

Научная статья

Original article

УДК 332.33

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_11_537

**АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ЭКОСИСТЕМЫ ЧЕРНОГО МОРЯ
ANALYSIS OF THE STUDY OF THE ISSUE OF MERCURY POLLUTION OF
THE BLACK SEA ECOSYSTEM**



Колесникова Татьяна Игоревна, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, tatkol@sfedu.ru

Овсепян Ася Эмильевна, к.г.н., доцент, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, aeovsepyan@sfedu.ru

Тельнова Юлия Алексеевна, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, telnova@sfedu.ru

Зимовец Алина Александровна, к.г.н., доцент, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, aazimovec@sfedu.ru

Лукичев Дмитрий Александрович, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, dlukichev@sfedu.ru

Kolesnikova Tatiana Igorevna, of the Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, tatkol@sfedu.ru

Ovsepyan Asya Emilyevna, kgn., Associate Professor of the Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, aeovsepyan@sfedu.ru

Telnova Yulia Alekseevna, of the Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, telnova@sfedu.ru

Zimovets Alina Aleksandrovna, kgn., Associate Professor of the Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, aazimovec@sfedu.ru

Lukichev Dmitry Alexandrovich, of the Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, dlukichev@sfnu.ru

Аннотация. На современном этапе развития человеческой цивилизации ртутное загрязнение приобрело глобальные масштабы, и осознание этого факта обусловило разработку и принятие международного соглашения о сокращении добычи, использования и утилизации накопленных объемов металла и его соединений. Черное море является уникальным водным объектом, внутренним морем бассейна Атлантического океана, где своеобразие природных условий, физико-географического положения способствовали возникновению древних поселений и освоению его берегов с «незапамятных» времен. Споры и территориальные конфликты в этом регионе не утихают и сегодня. В этих сложных, меняющихся условиях, а также учитывая важность для населения, длительность и интенсивность антропогенного воздействия, – особенно актуальным становится сохранение и приумножение знаний о состоянии экосистемы водного объекта, в том числе по вопросу загрязнения ртутью. В представленном материале проведен анализ существующих данных по изучению ртути в компонентах экосистемы Черного моря, выявлены наиболее и наименее изученные компоненты, и участки акватории, охарактеризованы основные источники поступления ртути, определены перспективные направления исследований.

Abstract. At the present stage of the development of human civilization, mercury pollution has acquired global proportions, and the realization of this fact led to the development and adoption of an international agreement on reducing the extraction, use and disposal of accumulated volumes of metal and its compounds. The Black Sea is a unique body of water, the inner sea of the Atlantic Ocean basin, where the uniqueness of natural conditions, physical and geographical location contributed to the emergence of ancient settlements and the development of its shores since "immemorial" times. Disputes and territorial conflicts in this region do not abate today. In these complex, changing conditions, as well as taking into account the importance for the population, the duration and intensity of anthropogenic impact, it becomes especially important to preserve and increase knowledge about the state of the ecosystem of a water body, including on the

issue of mercury pollution. In the presented material, the analysis of existing data on the study of mercury in the components of the ecosystem of the Black Sea is carried out, the most and least studied components and areas of the water area are identified, the main sources of mercury intake are characterized, promising research directions are identified.

Ключевые слова: ртуть, экосистема, Черное море

Keywords: mercury, ecosystem, Black Sea

Введение

На сегодняшний день очевидно, что проблема ртутного загрязнения окружающей среды обрела глобальный характер. Содержание металла в компонентах экосистем, удаленных на тысячи километров от промышленно-развитых районов планеты, в несколько раз выше, чем это отмечалось в начале 20 века, в доиндустриальную эпоху. Природные объекты, расположенные «внутри» промышленно развитых стран и территорий, – испытывают прямое антропогенное воздействие (Ovseruyan et al., 2015, Овсепян и др., 2016). И максимальный эффект приходится именно на водные экосистемы, поскольку сюда стекаются загрязняющие вещества с атмосферными осадками, с поверхностным и подземным стоком, сюда несут свои воды реки, собирающие стоки промышленных предприятий и городов. В данном аспекте Черное море является одним из самых уязвимых, подверженных повышенному антропогенному прессингу внутриматериковых водоемов мира. С древних времен побережье Черного моря было одним из центров формирования и развития человеческой цивилизации, географическое положение обусловило его роль как транспортной артерии, связывающей европейские страны с Ближним Востоком и азиатской частью материка. На данный момент выход к морю есть у семи государств, сюда впадают крупнейшие европейские реки (Дунай, Днепр, Днестр), протекающие через более чем 10 стран мира, и множество рек поменьше. Море по-прежнему имеет важное транспортное, рекреационное, стратегическое и военное значение, и ввиду всего перечисленного, – является одним из самых загрязненных водоемов. Кроме того, Черное море поддерживает богатый коммерческий рыбный промысел, который может подвергаться риску повышенного накопления ртути.

Акватория, побережье и экосистема Черного моря относительно ртутного загрязнения изучены неравномерно. Так, в русскоязычном сегменте научно-исследовательских данных наиболее широко представлены материалы сотрудников Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, г. Севастополь, - на долю ученых данного учреждения приходится порядка 80 % всех публикаций за последние 10 лет (в том числе в соавторстве (Плотицына и др.)). Активные исследования, исходя из анализа публикаций, также проводит Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Филиал МГУ в г. Севастополе (изучается вода, донные отложения), ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, РФ (биота), Южный федеральный университет в сотрудничестве с Гидрохимическим институтом (комплексные исследования метана, ртути и сероводорода в воде и донных отложениях северо-восточного побережья Черного моря) (Федоров, Хорошевская, 2009). Институт агроэкологии и биотехнологии УААН, Киев, Украина (ртуть в донных отложениях и мидиях Крымского побережья), Мурманский морской биологический институт Кольского НЦ РАН, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение (Часовников и др., 2018), Институт аридных зон Южного НЦ РАН (экосистема Туапсинского порта, район Геленджика, Голубой бухты – водная толща и донные осадки, загрязнение Керченского пролива и прилегающей акватории Черного моря). Отметим практически отсутствующие данные за последние 20 лет по прибрежным экосистемам акваторий Грузии, Абхазии и Украины. Относительно немногочисленны исследования содержания ртути в экосистемах Болгарского и Румынского участков акватории Черного моря. В англоязычных источниках научной информации представлено большое количество данных по ртути в компонентах экосистемы Черного моря, в основном юго-западного и южного побережья. Отметим акцент, присущий ученым из Турции – там основное внимание уделяется промысловым видам гидробионтов и оценке риска для здоровья населения.

По мнению исследователей, Черное море является уникальной природной лабораторией для изучения биогеохимического круговорота ртути. Значительный вертикальный градиент плотности в Черном море приводит к слабому насыщению кислородом глубоководных районов и, следовательно, к бескислородным и сульфидным условиям на глубине. Таким образом, в водной толще Черного моря сложились условия, напоминающие геохимический барьер, который характерен для прибрежных донных отложений. Это представляет интерес с точки зрения исследований ртути, поскольку известно, что прибрежные отложения являются местами интенсивного метилирования ртути.

Так, авторы (Lamborg et al., 2007) проводили исследования на границе кислородной и бескислородной зон в толще воды, и выявили закономерность: концентрация монометилхлорида была самой высокой в верхней части переходной зоны в Черном море, где содержание растворенного кислорода и сульфидов было очень низким. Это косвенно согласуется с гипотезой о том, что именно химическая форма ртути определяет биодоступность и, следовательно, скорость метилирования, - а не активность сульфатредуцирующих бактерий. Концентрации ртути ниже субкислородной зоны увеличивались одновременно с увеличением содержания сульфида и, по мнению авторов, являются одними из самых высоких, о которых сообщалось для окружающей среды открытого океана. Также ими проводился расчет баланса массы ртути в Черном море, включая такие исходные показатели, как осадки, приток речных и средиземноморских вод, а также сток и отток через Босфор. Авторы пришли к выводу, что существует значительный дополнительный приток ртути, превышающий 68 кмоль в год, среди вероятных источников называются тектонические процессы, и загрязнение, связанное с реками. Масштабирование общего объема поступлений в Черное море по площади бассейна указывает на то, что ртуть оказывает воздействие, сопоставимое с такими урбанизированными районами, как Лонг-Айленд-Саунд или Чесапикский залив (Lamborg et al., 2007).

По данным экспедиционных наблюдений ФГУП «АзНИИРХ» в северо-восточной части Черного моря на 1992-2012 гг. выявлено, что среднегодовая

концентрация ртути варьировалась в диапазоне от 0.05 до 0.41 мкг/л (Корпакова и др., 2013). Наиболее высокие концентрации зафиксированы в 1998 г. в районе г. Новороссийск и составили 0.41 мкг/л (рис.1).

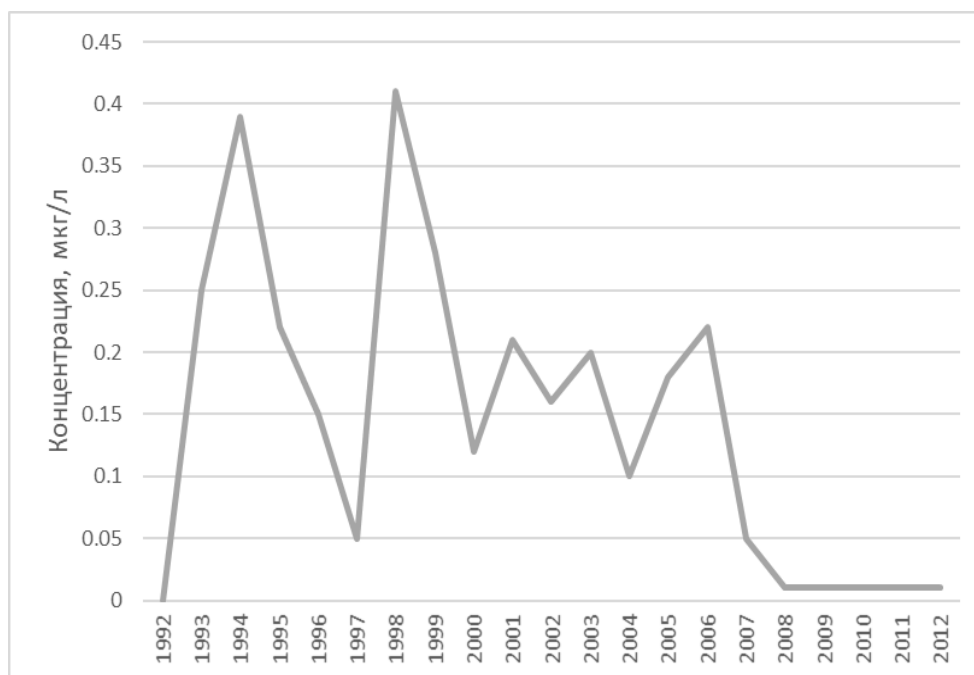


Рис.1. Динамика концентраций ртути в воде северо-восточной части Черного моря за период 1992-2012 гг. (составлено автором по материалам Корпакова и др., 2013)

Авторы отмечают, что концентрации ртути превышали нормы ПДК примерно в 60% проб. Хотя по сравнению с результатами 1992-2002 гг. отмечено снижение содержания Hg в воде на 2012 г. в 1,6 раза.

По результатам экспедиции сотрудниками «АзНИИРХ» в рамках 4-х съёмки, проведённых в Чёрном море у Крымского полуострова в весенний, летний и осенний периоды 2019 г. выявлено, что на протяжении всего времени исследования превышения ПДК ртути не отмечалось (Барабашин и др., 2020).

Исходя из вышесказанного, можно прийти к выводу, что на современный период повышенные концентрации ртути приурочены к районам с высокой рекреационной нагрузкой – таким, как Геленджикская и Голубая бухты, а также г. Ялта, являющимся популярными курортами и имеющим функциональные порты и рыбзаводы, приносящие вклад в загрязнение вод Черного моря.

В работе (Губанов, 2010) приводится оценка содержания ртути в донных отложениях прибрежных районов Крымского полуострова в Черном море (рис.2). Исследование было проведено в 2005 - 2007 гг. и направлено на определение степени загрязнения тяжелыми металлами в регионе.



Рис.2. Схема районов исследования Крымского полуострова (составлено по данным Губанов, 2010)

Авторы отмечают, что пространственное распределение тяжелых металлов характеризовалось неоднородностью, концентрация ртути в донных отложениях исследуемых районов варьировалась от 0.02 до 0.87 мкг/г, при среднем значении 0.078 мкг/г. Самое высокое содержание ртути было обнаружено в прибрежной зоне г. Севастополь. Исследование также показало, что уровень концентраций ртути в донных отложениях превысил фоновые значения для Черного моря, что указывает на то, что регион подвержен антропогенному загрязнению.

В ходе экспедиционных работ 75-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в июле 2013 года изучено распределение тяжелых металлов в «геолого-экологической» системе донных отложений на континентальном склоне Черного

моря. Результаты показали значительные различия в концентрации тяжелых металлов в различных слоях изучаемой системы. Было установлено, что средняя концентрация ртути в образцах донных отложений, собранных на исследуемых участках, превышает допустимый уровень. Исследование также показало, что самые высокие концентрации ртути были обнаружены в верхних слоях образцов донных отложений. По выводам авторов распределение ртути в изученной системе указывает на то, что основными источниками поступления ртути являются химическая и нефтехимическая промышленность, а также транспортная деятельность в регионе. Исследование также выявило наличие различных геологических структур на двух участках, которые могут влиять на распределение тяжелых металлов в осадочных слоях (Емельянов и др., 2018).

По данным исследований 2018-2019 гг. (Евсеева и др., 2020) концентрация ртути в донных отложениях Черного моря относительно низка по сравнению с другими тяжелыми металлами, такими как свинец, кадмий и медь. Однако было обнаружено, что содержание ртути в некоторых образцах превышает ПДК, установленные экологическими нормативами.

В работах (Rosati, G et al, 2018; Ustun Odabaşı S et al, 2018; Ilhan Altinok, 2010) отмечалось, что наиболее высокое содержание ртути в донных осадках наблюдались в западных и северо-западных районах моря преимущественно в зимние месяцы. Концентрации ртути, указанные в рассмотренных исследованиях, варьировались в широких пределах: от менее 0.001 нг/г до более 100 нг/г в образцах донных отложений. В работе (Ilhan Altinok, 2010) проведен анализ распределения различных форм ртути в пробах донных отложений, собранных на двух участках в Западной части Черного моря. Исследование показало, что самые высокие концентрации метилртути, наиболее токсичной формы ртути, были обнаружены в более глубоких слоях отложений, что указывает на потенциал биоаккумуляции и биомагнификации в пищевой цепи.

Проведенные исследования содержания ртути в донных отложениях Черного моря позволили получить ценную информацию о масштабах и серьезности ртутного загрязнения в этом регионе. Результаты этих исследований подтвердили, что Черное

море подвержено антропогенному загрязнению, основными источниками которого являются химическая и нефтехимическая промышленность, а также транспортная деятельность в регионе. Наиболее загрязненные районы находятся в местах расположения рекреационных центров, таких как город Севастополь. Высокая концентрация ртути в верхних слоях образцов донных отложений указывает на то, что это недавнее загрязнение и что источники загрязнения все еще активны.

Следовательно, существует настоятельная необходимость в соответствующих мерах по контролю и сокращению загрязнения ртутью Черного моря. Эти меры должны включать реализацию эффективных стратегий предотвращения загрязнения, разработку соответствующих нормативных актов и стандартов, а также использование чистых технологий в промышленности и на транспорте.

При попадании в водоем ртуть подвергается трансформации, при которой она поглощается бактериальными мембранами и превращается в метилртуть (CH_3Hg^+), оказывая более вредное воздействие на морскую биоту из-за своей высокой липофильности по сравнению с ее ионной формой (Шинетова, Бикеева, 2017; Моисеенко, Гашкина, 2016). Из-за своей липофильной природы метилртуть легче накапливается в органах гидробионтов и имеет медленный процесс выведения из организма из-за ее сродства к сульфгидрильным группам белков (Филатов, Чарова, 2007; Моисеенко, 2016). Накопление метилртути в рыбах зависит от их рациона питания, причем у хищных видов концентрация ртути в 5-10 раз выше, чем у донных видов (Мур, Рамамурти, 1987). Это связано с тем, что ртуть первоначально накапливается в водорослях, которыми питается планктон, затем поглощается рыбами с уже аккумулятивной ртутью. По мере повышения трофического уровня увеличивается и концентрация ртути.

Выявлено, что содержание ртути более низкое в тканях ставриды по сравнению с другими рыбами, ведущими менее активный образ жизни. Сравнительно более высокие концентрации ртути обнаружены в тканях морского кота (0.3 мг/кг) и бычка-мартовика (0.08 мг/кг), ведущих донный образ жизни, у остальных видов концентрации ртути находятся в пределах 0.06-0.09 мг/кг.

В ходе проводимых мониторинговых исследований (Гончарук и др., 2013) зафиксировано увеличение концентрации ионов тяжелых металлов вдоль черноморского побережья Юго-Восточного Крыма вследствие промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Двустворчатые моллюски, обитающие в прибрежной акватории, являются ценным инструментом для мониторинга состояния морской среды. Моллюски, толерантные к тяжелым металлам и способные накапливать их в своих тканях, обеспечивают комплексное отражение состояния окружающей среды их возрастным статусом, что подтверждается в следующих работах (Высоцкая и др., 2013; Кравцова, 2014). На базе «АЗНИИРХ» в ходе исследования загрязнения биоресурсов северо-восточной акватории Черного моря ртутью в 2020 г. отобраны пробы гидробионтов летом (июнь и август) и ранней осенью (сентябрь). В выборку попали самки и самцы промысловых Черноморских видов рыб (мерланг, ставрида, барабуля, шпрот, хамса). Концентрация ртути в мышцах исследованных водных организмов варьировала от <0.005 до 0.014 мг/кг сырой массы. Мерланга и ставрида показали самые высокие концентрации – 0.014 мг/кг, в то время как в остальных образцах уровни были очень низкими или колебались около предела обнаружения, установленного используемым методом анализа (0.005 мг/кг сырого веса). Основываясь на результатах исследования, во всех образцах водных организмов Черного моря уровень накопления ртути в их мышцах был значительно ниже регулируемого предела (0.5 мг/кг) в соответствии с ТР ТС 021/2011 (Горгола и др., 2021).

ФГБУ «НПО «Тайфун» было изучено содержание общей ртути и метилртути в наиболее массовых видах животного мира Черного моря: мидии, хищные донные, придонно-пелагические, пелагические рыбы и дельфины (Моршина и др., 2020). Результаты показали, что концентрация ртути и метилртути в биоте в целом была низкой, содержание Hg в рыбе колебалось от 0.005 до 0.014 мг/кг сырой массы, в то время как CH_3Hg^+ варьировалась от 0.001 до 0.003 мг/кг сырой массы. Концентрация ртути и метилртути в мидиях и морских водорослях была ниже предела обнаружения, установленного используемым аналитическим методом. Согласно нормативным актам Российской Федерации, максимально допустимый

уровень содержания ртути в рыбе и морепродуктах составляет 0.5 мг/кг. Концентрация ртути и метилртути в биоте была ниже этого предела, что указывает на то, что потребление биоты из Черного моря безопасно для здоровья человека.

В зарубежных исследованиях (Beşiktepe, 2019; Çoğun, 2018) проанализирована концентрация ртути в органах и тканях мидий и устриц, а также в тканях трех видов ракообразных (*Penaeus semisulcatus*, *Metapenaeus monoceros* и *Metapenaeus affinis*) из прибрежных вод Черного моря в Турции. Результаты показали, что концентрация общей ртути в образцах мидий колебалась от 0.005 до 0.155 мг/кг, в среднем составляя 0.038 мг/кг. Для образцов устриц этот диапазон составлял от 0.006 до 0.210 мг/кг, для ракообразных – от 0.013 до 0.038 мг/кг. Авторы пришли к выводу, что содержание ртути в мидиях и устрицах было ниже предельно допустимых уровней, установленных правилами Турции и ЕС, а в ракообразных было относительно низким и не представляло существенного риска для здоровья человека. Данные исследования показывают, что, хотя уровень ртути в биоте Черного моря варьируется в зависимости от вида и местоположения, в целом он остается ниже предельно допустимых уровней, установленных нормативными актами. Однако необходим постоянный мониторинг содержания ртути в биоте, поскольку любое повышение уровня загрязнения может привести к накоплению химического элемента в пищевой цепи, что в конечном итоге скажется на здоровье человека.

Заключение

Побережье Черного моря на данный момент разделяют 7 стран, в том числе одна непризнанная, и две находящиеся в острой фазе противостояния. Принадлежность к юрисдикции государств отдельных участков побережья и акватории Черного моря нестабильны, и это один из ныне действующих факторов, затрудняющий как мониторинг состояния экосистемы, так и отслеживание источников загрязнения моря, и конечно устранения негативных последствий антропогенного воздействия.

Анализ данных, представленных в работе, показывает, что концентрация ртути в донных отложениях Черного моря относительно низка по сравнению с

другими тяжелыми металлами, но в некоторых образцах превышаются предельно допустимые концентрации, установленные экологическими нормативами.

Пространственное распределение тяжелых металлов характеризуется неоднородностью, и самое высокое содержание ртути обнаружено в прибрежной зоне Севастополя, а также Каркинитском заливе (82.65 нг·л⁻¹), основным источником загрязнения которых являются химическая и нефтехимическая промышленность, а также транспортная деятельность. Также необходимо учитывать наличие различных геологических структур, которые могут влиять на распределение тяжелых металлов в осадочных слоях.

Изучение содержания ртути в донных отложениях Черного моря проводится многими зарубежными исследователями, и их результаты свидетельствуют о том, что самое высокое содержание ртути в донных отложениях наблюдается в западных и северо-западных районах моря преимущественно в зимние месяцы. Была также отмечена возможность биоаккумуляции и биомагнификации наиболее токсичной формы ртути, метилртути, в пищевой цепи.

В российском секторе исследования проводятся на нерегулярной основе, за исключением локального мониторинга, а общие объемы данных значительно отстают от зарубежных. Единичными являются исследования вне портовых акваторий. Эти наблюдения обосновывают ученых интерес к проведению масштабного изучения накопления и поведения ртути в прибрежных экосистемах Черного моря.

Следует также отметить еще одну особенность – в северо-восточном секторе побережья Черного моря изучение накопления ртути в экосистеме проводится в рамках комплексных исследований и не является самостоятельным. Кроме того, в российском секторе существует недостаток исследований, посвященных накоплению ртути и её соединений в гидробионтах и оценке рисков.

Список источников

1. Features of accumulation of mercury in the bottom sediments of lakes in Arkhangelsk and its surrounding area / A. E. Ovsepyan, Yu. A. Fedorov, A. A. Zimovets, V. A. Savitsky // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015,

Albena, Bulgaria, 18–24 июня 2015 года. Vol. 1. – Sofia: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2015. – P. 353-360. – DOI 10.5593/SGEM2015/B51/S20.046

2. Оценка накопления ртути в объектах живой и неживой природы севера Европейской территории России / А. Э. Овсепян, Ю. А. Федоров, А. А. Зимовец, В. А. Савицкий // В мире научных открытий. – 2016. – № 5(77). – С. 116-133.

3. Плотицына, О. В. Распределение ртути в воде соленых озер северно-западной части Крыма, Черного моря и севастопольских бухт / О. В. Плотицына, А. П. Стецюк, В. Н. Поповичев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – № 28. – С. 225-230.

4. Федоров Ю.А. Метан, ртуть и сероводород в воде и донных отложениях северо-восточного побережья Черного моря / Ю. А. Федоров, В. О. Хорошевская // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2009. – № 5(153).

5. Часовников В.К. Анализ концентраций загрязняющих веществ (нефтепродуктов, фенолов, СПАВ, ХОП, ПАУ, тяжелых металлов и др.) в водной толще и в донных осадках Геленджикской и Голубой бухт / В. К. Часовников, В. П. Чжу, О. А. Очередник // Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции "Черное море - 2017" на МНИС "Ашамба" / Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук. – Москва: Научный мир, 2018. – С. 67-78. – DOI 10.29006/978-5-91522-472-7-2018.3.

6. Lamborg C.H., Yiğiterhan O., Fitzgerald W.F., et al. Vertical distribution of mercury species at two sites in the Western Black Sea // Marine Chemistry, 2007. 111(1) DOI: 10.1016/j.marchem.2007.01.011

7. Корпакова И.Г. Тяжелые металлы в акватории и ихтиофауне северо-восточной части Черного моря / И. Г. Корпакова, А. А. Ларин, И. В. Кораблина // Вопросы рыболовства. – 2013. – Т. 14, № 4(56). – С. 757-768.

8. Содержание токсикантов в глубоководном и прибрежных районах Чёрного моря у Крымского полуострова в весенне-осенний период 2019 года / Т. О. Барабашин, И.

В. Кораблина, Л. Ф. Павленко [и др.] // Труды ВНИРО. – 2020. – Т. 181. – С. 187-205. – DOI 10.36038/2307-3497-2020-181-187-205.

9. Губанов, В. И. Оценка состояния загрязнения донных осадков тяжёлыми металлами в прибрежных районах Крыма (Чёрное море) / В. И. Губанов, Ю. П. Копытов, Н. И. Бобко // Морской экологический журнал. – 2010. – Т. 9, № 4. – С. 38-47.

10. Емельянов В.А., Довбыш С.Н., Наседкин Е.И., Цымбалюк К.К. Тяжелые металлы в геолого- экологической системе донных отложений континентального склона Черного моря // ГПИМО. 2018. №2 (52).

11. Оценка загрязнения воды и донных отложений Кавказского района Черного моря тяжелыми металлами и мышьяком в современный период / А. И. Евсева, И. В. Кораблина, Ж. В. Геворкян [и др.] // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2020. – Т. 3, № 3. – С. 7-16.

12. Rosati, G et al. “Mercury in the Black Sea: New Insights From Measurements and Numerical Modeling.” Global biogeochemical cycles vol. 32,4 (2018): 529-550.

13. Ustun Odabaşı S et al. Temporal variation of mercury in Turkish Black Sea waters and associated risk assessment Global NEST Journal/ 20.2 (2018): 345-354

14. Ilhan Altinok A. ”Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea”. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 10,4 (2010):565-572

15. Шинетова Л.Е., Бекеева С.А. Современные представления о влиянии различных форм ртути на организм // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2017. С. 370-375.

16. Филатов Б.Н., Чарова Т.А. Особенности диагностики и экспертизы поражений ртутью // Загрязнение ртутью окружающей среды: эмиссия в атмосферу, восстановление территорий и влияние на здоровье. Международный семинар. 2007. С.43-44

17. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Биоаккумуляция ртути в рыбах как индикатор уровня загрязнения вод // Геохимия. 2016. №6. С 495-504.

18. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. Москва: Мир. 1987. 286 с.

19. Гончарук В.В., Лапшин В.Б., Самсоны-Тодоров А.О., Коваленко В.Ф., Морозова А.Л., Зарицкий К.О., Сыроешкин А.В. Комплексная оценка токсичности морской воды в акватории Карадагского природного заповедника // Химия и технология воды. 2013. Т. 35. № 3. С. 229–239.
20. Высоцкая Р.У., Такшеев С.А., Скидченко В.С. Накопление тяжелых металлов и их влияние на активность некоторых ферментов в органах беломорской мидии *Mytilus edulis* // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: материалы III Междунар. конф. с элементами школы для молодых ученых, аспирантов и студентов. Петрозаводск. 2013. С. 23–24.
21. Кравцова А.В. Накопление тяжелых металлов и других микроэлементов макроводорослями рода *Cystoseira* из прибрежной зоны заповедных акваторий Крыма // Биоразнообразие и устойчивое развитие: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Симферополь. 2014. С. 173–175.
22. Оценка уровня загрязнений водной толщи и биоресурсов северо-восточной акватории чёрного моря ртутью в 2020 г / Л. Г. Горгола, И. В. Кораблина // Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг: сборник трудов по материалам I Международной научно-практической конференции, посвященная Году науки и технологий, Керчь, 23–25 сентября 2021 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2021. – С. 50-55.
23. Моршина Т. Н., Т. Б. Мамченко, Е. П. Вирченко, Л. П. Копылова Ртуть и метилртуть в биоте Черного моря // Системы контроля окружающей среды - 2020: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, Севастополь, 09–12 ноября 2020 года. – Севастополь: ИП Куликов А.С., 2020. – С. 80.
24. Beşiktepe, Ş. T., Öztürk, B., & Ünlü, S. (2019). Mercury concentrations in mussels and oysters collected from the Black Sea coast of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 239-243.
25. Çoğun, H. Y., & Çoğun, F. Y. (2018). Mercury content in the tissues of three crustacean species from the coastal waters of the Black Sea in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36498-36505.

1. Features of accumulation of mercury in the bottom sediments of lakes in Arkhangelsk and its surrounding area / A. E. Ovsepyan, Yu. A. Fedorov, A. A. Zimovets, V. A. Savitsky // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, Albena, Bulgaria, 18–24 июня 2015 года. Vol. 1. – Sofia: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технолоджи, 2015. – P. 353-360. – DOI 10.5593/SGEM2015/B51/S20.046
2. Ocenka nakopleniya rtuti v ob`ektax zhivoj i nezhivoj prirody` severa Evropejskoj territorii Rossii / A. E. Ovsepyan, Yu. A. Fedorov, A. A. Zimovecz, V. A. Saviczkiy // V mire nauchny`x otkry`tij. – 2016. – № 5(77). – S. 116-133.
3. Ploticyna, O. V. Raspredelenie rtuti v vode soleny`x ozer severno-zapadnoj chasti Kry`ma, Chernogo morya i sevastopol`skix buxt / O. V. Ploticyna, A. P. Steczyuk, V. N. Popovichev // E`kologicheskaya bezopasnost` pribrezhnoj i shel`fovoj zon i kompleksnoe ispol`zovanie resursov shel`fa. – 2014. – № 28. – S. 225-230.
4. Fedorov Yu.A. Metan, rtut` i serovodorod v vode i donny`x otlozheniyax severovostochnogo poberezh`ya Chernogo morya / Yu. A. Fedorov, V. O. Xoroshevskaya // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvenny`e nauki. – 2009. – № 5(153).
5. Chasovnikov V.K. Analiz koncentracij zagryaznyayushhix veshhestv (nefteproduktov, fenolov, SPAV, XOP, PAU, tyazhely`x metallov i dr.) v vodnoj tolshhe i v donny`x osadkax Gelendzhikskoj i Goluboj buxt / V. K. Chasovnikov, V. P. Chzhu, O. A. Ocherednik // Nekotory`e rezul`taty` kompleksnoj pribrezhnoj e`kspedicii "Chernoje more - 2017" na MNIS "Ashamba" / Institut okeanologii im. P.P. Shirshova Rossijskoj akademii nauk. – Moskva: Nauchny`j mir, 2018. – S. 67-78. – DOI 10.29006/978-5-91522-472-7-2018.3.
6. Lamborg C.H., Yiğiterhan O., Fitzgerald W.F., et al. Vertical distribution of mercury species at two sites in the Western Black Sea // Marine Chemistry, 2007. 111(1) DOI: 10.1016/j.marchem.2007.01.011
7. Korpakova I.G. Tyazhely`e metally` v akvatorii i ixtiofaune severovostochnoj chasti Chernogo morya / I. G. Korpakova, A. A. Larin, I. V. Korablina // Voprosy` ry`bolovstva. – 2013. – T. 14, № 4(56). – S. 757-768.

8. Soderzhanie toksikantov v glubokovodnom i pribrezhny`x rajonax Chyornogo morya u Kry`mskogo poluostrova v vesenne-osennij period 2019 goda / T. O. Barabashin, I. V. Korablina, L. F. Pavlenko [i dr.] // Trudy` VNIRO. – 2020. – T. 181. – S. 187-205. – DOI 10.36038/2307-3497-2020-181-187-205.
9. Gubanov, V. I. Ocenka sostoyaniya zagryazneniya donny`x osadkov tyazhyoly`mi metallami v pribrezhny`x rajonax Kry`ma (Chyornoe more) / V. I. Gubanov, Yu. P. Kopy`tov, N. I. Bobko // Morskoj e`kologicheskij zhurnal. – 2010. – T. 9, № 4. – S. 38-47.
10. Emel`yanov V.A., Dovby`sh S.N., Nasedkin E.I., Cymbalyuk K.K. Tyazhely`e metally` v geologo- e`kologicheskoy sisteme donny`x otlozhenij kontinental`nogo sklona Chernogo morya // GPIMO. 2018. №2 (52).
11. Ocenka zagryazneniya vody` i donny`x otlozhenij Kavkazskogo rajona Chernogo morya tyazhely`mi metallami i my`sh`yakom v sovremenny`j period / A. I. Evseeva, I. V. Korablina, Zh. V. Gevorkyan [i dr.] // Vodny`e bioresursy` i sreda obitaniya. – 2020. – T. 3, № 3. – S. 7-16.
12. Rosati, G et al. “Mercury in the Black Sea: New Insights From Measurements and Numerical Modeling.” Global biogeochemical cycles vol. 32,4 (2018): 529-550.
13. Ustun Odabaşı S et al. Temporal variation of mercury in Turkish Black Sea waters and associated risk assessment Global NEST Journal/ 20.2 (2018): 345-354
14. Ilhan Altinok A. ”Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in the Black Sea”. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 10,4 (2010):565-572
15. Shinetova L.E., Bekeeva S.A. Sovremenny`e predstavleniya o vliyanii razlichny`x form rtuti na organizm // Vestnik Kazaxskogo nacional`nogo medicinskogo universiteta. 2017. S. 370-375.
16. Filatov B.N., Charova T.A. Features of diagnosis and examination of mercury lesions // Mercury pollution of the environment: emission into the atmosphere, restoration of territories and impact on health. International seminar. 2007. pp.43-44
17. Moiseenko T.I., Gashkina N.A. Bioakkumulyaciya rtuti v ry`bax kak indikator urovnya zagryazneniya vod // Geoximiya. 2016. №6. S 495-504.
18. Mur Dzh. V., Ramamurti S. Tyazhely`e metally` v prirodny`x vodax: Kontrol` i ocenka vliyaniya. Moskva: Mir. 1987. 286 s.

19. Goncharuk V.V., Lapshin V.B., Samsoni-Todorov A.O., Kovalenko V.F., Morozova A.L., Zariczkiy K.O., Sy`roeshkin A.V. Kompleksnaya ocenka toksichnosti morskoy vody` v akvatorii Karadagskogo prirodnogo zapovednika // *Ximiya i texnologiya vody`*. 2013. T. 35. № 3. S. 229–239.
20. Vy`soczka R.U., Taksheev S.A., Skidchenko V.S. Nakoplenie tyazhely`x metallov i ix vliyanie na aktivnost` nekotory`x fermentov v organax belomorskoj midii *Mytilus edulis* // *Sovremennye`e problemy` fiziologii i bioximii vodny`x organizmov: materialy` III Mezhdunar. konf. s e`lementami shkoly` dlya molody`x ucheny`x, aspirantov i studentov. Petrozavodsk. 2013. S. 23–24.*
21. Kravczova A.V. Nakoplenie tyazhely`x metallov i drugix mikroe`lementov makrovodoroslyami roda *Cystoseira* iz pribrezhnoj zony` zapovedny`x akvatorij Kry`ma // *Bioraznoobrazie i ustojchivoe razvitie: materialy` III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Simferopol`. 2014. S. 173–175.*
22. Ocenka urovnya zagryaznenij vodnoj tolshhi i bioresursov severo-vostochnoj akvatorii chyornogo morya rtut`yu v 2020 g / L. G. Gorgola, I. V. Korablina // *Pishhevye`e texnologii: issledovaniya, innovacii, marketing: sbornik trudov po materialam I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashhennaya Godu nauki i texnologij, Kerch`, 23–25 sentyabrya 2021 goda. – Kerch`: FGBOU VO «Kerchenskij gosudarstvenny`j morskoy texnologicheskij universitet», 2021. – S. 50-55.*
23. Morshina T. N., T. B. Mamchenko, E. P. Virchenko, L. P. Kopy`lova Rtut` i metilrtut` v biote Chernogo morya // *Sistemy` kontrolya okruzhayushhej sredy` - 2020: Tezisy` dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii, Sevastopol`, 09–12 noyabrya 2020 goda. – Sevastopol`: IP Kulikov A.S., 2020. – S. 80.*
24. Beşiktepe, Ş. T., Öztürk, B., & Ünlü, S. (2019). Mercury concentrations in mussels and oysters collected from the Black Sea coast of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 239-243.
25. Çoğun, H. Y., & Çoğun, F. Y. (2018). Mercury content in the tissues of three crustacean species from the coastal waters of the Black Sea in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36498-36505.

Московский экономический журнал. № 11. 2023

Moscow economic journal. № 11. 2023

Для цитирования: Колесникова Т.И., Овсепян А.Э., Тельнова Ю.А., Зимовец А.А.,
Лукичев Д.А. Анализ изученности вопроса ртутного загрязнения экосистемы
Черного моря // Московский экономический журнал. 2023. № 11.

URL: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2023-4/>

© Колесникова Т.И., Овсепян А.Э., Тельнова Ю.А., Зимовец А.А., Лукичев Д.А., 2023.

Московский экономический журнал, 2023, № 11.