

## ОТЗЫВ

Капранова Сергея Викторовича на автореферат диссертации Стецюк Александры Петровны на тему: «Биогеохимические и экотоксикологические характеристики ртути в Чёрном море», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Специальность 1.5.16 – Гидробиология.

**Актуальность** избранной соискателем темы диссертационной работы определяется высокой токсичностью ртути и персистентностью этого поллютанта в морской среде, оказывающего негативное влияние на состояние и развитие гидробионтов. Особое беспокойство вызывает способность ртути к биомагнификации вдоль пищевой цепи, потенциально приводящей к экстремальному накоплению этого токсичного элемента в организмах, находящихся на верхних уровнях трофической цепи, включая человека. В этом контексте важен мониторинг содержания ртути в живых и косных объектах, ее пространственного распределения, оценка потоков в донные отложения, которые, в свою очередь, позволяют оценить накопление, трансформацию и удаление этого токсиканта из водной толщи. Автореферат демонстрирует постановку и решение этих задач диссертантом на примере рассмотрения характерных элементов экосистемы Черного моря (вода, взвесь, донные отложения, макро- и микроводоросли, ткани рыб) как объектов исследования. Проведенное исследование представляет интерес не только для специалистов в области биогеохимии и экотоксикологии тяжелых металлов, но и будет небезынтересно, например, исследователям в области радиационной биологии, поскольку среди прочего в нем затрагиваются вопросы эквидозиметрии – биологической эквивалентности токсических концентраций ртути дозам радиации, производящим аналогичные эффекты в гидробионтах.

В настоящее время оценка экологической безопасности среды и ее объектов зачастую сводится к сравнению с предельно допустимыми концентрациями без учета процессов, обуславливающих перераспределение токсикантов, и потоков этих загрязнителей. Это дает основание утверждать, что научная проблема, сформулированная в диссертации, является бесспорно актуальной и интересной для изучения.

По содержанию автореферата, работа хорошо продумана, структурирована и масштабна, в должном соответствии с ее названием и поставленной целью. Все пять поставленных задач решены в ходе исследования.

**Научная новизна.** Показано, что наиболее восприимчивым к накоплению ртути компонентом в экосистеме Черного моря является живое и косное вещество в составе взвеси. Коэффициенты накопления ртути в нем находятся в диапазоне порядков от  $10^4$  до  $10^6$ . В природных условиях в живых и косных компонентах черноморской взвеси содержится от 3,2 до 75,0 % от пула ртути в водной среде.

Оценено экотоксикологическое воздействие ртути на микро- и макроводоросли *Dunaliella salina* и *Ulva rigida*.

Разработана методика для нормирования потоков поступления ртути в толщу донных отложений по их возрасту и коэффициентам накопления взвеси.

На примере эстуарной зоны в устье р. Водопадная (г. Ялта) разработана методология реализации концепции устойчивого развития акваторий, в которых ухудшение их состояния вследствие загрязнения ртутью не превышает их способности к самовосстановлению за счет естественных биогеохимических процессов. Оценено максимально допустимое поступление ртути в приустьевую зону побережья ( $0,546 \text{ кг} \cdot \text{год}^{-1}$ ).

**Теоретическая и практическая значимость.** Данные по накоплению ртути во взвеси, гидробионтах и донных отложениях Черного моря представляют собой основу для

дальнейших исследований путей миграции, трансформации и удаления этого элемента из водной толщи, а также его воздействия на различные компоненты среды. Найденные уровни содержания ртути, а также ее потоки в донные отложения являются базисной информацией для исследования формирования гомеостаза морских экосистем по этому элементу.

Используемые в исследовании взвешенное вещество, водоросли *Dunaliella salina* и *Ulva rigida*, а также ткани рыбы *Scorpaena porcus* могут применяться в качестве биоиндикаторов загрязнения морской среды ртутью.

Результаты по концентрированию ртути во взвешенном веществе, гидробионтах и донных отложениях Черного моря позволяют разработать методику оценки нормирования потоков поступления ртути в толщу донных отложений по их возрасту и коэффициентам накопления.

Разработанная диссертантом методология позволяет сформировать обоснование концепции устойчивого развития прибрежной рекреационной зоны г. Ялта с учетом фактора загрязнения морской среды ртутью.

**Апробация работы и публикации.** Результаты работы Стецюк А.П. были представлены и обсуждены на многочисленных международных и всероссийских конференциях и симпозиумах. Согласно списку работ, приведенному в автореферате, на счету диссертанта по теме диссертации 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, все из которых опубликованы в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus, а также 5 статей в других рецензируемых изданиях.

**Замечания к автореферату.** 1. В обосновании актуальности и степени разработанности темы исследования (стр. 1-2) не приводятся ссылки на современную литературу: самая новая из публикаций датируется 2003 г. (Холопов, 2003), и, за исключением еще одной работы (Егоров, 2001), все цитируемые литературные источники относятся к прошлому веку.

2. В том же разделе приводятся выбранные в качестве примеров литературные данные по концентрациям ртути, оказывающим различное по своему характеру отрицательное воздействие на морскую флору: вызывающим задержку роста у водных растений (повидимому, речь идет о макрофитах – 2–250 мкг·л<sup>-1</sup>) и подавляющим жизнедеятельность морских одноклеточных водорослей (0,1 мкг·л<sup>-1</sup>). Эти данные оказываются и несопоставимыми по величине (различия в значениях минимум в 20 раз!), что ведет к недопониманию степени токсичности этого металла для компонентов морской экосистемы, как и к непониманию причин столь разительных отличий в токсических концентрациях для многоклеточных и одноклеточных растений. С учетом огромного имеющегося объема данных по экотоксикологии ртути в морской среде примеры токсических эффектов и концентраций следовало бы подобрать более сообразно.

3. В разделе «Новизна исследований» (стр. 2) непонятно выражение «потребление качества вод». Его следовало бы заменить на более приемлемое.

4. В описании раздела 3.2 диссертации сравнение накопления ртути в печени и жабрах ерша (стр. 9) сопровождается некорректной ссылкой на рис. 4а, который демонстрирует пространственное распределение ртути в мышцах рыб.

5. В единицах измерения концентраций на стр. 12-13, похоже, допущена ошибка – они приведены в нг·мл<sup>-1</sup>, тогда как прежде и далее используются единицы нг·л<sup>-1</sup>.

6. Нет четкого описания к рис. 8. К чему приурочены отличия в результатах цитометрии, представленных на панелях, следующих за панелью контроля? Лишь из приведенного далее текста можно догадаться о том, что речь идет о воздействии различных

концентраций металла в питательной среде, а не, например, о динамике изменений в культуре.

7. Однако при этом нигде не указано – ни в описании к этому рисунку, ни далее, включая рис. 9, – какой момент времени от начала экспозиции зафиксирован на этих диаграммах.

8. На стр. 12 некорректно отнесение интенсивности светорассеяния к размеру клеток («Резкое снижение... флуоресценции... произошло начиная с концентрации ртути  $440 \text{ нг}\cdot\text{мл}^{-1}$  с увеличением размеров клеток в среднем в 2,5 раза»). Светорассеяние с увеличением размера клеток меняется не линейно, а пропорционально некоторой степени линейного размера, от 2 до 6 для очень крупных и очень мелких клеток соответственно.

9. Недостаточно наглядно представлен материал, описываемый в абзаце к разделу 4.3 (стр. 14). Так, не вполне очевидно, что «угнетающее действие на прирост биомассы, выживаемость и состояние пигментной системы ульвы (*Ulva rigida* C. Ag.) оказывают концентрации ртути, превышающие ПДК начиная с  $160 \text{ нг}\cdot\text{л}^{-1}$ ». Если это значение соответствует второй точке графика на рис. 12, то снижение выживаемости наблюдается уже после первой точки, которая соответствует на порядок меньшей концентрации.

10. Также не вполне понятно, откуда следует, что «снижение показателей жизнедеятельности вдвое происходит при концентрации ртути  $77080 \text{ нг}\cdot\text{л}^{-1}$ » и что вообще подразумевается под словосочетанием «показатели жизнедеятельности». Вероятно, указанное значение происходит из линейной аппроксимации выживаемости ульвы, представленной на рис. 12, а «показатели жизнедеятельности» означают выживаемость, но это следовало бы уточнить в тексте.

11. В описании раздела 5.1 на рис. 13 оказывается непонятным хронологическое отнесение глубины слоев донных отложений для Инкермана и Инкерманского (Чернореченского?) ковша. Диссертант приравнивает его к таковому для других частей Севастопольской бухты, хотя осадконакопление в эстуарной зоне р. Черная должно идти существенно быстрее.

12. На стр. 15 следующий параграф нуждается в пересмотре: «Эффект сорбционного насыщения донных осадков ртутью соответствует периодам высокой производственной активности на берегах Севастопольской бухты. Эффект сорбционного насыщения донных осадков ртутью соответствует периодам высокой антропогенной нагрузки на акваторию у Павловского мыса». Во-первых, начало двух предложений параграфа тавтологично. Во-вторых, согласно рис. 13, сорбционное насыщение отмечено только для Павловского мыса и Южной бухты, и следует оставить единую недвусмысленную интерпретацию этого наблюдения (например, техногенная активность или антропогенная нагрузка как причина насыщения).

13. Не вполне понятно, что отложено на горизонтальной оси на рис. 16.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором при подготовке доклада, представляемого к защите.

Автореферат является полноценным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат достаточно полно отражает суть исследования и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Исходя из представленных в автореферате сведений, диссертация написана на высоком научном уровне, соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, и

соискатель А. П. Стецюк заслуживает присуждения ученой степени кандидата наук по специальности 1.5.16 – «Гидробиология».

Ведущий научный сотрудник  
ФИЦ ИнБЮМ, к.х.н., Ph.D.

Капранов Сергей Викторович

ФИЦ ФГБУН «Институт биологии южных морей  
имени А. О. Ковалевского РАН»,  
299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2  
Телефон: +7 (8692) 54-41-10  
Факс: +7 (8692) 55-78-13  
E-mail: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru)

Капранов С.В. Тел.: +7 (978) 8187928,  
Email: [kapranov@ibss-ras.ru](mailto:kapranov@ibss-ras.ru)

Личную подпись С.В. Капранова заверяю.

29.07.2025 г.

*Уч. секретари ФИС ИнБЮМ  
Кудина / М.А. Ковалева/*

