

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Латушкина Александра Александровича
“Пространственно-временная изменчивость общего взвешенного вещества в
Российском секторе Азово-Черноморского бассейна по данным
гидрооптических измерений”, представленной на соискание учёной степени
кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология

Диссертация А.А. Латушкина посвящена исследованию особенностей пространственно-временной изменчивости содержания взвешенного вещества в морской среде Российского сектора Азово-Черноморского бассейна. Поступление взвешенных веществ в морскую среду определяются многими факторами. Содержание взвеси в открытой части Черного моря в основном определяется факторами природного характера, одним из которых является жизнедеятельность фитопланктона. В прибрежных районах, включая акватории бухт, заливов, существенный вклад в формировании взвеси вносит антропогенная составляющая. Распространение взвешенных веществ от источников поступления определяется динамикой вод, процессами их трансформации и осаждения, которые в свою очередь зависят от распределения гидрологических параметров, обладающих высокой степенью пространственно-временной изменчивости. Поэтому для решения поставленных в работе задач применен комплексный подход, включающий как измерения содержания взвешенных веществ, так и определение биологических показателей, всесторонний анализ сопутствующей гидродинамической, гидрологической и метеорологической информации, результатов спутникового зондирования. Комплексный подход позволил соискателю в полном объеме решить поставленные задачи и достичь целей работы – определение закономерностей пространственно-временной изменчивости поля общего взвешенного вещества в акваториях Азово-Черноморского бассейна, формирующихся под влиянием природных факторов и антропогенного воздействия.

Факторы, определяющие формирование и пространственное распределение взвеси, обладают высокой степенью пространственно-

временной изменчивости. Последние десятилетие наблюдается тенденция роста температуры и солености верхнего деятельного слоя Черного моря. Реакция черноморской системы на незначительные в абсолютном выражении ежегодное увеличение температуры воды и ее солености оказалась существенной, которая выразилась в глобальной перестройке гидрологической структуры вод, которые оказали влияние на развитие экосистемы моря в целом. В условиях глобального изменения гидрометеорологического климата, возрастающего антропогенного стресса, исследования закономерностей пространственно-временной изменчивости взвешенного вещества, как одного из показателей экологического состояния моря, являются весьма актуальными.

Пространственное распределение взвеси, особенности ее состава определяют гидрооптическую структуру вод. В работе для определения содержания взвеси в воде использован гидрооптический метод на базе современных измерительных комплексов (спектральных измерителей показателя ослабления направленного света СИПО 4 и СИПО 9). Важно отметить, что в разработке и внедрение в практику указанных измерительных комплексов соискатель принимал непосредственное участие.

Конкретно в рамках диссертационной работы решались следующие научно-технические задачи:

- 1) создание новых средств измерения гидрооптических характеристик;
- 2) проведение полевых исследований с помощью разработанной аппаратуры и создание новой базы данных гидрооптических характеристик для северной части Черного моря, прибрежных акваторий Севастополя и залива Сиваш;
- 3) оценка эмпирических связей показателя ослабления направленного света и концентрации общего взвешенного вещества для исследуемых акваторий;
- 4) анализ пространственных распределений общего взвешенного вещества и их особенностей на синоптическом, сезонном масштабах, оценка

их связи с гидрологической структурой вод по данным прибрежных и крупномасштабных съемок, выполненных в Российском секторе Азово-Черноморского бассейна.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка цитируемых источников из 156 наименований. Каждый раздел содержит основные выводы. Рукопись работы составляет 186 страниц, содержит 73 рисунка и 13 таблиц. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Во **введении** формулируются цели и задачи работы, обосновывается актуальность темы исследований, новизна полученных результатов, теоретическая и практическая значимость работы, приводятся защищаемые положения, список публикаций по теме диссертации, краткое содержание разделов, а также формальные характеристики работы.

В **первом разделе** представлено описание истории развития гидрооптических исследований в Черном море. Выделено четыре периода проведения натурных экспериментов, для которых приводятся объемы работ, средства и методы измерений, основные научные достижения. Отмечено, что первоначальные гидрооптические исследования были ограничены только измерениями относительной прозрачности с помощью белого диска Секки. Начало современного этапа можно принять период 60-х годов прошлого столетия, когда в практику исследований стали широко внедрять различную гидрооптическую аппаратуру. Дальнейшая активизация гидрооптических исследований связана с появлением искусственных спутников земли, оснащенных сканерами широкого диапазона регистрируемых частот: от видимого до сверхвысокочастотного.

Сделаны обобщения предшествующих гидрооптических исследований, дана оценка полученных результатов. Показано, что в соответствие с ранее сложившимися представлениями, в вертикальной гидрооптической структуре вод можно выделить четыре слоя, характеризующиеся собственными гидрологическими, гидрохимическими и биологическими показателями. В

горизонтальном распределении выделены районы наиболее мутных вод, которые в шельфовой зоне относятся к северо-западной части моря в летний и зимний периоды, в глубоководной – к восточной части моря в летний период. Повышенная мутность вод северо-западного шельфа связана с выносом большого количества взвешенного вещества впадающими реками Днепр и Дунай. Глубоководная восточная часть моря характеризуется высокой биологической продуктивностью. Полученные результаты требуют детализации на основе проведения регулярных измерений с высоким пространственным разрешением на базе современных технических средств.

Во **втором разделе** дано описание районов проведения натурного эксперимента, средств и методов измерений, представлены объемы выполненных работ. Для исследований выбрано три района Черноморско-Азовского региона, принципиально отличающихся условиями поступления и пространственной трансформации взвеси: северная часть Черного моря, прибрежный участок Гераклейского полуострова и залив Сиваш. Каждый из выбранных для исследований районов характеризуется своими особенностями условий формирования, трансформации и пространственного распределения взвеси.

Определения концентрации взвеси выполнялось на основе измерений показателя ослабления направленного света (ПОС). Для этого использовались измерители СИПО4 и СИПО9, разработанные в МГИ. В разработке измерителей, внедрение их в практику исследований соискатель принимал непосредственное участие. Дано подробное описание приборов, отмечены их конструктивные особенности, отличия и преимущества от других аналогичных измерителей. Из преимуществ отмечено использование более дешевых в сравнении с лампами накаливания современных светодиодов с узкими спектральными интервалами излучения. Это позволяет отказаться от применения интерференционных светофильтров, механизмов их переключения, что удешевляет и упрощает конструкцию. Измерители можно использовать в двух вариантах исполнения – кабельном и

автономном. Переоборудование измерителя из одного варианта в другой осуществляется оперативно, что важно в условиях проведения ограниченного по времени судового эксперимента.

Перед использованием в натурных условиях были проведены лабораторные исследования измерителя СИПО4. Выполнена оценка его энергетической и спектрофотометрической стабильности. Стабильность энергетических величин исследовалась при изменении температурной и токовой характеристик. Выполнена градуировка измерителей. Показана возможность применения светоизлучающих элементов в спектрофотометрических измерителях при условии учета спектральной вариации и изменения энергетических характеристик.

В натурных условиях выполнена валидация СИПО4 сравнением с результатами измерений аналогичных приборных комплексов (мутномера гидрофизического комплекса Кондор, мутномера гидрофизического комплекса Idronaut, ПУМ-200 разработки ИО РАН). Показана хорошая сходимость результатов совместных измерений.

Получены регрессионные уравнения связей измеренных ПОС с помощью СИПО4 и концентрацией общего взвешенного в воде вещества (ОВВ), определенной гравиметрическим способом. Отмечено, что корреляция между этими параметрами зависит от состава и свойств взвеси: размера, формы, показателя преломления частицы, цветового контраста и определяется региональными особенностями. Поэтому для трех исследуемых районов получены различные регрессионные уравнения.

В **третьем разделе** представлен анализ результатов гидрооптических исследований северной части Черного моря. Данные распределения взвеси соискателем получены в рейсах на НИС “Профессор Водяницкий” в период с 2016 по 2020 гг. В общей сложности за указанный период состоялось 9 рейсов, которые для удобства описания результатов условно разделены на четыре сезона.

В каждом рейсе, кроме непосредственного измерения ПОС, выполнялись исследования параметров морской среды, необходимых для совместного анализа пространственного распределения содержания взвешенного вещества: выполнялось вертикальное зондирование гидрологической структуры вод, на базе инструментальных измерений и анализа спутниковой информации анализировалась динамическая обстановка, осуществлялся отбор проб на биологический анализ.

По результатам исследований для Северной части Черного моря были выявлены следующие общие закономерности. В горизонтальном распределении концентрации общего взвешенного вещества ($C_{ОВВ}$) выделены области экстремальных значений: акватория Керченскому пролива, через который в Черное море поступают более замутненные и распресненные воды Азовского моря; и восточная часть моря вдоль Кавказского побережья, подверженная влиянию мутных и распресненных вод стоков Риони, Ингури и других более мелких рек. В восточной части моря также отмечена более высокая биологическая продуктивность вод.

Выявленные локальные участки повышенной концентрации $C_{ОВВ}$ в глубоководной части моря связаны с подъемом глубинных вод в центрах мезомасштабных циклонических меандров и круговоротов.

В вертикальном распределении положение максимума $C_{ОВВ}$ хорошо коррелирует с максимальными значениями (по абсолютной величине) вертикальных градиентов температуры и плотности, которые наблюдаются на глубинах сезонного термоклина и постоянного Черноморского пикноклина.

В сезонной изменчивости отмечено более высокое содержание взвеси в летний период, которое связано с весенне-летним пиком цветения фитопланктона. Одним из факторов высокого содержания взвеси южнее Керченского полуострова в зимний период является взмучивание донных отложений штормовым волнением. Сезонная изменчивость вертикального

распределения содержания взвешенных веществ в основном связана с динамикой сезонного термоклина.

В четвертой главе представлены результаты исследований прибрежных акваторий Крыма на участке Гераклийского полуострова и залива Сиваш. В прибрежных акваториях Крыма существенное влияние на содержание взвешенных веществ в воде оказывают антропогенные факторы.

На участке Гераклийского полуострова выявлен антропогенный источник взвеси, связанный с прорывом сбросного коллектора на расстоянии ~ 1 км от берега. Особенности вертикального распределения взвешенных веществ обусловлены расположением прорыва глубже сезонного термоклина. Сезонный термоклин служил своеобразным препятствием для активного выхода более замутненных и распресненных вод коллектора на поверхность. По результатам вертикального зондирования, максимум концентрации $C_{ОВВ}$ наблюдался под слоем сезонного термоклина. Выше слоя концентрации $C_{ОВВ}$ снижалась.

Залив Сиваш является замкнутым водоемом, экосистема которого очень чувствительна к изменениям внешних воздействий. За период наблюдений с 2013 по 2020 гг. выявлены существенные межгодовые изменения солености, биоразнообразия, содержания взвешенных веществ, которые были связаны с перекрытием Северо-Крымского канала. Увеличение содержания взвешенных веществ объясняется двумя основными факторами. Первый связан с увеличением плотности воды и, как следствие, уменьшением скорости осаждения взвешенных частиц. Вторым фактором с гибелью тростниковой растительности и развитию процессов абразии глинистых берегов на западном побережье залива.

На синоптическом масштабе времени изменчивость содержания взвеси определяется ветровыми условиями. У берегов с наветренной стороны всегда наблюдается увеличение концентрации $C_{ОВВ}$, которое, по мнению автора, связано с нагоном частиц с других районов залива и поступлением в воду продуктов абразии берегов.

В **Заключении** сформулированы основные выводы работы, имеющие научное и практическое значение.

По работе имеются следующие замечания.

1) Оформление диссертации в основном соответствует требованиям, установленным Минобрнауки России (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Отступления от указанного ГОСТ есть. Нет смысла приводить все. Ниже указаны те, что вызывают сложности при прочтении текста.

Список сокращений (стр. 6) не является обязательным элементом диссертации. Но если приводится, должен соответствовать ГОСТ 7.11 и ГОСТ 7.12. Сокращения приводятся в алфавитном порядке: сначала словосочетаний на иностранном языке, после на русском. В списке отсутствуют некоторые сокращения, которые приводятся в тексте. Например, сокращение QSU (стр. 143).

Не допускается вставка в список перечислений абзацев, рисунков, таблиц (стр. 52-53). Если требуется комментарий по элементу списка, он приводится после списка.

2) Текст содержит стилистические ошибки, ошибки в построении предложения. В некоторых случаях ошибки приводят к констатации сомнительных научных фактов. Пример на стр. 34: *“Также в пробах воды, взятых из этого слоя, обнаруживается органический углерод [79, 80] и радиоактивные элементы [81], подтверждающие биологическую составляющую взвеси в слое мутности.”*. Из утверждения следует, что радиоактивные элементы являются индикатором биологической составляющей взвеси. В особых случаях в биологической взвеси могут присутствовать радиоактивные элементы, но они могут присутствовать и в неорганической взвеси.

3) Текст содержит опечатки. На стр. 69. (Раздел 2) указан период исследований в рейсах на НИС “Профессор Водяницкий” 2016-2020 гг. На стр. 24 (Введение) 2015-2019 гг. На рисунке 2.15 (стр. 71) указано 10 рейсов

НИС “Профессор Водяницкий”, в таблице 2.3 – 9, и далее в Разделе 3 описание 9 рейсов.

4) На стр. 160 (Раздел 4) приводится: *“Средняя концентрация ОРОВ составила 33,6 QSU в 2013 г.; к 2019 году она увеличилась более чем в 2 раза и составила 120 QSU.”* Если сравнить цифры – увеличение почти в 4 раза. Если принять за исходный год 2014 (3 QSU) – увеличение почти в 40 раз?

5) На стр. 164 (Заключение) указано, что загрязненные воды из разрыва трубопровода наблюдались в прибрежной полосе на расстоянии ~ 600 м от берега. На стр. 140 (Раздел 4) приводится расстояние ~ 1 км от берега. На каком расстоянии наблюдались замутненные воды с учетом области загрязнения 0.5-1.0 км?

6) К таблице 3.1 (стр. 123, Раздел 3) нет пояснений. Каждая строка – это съемка? **Н** – означает отсутствие корреляции?

7) На стр. 32 (Раздел 1) утверждается: *“В шельфовой части моря, ввиду малых глубин, сезонный термоклин и постоянный галоклин совпадали по глубине ...”*. Утверждение ошибочное. Постоянный галоклин располагается в слое 50-100 м. В горизонтальном распределении для изохалинных поверхностей характерна куполообразная форма с увеличением глубин от центра восточного циклонического круговорота к его периферии (шельфовый склон). Сезонный термоклин располагается в слое 0-30 м. Его совпадение с постоянным галоклином на шельфе исследуемой акватории невозможно.

8) В разделе 4.1 для описания вертикальной гидрологической структуры вод используется термин “пикноклин”. Такой подход, по всей видимости, связан с предыдущим замечанием. Автор пытается избежать путаницы в определении физической природы пикноклина – сезонный или постоянный. По своей природе выделенный пикноклин является сезонным. Поэтому в данном случае необходимо использовать принятую терминологию – сезонный пикноклин/термоклин/галоклин.

9) На стр. 34 (Раздел 1) утверждается: *“Как известно, основными процессами, протекающими в субкислородной зоне, являются окислительно-восстановительные реакции на основе цикла марганца и железа”*. Это всего лишь гипотеза, которая пока не нашла должного подтверждения данными натурного эксперимента и не поддерживается многими российскими учеными. Утверждение положений неподтвержденной гипотезы в качестве научного факта некорректно.

10) На стр. 83 (Раздел 3) указывается: *“У берегов Кавказского побережья между м. Константиновский и м. Кодош было выявлено мутная ($C_{\text{овв}} \sim 0,8-0,9$ мг/л) и распресненная (17,3–17,4 ЕПС) область, обусловленная вдольбереговым переносом вод, которые образуются в результате стока Риони, Ингури и др более мелких рек”*. Аналогичные высказывания приводятся на страницах 113, 121. В работе не указывается один важнейших источников взвеси у берегов Кавказского побережья – истирание пляжеобразующего материала. Для Крымского побережья указаны последствия этого процесса – *“под воздействием интенсивного шторма произошло взмучивание донной и береговой взвеси”* (стр. 113). Твердый сток рек (пляжеобразующий материал) на участке от р. Риони до м. Кодош по своим масштабам сопоставим с объемом выноса взвешенного вещества. Последние десятилетия мы наблюдаем повсеместную деградацию пляжей Кавказского побережья. Все это означает, что материал твердого стока перерабатывается штормовыми волнами со скоростью его поступления, и вклад процессов истирания наносов в формирование взвеси в прибрежной шельфовой зоне Кавказского побережья, по крайней мере, не меньше вклада выноса взвешенных веществ речным стоком.

11) На стр. 162 (Раздел 4) указано: *“У наветренного берега всегда наблюдается увеличение концентрации общего взвешенного вещества, что связано с ветровым нагоном к этому берегу взвешенных частиц с других районов залива, а также поступлением взвеси за счет эрозии берега”*. Исходя из общих закономерностей развития литодинамических процессов,

при штормах, способных вызвать эрозию берега, на рассматриваемых участках залива Сиваш основным источником поступления взвеси является взмучивание донного и пляжного несвязанного материала. Вклад в его формирование вносят нагоны частиц с других районов залива, эрозия берега.

Указанные замечания не изменяют положительной оценки работы, новизны, научной и практической значимости представленных в диссертации результатов. В части разработки и внедрения приборных комплексов результаты имеют новаторский характер.

Результаты диссертации доложены на 27-ми всероссийских и международных научных конференциях. Ее содержание достаточно полно отражено в 66 печатных работах, из которых 15 удовлетворяют требованиям ВАК и 1 работа – патент на изобретение.

Необходимо отметить, что диссертация А.А. Латушкина является вполне законченным научным трудом, выполненным на высоком уровне и содержащим новые результаты, имеющие важные практические приложения. Совокупность полученных в работе результатов позволяет квалифицировать ее как существенный вклад в решение важной научной проблемы исследования пространственной временной изменчивости полей взвеси под влиянием различных факторов природного и антропогенного характера с использованием новых, разработанных при участии соискателя, приборных комплексов.

На основании изложенного считаю, что представленная диссертационная работа отвечает требованиям ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Латушкин Александр Александрович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 – океанология.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

кандидат географических наук,

Директор Южного отделения Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской
академии наук (ЮО ИО РАН)

353467, Россия, Краснодарский край,

г. Геленджик, ул. Просторная, 1Г

тел. раб.: (86141) 2-80-69

тел.: +7 (918) 444-37-54

e-mail: kuklev@ocean.ru

25.01.2023 г.


Куклев Сергей Борисович

Директор ЮО ИО РАН





С.Б. Куклев