

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертационную работу Степаньяна Олега Владимировича**  
**«ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА МАКРОФИТЫ БАРЕНЦЕВА,**  
**ЧЕРНОГО, АЗОВСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ В УСЛОВИЯХ**  
**СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ»,**  
**представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук по**  
**специальности 03.02.10 – гидробиология**

**Актуальность работы.** В общей проблеме загрязнения морей и океанов одно из ведущих мест принадлежит углеводородам, и в первую очередь нефти и нефтепродуктам. Из года в год растет добыча нефти и транспортировка ее морским путем, интенсивно ведутся поиски и разработка нефтяных залежей в шельфовой зоне. Широкое использование нефтепродуктов для получения энергии приводит к массовому выбросу различных углеводородов в атмосферу, откуда они выпадают в моря и океаны. Все возрастающее попадание нефти в морскую среду и наносимый этим ущерб поставили вопрос о борьбе с нефтяным загрязнением Мирового океана в число наиболее актуальных мировых проблем. Непрестанно нарастающее современное антропогенное воздействие и изменение планетарного климата обуславливают синергетический эффект влияния на морскую биоту. Макрофитные водоросли – важнейший автотрофный компонент прибрежных и эстуарных морских экосистем. Занимая пограничное положение между сушей и открытым морем, между морскими и континентальными водами эти экотонные зоны отличаются значительной нестабильностью и в первую очередь подвержены влиянию различных природных и антропогенных факторов.

В этой связи не вызывает никакого сомнения актуальность диссертационной работы О.В. Степаньяна, посвященной изучению реакции макрофитобентоса северных и южных морей РФ на нефтяное загрязнение и изменение климата.

**Научная новизна** данной работы заключается в том, что впервые на основании многолетних наблюдений в разных морях севера и юга РФ в зависимости от региональных абиотических факторов (соленость, температура и прозрачность воды), выявлены различные тренды устойчивости макрофитобентоса к нефтяному загрязнению: увеличение солености способствует снижению уязвимости морской растительности, а увеличение температуры и снижение прозрачности воды – к ее увеличению. Полевые и экспериментальные исследования показали, что устойчивость различных систематических групп макрофитов к влиянию нефти и нефтепродуктов закономерно снижается в ряду: бурые (фукусовые, ламинариевые) → зеленые (ульвовые) → красные (бангиевые,

церамиевые, пальмаривые) водоросли. Важнейшим этапом работы стала разработка математической модели отклика морской растительности на изменение природных факторов среды и нефтяное загрязнение и представление прогноза изменений макрофитобентоса северных и южных морей РФ, что является основным аналитическим инструментом полевых и экспериментальных исследований для принятия управленческих решений.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные результаты вносят значительный вклад в теорию развития (эволюции) биоты морских прибрежных и прибрежно-водных экосистем и могут быть использованы для прогноза сценариев их изменения под воздействием антропогенных и климатических факторов, для разработки научных основ рационального природопользования и охраны природы, для экологического мониторинга, для оценки биоразнообразия прибрежной зоны морей, ее экологического состояния, для совершенствования учебных курсов в ВУЗах.

**Структура и объем диссертации.** Не нарушая традиции оппонентских отзывов, хотелось бы отметить, что диссертационная работа О.В. Степаньяна изложена на 267 страницах, состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов и списка использованной литературы, насчитывающего 545 источников, в том числе 119 на иностранных языках. Работа проиллюстрирована 13 таблицами и 35 рисунками. В структуре работы соблюдается единство поставленных цели и задач, полученных результатов и выводов, которые основываются на обширных достоверных результатах выполненных исследований.

**Во Введении** сформулирована и тщательно проанализирована проблема нефтяного загрязнения, каково его влияние на макроводоросли, какие направления исследований в этом отношении уже сформировались в предшествующий период, начиная с 1950-х годов, какие современные вызовы прослеживаются при решении вопросов, связанных с последствиями антропогенного воздействия, и, прежде всего, стремительное изменение климата. Из чего следует актуальность сформулированных цели и задач диссертационного исследования, представляющего результат комплексной оценки влияния нефтяного загрязнения и климатических изменений на состояние фитоценозов прибрежных и эстуарных зон морей.

**В первой главе (Обзор литературы)** диссертационной работы автором представлен физико-географический очерк района исследования, где проанализированы основные морфометрические, гидрофизические и гидрохимические характеристики четырех морей: Баренцева, Черного, Азовского и Каспийского и степень их антропогенного загрязнения, прежде всего нефтепродуктами. Особое внимание уделено отдельным районам, наиболее подверженным антропогенному воздействию, как

например, Кольскому заливу Баренцева моря и Новороссийской бухте Черного моря. Эта глава дает достаточно полное представление о современном экологическом состоянии исследованных водных объектов и его трансформации в ходе растущего антропогенного и климатического влияния. Кроме того, в обзоре детально обсуждаются пути проникновения нефти в толщу воды, процессы, приводящие к появлению различных форм нефти (пленочной, растворенной, эмульгированной, взвешенной), и проведен ретроспективный анализ исследований по влиянию нефтяного загрязнения на морские макрофиты с 1950-х годов до настоящего времени.

**Во второй главе**, посвященной методам исследования, детально описаны частота отбора проб фитобентоса в районах исследований, проведенных в Новороссийской бухте Черного моря, Керченском проливе и Кольском заливе Баренцева моря с целью определения видового состава и границ его распространения. Из чего видно, что О.В. Степаньяном получен и проанализирован обширный полевой материал, собранный в 1995 – 2015 гг., обработанный стандартными гидробиологическими методами, что не вызывает сомнения в репрезентативности исходных данных. Кроме того, автором подробно изложена методология экспериментов по изучению влияния нефти и нефтепродуктов на морских макрофитов: подготовка эмульсии нефти и нефтепродуктов, как проводилось исследование влияния нефти и нефтепродуктов на ранние стадии развития водорослей, изучение влияния нефти на относительную скорость роста макроводорослей и интенсивность фотосинтеза и дыхания, оценка влияния пленки нефти на водоросли Баренцева моря. Наиболее значительную часть главы занимает описание методов и логистика математического моделирования динамики водной и прибрежно-водной растительности в зависимости от факторов среды в Баренцевом, Азовском и Каспийском морях.

Основные результаты проведенных исследований представлены в последующих **пяти главах (3–7)**.

**В главе 3**, посвященной результатам полевых исследований, дается оценка современного состояния макрофитобентоса Черного моря, Новороссийская бухты, Кольского залива и Керченского пролива, наиболее подверженных хозяйственной деятельности человека. Автор детально рассмотрел изменение таксономического состава, соотношения экологических групп и богатства флоры макрофитобентоса. Анализируется степень пространственной неоднородности распространения отдельных таксонов. Выявлены общие закономерности трансформации структуры макрофитобентоса, связанные с эвтрофированием и нефтяным загрязнением на фоне повышения температуры и снижения прозрачности воды – уменьшение видового разнообразия холодноводного комплекса при одновременном увеличении разнообразия тепловодного, уменьшение

глубины распространения прикрепленных водорослей, сокращение площадей зарастания аборигенных видов, экспансия инвазийных видов макроводорослей, прежде всего, тепловодного комплекса.

Выяснению механизма реакции разных видов макрофитов на нефтяное загрязнение посвящена наиболее обширная **4 глава**, в которой представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию нефти на ранние стадии развития и основные функциональные показатели макрофитобентоса Баренцева и Черного морей.

Показано, что эмульгированная нефть менее токсична, чем нефтяная пленка, бурые водоросли менее уязвимы к токсическому воздействию нефти, чем зеленые водоросли, к нефтяному загрязнению наиболее уязвимы из стадий жизненного цикла – гаметогенез и ювенильный спорофит. Подавление развития гаметофитов и ювенильных спорофитов наблюдается при концентрации углеводородов  $> 15$  мг/л.

Анализ реакции основных функциональных параметров (рост, фотосинтез, дыхание) бурых водорослей на воздействие эмульсии малосернистой, малосмолистой и парафинистой нефти показал, что активный рост водорослей отмечен только при концентрациях нефти до 5–10 мг/л, затем прослеживается его снижение. Снижение фотосинтетической активности сопровождалось деформацией и изменением цвета таллома. Установлено, что функциональный отклик на токсическое воздействие нефти различается у разных систематических групп макроводорослей.

В полевых экспериментах в литорали Баренцева моря было установлено, что бурые водоросли в условиях нефтяного токсического воздействия с первых часов могут поддерживать свою продукционную активность путем быстрой перестройки и адаптации функциональной системы водорослей. Это выражается в неизменности полусуточного хода фотосинтеза и дыхания. При этом может наблюдаться уменьшение размеров, массы таллома и продолжительности жизни водоросли. Кроме того, такая стремительная адаптация объясняется массовым развитием нефтеокисляющих и сапротрофных микроорганизмов на поверхности талломов водорослей.

Доказано, что в условиях хронического загрязнения формируются устойчивые к воздействию углеводородов популяции фукусовых водорослей (*F. vesiculosus*) и их микробиоты, что позволяет заключить, что водоросли умеренно загрязненных акваторий можно использовать в фиторемедиации. Токсичность нефтяной эмульсии для *F. vesiculosus* увеличивалась в ряду нефть – дизельное топливо – бензин.

Изучение проростков черноморских макрофитов подтвердило результаты, полученные для водорослей Баренцева моря: наиболее устойчивы к нефтяному загрязнению фукусовые водоросли, менее – ульвовые и церамиевые

**В 5-ой главе «Математические модели реакции макрофитобентоса при изменении окружающей среды и загрязнении»** на основе оригинальных многолетних экспериментов и полевых данных впервые предложены адаптированные математические модели изменения водной и прибрежно-водной растительности Баренцева, Азовского и Каспийского морей под воздействием внешних антропогенных (нефти) и природных факторов. **В Баренцевом море** выявлены наиболее уязвимые участки прибрежной зоны к воздействию нефтяного загрязнения. При вероятном разливе нефти в осенне-зимний период наиболее загрязненным может быть побережье Новой Земли и Печерского моря, а в весенне-летний – побережье Восточного Мурмана и северной части Белого моря. Показано, что на устойчивость всей прибрежной зоны Баренцева моря существенно влияет сезонная динамика развития фитобентоса. Анализ возможных сценариев показал, что аварийное попадание нефти в морскую воду не приведет к полному исчезновению бурых водорослей. Полученные вероятностные картосхемы загрязнения береговой зоны **Азовского моря** показали, что зоны максимального загрязнения соответствуют направлению преобладающих ветров. Установлено, какие объемы нефти будут не критичны для развития прибрежно-водных и водных растений и не приведут к значительному ущербу. Показано, что в период осолонения моря ( $> 14\text{‰}$ ) будут формироваться более устойчивые к воздействию нефти сообщества морских трав, а в периоды распреснения ( $9\text{--}10\text{‰}$ ) – менее устойчивые фитоценозы. Поэтому при оценке воздействия возможных разливов нефти важно учитывать многолетние колебания солености водоема. Расчеты по оценке влияния изменения уровня **Каспийского моря** и сопряженных факторов на пространственное распределение двух массовых видов травянистых растений Северного Каспия показали, что распределение водных растений на акватории Северного Каспия определяется в первую очередь природными факторами – колебанием уровня моря и солености. Построенные математические модели отклика водной и прибрежно-водной растительности на изменение уровня и солености воды в Каспийском море позволяют прогнозировать ущерб водным биоресурсам при изменениях климата и хозяйственной деятельности человека. Проведение аналогичной оценки воздействия вероятных разливов нефти позволит точнее оценивать возможные риски и ущербы экосистемам Баренцева и Азовского морей.

**В главе 6 «Макрофиты в производственном экологическом мониторинге нефтегазовых компаний»** автор предлагает при оценке воздействия на окружающую среду помимо видового состава, численности и биомассы макрофитных водорослей учитывать влияние на многолетнюю динамику биомассы и видового разнообразия фитоценозов климатических изменений, а также реакцию водорослей на различных стадиях развития на воздействие токсикантов. При ликвидации аварийных разливов нефти

– широко использовать плантации биофильтров с участием макроводорослей, в программах экологического мониторинга – уделять особое внимание промысловым и средообразующим видам с учетом динамики их запасов под действием климатических факторов.

Для более точной оценки реакции сообщества макрофитов на воздействие нефтепродуктов и объективного, оперативного прогноза развития сообществ макрофитов при вероятных или реальных разливах нефти предложен новый подход к определению уязвимых зон морского побережья на основе макрофитобентоса, в котором необходимо использовать их морфофизиологические параметры, учитывать экспериментально определенный порог устойчивости доминирующих, средообразующих и массовых видов к конкретным маркам нефти и нефтепродуктов и использовать прогностические модели разливов нефти для конкретных районов побережья.

Кроме того, в этой главе представлен прогноз состояния макрофитобентоса южных морей: в Черном море будет увеличиваться доля видов тепловодного комплекса и уменьшаться таковая холодноводного, в Азовском море будет происходить дальнейшее расширение зоны обитания черноморской флоры, в Каспийском море возможно расширение ареала промыслового вида *Zostera*, а в Новороссийской бухте ожидается полное исчезновение черноморских комплексов с участием *Cystoseira* и *Phyllophora*.

Эта глава диссертации безусловно имеет большое практическое значение, являясь удачным примером использования знаний фундаментальных научных исследований в практике экологического мониторинга.

В заключительной **седьмой главе** «**Концептуальная схема реакции сообществ макрофитов к воздействию нефтяного загрязнения**» в итоге на основе проведенных исследований автор выделил 4 стадии развития сообществ макрофитов северных и южных морей России при воздействии нефтяного загрязнения: стимуляция, стабилизация, деградация и гибель, которые соответствуют четырем степеням экологического благополучия и состояниям природных систем (естественное, равновесное, кризисное, критическое, катастрофическое, коллапс).

Разработана шкала, в которой продемонстрировано, как по мере увеличения концентрации нефти происходит поэтапная деградация морского макрофитобентоса: при  $\geq 10$  мг/л наблюдаются нарушения в развитии водорослей на стадии размножения и молодых проростков; при  $\leq 50$  мг/л – снижение выживаемости и увеличение уязвимости макроводорослей, при  $> 50$  мг/л – тотальная гибель массовых видов водорослей.

Автор считает, что возможно быстрое (1–2 года) восстановление поврежденных участков литорали за счет колонизации макрофитов из сопряженных акваторий, а также

длительное, протяженностью в несколько десятилетий. Однако трансформированные сообщества будут отличаться упрощенной структурой и более низкой продуктивностью.

В разделах **Заключение и Выводы** сконцентрированы основные результаты диссертационной работы, которые полностью соответствуют поставленным задачам.

#### **Замечания к диссертационной работе:**

**к 1-ой главе:** для информативности и наглядности диссертанту желательно было бы представить основные характеристики морей в виде таблиц, по которым можно было бы быстро и удобно проводить сравнение абиотических параметров. Встречаются неудачные выражения, например, «...атлантическая вода формирует *климатические условия водной среды...*» на стр. 18, дублирование текста на стр. 7 и стр. 60–61.

**к 2-ой главе:** желательно было бы представить карту – схему района исследования с отмеченными на ней станциями отбора проб. Отсутствует информация, на основании каких количественных параметров рассчитывался индекс Шеннона.

**к 3-ей главе:** рисунок 10 на стр. 101 перегружен, сложен для восприятия, ориентирован вертикально, перпендикулярно к подписи. Кроме того, неясно, где на рисунке расположена модель обилия видов (точнее – рангового распределения обилия видов). Непонятно, с какой целью автор приводит рисунки и дает оценку ранговых распределений обилия видов для Черного моря, тем более что в дальнейшем по тексту никак не обсуждая полученные кривые для других водоемов. Интереснее было бы сопоставить, как меняется форма ранговых распределений обилия видов при различных значениях индекса Шеннона. В тексте встречаются ошибки в нумерации литературных ссылок, неточности и стилистические погрешности.

**к 5-ой главе:** имеется несоответствие названий подглав в автореферате и диссертации. Излишне было выделять подглавы 5.2.1 и 5.2.2.

**к 7-ой главе:** рис. 35 на стр. 197 ориентирован вертикально, перпендикулярно к подписи.

Общее замечание по стилистике изложения автором материала в диссертации – часто трудно отделить результаты, приведенные из литературных источников, от оригинальных данных автора.

Несмотря на отдельные замечания, которые в основном носят редакторский, дискуссионный или рекомендательный характер, автором проделана огромная работа, которая является существенным вкладом в изучение биологии и экологии морского макрофитобентоса.

Таким образом, диссертационная работа О.В. Степаньяна представляет крупное, оригинальное научное исследование. Автореферат отражает содержание диссертации, все выводы обоснованы, основные положения апробированы на многочисленных

конференциях разного уровня и в открытой печати в 31 статье, опубликованных в рецензируемых российских и международных изданиях, рекомендованных ВАК, из них 10 статей в изданиях, индексируемых Scopus и WoS. На основании изложенного можно заключить, что диссертационная работа «Влияние нефтяного загрязнения на макрофиты Баренцева, Черного, Азовского и Каспийского морей в условиях современных климатических изменений» отвечает требованиям пп. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (№ 842), утвержденного Правительством РФ 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Степаньян Олег Владимирович, заслуживает присуждения искомой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.10 – гидробиология.

Корнева Людмила Генриховна

доктор биологических наук

по специальности 03.02.08 – экология (биология)

доцент по специальности 03.02.10 – гидробиология

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

Гл.н.с., зав. лабораторией альгологии

152742, Ярославская обл., Некоузский р-он, п. Борок

Тел., факс 8 48547 24042, e-mail: [korneva@ibiw.ru](mailto:korneva@ibiw.ru)

23. 04. 2021 г.

