

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Гуровой Юлии Сергеевны «ОСОБЕННОСТИ  
ФОРМИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ  
УСЛОВИЙ НА ГРАНИЦЕ ВОДА – ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В  
ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АЗОВО-  
ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА», представленную на соискание учёной  
степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 -

Океанология

В диссертационной работе Ю.С. Гуровой представлен достаточно обширный материал натурных исследований окислительно-восстановительных условий в придонном слое морских вод и в верхнем слое донных отложений в прибрежной зоне всего российского сектора Чёрного моря, включая Керченский пролив и предпроливье, и (отдельно и наиболее подробно) в бухтах Севастополя – Севастопольской, Круглой, Камышовой, Казачей и Балаклавской. Анализируются распределения кислорода, сероводорода, форм железа и марганца, органического углерода в морской воде и осадках. Предпринята попытка установить характерные для районов исследования связи между концентрациями и потоками этих веществ с одной стороны и физическими показателями, такими как интенсивность придонной циркуляции, влажность, пористость и гранулометрический состав донных отложений с другой. Один из разделов диссертации посвящен численному моделированию сезонной динамики кислорода на границе вода – донные осадки в Севастопольской (Южной) бухте с помощью известной модели BROM.

Характер окислительно-восстановительных процессов в воде и донных осадках и изменчивость кислородного режима, в значительной степени определяют экологическое состояние прибрежной зоны моря в целом и отдельных его акваторий. В частности, проявления субкислородных и анаэробных условий, которые на фоне растущих антропогенных воздействий становятся всё более значительными как в Чёрном море, так и в глобальном масштабе, угрожают благополучию бентических и пелагических сообществ морской биоты и приводят к негативным социально-

экономическим последствиям. Вместе с этим, степень изученности таких процессов для Чёрного моря остается недостаточной. Поэтому научная актуальность и практическая значимость темы диссертационной работы не вызывают сомнений.

Диссертационная работа состоит из Введения, пяти разделов и Заключения, а также списка использованной литературы из 283 наименований.

Во **Введении** обоснована актуальность темы и новизна результатов, дана оценка современного состояния вопроса, кратко описаны использованные методы и подходы, определен личный вклад соискателя и сформулированы положения, выносимые на защиту.

**Раздел 1** (*«Донные отложения, структура, особенности и факторы формирования в них окислительно-восстановительных условий»*) и **Раздел 2** (*«Физико-географическое описание и характеристики районов исследования»*) имеют обзорный характер. В них сперва весьма обстоятельно (начиная с работ В.И. Вернадского и других классиков) излагаются общие понятия о донных отложениях и происходящих в этой сложной среде и на её границе с водой физико-химических процессах, а затем с этой точки зрения более детально рассматриваются конкретные районы Чёрного моря и цитируются многочисленные ранее выполненные работы, так или иначе связанные с темой диссертационного исследования.

**Раздел 3** (*«Методы исследования придонного слоя вод, донных отложений и поровых вод»*) является методическим. В нём описывается аппаратура и излагаются использованные методики отбора проб, определения химического состава морской воды, поровых вод и донных отложений, а также определения геохимических характеристик донных осадков (гранулометрический состав, влажность, пористость). В этом же разделе приведено краткое описание бентосно-пелагической биогеохимической численной модели BROM. Соискатель не является автором этой модели, но сумел успешно адаптировать её для применения к условиям Севастопольской бухты.

Центральным разделом диссертации является **Раздел 4** (*«Характеристики геохимического состава поровых вод и донных отложений, определяющие окислительно-восстановительные условия в отложениях»*), в котором представлена основная часть результатов диссертационной работы. Приведены пространственные распределения изучаемых характеристик для всех районов исследования, показаны вертикальные профили концентраций кислорода, сероводорода, форм железа и марганца для поровых вод донных отложений. Установлены значимые регрессионные взаимосвязи между концентрациями сероводорода и кислорода в поровых водах с одной стороны и формирующими их факторами с другой: концентрацией органического углерода, процентным содержанием фракции в осадках, а также скоростью придонных течений. В этом же разделе рассчитаны также потоки кислорода в толще донных отложений и рассмотрены зависимости их от гранулометрического состава осадков, влажности и пористости отложений, содержания в них  $C_{орг}$ , а также концентрации кислорода в придонном слое вод. В последнем случае это привело к вызывающему некоторое удивление результату, но об этом ниже.

В **Разделе 5** (*«Исследование характеристик окислительно-восстановительных условий на границе вода – донные отложения с использованием численного моделирования»*) вначале выполнена валидация биогеохимического блока одномерной бентосно-пелагической численной модели BROM (*«Bottom RedOx Model»*), адаптированной к Севастопольской (Южной) бухте. Результаты моделирования окислительно-восстановительных условий в этой бухте сравнивались с литературной информацией и данными натурных измерений. Во второй части этого раздела описаны результаты модельных экспериментов, основной целью которых являлась оценка влияния объемов поступления аллохтонных органических веществ (ОВ) в акваторию бухты (что, по мысли автора, отражает динамику антропогенной нагрузки) на кислородно-сероводородный режим в толще воды и в верхнем слое отложений. В первом эксперименте сток ОВ задавался вдвое большим наблюдаемого в настоящее время, во втором – вдвое

меньшим. Повышенное поступление ОВ ожидаемо приводит к эвтрофикации, нарушению сезонного цикла кислорода и формированию субкислородных условий. При снижении нагрузки, наоборот, водная толща в течение всего года остаётся азрированной, хотя и в этом случае возможны проявления субкислородных условий в поровых водах донных отложений.

В **Заключении** подведены итоги исследования и перечислены те результаты диссертационной работы, которые автор считает основными. Далее следуют достаточно объёмный **Список использованных источников** и **Приложение**, в котором приведены таблицы с данными, использовавшимися для валидации численной модели.

В целом, по мнению оппонента, выполненное диссертационное исследование является очень полезным вкладом в изучение общих закономерностей формирования биогеохимического режима в российском секторе Чёрного моря. Объём проделанной полевой и аналитической работы более чем солидный. Список публикаций и уровень апробации работы достаточные. Результаты содержат большой потенциал для практического применения – особенно это касается части работы, относящейся к севастопольским бухтам, само расположение которых и значение их для города предполагают большую востребованность подобной экологической информации. Судя по достигнутым результатам, высокая научная квалификация соискателя сомнений не вызывает. Достоинством работы является тот факт, что автор не ограничивается только простым представлением новых данных о характеристиках изучаемых окислительно-восстановительных процессов и описанием их пространственных распределений в районах исследования, а стремится выявить определённые причинно-следственные связи с формирующими эти процессы факторами. Хотя количество и качество имеющихся данных не всегда достаточны для надёжного установления таких связей, этот поход, безусловно, повышает научную значимость работы.

По содержанию работы можно высказать и некоторые критические замечания, которые будут перечислены ниже. Сперва я выскажу замечания общего характера, а потом более частные замечания.

## 1. Замечания общего характера

1.1. На мой взгляд, диссертация структурирована не слишком удачно. Разделы 1 и 2 являются, по существу, частями литературного обзора, и практически не содержат оригинальных результатов (хотя и подаются в форме, предполагающей некоторую претензию на результативность – с перечислением в конце выводов и публикаций по этому разделу). Лучше было бы объединить эти два раздела в один, сразу обозначенный как обзорный, а некоторые их части наиболее общего содержания и вовсе переместить во Введение. Методический Раздел 3 необходим, причём все аспекты применявшихся методов и использованных натурных данных лучше обсуждать именно в нём, а не в тех местах других разделов, где об этом заходит речь – так, например, параграфы 4.1.1 и 4.2.1 Раздела 4 должны были бы быть частью Раздела 3.

1.2. Одним из заявленных результатов диссертационной работы является вывод о том, что характеристики окислительно-восстановительных условий на границе вода – дно и в верхнем слое осадков тесно связаны с активностью динамики вод, то есть интенсивностью придонных течений. В Разделе 4 (с. 122, рис. 4.36) получена даже регрессионная зависимость между содержанием кислорода в верхнем 5-сантиметровом слое донных отложений и скоростью течения. С физической точки зрения этот вывод является, конечно, вполне объяснимым, но можно ли считать его в достаточной мере подтверждённым представленными данными? Уверенности в этом у оппонента нет. Скорости течений определялись исключительно по данным работы [Артамонов и др., 2020], основанной на одномоментных измерениях в трех экспедициях летом-осенью одного и того же (2018) года, вдобавок интерполированных на более мелкую секту, что предполагает известную степень неопределенности. Насколько эти значения отражают реальную сезонную и многолетнюю динамику придонных течений в точках отбора использованных в

5

диссертационном исследовании проб – сказать сложно. Конечно, такие данные всё же лучше, чем ничего, и качественно разумная зависимость на рис. 4.36 косвенно указывает именно на это. Однако едва ли при таком подходе можно рассчитывать на получение точных количественных соотношений, подобных приведенному в диссертации.

1.3. Положение 3 содержит утверждение о том, что величина потока кислорода в верхнем слое донных отложений лишь в малой степени зависит от концентрации кислорода в придонном слое морской воды. Еще более категоричным образом этот тезис сформулирован в Заключение – там прямо указано, что «концентрация кислорода в придонном слое вод не является фактором, определяющим величину его потока». Между тем, хотя сопоставление довольно ограниченного числа данных (15 точек), представленное на рис. 4.40, действительно не выявило значимой связи, этот факт, скорее всего, может объясняться недостаточным количеством проанализированных на данный предмет проб либо иными неопределённостями анализа. Физически, поток кислорода в донных отложениях никак не может не зависеть от концентрации кислорода в морской воде у дна - поскольку эта последняя и является источником кислорода для верхнего слоя отложений, о чем и сам автор пишет на с. 126.

1.4. Расчёты потоков кислорода в отложениях достаточно чувствительны к параметризациям диффузии. В связи с этим хотелось бы увидеть пояснения относительно того, откуда берутся уравнения (3.7) и (3.8), использованные для вычисления коэффициентов диффузии с учётом вязкости. Желательно пояснить их физический смысл и привести необходимые литературные ссылки. Здесь же (с. 68, второй абзац): неверно употребленный термин - речь должна идти не о градиенте диффузии, а о градиенте концентрации кислорода.

1.5. С. 72, описание уравнения (3.9): Ни в методическом разделе ни в Разделе 5, где применяется модель, не объяснено, откуда брался коэффициент вертикальной турбулентной диффузии  $K_z$ , а также вертикальная скорость  $W_i$ . Между тем от их численных значений будут очень существенно зависеть результаты моделирования.



## 2. Редакционные замечания

2.1. Название диссертации содержит словосочетание «Азово-Черноморский бассейн», между тем Азовское море в её содержании никак не присутствует – даже данные из Керченского пролива относятся только к его черноморской части и предпроливью со стороны Чёрного моря. Как известно из литературы и понятно из общих соображений, окислительно-восстановительные условия придонного слоя Азовского моря значительно отличаются от черноморских. Поэтому упоминание Азова в названии диссертационной работы ничем не оправдано и только может внести путаницу. Правильнее было бы – «... в прибрежных районах российского сектора Чёрного моря».

2.2. С. 27: Ссылка на работу [Вернадский, 1960] выглядит странно, поскольку В.И. Вернадский ушёл из жизни в 1945 г. Из списка литературы выясняется, что речь идет о посмертном издании избранных сочинений, но тогда на него надо ссылаться как-то иначе.

2.3. С. 60, обозначения к уравнению (3.2): В каких единицах тут измеряется солёность – в промилле, как и указано, или в епс? В первом случае – как она практически определялась?

2.4. С. 68, третий абзац: Выполнялась ли полиномиальная аппроксимация данных с помощью программы Excel или какой-то другой программы - значения не имеет, но необходимо уточнить, какая именно аппроксимация выполнялась (какого порядка полином, каким методом подбирались коэффициенты и т.д.). Это замечание относится ко всей работе, поскольку полиномиальные аппроксимации показаны почти на всех рисунках с вертикальными профилями.

Высказанные замечания, однако, не снижают общую высокую оценку работы. Соискателем выполнено комплексное, законченное научное исследование, основные компоненты которого перечислены выше. Результаты работы имеют серьёзное научно-практическое значение.

Научные положения и выводы достаточно полно отражены в опубликованных работах и обсуждены на отечественных и международных конференциях. По теме диссертации опубликованы 15 научных работ, из которых 5 статей в рецензируемых научных журналах.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Гурова Юлия Сергеевна заслуживает присвоения ей учёной степени кандидата географических наук по специальности 1.6.17 «Океанология».

И.О. Заместителя директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, член-корреспондент РАН, доктор географических наук (специальность «Океанология»)

117997, Москва, Нахимовский пр-т, д. 36

Телефон: +79169326452

E-mail: peter@ocean.ru

Петр Олегович Завьялов

26.02.2024



Зав. канцелярией ИО РАН