

Утверждаю:
Врио председателя
Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального
исследовательского центра
Российской академии наук



А.Г. Мустафин

« 4 » 02 2020 года

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Беловой Юлии Валериевны «Математическое моделирование
биогеохимических циклов в прибрежных системах Юга России», представленную
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

1. Актуальность темы выполненной работы

Азовское море является наиболее крупной прибрежной системой Юга России и обладает рядом специфических черт: небольшая глубина и континентальный климат обеспечивают почти равномерный прогрев по всей толще воды и небольшие перепады температуры по всей акватории. Азовское море – переходный водоем между пресными речными и солеными водами Черного моря, что обеспечивает большой перепад солености; большой относительно объема моря речной сток обеспечивает значительное поступление биогенных веществ.

Азовское море обладает высокой скоростью реакции на колебания речного стока и изменение климатических условий, которые влекут за собой большую пространственно-временную изменчивость гидрофизических и биологических параметров процессов. Проведение натурных исследований и создание прогнозов развития прибрежных экосистем на основе полученных данных - дорогостоящий процесс, требующий больших денежных и трудовых затрат. Более оптимальным

подходом в данном случае представляется проведение относительно простых натуральных экспериментов и математическое моделирование биогеохимических и гидродинамических процессов. Поэтому построение пространственно-трехмерных математических моделей биогеохимических циклов, которые определяют биологическую продуктивность прибрежных систем и состояние водной экосистемы в целом, скомплексированных с моделями гидродинамики, создание дискретных моделей с использованием схем повышенной точности, верификация и валидация построенных моделей и численных алгоритмов, их реализующих, является актуальной проблемой математического моделирования природных систем.

С 2007 года по настоящее время наблюдается современный период осолонения Азовского моря. Снижение стока напрямую влияет на концентрацию биогенных элементов, от чего, в свою очередь, зависит развитие фитопланктона в Азовском море и особенно в Таганрогском заливе, также пресноводные виды водорослей вытесняются морскими. Построение прогнозов развития экосистемы Азовского моря в условиях повышения солености является актуальной задачей, которая может быть решена средствами математического моделирования.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Во введении обоснована актуальность темы, охарактеризована степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, приведены материалы и методы, использованные в работе, описана научная новизна работы, раскрыты практическая и научная значимость.

Первая глава посвящена обзору и сравнению существующих моделей биогеохимических циклов, математическому описанию задачи биогеохимических процессов в Азовском море, аналитическому исследованию построенной непрерывной математической модели, а также описанию модели гидродинамики мелководных водоемов с учетом транспорта тепла и солей.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию дискретной разностной схемы, представляющей собой линейную комбинацию центральной разностной схемы и схемы «кабаре», построению трехмерной дискретной математической модели биохимической трансформации форм фосфора, азота и кремния.

Третья глава посвящена выбору итерационного метода для решения системы сеточных уравнений, а также подбору значений параметров системы и начальных условий. Проведено восстановление полей солености и температуры по картографической информации, проведена обработка натуральных данных о стоках реки Дон в акваторию Азовского моря методами статистического анализа.

Четвертая глава посвящена разработке программного комплекса и проведению вычислительного эксперимента по моделированию биогеохимических циклов в Азовском море и визуализации полученных результатов. Приведено подробное описание программного комплекса для моделирования биогеохимических процессов в Азовском море и алгоритм его работы. Также приведен алгоритм работы программного комплекса для расчета модели гидродинамики мелководных водоемов с учетом транспорта тепла и солей. Приведены результаты численных экспериментов, в том числе и для повышенной солености.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы.

Материал диссертации изложен на 165 страницах, включает 54 иллюстрации, 9 таблиц, список литературы содержит 134 наименования.

3. Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Построена трехмерная математическая модель, которая, в отличие от других известных моделей, учитывает влияние солености и температуры на развитие фитопланктонных популяций.

2. Проведено аналитическое исследование построенной, непрерывной модели, выполнена линеаризация модели, определены неравенства, гарантирующие существование и единственность поставленной задачи, сформулирована теорема.

3. В работе предложена новая разностная схема для решения задач конвекции-диффузии-реакции при больших значениях сеточного числа Пекле ($2 < Pe \leq 20$), которая представляет собой линейную комбинацию центральной разностной схемы и схемы «кабаре» и обладает большей точностью, чем традиционные схемы, при решении задач, в которых конвекция преобладает над диффузией. Проведено исследование устойчивости, точности и порядка аппроксимации новой разностной схемы

4. Исследованы стационарные режимы задачи динамики фитопланктона с учетом трансформации форм фосфора, азота и кремния, получены начальные условия и уточненные параметры модели.

5. Проведена статистическая обработка натурных данных о стоке реки Дон в акваторию Азовского моря.

6. Восстановлены поля солёности и температуры Азовского моря по картографической информации с использованием схем повышенного порядка аппроксимации.

7. Построен программный комплекс с удобным пользовательским интерфейсом, позволяющий моделировать биогеохимические процессы в Азовском море.

4. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов

Обоснованность научных положений и выводов определяется корректностью использования математических методов. Методами математической физики выполнено исследование единственности решения линеаризованной на временной сетке начально–краевой задачи биогеохимических циклов, включающей систему из 10 уравнений параболического типа с нелинейными функциями источников, и произведена ее дискретизация непрерывной модели. Выполнено исследование точности и устойчивости построенной разностной схемы. Устойчивость новой схемы исследована методом гармоник, получено ограничение на шаги по времени и пространству. Исследована точность новой разностной схемы с использованием разложения в ряд Фурье. Новая разностная схема аппроксимирует модель со вторым

порядком по времени и третьим по пространству. Результаты численных расчетов согласуются с натурными данными.

5. Практическая и теоретическая значимость работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в качестве инструментария для исследования биогеохимических процессов, происходящих в мелководных замкнутых морях и прибрежных системах. Использование актуальных натуральных данных, полученных в экспедициях, спутниковых снимков, баз данных морских информационных систем, разработанной математической модели биогеохимических циклов и программного комплекса позволяют оценивать текущее состояние экосистемы Азовского моря и делать прогнозы развития экологической обстановки под влиянием природных и антропогенных факторов. Разработаны эффективные численные методы для решения задач, в которых конвективный перенос значительно преобладает над диффузионным. Результаты диссертационной работы могут быть использованы научными организациями, такими как ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской Академии наук» (ЮНЦ РАН), Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), изучающими процессы гидродинамики и биологической кинетики, а также высшими учебными заведениями, такими как ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», в учебном процессе для изучения численного решения задач, основанных на уравнениях конвекции-диффузии-реакции.

6. Публикации результатов в печати

По теме диссертационной работы опубликовано 18 работ, из них 5 статей опубликованы в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 7 статей в отечественных реферируемых журналах, входящих в список изданий, рекомендованный ВАК, получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

7. Замечания по содержанию диссертации

1. Во второй главе, стр. 79, показано сравнение разностных схем при различных значениях чисел Пекле, но нет информации о размерах расчетной сетки и ее влиянии на результат.

2. В третьей главе, стр. 105-113, подробно изложены известные итерационные методы, но недостаточно раскрыт процесс восстановления полей солености и температуры с использованием схем повышенного порядка точности.

3. В четвертой главе, стр. 138-147, в результатах численных экспериментов представлены только распределения концентраций трех видов фитопланктона и биогенных веществ, а результаты динамики солености и температуры не отображены.

4. Имеются пунктуационные и стилистические ошибки, некоторые рисунки не содержат информации о единицах измерения величин.

5. Список литературы содержит 134 наименований. Но не на все источники имеются ссылки – 1, 4, 32, 48, 64, 75, 83, 90, 96, 127.

Однако отмеченные недостатки не уменьшают теоретическую и практическую ценность работы.

8. Соответствие автореферата содержанию диссертации

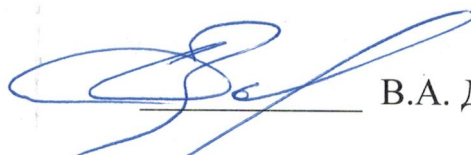
Автореферат соответствует содержанию диссертации.

9. Заключение

Данная работа представляет собой самостоятельное и завершенное научное исследование на актуальную тему, выполненное на высоком научном и теоретическом уровнях. Результаты работы были представлены и обсуждались на научных конференциях и семинарах. Диссертация Беловой Ю.В. грамотно изложена и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Таким образом, диссертация Беловой Юлии Валериевны «Математическое моделирование биогеохимических циклов в прибрежных системах Юга России» является научно-квалификационной работой, по актуальности, новизне, объему выполненных исследований, научной и

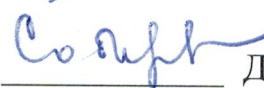
практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Отзыв на диссертацию Беловой Ю.В. обсужден и одобрен на заседании лаборатории № 1 «Математической химии» ИНК УФИЦ РАН, протокол № 01/20 от 04 февраля 2020 года.

И.о. директора ИНК УФИЦ РАН,
д.х.н., профессор РАН



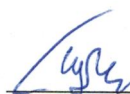
В.А. Дьяконов

Заведующий лабораторией №1
«Математической химии», д.х.н.



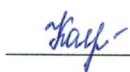
Д.Ш. Сабиров

Старший научный сотрудник
лаборатории №1 «Математической химии»,
д.ф.-м.н.



И.М. Губайдуллин

Научный сотрудник лаборатории №1
«Математической химии», к.ф.-м.н.



К.Ф. Коледина

Подписи Дьяконова В.А., Сабирова Д.Ш.,
Губайдуллина И.М. и Колединой К.Ф.
заверяю: ученый секретарь
ИНК УФИЦ РАН, к.х.н.



Д.С. Карамзина

«04» февраля 2020 г.

Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского
федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИНК УФИЦ
РАН, ИНК РАН)

Юридический и фактический адрес: 450075, РБ, г. Уфа, пр. Октября, 141

Тел/факс (3472)-84-27-50, бух (3472)-84-35-43

Эл. почта: inkbuh@anrb.ru