

**Заключение диссертационного совета 24.1.221.01 (Д900.009.01), созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета

от 06 августа 2025 г. № 6

О присуждении Стецюк Александре Петровне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Биогеохимические и экотоксикологические характеристики ртути в Чёрном море» по специальности 1.5.16 – Гидробиология (биологические науки) принята к защите 29.04.2025 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.221.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. 299011, Российская Федерация, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 21 июня 2016 года.

Соискатель Стецюк Александра Петровна, в 2009 году окончила Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности по специальности «Химическая технология редких рассеянных элементов и материалов на их основе» и получила квалификацию инженера-радиохимика. В настоящее время работает научным сотрудником в отделе радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ.

Диссертация выполнена в отделе радиационной и химической биологии и в сотрудничестве с отделом экологической физиологии водорослей ФИЦ ИнБЮМ.

Научный руководитель – **Егоров Виктор Николаевич**, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела радиационной и химической биологии, научный руководитель ФИЦ ИнБЮМ, г. Севастополь.

Официальные оппоненты:

**Волкова Ирина Владимировна** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры гидробиологии и общей экологии ФГОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань;

**Цыганков Василий Юрьевич** – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии ФГБУН Тихоокеанский институт географии Дальневосточного Отделения Российской академии наук, г. Владивосток

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Мурманский морской биологический институт РАН» (ММБИ РАН, г. Мурманск** в своем положительном заключении, подписанном заведующим лаборатории альгологии, доктором биологических наук Воскобойниковым Григорием Михайловичем и утвержденным директором института, доктором биологических наук Макаровым Михаилом Владимировичем, отметила, что:

Диссертационная работа Александры Петровны Стецюк «Биогеохимические и экотоксикологические характеристики ртути в Чёрном море» **представляет несомненную актуальность**, так как проблема загрязнения гидробионтов и их среды обитания тяжелыми металлами, среди которых наиболее токсичным является ртуть, реально существует и, по-видимому, в ближайшее время не исчезнет, несмотря на усилия специалистов самых разных направлений. К сожалению, до настоящего времени не определены закономерности содержания ртути в разных

биокосах: грунт-вода-гидробионты, остаётся много «белых пятен» в понимании процессов биогеохимической трансформации, иммобилизации, удаления из водной толщи и депонирования в донных отложениях данного токсиканта. Практически не разработаны методы эквидозиметрии на единой методологической базе и единых дозовых эквивалентах в отношении ртути для оценки степени антропогенной нагрузки на морские организмы и экосистемы. Именно на решение этих актуальных вопросов гидробиологии, морской экологии направлено выполненное диссертантом исследование. Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задач, имеющих существенное значение для гидробиологии и экологии. Автореферат соответствует диссертационной работе и достаточно полно отражает её содержание и сущность. Диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», установленного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ, к диссертациям на соискание ученой степени кандидата биологических наук, соответствует паспорту специальности 1.5.16 Гидробиология, а её автор, Стецюк Александра Петровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16 – Гидробиология.

Соискатель имеет 29 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 10 работ. Научные работы соискателя посвящены изучению биогеохимических и экотоксикологических характеристик ртути в Чёрном море. В диссертации представлены достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Автор принял непосредственное участие в подготовке статей соответствующей тематики.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Егоров В.Н. Биогеохимические характеристики седиментационного самоочищения севастопольской бухты от радионуклидов, ртути и

хлорорганических загрязнителей / В.Н. Егоров, С.Б. Гулин, Л.В. Малахова, Н.Ю. Мирзоева, В.Н. Поповичев, Н.Н. Терещенко, Г.Е. Лазоренко, О.В. Плотицына, Т.В. Малахова, В.Ю. Проскурнин, И.Г. Сидоров, **А.П. Стецюк**, Л.В. Гулина, Ю.Г. Марченко // Морской биологический журнал. — 2018. — Т. 3, № 2. — С. 40–52. SCOPUS.

2. Егоров В.Н. Возможность реализации концепции устойчивого развития рекреационного побережья города Ялта в отношении биогенных элементов, радионуклидов, тяжёлых металлов и хлорорганических соединений (Крым, Чёрное море) / В.Н. Егоров, Н.Ю. Мирзоева, Ю.Г. Артёмов, В.Ю. Проскурнин, **А.П. Стецюк**, Ю.Г. Марченко, Д.Б. Евтушенко, И.Н. Мосейченко, О.Д. Чужикова-Проскурнина // Морской биологический журнал. — 2023. — Т. 8, № 3. — С. 12–32. SCOPUS.

3. **Стецюк А. П.** Концентрирование ртути во взвешенном веществе пены и воды Черного моря / А. П. Стецюк // Морской биологический журнал. — 2020. — Т. 5, № 3. — С. 74–84. SCOPUS.

4. Egorov V.N., Gulin S.B., Malakhova L.V., Mirzoeva N.Yu., Popovichev V.N., Tereshchenko N.N., Lazorenko G.E., Plotitsina O.V., Malakhova T.V., Proskurnin V.Yu., Sidorov I.G., **Stetsyuk A.P.**, Gulina L.V. Rating Water Quality in Sevastopol Bay by the Fluxes of Pollutant Deposition in Bottom Sediments // Water Resources. — 2018. — Vol. 45, iss. 2. — P. 222-230. SCOPUS, WoS

5. **Stetsyuk A.**, Kuzminova N., Niemiec M. Distribution of mercury in the liver and gills of the scorpion fish (*Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758) from the Sevastopol bays // Journal of Elementology. — 2021. — Vol. 26, iss. 2.— P. 507-517. SCOPUS, WoS.

6. **Стецюк А.П.** Способность морских взвесей концентрировать ртуть в зависимости от ее содержания в акваториях шельфа / А. П. Стецюк, В. Н. Егоров // Системы контроля окружающей среды. — 2018. — № 13 (33). — С. 123–132.

7. **Stetsiuk A. P.** Distribution of mercury in the surface water of the Black Sea and its concentration in suspended matter / A. P. Stetsiuk, V. N. Popovichev // Chemistry for sustainable development. — 2022. — Vol. 30, no. 2. — P. 187–196.

8. **Stetsiuk A.P.** Geochronology of mercury distribution in the bottom sediments of Inkerman Bay (Sevastopol Bay) // Limnology and Freshwater Biology. – 2022. – Vol. 5, No. 3 (SI: Mercury 2022). – P. 1259–126.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные. В 6 отзывах имеются замечания.

**Отзывы без замечаний подписали:**

1. Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Руководитель лаборатории прикладной ихтиологии НИЦ ПСГ – филиал ФИЦ ИнБЮМ Белогурова Раиса Евгеньевна.

**Отзывы с замечаниями:**

2. В отзыве кандидата биологических наук, старшего научного сотрудника Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН **Василевича Р.С.** отмечен ряд вопросов и замечаний:

1. Результаты не всегда подкреплены статистической обработкой, что несколько приуменьшает достоверность представленных выводов.

2. В разделе 3.1. показана значительная вариация среднегодовой концентрации общей формы ртути в воде Чёрного моря с 2016 по 2024 гг. без анализа причин такого поведения и взаимосвязи с другими параметрами морской среды.

3. Считаю не совсем удачным название главы 6 и соответствующее ей положение в теоретической и практической значимости пункте в основных положениях, выносимых на защиту. Выражение «концепция устойчивого развития» слишком обширное, включающее большое количество составляющих, направленных, в том числе, на улучшение качества природной среды и, в конечном счете – условий жизни людей. Достаточно сложно судить о реализации

концепции устойчивого развития рекреационного побережья города Ялта в отношении использования только одного показателя – ртути.

4. Первый вывод представляет констатацию полученных данных без их научного анализа и интерпретации.

3. В своем отзыве кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН **Густайтис М.А.** отмечает:

1. В разделе 3.1. осталось непонятным выражение «общей формы ртути». В экогеохимии принято выражение общей формы ртути (общее содержание элемента вне зависимости от её химической формы). Термин формы ртути применяется в контексте либо формы нахождения ртути или химические формы ртути.

4. В своем отзыве кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН **Аксёнтов К.И.** в качестве замечаний отмечает:

1. Несмотря на то, что представлены данные по концентрации ртути в различных средах и организмах Чёрного моря, складывается впечатление размытости исследования. Вследствие этого цель сформулирована недостаточно конкретно, а именно «изучение биогеохимических и экотоксикологических характеристик ртути в Чёрном море». В таком виде нет указания на конечный результат, который должен быть кульминацией научно-квалификационной работы – кандидатской диссертации. Согласно представленным материалам, одним из вариантов формулировки цели является оценка накопления ртути в организмах и её токсическое воздействие в акватории Чёрного моря. Также вызывает вопрос содержания ртути в водной среде на уровне  $n^*$ мкг/л. Мировые оценки ртути в морской и океанической воде составляют  $n^*$ нг/л и подобные уровни зарегистрированы в Чёрном море иностранными учёными.

5. В своем отзыве старший научный сотрудник отдела экологической физиологии водорослей ФИЦ ИнБЮМ, кандидат биологических наук

**Соломонова Е.С.** и старший научный сотрудник отдела физиологии водорослей ФИЦ ИнБЮМ, кандидат биологических наук **Шоман Н.Ю.** в качестве замечаний отметили, что на микрофотографиях водорослей (рис. 7) принято приводить масштабную линейку. Также автор не везде в тексте указывает, что речь идёт именно об изменениях флуоресценции хлорофилла *a* в клетках микроводорослей под воздействием ртути. В тексте автореферата имеются стилистические ошибки, некоторые предложения нуждаются в корректировке для лучшего их восприятия.

**6.** В своем отзыве кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ИнБЮМ **Капранов С.В.** отмечает, что 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 ещё 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 (по-видимому речь идёт о макрофитах – 2-250 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 учётом огромного имеющегося объёма 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  $\text{нг}\cdot\text{мл}^{-1}$ , тогда как прежде и далее используются единицы в  $\text{нг}\cdot\text{л}^{-1}$ .
6. Нет четкого описания к рис.8. К чему приурочены отличия в результатах цитометрии, представленных на панелях, следующих за панелью контроля? Лишь из приведённого далее текста можно догадаться о том, что речь идёт 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  $160 \text{ нгHg}\cdot\text{л}^{-1}$ ». 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  $77080 \text{ нгHg}\cdot\text{л}^{-1}$ » и что вообще подразумевается под словосочетанием «показателей 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.

7. В своем отзыве начальник химико-аналитического центра ФГБУН ИВЭП СО РАН, д.х.н. **Папина Т.С.**, с.н.с. химико-аналитического центра ФГБУН ИВЭП СО РАН **Эйрих С.С.** отметили, что по тексту автореферата возникли следующие вопросы, хотя, возможно, ответы на них имеются в тексте самой диссертации:

1. Почему не приводится сравнительного анализа полученных результатов с другими отечественными и зарубежными исследованиями акватории Черного

моря? Чем объясняются более высокие уровни концентраций по сравнению с зарубежными исследованиями?

2. Почему в исследовании автор ограничилась скорпеной, а не изучала морских рыб хищников высокого трофического уровня для оценки биомагнификации по трофической цепи?

3. Не очень понятно, что имеется в виду во фразе «потребление качества вод в отношении загрязнения ртутью» в разделе новизны исследований (с.2)?

Также по автореферату есть следующие замечания:

1. В разделе 3.1 сравнение суммарной концентрации ртути (растворенной и взвешенной) с ПДК для морской воды некорректно, т.к. в соответствии с Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 ПДК относится только к растворимым в воде формам. Аналогично в главе 6 проводится сравнение с ПДК для морской воды общей концентрации ртути, а не ее растворимых форм. Кроме того в этом же разделе проводится сравнение пресных речных вод р. Водопадная с ПДК для морской воды, тогда как концентрацию растворенных форм ртути в речных водах следовало бы сравнивать с ПДК пресноводных объектов рыбохозяйственного назначения либо культурно-бытового (в зависимости от того каким объектом является р. Водопадная).

2. На рис.16 непонятно, концентрации в каких точках отражены по горизонтальной оси. В частности, точка отбора речной воды на рис.15 приведена только одна. Чем обусловлена такая разница состава растворенных и взвешенных форм?

3. В автореферате имеются незначительные описки, например, н а с.9 в разделе 3.2 в сравнении должны быть мышцы, а не жабры (на рис. 4а).

#### ***Общее заключение по отзывам:***

В целом, в отзывах отмечается, что диссертационная работа Стецюк А.П. демонстрирует высокий уровень проработки темы, владение автором современными методами аналитических, гидробиологических и

токсикологических исследований, глубокое понимание сорбционных и метаболических процессов и трофических взаимодействий ртути в морских экосистемах и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Основу диссертационной работы составляет огромный массив экспериментально-аналитических данных, полученных в период 2019-2021 гг. Используемые методики анализа на ртуть и другие параметры соответствуют российским и общемировым стандартам. Особенностью работы является обоснование критериев для разработки методологии нормирования потоков поступления ртути в толщу донных осадков по их датировке и коэффициентам накопления. Также в работе представлены оригинальные результаты по радиоуглеродному анализу активности фитопланктона в условиях воздействия ртути. Построение работы целиком соответствует поставленной цели и задачам, сформулированных автором. Вынесенные на защиту положения сформулированы ясно, логически вытекают из выполненной работы и полностью обоснованы достаточным фактическим материалом. Выводы в автореферате четко и полностью отвечают на поставленные в начале работы задачи. Автореферат написан хорошим языком. Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений и выводов, а также практическая ценность удовлетворяют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата биологических наук п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Диссертационная работа «Биогеохимические и экотоксикологические характеристики ртути в Чёрном море» выполнена на высоком профессиональном уровне и соответствует паспорту специальности 1.5.16 – гидробиология и профилю диссовета, а ее автор, **Стецюк Александра Петровна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в вопросах, которым посвящена настоящая диссертационная работа.

Область интересов доктора биологических наук, профессора **Волковой Ирины Владимировны** – физиология водных животных и биологический мониторинг загрязнения водной среды.

Область научных интересов доктора биологических наук **Цыганкова Василия Юрьевича** – загрязнение окружающей среды (органические и неорганические загрязняющие вещества); оценка экологического риска, экология человека, биомониторинг человека; экологическая токсикология и безопасность окружающей среды; безопасность и качество пищевого сырья и продуктов питания.

Ведущая организация – ФГБУН Мурманский морской биологический институт (ММБИ РАН), является крупным научным центром по исследованию и прикладным разработкам в области морской биологии, океанографии, геологии моря и экологии. Сотрудники лаборатории альгологии ММБИ РАН активно занимаются экотоксикологией, морфофизиологией, экологией и биотехнологией водорослей.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*изучены* биогеохимические и экотоксикологические характеристики ртути в Чёрном море;

*представленные* данные являются фундаментальной основой для проведения исследований механизмов воздействия ртути на различные компоненты водной среды, включая прогнозирование миграции ртути по трофическим цепям, оценки долгосрочных эффектов воздействия ртути на экосистемы, и *способствуют развитию* теоретических моделей устойчивости экосистем к загрязнению;

*отмечено* превышение ПДК ртути в поверхностных водах Севастопольской бухты. В верхнем слое донных осадков Севастопольской бухты концентрация

ртути превышала до пяти раз нормативы по «голландским листам». Концентрация ртути в органах рыб не превышала установленное значение ПДК;

*выявлено*, что наибольшей накопительной способностью в отношении ртути обладает взвешенное вещество. Зависимости изменения концентрации и коэффициентов накопления ртути описывались степенной функцией Фрейндлиха, отражающей снижение концентрирующей способности взвесей с увеличением концентрации растворенной ртути в воде;

*отмечено*, что наибольшей экотоксикологической опасности от загрязнения морской среды ртутью подвергаются биотические компоненты экосистемы. Морские водоросли *Dunaliella salina* и *Ulva rigida* могут испытывать воздействие, сравнимое с лучевым поражением;

*оценено*, что в природных условиях в живых и косных компонентах черноморской взвеси практически вся ртуть извлекается из растворённого во взвешенное состояние и вовлекается в биогеохимические циклы седиментационного самоочищения вод;

*представлена концепция* устойчивого развития акваторий по фактору загрязнения морской среды ртутью.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что**

*полученные* результаты являются основой для дальнейших исследований механизмов воздействия ртути на различные компоненты, включая прогнозирование миграции ртути по трофическим цепям;

*разработана* теоретическая база для обоснования концепции устойчивого развития рекреационной зоны города Ялта по факторам загрязнения морской среды ртутью.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что

*показана* возможность использования полученных результатов по концентрированию ртути во взвешенном веществе, гидробионтах и донных

отложениях Чёрного моря для разработки методологии нормирования потоков поступления ртути в толщу донных осадков по их датировке и коэффициентам накопления;

*показано*, что взвешенное вещество, *Dunaliella salina*, *Ulva rigida* и *Scorpena porcus* могут быть использованы в системе биомониторинга загрязнения ртутью акваторий Чёрного моря.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила:

*экспериментальные работы* включают современные методы исследования, достоверность результатов обеспечена большим объёмом исследованного материала и статистическим анализом данных;

*научные выводы обеспечены* согласованностью полученных теоретических и эмпирических результатов и подкреплены данными, приведёнными в рисунках и таблицах;

*результаты исследований отражены* в статьях, прошедших рецензирование специалистами в области исследований ртутного загрязнения морских и наземных экосистем.

**Личный вклад соискателя состоит** в том, что автором проведен анализ литературных данных, получение и обобщение новых результатов. Автором проведены измерения концентрации ртути в природных компонентах черноморских экосистем, экспериментальное исследование темпов деления клеток морского фитопланктона. Рассчитаны коэффициенты накопления ртути в изученных объектах, а также потоки ртути в морской акватории. Автор осуществил статистическую обработку данных, подготовил и написал текст диссертационной работы. Результаты работы доложены на конференциях и научных семинарах.

**В ходе защиты диссертации были высказаны** критические замечания относительно необходимости разъяснения использованных «непонятных

