

С.К.Костова

Институт биологии южных морей НАН Украины, г.Севастополь

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ
В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)**

Представлены данные пространственного распределения ртути в поверхностном слое донных отложений Севастопольской бухты. Выявлены районы повышенного содержания ртути – бух.Южная, ТЭЦ и акватория стоянки российских кораблей на Северной стороне. Экологически безопасные районы – центральная часть и выход из бухты. Уровни загрязнения донных осадков ртутью зависят от гранулометрического состава и расположения источников загрязнения. Высокие концентрации ртути в отдельных акваториях бухты не позволили отнести её к категории чистых, и экологическую обстановку в Севастопольской бухте следует рассматривать как неблагоприятной.

В последние годы интенсивность эксплуатации ресурсов Севастопольской бухты и прилегающей к ней территории несколько снизилась. Это связано с уменьшением стоков промышленных и сельскохозяйственных предприятий и судов военно-морского флота в связи с их резким сокращением. Однако увеличилось число залповых сбросов фоновых вод, что объясняется аварийным состоянием коллекторов. В этих условиях особую значимость приобретает мониторинг Севастопольской бухты, как основной рекреационной системы города. Поверхность моря и водная толща являются входным звеном для загрязняющих веществ, а зона «вода – донные отложения» – конечное звено процессов переноса и перераспределения загрязняющих веществ, поступающих в море. Многие из них депонируются в донных отложениях. Поэтому, учитывая, что ртуть является одним из наиболее опасных химических загрязнителей, особый интерес представляет получение количественных характеристик её пространственного распределения в водоёмах, подверженных усиленной техногенной нагрузке.

Сведения о распределении ртути в акватории Севастопольской бухты немногочисленны [1 – 4].

Настоящая работа посвящена изучению пространственного распределения концентраций ртути в поверхностном (0 – 5 см) слое донных отложений, с целью оценки экологического состояния Севастопольской бухты.

Материал и методы. Отбор проб донных отложений в Севастопольской бухте проводили в июле 2001 г. Для этого использовали дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0,025 м² по сетке 32 станций. Для анализа использовали верхний слой осадка (0 – 5 см). Подготовку к измерению ртути проводили по методам мониторинга фонового загрязнения природной среды [5]. В основе выделения и измерения ртути лежал метод непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии (метод холодного пара) [6]. Измерение концентрации ртути проводили на анализаторе «Юлия-2». Анализ серии проб показал воспроизводимость данных, расхождение которых не превышало 14 %.

© С.К.Костова, 2005

Результаты и обсуждение. Ртуть, попадая в морскую воду из различных источников, довольно быстро сорбируется на взвешенном веществе и в процессе седиментации оседает на дно в шельфовой зоне. Накопление ртути

Т а б л и ц а . Содержание ртути в поверхностном слое донных отложений Севастопольской бухты (июль 2001 г.).

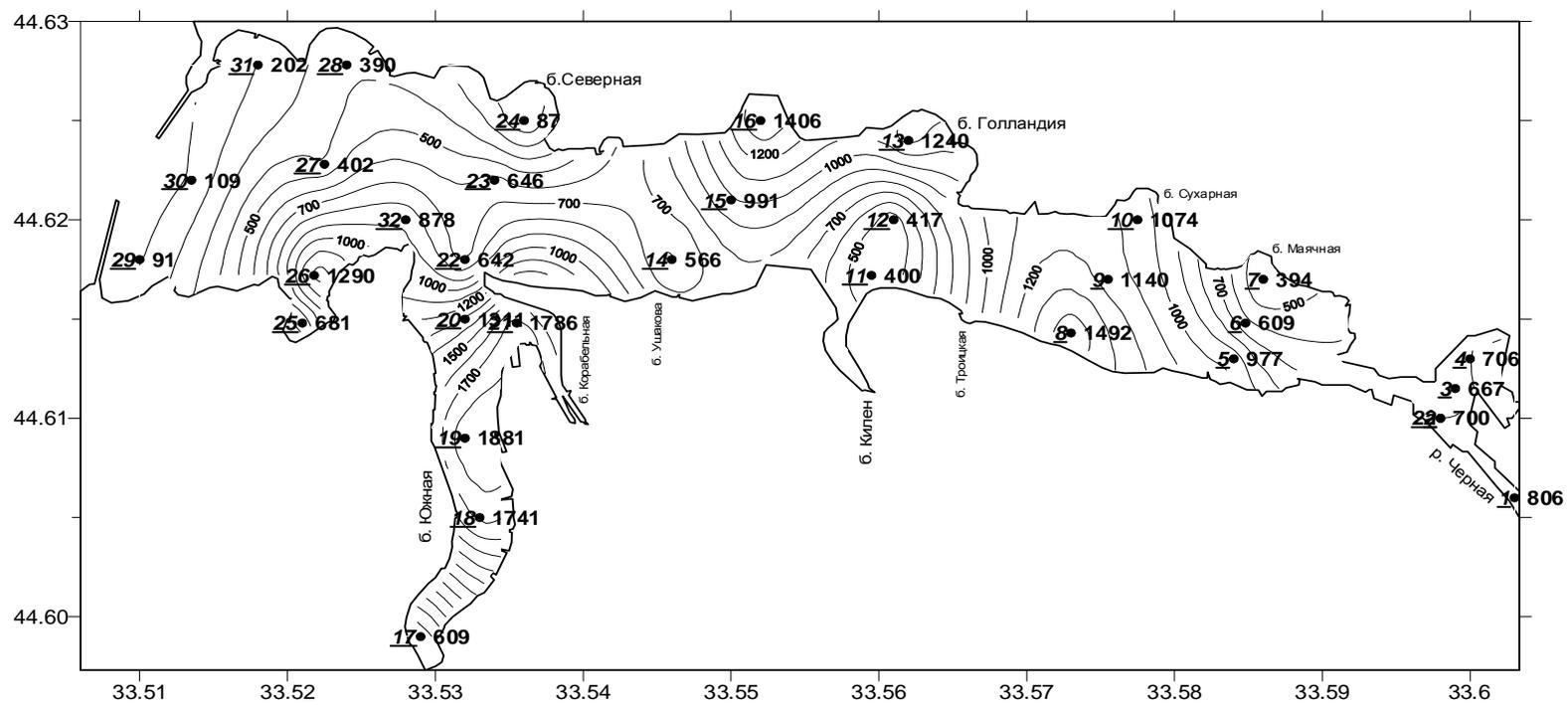
| № станции | глубина отбора, м | концентрация ртути, нг/г сырой массы | состав донных осадков |
|-----------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1 | 4 | 806 ± 108 | илы |
| 2 | 6 | 700 ± 94 | - " - |
| 3 | 9,5 | 667 ± 89 | - " - |
| 4 | 9 | 706 ± 95 | - " - |
| 5 | 4 | 977 ± 131 | - " - |
| 6 | 9 | 609 ± 82 | - " - |
| 7 | 6,5 | 394 ± 53 | - " - |
| 9 | 11 | 1492 ± 200 | - " - |
| 10 | 11 | 1140 ± 153 | - " - |
| 11 | 12,5 | 1074 ± 144 | - " - |
| 12 | 15 | 400 ± 54 | - " - |
| 13 | 8 | 417 ± 56 | - " - |
| 14 | 11 | 1240 ± 166 | - " - |
| 15 | 17,5 | 566 ± 76 | - " - |
| 16 | 13 | 991 ± 133 | - " - |
| 17 | 9 | 1406 ± 188 | - " - |
| 18 | 16 | 609 ± 82 | - " - |
| 20 | 16 | 1741 ± 233 | - " - |
| 21 | 16,5 | 1881 ± 252 | - " - |
| 22 | 16 | 1311 ± 176 | - " - |
| 23 | 17 | 1786 ± 239 | - " - |
| 24 | 5,5 | 642 ± 86 | - " - |
| 25 | 4 | 646 ± 87 | - " - |
| 26 | 12 | 87 ± 12 | песок |
| 27 | 16,5 | 681 ± 91 | илы |
| 28 | 5,5 | 1290 ± 173 | - " - |
| 29 | 13,5 | 402 ± 54 | - " - |
| 30 | 17,5 | 390 ± 52 | - " - |
| 31 | 4,5 | 91 ± 12 | песок |
| 32 | 13 | 109 ± 15 | - " - |

в донных осадках до высоких уровней приводит к хроническому загрязнению бухты.

Содержание ртути в поверхностном слое (0 – 5 см) донных отложений Севастопольской бухты (июль 2001 г.) представлено в таблице. Как видно из таблицы, концентрация ртути в донных осадках Севастопольской бухты изменялась от 87 до 1881 нг/г сырой массы и определялась различиями в физическом составе проб. Дно Севастопольской бухты на глубинах от 3 до 20 м укрыто слоем разнородных по составу и толщине донных осадков. Основные площади бухты Севастопольская с её ответвлениями – Южная, Артиллерийская, Килен бухты – заняты тонкозернистыми чёрными илами. Меньшую часть представляют крупнозернистые донные осадки типа песков и заиленных ракушечников. При выходе из бухты дно становится каменистым, с перемежающимся плитняком и ракушечниками, с примесью песка и ила (Миронов, 1999). По нашим данным концентрация ртути в песчаных пробах составляла 87 – 202 нг/г. С увеличением мелкодисперсной фракции её содержание возрастало. Максимальные значения ртути (1881 – 1406 нг/г) отмечены в зоне чёрных илов. Из этого следует, что здесь происходит основное депонирование ртути. Ближе к выходу из Севастопольской бухты концентрация ртути в донных осадках снижалась за счёт размыва поступающими водами открытой части моря и составляла 91 – 202 нг/г сырой массы.

Считается, что природное содержание общей ртути в морских шельфовых донных осадках составляет 100 нг/г [7]. Сравнение полученных результатов с фоновой концентрацией свидетельствует о том, что отдельные районы Севастопольской бухты подвержены значительному антропогенному воздействию.

Проведенные исследования позволили представить пространственное распределение концентраций ртути в поверхностном (0 – 5 см) слое донных отложений Севастопольской бухты (рис.).



Р и с . Распределение ртути в поверхностном слое донных отложений Севастопольской бухты в июле 2001 г. (19 • – номер станции отбора проб; 1881 – концентрация ртути, нг/г сырой массы).

По степени загрязнённости ртутью изучаемые районы бухты можно расположить в следующем порядке: бух.Южная, ТЭЦ (тепловая электростанция), северный район стоянки кораблей ЧФ РФ (ст.16), Артиллерийская, Сухарная, Инкерманская, Константиновская, Мартынова, Северная бухты. Содержание ртути в донных осадках всех районов, за исключением Константиновской, Мартыновой и Северной бухт, характеризуется концентрацией ртути, превышающей её кларковые значения для осадочных пород (400 нг/г сырой массы) и природное содержание ртути в морских шельфовых осадках (100 нг/г сухой массы).

Вершиной Севастопольской бухты является устье р.Чёрная. Концентрация ртути в донных осадках этого района изменялась от 806 нг/г сырой массы непосредственно в устье реки до 706 – 667 нг/г в приустьевой части бухты. В этой акватории проявляется эффект опреснения и вынос с речным стоком аллохтонных органических и минеральных веществ. Источником поступления ртути в верховье Севастопольской бухты вероятнее всего могут быть речные воды, загрязнённые стоками с сельскохозяйственных угодий и сельскохозяйственных предприятий, приусадебных участков, сбросами хозяйственно-бытовых сточных вод по сетям коммунального предприятия «Севгорводоканал». В связи с несоблюдением природоохранного законодательства качество воды не всегда отвечает нормативным требованиям. В 3,4 км от впадения р.Чёрная в бухту располагаются два организованных выпуска – оборотных вод очистных сооружений пос.Сахарная Головка и промывных вод гидроузла №3, что отрицательно сказывается на качестве воды устьевой области р.Чёрной [8]. Кроме этого, сбросы в устьевой район осуществляют предприятия, расположенные в водоохранной зоне нижнего течения. Значительное количество загрязняющих веществ смывается с территорий этих предприятий при выпадении атмосферных осадков.

Таким образом, загрязнение ртутью донных осадков устьевой зоны Севастопольской бухты зависит, главным образом, от поступления и разгрузки загрязнений, выносимых речным стоком. По мере удаления от устья р.Чёрной, концентрация ртути в донных осадках снижается, и на побережье бух.Маячной и в центральной части бухты она составляла 394 и 609 нг/г соответственно.

Восточная часть Севастопольской бухты находится под влиянием сбросных вод ТЭЦ, а также нескольких локальных выпусков сточных вод, и в то же время она используется в рекреационных и оздоровительных целях. Наблюдения этого района, находящегося под влиянием хозяйственных и сбросных вод ТЭЦ показали, что содержание ртути в донных осадках колебалось от 977 (ст.5) до 1492 (ст.8) нг/г. На экологическую ситуацию этой части бухты оказывают влияние, кроме термических вод, и хозяйственно-бытовые стоки, являющиеся причиной изменения гидрохимического фона морской воды и нарушения равновесия в экологических системах [9]. В данном районе преобладают малые глубины, и по мере удаления от ТЭЦ концентрация ртути в донных осадках снижается, изменяясь от 1492 (ст.8) до 1140 (ст.9) нг/г. Донные отложения бух.Сухарной содержали 1074 нг/г ртути.

На траверзе Килен-бухты и в центральной части концентрация ртути в донных осадках сравнима с кларковыми значениями и составляла 400 – 417 нг/г сырой массы. В донных отложениях бух.Голландия содержание ртути более чем в 3 раза превышало фоновые значения и составляло

1240 нг/г. Вероятнее всего, загрязнение ртутью данной акватории бухты происходит за счёт эксплуатации судов. Наблюдения на ст.16 показали, что концентрация ртути (1406 нг/г) в донных осадках сопоставима с районом ТЭЦ. У причальной стенки северного побережья Севастопольской бухты стоят корабли ЧФ РФ. Льяльно-балластные воды имеются на всех кораблях военно-морских флотов, однако, технические средства, необходимые для предотвращения загрязнения окружающей среды, отсутствуют. В центральной части бухты содержание ртути составляло 991 нг/г, уменьшаясь до 566 нг/г в донных осадках Корабельно-доковой бухты.

В песчаных донных отложениях бух.Северная и бух.Мартынова обнаружены минимальные значения концентрации ртути (87 и 91 нг/г соответственно). На ст.29 – 31, расположенных у выхода из бухты и в районе Константиновского равелина, содержание ртути изменялось от 91 до 202 нг/г. Концентрация ртути в Артиллерийской бухте у берега составляла 681 нг/г, на выходе из бухты 1290 нг/г. Поступление ртути здесь также обусловлено морским транспортом. В центральной части Севастопольской бухты (ст.27, 28, 32) содержание ртути в донных осадках изменялось от 402 до 878 нг/г. Эти показания превышают природные уровни ртути в морских шельфовых донных осадках.

Менее благоприятная экологическая обстановка в отношении загрязнения ртутью донных отложений сложилась в бух.Южная. На ст.17 – 21 содержание ртути составило 1311 – 1811 нг/г, что более чем на порядок выше фонового уровня. Этот район можно охарактеризовать как более эвтрофированный по сравнению со станциями, прилегающими ближе к открытой части моря. Для данного участка бухты, на фоне затруднённого водообмена характерна высокая степень загрязнения не только ртутью, но и другими тяжёлыми металлами, токсикантами и нефтеуглеводородами. Нефть и нефтепродукты являются основными и наиболее распространёнными загрязнителями морской воды. Они содержат большое количество примесей (серо-содержащие, азотосодержащие соединения, органические кислоты), которые способны образовать комплексные соединения с тяжёлыми металлами, в том числе и с ртутью. Большинство подобных соединений имеет низкую растворимость в воде. В связи с этим, выдвинуто предположение, что при взаимодействии нефти с ртутью происходит её концентрирование на поверхности нефтяной плёнки. При этом степень очистки морской среды снижается.

Исследования показали, что нефтепродукты действительно способны сорбировать тяжёлые металлы. Повышение солёности и рН воды усиливает способность нефтяных плёнок к сорбции ртути. Рассматривая загрязнение бух.Южная ртутью, нельзя не учитывать поступление её с кораблей и судов морского флота. Многие корабли и суда военно-морских флотов (ВМФ Украины и ЧФ РФ) не оборудованы закрытыми системами для сбора нефтесодержащих вод, хозяйственно-бытовых стоков и отходов жизнедеятельности, а также техническими средствами их очистки и переработки. В результате ежедневно с каждого борта в бухту сбрасывается от 2,5 до 6 м³ неочищенных хозяйственно-бытовых стоков. Сбор и переработка льяльных вод не осуществляется в должной мере из-за отсутствия необходимого количества специализированных судов. В регионе есть две станции по сбору и переработке льяльно-балластных вод. Несмотря на это, сброс загрязняющих ве-

ществ в акваторию продолжается, в результате чего в морскую воду попадают нефтепродукты и соединения ртути. В настоящее время общий объём неочищенных сточных вод, которые сбрасываются в Севастопольскую бухту предприятиями, воинскими частями, кораблями и судами ВМС Украины и ЧФ РФ составляет около 2 млн. м³ в год.

Положение усугубляется невозможностью в должной мере контролировать суда ЧФ РФ, т.к. на местном уровне не решены вопросы соблюдения ЧФ РФ экологического законодательства Украины. В настоящее время в соответствии с межправительственным соглашением объектам ЧФ РФ разрешено производить сброс стоков в море без очистки или недостаточно очищенными. Создано абсурдное положение, когда природоохранные законы Украины не действуют на суверенной территории государства. Несмотря на все природоохранные мероприятия, проводимые в последнее время, бух.Южная продолжает оставаться гипертрофной акваторией, в которой уровень трофности превышает ассимиляционную ёмкость экосистемы, что приводит к негативным последствиям – вторичному загрязнению (поступление загрязнений со дна), гипоксии, заморам бентосных организмов [10].

Фактически Севастопольская бухта превратилась в источник сточных вод. Рыхлые донные отложения акватории бухты при недостаточном водообмене приобретают токсические свойства и приводят к вторичному загрязнению морской среды. В этих условиях неотъемлемым элементом мониторинга должны стать показатели качества среды. Для донных отложений нормативные критерии отсутствуют. Интегрированными показателями оценки загрязнённости водоёма могут быть экологические ПДК. Для предельного содержания ртути в воде рекомендована величина 0,05 мкг/л. Загрязнение ртутью воды Севастопольской бухты в последние годы снизилось и составляет не более 50 % от ПДК, принятых для океанических вод. Однако, сравнивая эти показатели с экологическими критериями, можно констатировать, что загрязнение Севастопольской бухты находится на уровне экологических нормативных значений.

Таким образом, донные осадки позволяют судить не только о современном экологическом состоянии акватории, но прогнозировать и оценивать естественные процессы её самоочищения, т.е. возможности улучшения или ухудшения экологического состояния акватории в период её эксплуатации.

Ранее было показано, что в Севастопольской бухте при высоких уровнях загрязнения ртутью морских вод достигается предел сорбционного насыщения донных отложений, что приводит к относительному снижению седиментационного самоочищения вод от ртути и увеличению периода её круговорота в водной среде. По нашим оценкам, предел сорбционного насыщения составляет 2740 нг/г в районе Павловского мыса, а период седиментационного круговорота ртути на этой станции равен 2,3 года [4].

Выводы. Исследования пространственного распределения ртути в поверхностном слое донных отложений Севастопольской бухты позволили выявить районы повышенного содержания ртути – бух.Южная, ТЭЦ и акватория стоянки российских кораблей на Северной стороне, приуроченные к местам наиболее интенсивного сброса промышленных, коммунальных и ливневых стоков. Экологически безопасные районы – центральная часть и

выход из бухты. Уровни загрязнения донных осадков ртутью зависят от их гранулометрического состава и расположения источников загрязнения. Высокие концентрации ртути в отдельных акваториях бухты не позволяют отнести её к категории чистых и экологическую обстановку в Севастопольской бухте следует рассматривать как неблагоприятной.

Оценка качества морской среды, испытывающей мощное антропогенное воздействие, выявление особенностей загрязнения химическими веществами отдельных регионов, является одной из важнейших задач для определения мероприятий, способствующих улучшению экологической обстановки. Представленный материал может являться основой для эколого-экономических оценок опасности, которую представляет загрязнение ртутью Севастопольской бухты для различных форм хозяйственной деятельности. Полученные результаты могут быть использованы при разработке территориальных схем охраны природы и систем мониторинга загрязнения морской среды ртутью.

Автор признателен сотрудникам отдела гидрофизики шельфа МГИ НАН Украины за отбор и предоставление проб донных отложений для определения в них концентрации ртути, за успешное совместное сотрудничество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Светашева С.К.* Загрязнение ртутью Севастопольской бухты // II Всесоюз. конф. по рыбохоз. токсикологии, посвящ. 100-летию проблемы качества воды в России.– СПб, 1991.– 2.– С.171-173.
2. *Светашева С.К.* Загрязнение ртутью воды, грунта и рыб Севастопольской бухты // Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия.– Киев, 1993.– С.67-70.
3. *Губанов В.И., Клименко Н.П., Моница Т.Л.* Современное состояние загрязнения вод Черного моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей. IV. Черное море.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996.– вып.3.– 230 с.
4. *Костова С.К., Егоров В.Н., Поповичев В.Н.* Многолетние исследования загрязнения ртутью Севастопольских бухт (Черное море) // Экология моря.– 2001.– 56.– С.99-104.
5. *Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнение природной среды.*– М.: Гидрометеоздат, 1986.– 180 с.
6. *Игошин А.М., Богусевич Л.Н.* Беспламенный атомно-абсорбционный метод определения ртути в воде // Гидрохимические материалы.– 1969.– 47.– С.150-156.
7. *Прокофьев А.К., Степанченко Т.В.* Методы определения токсичных загрязняющих веществ в морской воде и донных осадках.– М.: Гидрометеоздат, 1981.– С.34-42.
8. *Овсяный Е.И., Романов А.С., Миньковская Р.Я. и др.* Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001.– С.138-152.
9. *Курфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Немировский М.С.* Оценка воздействия хозяйственно-бытовых и сбросных вод ТЭЦ на гидрохимические условия Севастопольской бухты // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу.– Севастополь: Аквавита, 1999.– С.95-102.
10. *Зайцев Ю.П.* Экологическое состояние шельфовой зоны Черного моря и побережья Украины // Гидробиол. журн.– 1992.– 4.– С.3-18.

Материал поступил в редакцию 2.03.2005 г.