

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Тригуба Анатолия Григорьевича «Влияние солей натрия на показатели жизнедеятельности гидробионтов в различных природных водах», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15. Экология (биологические науки)

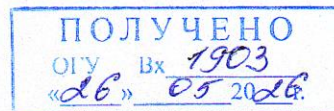
Актуальность выбранной темы. Проблема нормирования антропогенной нагрузки на пресноводные экосистемы остаётся одной из ключевых в современной экологии и гидробиологии. Действующие общедоказательные рыбохозяйственные нормативы ПДК далеко не всегда учитывают региональные гидрохимические особенности водных объектов, что приводит либо к необоснованно жёстким требованиям, либо, напротив, к недооценке реальной токсичности загрязняющих веществ. Особую озабоченность вызывает поступление в водоёмы солей щелочных металлов, в первую очередь натрия, в составе промышленных и коммунальных сбросов. Диссертационная работа Тригуба А.Г., направленная на сравнительное изучение биологических эффектов различных анионов в составе солей натрия в природных водах разного гидрохимического состава, является актуальной как в теоретическом плане (понимание механизмов экотоксикологической реакции гидробионтов), так и в прикладном (обоснование региональных нормативов ПДК). Работа выполнена в рамках НИОКТР с госрегистрацией № 123031700055-5, что подтверждает её практическую значимость.

Научная новизна исследований и полученных результатов. Автором впервые проведена комплексная сравнительная оценка токсичности пяти анионов (нитрита, нитрата, сульфата, гидрофосфата, бромида) в составе солей натрия на четырёх тест-объектах, представляющих основные трофические уровни водных экосистем: фитопланктон (*Scenedesmus quadricauda*), зоопланктон (*Daphnia magna*), зообентос (*Hyalella azteca*) и рыбы (*Danio rerio*).

Впервые установлено, что недействующая концентрация одного и того же вещества (например, нитрита натрия) может различаться в десять раз в зависимости от природного гидрохимического фона водотока (реки Нотика, Верхняя Ковдора, Белая). Это принципиально важный результат для регионального нормирования.

Впервые показано, что наиболее чувствительным биомаркером при действии высоких концентраций неорганических солей на рыб *D. Rerio* является выклев предличинок из яйцевых оболочек, что может быть рекомендовано для сокращения длительности токсикологических экспериментов.

Особого внимания заслуживает оценка отдалённых токсических эффектов на трёх поколениях *D. magna*, что редко встречается в стандартных токсикологических работах и существенно повышает прогностическую ценность результатов.



Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Научные положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в диссертации, являются вполне обоснованными. Они базируются на значительном объёме экспериментального материала, полученного с использованием стандартных и сертифицированных методик биотестирования (включая оценку выживаемости, плодовитости, гематологических и гистологических показателей). Достоверность результатов обеспечена трёхкратной повторностью экспериментов и применением адекватных статистических методов (точный тест Фишера с поправкой Бонферрони-Холма, критерий Стьюдента). Выводы логично вытекают из представленных в автореферате результатов и не содержат внутренних противоречий.

Автор использовал комплексный подход, включающий исследования на представителях разных трофических уровней водных экосистем: фитопланктоне, зоопланктоне, нектобентосе и рыбах. Это позволило получить более полное представление о воздействии солей на водные сообщества. Также важным является учет гидрохимических особенностей различных природных вод, что делает результаты исследования более применимыми на практике.

Содержание диссертации, её завершённость и публикации автора.

Работа включает введение, три главы, заключение, выводы, список литературы (203 источника, из них 110 на иностранных языках) и приложения. Общий объём диссертации — 192 страницы, работа иллюстрирована 33 рисунками и 75 таблицами. По материалам диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК (а также дополнительные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, в соавторстве, что в совокупности подтверждает апробацию). Результаты доложены на 7 всероссийских и международных конференциях.

Во Введении диссертантом обоснована актуальность исследования и степень разработанности темы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также приведены основные положения, выносимые на защиту. Даны сведения о степени достоверности исследования и апробации результатов.

Глава 1 Литературный обзор состоит из трёх основных разделов (сульфаты, нитраты/нитриты, фосфаты/бромиды) и заключения к обзору. Рассмотрены: химические свойства, природные и антропогенные источники поступления, роль в экосистемах, механизмы токсического действия на гидробионтов, данные отечественных и зарубежных исследований по токсичности, действующие рыбохозяйственные нормативы ПДК, а также методологические проблемы регионального нормирования качества вод.

В главе 2 Материалы и методы исследования представлена информация о районах исследования, приведён объём обработанного материала, дано описание объектов, методов исследования, статистической

обработки результатов. Автором подробно описаны объекты исследования (4 вида гидробионтов), 3 природных водотока с их гидрохимической характеристикой, 5 исследуемых солей, условия хронических экспериментов (включая 3 поколения *D. magna*), методы оценки выживаемости, плодовитости, оптической плотности водорослей, гематологических и гистологических показателей рыб, а также методы статистической обработки.

В главе 3 Результаты собственных исследований последовательно изложены данные по влиянию каждой соли на все тест-объекты, включая таблицы оптической плотности водорослей, выживаемости и плодовитости дафний в поколениях, выживаемости эмбрионов, личинок и взрослых рыб, а также данные гематологического и гистологического анализов (эритрограммы, лейкоцитарные формулы, цитопатологии, микрофотографии срезов жабр и печени). Для исследованной соли и каждого водотока приведены результаты влияния на все тест-объекты. Для каждого вида исследуемых соединений определена недействующая концентрация с указанием лимитирующего показателя. В завершающем разделе главы представлена сравнительная таблица недействующих концентраций и ранжирование солей по степени токсичности.

В Главе 4 Обсуждение результатов проведён сравнительный анализ полученных результатов с данными литературы. Обсуждены: зависимость токсичности солей от природного гидрохимического состава воды, различия в чувствительности тест-объектов, роль анионов при одинаковом катионе, выявленные критические показатели (выклев предличинок, гистопатологии жабр и печени, плодовитость дафний в отдалённых поколениях). Представлены развёрнутые рекомендации по установлению региональных нормативов ПДК, включая критерии для определения природной аномальности, этапы лабораторной разработки, требования к адаптации тест-объектов и т.д.

В Заключение автором обобщены полученные результаты, где подведены основные научные итоги диссертации. Представлено 5 выводов, которые вытекают из содержания работы и соответствуют поставленным задачам и защищаемым положениям. В конце работы размещены Практические рекомендации и Перспективы.

Диссертация написана научным языком, представляет собой завершённое исследование. Автореферат отражает структуру и основное содержание диссертации.

Практическая значимость. Результаты работы уже нашли практическое применение, что подтверждено следующими документами: результаты по гидрофосфату натрия использованы при утверждении регионального норматива ПДК фосфат-иона для бассейна реки Ковдоры (приказ Минсельхоза № 687 от 22.08.2023): материалы по другим солям натрия рекомендованы к утверждению протоколами НТС ФГБУ «ЦУРЭН» (2021–2023 гг.).

После ознакомления с диссертацией и авторефератом к соискателю имеются вопросы и замечания.

1. В литературном обзоре (на стр. 17,22, 26, 39 и др.) достаточно часто отсутствует хронологический принцип оформления ссылок на работы разных лет (без учёта временной последовательности). Такое смешение годов без логики затрудняет восприятие эволюции научных взглядов и нарушает общепринятый принцип группировки литературы по годам публикации в рамках одного предложения или абзаца.
2. На стр 62 в таблице 6 представлены данные по природному (фоновому) содержанию исследуемых веществ в водотоках. Чьи это данные? Если собственные, то непонятно что они делают в разделе Материалы и методы, если литературные, то почему отсутствует ссылка?
3. В работе не объясняется, почему для разных солей выбраны разные диапазоны концентраций (например, для NaNO_2 в воде р. Нотика — 0,02–0,4 мг/л, а для NaNO_2 в воде р. Белая — 0,3–3,0 мг/л). Из текста следует, что выбор был «обусловлен имеющимися научными данными и результатами предварительных испытаний» (стр. 6 диссертации). Однако результаты предварительных испытаний в работе не приведены, что затрудняет оценку адекватности выбранных диапазонов для выявления пороговых эффектов. Особенно это касается экспериментов на рыбах, где диапазоны концентраций варьируются на порядки (от 0,015 до 0,76 мг/л для NaNO_2 и от 8 до 250 мг/л для NaNO_3).
4. В Главе 2 в разделах 2.2, 2.3, 2.4 и частично 2.5 автор не указывает источники используемых методик биотестирования. Отсутствует обобщённая схема экспериментального исследования, которая позволила бы наглядно представить последовательность этапов работы, количество и типы использованных тест-объектов, исследованные соли и природные воды, а также применённые биологические показатели. Включение такой схемы является общепринятой практикой для диссертационных работ по экспериментальной экологии и водной токсикологии, поскольку облегчает восприятие логики исследования. Кроме того, отсутствует суммарная численность тест-организмов, задействованных в хронических опытах с учётом всех поколений, концентраций и повторностей. Это затрудняет оценку репрезентативности полученных данных и статистической мощности проведённых сравнений. Рекомендуется приводить в методологическом разделе итоговую таблицу с указанием количества особей по каждому тест-объекту, соли и водотоку.
5. Исследования проводились на природной воде из трёх водотоков, которые различаются по гидрохимическому составу (что является предметом изучения). Эти факторы сами по себе могут влиять на чувствительность тест-организмов. Автор не приводит данных о том, проводилась ли адаптация тест-объектов к воде каждого водотока в течение одинакового времени, и не оценивает, насколько различия в

фоновых условиях (например, рН 8,14 в р. Нотика против 6,9 в р. В. Ковдора) могли внести систематическую погрешность в сравнение токсичности.

6. Автор обосновывает необходимость регионального нормирования на основе полученных «недействующих концентраций». Однако токсикологические эксперименты проводились в лабораторных условиях на отдельных тест-объектах, тогда как в природных экосистемах гидробионты подвергаются комплексному воздействию множества факторов (колебания температуры, рН, кислородного режима, пищевая конкуренция, наличие других загрязнителей). В работе не обсуждается, какой коэффициент запаса следует применять при переходе от лабораторной недействующей концентрации к региональному нормативу ПДК, и не приводится обоснование того, что выбранные тест-объекты и тест-параметры охватывают все потенциально уязвимые звенья экосистемы.
7. Насколько полученные в работе «недействующие концентрации» соотносятся с действующими общефедеральными ПДК для этих веществ? Является ли региональный норматив всегда более жёстким? Кроме того, исследование охватывает только три водных объекта в двух регионах России. Достаточно ли этих данных для разработки универсальных рекомендаций, применимых к водным объектам с другими гидрохимическими характеристиками?
8. Работа построена на сравнении токсичности солей в разных природных водах. Однако природная вода содержит собственный набор катионов и анионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- и др.). При внесении солей натрия с разными анионами возможно взаимодействие (синергизм, антагонизм) между вносимыми и фоновыми ионами. Например, в воде р. Нотика фоновое содержание натрия составляет 180 ± 15 мг/л, что сопоставимо с вносимыми концентрациями для некоторых солей. Методология работы не предусматривает разделения эффектов, обусловленных вносимым анионом, и эффектов, связанных с изменением общего ионного баланса. Это ставит под сомнение вывод о том, что различия в токсичности обусловлены именно анионом, а не суммарной минерализацией.
9. На стр. 155 автор приводит ранжирование солей натрия по степени токсичности, об этом же говорится и в выводе 5, однако, это ранжирование приводится без пояснения. В связи с чем возникает вопрос: какой именно показатель положен в основу ранжирования?
10. В работе отмечается отсутствие чёткого обоснования выбора тест-объектов для разных солей и водотоков. В работе использованы четыре тест-объекта: *Sc. quadricauda*, *D. magna*, *H. Azteca* и *D. rerio*. Однако в таблице 75 (стр. 154) данные по *H. Azteca* приведены только для гидрофосфата натрия и бромиды натрия, тогда как для нитрита, нитрата и сульфата результаты отсутствуют. Из текста диссертации (стр. 67) следует, что методика работы с *H. Azteca* была отработана, но причины

исключения этого тест-объекта из экспериментов с другими солями не поясняются. С чем связана невозможность использования этого тест-объекта для других солей?

11. В выводе № 1 отсутствует системный анализ влияния анионного состава солей натрия на исследованные организмы. Указаны только результаты для водорослей (*Sc. quadricauda*) и рачков (*D. magna*), тогда как заявленные в задаче объекты *H. azteca* и *D. rerio* не упомянуты. Кроме того, не приведены количественные значения токсичности для сульфата, гидрофосфата и бромида натрия, что не позволяет оценить достоверность утверждений о “наиболее негативном” или “одинаковом” действии. Также смешение данных по разным рекам (Нотика, Белая, В. Ковдора) без статистической оценки различий между водными средами делает вывод не полностью обоснованным.
12. В выводе № 4 не отражены ключевые аспекты, заявленные в задаче исследования. В частности, вывод ограничивается лишь констатацией факта, что токсичность зависит от состава воды, но не приводится конкретного сравнения по разным источникам. В задаче требовалось определить наиболее чувствительные биологические показатели к действию солей, но в выводе эти показатели не названы.

Кроме того, в диссертационной работе имеются незначительные технические погрешности и опечатки, что в целом не снижает достоинств диссертации и научной значимости представленной работы.

Указанные замечания не ставят под сомнение обоснованность основных научных положений и выводов диссертации, однако свидетельствуют о необходимости более строгого подхода к унификации критериев сравнения, стандартизации условий экспериментов и обоснованию выбора концентрационных диапазонов. Особое внимание следует уделить проблеме экстраполяции лабораторных результатов на природные экосистемы при разработке региональных нормативов ПДК.

Заключение

Диссертационная работа Тригуба Анатолия Григорьевича «Влияние солей натрия на показатели жизнедеятельности гидробионтов в различных природных водах» является завершённым, самостоятельно выполненным научным исследованием, содержащим решение актуальной научно-прикладной задачи – обоснования региональных нормативов ПДК с учётом гидрохимического фона и анионного состава солей.

По актуальности, научной новизне, объёму и достоверности полученных данных, теоретической и практической значимости работа полностью соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней» (с изменениями и дополнениями), предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает

присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки).

Официальный оппонент

доктор биологических наук по специальности 03.03.01– Физиология, доцент, профессор, заведующий кафедрой «Гидробиология и общая экология», заместитель директора Института рыбного хозяйства, биологии и природопользования ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (АГТУ)

Волкова Ирина Владимировна

19.05.2025 

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
Технический университет» (АГТУ)

Адрес: 414056, г. Астрахань, ул. Татищева,
стр. 16/1. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический
университет»

раб. тел.: 8 (8512) 61-43-66 (общий отдел); 61-45-86 (кафедра)

сот.тел.: +7-908-610-64-07

e-mail: gridasova@mail.ru

Подпись официального оппонента д.б.н. Волковой И.В. заверяю:

