УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН»,
член-корреспондент РАН

_____ Коновалов С.К.
«15» июня 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Морской гидрофизический институт РАН»

Диссертация «Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном море» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28 – «океанология» выполнена в отделе динамики океанических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Кубрякова Елена Адиловна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в должности младшего научного сотрудника отдела динамики океанических процессов.

В 2009 г. соискатель окончила Севастопольский национальный технический университет (ныне – Севастопольский государственный университет) по специальности «физика».

Кубрякова Е.А. окончила в 2013 г. очную аспирантуру Морского гидрофизического института Национальной академии наук Украины.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано 29.12.2016 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Морской гидрофизический институт РАН».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН Коротаев Геннадий Константинович работает научным руководителем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По результатам рассмотрения диссертации Кубряковой Е.А. «Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном море» принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертация Кубряковой Е.А. посвящена исследованию процессов горизонтального и вертикального обмена солью и биогенными элементами в Черном море, а также оценке их относительной значимости для формирования халинной структуры и функционирования экосистемы бассейна.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что существенные климатические изменения, наблюдающиеся в последнее время, приводят к значимым изменениям в скорости течений, ветра, интенсивности вертикальных движений, температуры моря, которые, в свою очередь, влияют на динамику биохимических процессов. Определение механизмов влияния физических факторов на биотические характеристики необходимо для понимания наблюдаемых процессов изменения экосистемы.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач автором разработана боксовая физико-биогеохимическая модель Черного моря, позволившая исследовать механизмы обмена веществом между центральным районом бассейна и районом континентального склона. Проведены оценки

потоков соли и биогенных элементов, обусловленных горизонтальной адвекцией, диффузией и вертикальной адвекцией в центральную часть моря.

Диссертация Кубряковой Е.А. «Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном море» по объему выполненных исследований, новизне результатов, научному и практическому значению отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Соискателем усовершенствована одномерная физико-биогеохимическая модель для центральной части Черного моря; на ее основе разработана боксовая физико-биогеохимическая модель Черного моря; получена параметризация профиля вертикальной скорости в центральной части Черного моря; выполнены численные расчеты и анализ полученных результатов. Автор принимала активное участие в обсуждении и интерпретации научных результатов исследований, выдвижении и проверке гипотез. Соискатель лично представляла результаты работы на российских и международных конференциях, семинарах и школах.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Сезонная изменчивость вертикального распределения температуры и солености в слое 0–400 м, полученная по результатам боксовой модели Черного моря, сопоставлялась с изменчивостью температуры и солености, восстановленной по данным ретроспективного анализа гидрофизических полей Черного моря за 1993–2012 гг. Реанализ был получен при помощи ассимиляции профилей температуры и солености, рассчитанных с помощью оригинальной методики совместной обработки спутниковых альтиметрических и малочисленных гидрологических наблюдений. Сопоставление показало хорошее качественное и количественное согласование полученных результатов с данными реанализа.

Распределение элементов в субкислородной зоне хорошо согласуется с данными контактных измерений, выполненных в рейсах 1991–1994 г. в рамках проекта NATO TU-Black Sea, экспедиции НИС «KNORR» 1988, 2001.

Профиль вертикальной скорости, полученный в результате предложенной в работе параметризации, сравнивался с результатами реанализа гидрофизических полей, выполненного на основе ассимиляции данных дистанционных измерений в численной модели циркуляции Черного моря.

Модельные оценки потока воды из центра моря на периферию, полученные в настоящей работе по результатам моделирования, согласуются с оценками, полученными в других работах на основе балансового анализа.

Научная новизна результатов проведенных исследований.

Впервые был предложен механизм горизонтального обмена между центральной частью Черного моря и его периферией, обусловленный сезонной изменчивостью вертикальной ячейки циркуляции.

На основе созданной боксовой модели Черного моря оценен вклад массо- и солеобмена, связанного с этим механизмом. В слое 0–30 м он составляет 30 % от общего потока соли в центральную часть моря; а в слое 30–150 м – примерно 5–10 %.

Впервые получены оценки относительного вклада процессов горизонтального и вертикального транспорта биогенных элементов из периферийной в центральную часть моря. Модельные результаты показали, что 70 % от общего потока азота в аэробную-субкислородную зоны моря поступает с периферии бассейна, и обусловлен этот перенос азота совместным действием горизонтальной турбулентной диффузии и вертикальной циркуляции в форме единой ячейки. 30 % от общего потока азота связано с переносом аммония вертикальными движениями из анаэробной зоны в субкислородную.

В диссертационной работе была проведена серия численных экспериментов с различными потоками тепла из атмосферы в холодный

период. Модельные оценки показали, что в суровые зимы концентрация фитопланктона во время пика цветения на 50% выше, чем в теплые зимы. Зимнее вовлечение биогенных элементов из нитроклина в зону фотосинтеза отражается и на развитии фитопланктона в летний период.

В работе проведено исследование влияния вертикальной циркуляции на содержание нитратов в центральной части Черного моря. Результаты численных экспериментов показали, что увеличение вертикальной скорости в центре моря приводит к усилению нисходящих вертикальных движений и заглублению слоя максимума нитратов на периферии. Вследствие этого горизонтальный (адвективный и диффузионный) перенос нитратов с периферии в центр бассейна происходит на больших глубинах, что приводит к заглублению и расширению нитроклина в центральной части моря.

Практическая значимость результатов проведенных исследований.

Работа выполнялась в соответствии с планами научных исследований и прикладных тем ФГБУН МГИ, 1 международного научно-исследовательского проекта, а также 3 грантов РФФИ.

Результаты, полученные в рамках данной работы, позволяют углубить понимание влияния физических процессов на функционирование экосистемы в замкнутых морях. Полученные данные могут быть использованы для более точной параметризации биогеохимических процессов в рамках трехмерных моделей экосистемы Черного моря. Усовершенствование моделей экосистемы является важной практической задачей, решение которой, в перспективе, позволит наиболее эффективно использовать рыбные ресурсы, и предотвращать экологические риски, связанные с изменением климатических условий.

Ценность научных работ соискателя. Результаты, полученные в данной работе, расширяют имеющиеся представления о факторах, влияющих на горизонтальный обмен солью и биогенными элементами между водами центрального района Черного моря и района континентального склона. Созданная боксовая физико-биогеохимическая модель Черного моря

позволяет проводить оценку влияния различных динамических факторов на термохалинную структуру бассейна, на биопродуктивность и функционирование морской экосистемы.

Специальность, которой соответствует диссертация.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.28 – «океанология», отрасль наук – физико-математические науки.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По теме диссертации опубликовано в соавторстве 16 научных работ, из них 6 статей в рецензируемых научных журналах [1–6], 3 статьи в рецензируемых сборниках научных трудов [7–9] и 7 тезисов докладов на Всероссийских и Международных конференциях [10–16].

Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 6 работ в рецензируемых российских и украинских научных изданиях [1–6]. В их числе 3 работы [4–6] в рецензируемых научных изданиях, входящих в наукометрические базы Web of Science [4–6] и SCOPUS [4, 5] и 3 работы [1–3] в изданиях, соответствующих п. 10 Постановления Правительства Российской Федерации от 30 июля 2014 г. №-723 «Об особенностях присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий лицам, признанным гражданами Российской Федерации в связи с принятием в Российскую Федерацию Республики Крым и образованием в составе Российской Федерации новых субъектов – Республики Крым и города федерального значения Севастополя».

Статьи в рецензируемых журналах

1. **Кубрякова Е.А.** Влияние вертикальной скорости на воспроизведение изменчивости термохалинной структуры верхнего слоя морского бассейна / Е.А. Кубрякова, Г.К. Коротаев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2011. – Вып. 25, Т. 2. – С. 220-239.

2. **Кубрякова Е.А.** Моделирование марганцевого цикла в рамках одномерной биогеохимической модели Черного моря / Е.А. Кубрякова, Г.К. Коротаев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2013. – Вып. 26. Т. 2. – С. 272-286.

3. **Кубрякова Е.А.** Сезонная изменчивость циркуляции и формирование солености поверхностных вод Черного моря / Е.А. Кубрякова, Г.К. Коротаев // Морской гидрофизический журнал. – 2013. – №3. – С. 3-12.

4. **Kubryakova, E.A.** Influence of vertical motions on maintaining the nitrate balance in the Black Sea based on numerical simulation / E.A. Kubryakova, G.K. Korotaev // Oceanology. – 2016. – Vol. 56, Iss. 1. – P. 25-35. – doi:10.1134/S0001437016010082.

5. **Kubryakova, E.A.** Mechanism of Horizontal Mass- and Salt-Exchange between the Waters of Continental Slope and Central Part of the Black Sea / E.A. Kubryakova, G.K. Korotaev // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2017. – Vol. 53, No. 1. – P. 102-110. – doi:10.1134/S0001433817010078.

6. **Kubryakova, E.A.** Impact of Winter Cooling on Water Vertical Entrainment and Intensity of Phytoplankton Bloom in the Black Sea / E.A. Kubryakova, A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny // Physical Oceanography, [e-journal]. – 2018. – №3. – P. 191-206. DOI: 10.22449/1573-160X-2018-3-191-206.

Статьи в сборниках научных трудов

7. **Кубрякова Е.А.** Восходящие потоки аммония и баланс биогенов в верхнем слое глубоководной части Черного моря / Е.А. Кубрякова // Труды института гидрометеорологии грузинского технического университета. – 2013. – Т. 119. – С. 269-273.

8. **Кубрякова Е.А.** Сезонная изменчивость концентрации фитопланктона в Черном море по данным численного моделирования и спутниковых оптических измерений / Е.А. Кубрякова, А.А. Кубряков // Сборник трудов XII конференция молодых учёных «Фундаментальные и

прикладные космические исследования» под ред. А.М. Садовского, 2015. – С. 50-57.

9. **Кубрякова Е.А.** Массо- и солеобмен между центром и периферией Черного моря по модельным и спутниковым данным / Е.А. Кубрякова, А.А. Кубряков // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – Севастополь. – 2017. – №2. – С. 44-52.

Тезисы докладов на Всероссийских и международных конференциях

10. **Kubryakova, E.** Study of nutrient balance of the Black Sea ecosystem / E. Kubryakova, G. Korotaev // Book of abstracts of Marine Research Horizon 2020. – Varna: Helix Press Ltd. – 2013. – P. 166.

11. **Кубрякова Е.А.** Массо- и солеобмен между центром и периферией Черного моря, вызванный изменчивостью крупномасштабной динамики / Е.А. Кубрякова, А.А. Кубряков // Тезисы докладов научной конференции «Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология», (г. Севастополь, 26–30 сентября 2016). – Севастополь, ФГБУН МГИ, 2016. – С. 76-77.

12. **Кубрякова Е.А.** Механизм горизонтального водо- и солеобмена континентального склона Черного моря и его центрального района / Е.А. Кубрякова, Г.К. Коротаев // Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования. Материалы молодежной научной конференции, г. Севастополь, 25–29 апреля 2016 г. [Электронный ресурс]. – Севастополь: ФГБУН МГИ. – С. 98-99. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/news/news_201605201055.html, свободный.

13. **Кубрякова Е.А.** Горизонтальный транспорт соли и биогенов в Черном море по модельным и спутниковым данным / Е.А. Кубрякова, Г.К. Коротаев, А.А. Кубряков // Всероссийские открытые ежегодные конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Дистанционные исследования поверхности океана и ледяных покровов, 14–18 ноября 2016 г. [Электронный ресурс]. – Москва: ИКИ РАН. – С. 259. – Режим доступа:

http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/mythesis.aspx?thesis=5725.

14. **Кубрякова Е.А.** Влияние физических процессов на транспорт биогенных элементов в Черном море на основе численного моделирования / Е.А. Кубрякова, Г.К. Коротаев, А.А. Кубряков // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 10–14 апреля 2017 г. [Электронный ресурс]. – Москва: ИО РАН. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30062846, свободный. – С. 132-133.

15. Кубряков А.А. Изменчивость биооптических характеристик Черного моря по измерениям буев Био-Арго и спутниковым данным / А.А. Кубряков, С.В. Станичный, **Е.А. Кубрякова** // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 10–14 апреля 2017 г. [Электронный ресурс]. – Москва: ИО РАН. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30062843, свободный. – С. 130-131.

16. **Кубрякова Е.А.** Сезонная изменчивость концентрации фитопланктона и ее связь с интенсивностью зимнего выхолаживания в Черном море / Е.А. Кубрякова, А.А. Кубряков // Процессы в геосредах. – № 3 (17). – 2018. – С. 72-73.

Цитирования материалов и отдельных результатов других авторов в диссертации оформлены соответствующим образом. Результаты диссертационной работы в полной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК Российской Федерации.

Диссертация «Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном море» Кубряковой Елены Адиловны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.28 – «океанология».

Заключение принято на заседании Общеинститутского научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН».

Присутствовало на заседании 27 членов Общеинститутского научного семинара. Результаты голосования: «за» – 27 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек, протокол № 7 от 30 мая 2018 г.

Заместитель председателя
Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Морской гидрофизический
институт РАН»,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник
отдела теории волн Демышев Сергей Германович

Ученый секретарь
Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Морской гидрофизический
институт РАН»,
кандидат физико-математических наук,
ученый секретарь Алексеев Дмитрий Владимирович