, Water and Bottom Sediments of North East Asia Marginal Seas // Mercury as a global pollutant (Madison, August 6-11, 2006): abstracts of 8th International conference. Madison Wisconsin: 2006. P. T-082.

20. **Aksentov K.I., Astakhov A.S., Shumilin E.N.** Estimation of anthropogenic mercury pollution of the Peter the Great Bay bottom sediments (The Sea of Japan) // Environment development of East Asia in Pleistocene-Holocene (boundaries, factors, stage of human mastering) (Vladivostok, September 14-18, 2009): proceeding of International scientific conference. Vladivostok: Dalnauka, 2009. P. 10-12.

Подписано в печать 07.05.2013 г. Формат 60×84/16.

Объем 1,0 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. заказ № 108

Отпечатано с авторского оригинала-макета

в ТОИ ДВО РАН 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43