

# Сообщества макрофитов после воздействия разлива мазута в районе Анапской пересыпи

О.В. Степаньян, О.А. Хорошев

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Ростов-на-Дону, Россия)

Поступила в редакцию 07.09.2025

Принята к публикации 16.10.2025

Анализ состояния макрофитов в районе Керченского пролива и Анапской пересыпи после катастрофы танкеров в декабре 2024 г. показал, что разработанная концептуальная схема адекватно отражает реально происходящие природные процессы, дает возможность прогнозирования долговременных изменений и может служить методической основой для проведения экологических исследований прибрежных акваторий.

**Ключевые слова:** макрофиты, морские сообщества, нефтяное загрязнение, фиторемедиация, Черное море, Анапа

**М**орские макрофиты (макроводоросли и высшие растения) являются важнейшими компонентами прибрежных экосистем южных морей России, обеспечивая поток органического углерода в водной среде, участвуя в энергетических процессах в экосистеме, формируя продуктивные биотопы для обитателей морских глубин. В настоящее время нефть и нефтепродукты – одни из основных компонентов антропогенного загрязнения в Мировом океане и в морях России. Еще 20–30 лет назад источниками поступления антропогенных углеводородов в морскую среду были сбросы балластных и технических вод судами, катастрофы судов и нефтяных танкеров, речной сток, атмосферный перенос. В последние годы в России бурно развивается морская нефтегазовая индустрия, которая становится дополнительным источником поступления нефтеуглеводородов в морскую среду. Практически весь российский шельф перспективен для добычи нефтеуглеводородов, разработка месторождений нефти и газа уже производится на шельфе Западной Арктики и у берегов Дальнего Востока. Крупные месторождения расположены не только на шельфе краевых морей, но и во внутренних морях России (Каспийское, Азовское, Черное моря). Разработка месторождений на морском шельфе сопровождается строительством

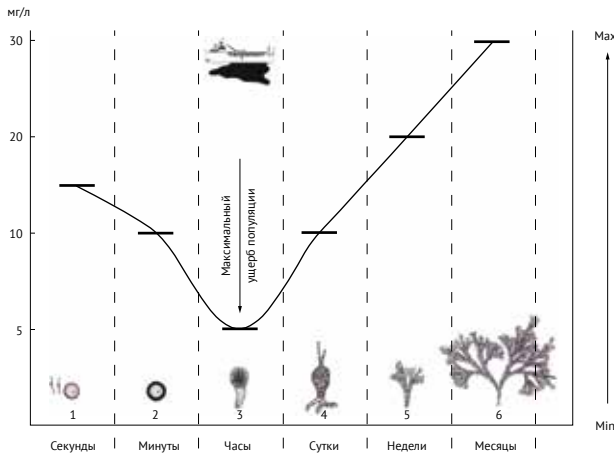


**Олег Владимирович Степаньян**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией прикладной океанографии Федерального исследовательского центра Южного научного центра Российской академии наук. Область научных интересов – исследование донной растительности южных морей России.  
e-mail: step@ssc-ras.ru



**Олег Анатольевич Хорошев**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладного научного приборостроения Федерального исследовательского центра Южного научного центра Российской академии наук. Область научных интересов – проблемы экологии и природопользования, рекреационного освоения береговых зон регионов юга России.  
e-mail: ourregion@mail.ru

буровых вышек и платформ, соединенных трубопроводами с плавучими и донными нефтеналивными хранилищами. Переработанная на промысле нефть транспортируется с месторождений танкерами или посредством донных трубопроводов, которые доставляют нефть к береговым нефтеналивным хранилищам.



Устойчивость *Fucus vesiculosus* в течение жизненного цикла к действию нефти: 1 – яйцеклетка и антерозоиды; 2 – зигота; 3 – прорастающая зигота с ризоидом; 4 – проросток с дифференцированной ризоидальной и талломической частями; 5 – ювенильный таллом; 6 – взрослый таллом

Попав в морскую воду, нефть или нефтепродукты благодаря своей более низкой удельной плотности и более высокой вязкости способны быстро растекаться по ее поверхности, образуя слики или пленку различной толщины. При растекании нефти происходят процессы выветривания и испарения легких фракций: нефть теряет до 50% своего состава, дизельное топливо – до 75%. Активно происходит процесс растворения нефти в морской воде, около 5% нефтеуглеводородов переходит в раствор. Благодаря способности углеводородов сорбироваться на взвешях, большая часть оставшейся нефти образует эмульсии типа «нефть в воде» и «вода в нефти» со средним диаметром капель нефтяной эмульсии 0,5 мкм. В результате вышеперечисленных процессов через несколько часов (дней) и в зависимости от типа нефти и влияния внешних факторов слик будет иметь более высокую вязкость и температуру текучести, и это замедлит процесс растекания нефти по поверхности. При этом тяжелые фракции нефти, оседая на дно, способны стать локальными источниками загрязнения в течение дли-



Концептуальная схема реакции сообществ макрофитов к воздействию нефтяного загрязнения. Концентрация нефтепродуктов: А – ПДК по нефтепродуктам в водоемах; В – уровень загрязнения в портовых акваториях (до 200 ПДК); С – уровень загрязнения при региональных разливах нефти до 5 тыс. т (в Балтийском море (1989 г.), в Керченском проливе (2007 г.)); Д – уровень загрязнения при глобальных разливах нефти свыше 50 тыс. т (у берегов Франции (1967 г.), на Аляске (1989 г.), в Персидском (1991) и Мексиканском заливах (2010 г.)). Состояние природных систем: I – естественное, II – равновесное, III – кризисное, IV – критическое, V – катастрофическое, VI – коллапс



Подводный телеуправляемый аппарат «Chasing M2», использованный в процессе обследования прибрежного шельфа и заселяющих его макрофитов

Здесь и далее фото О.А. Хорошева

тельного времени. Аналогичный эффект имеет место в районах нефтепромыслов.

Находясь во взвеси, углеводороды формируют высоковязкие структурированные образования («шоколадный мусс», «смоляные шарики», «смоляные комочки»), содержащие незначительную долю тяжелых фракций. Такие формы нефти способны переноситься на значительные расстояния и преобладают в районах гидрохимических барьеров, вне этих зон распространены различные виды эмульсий. Нефтяная пленка значительно снижает степень проникновения световой энергии вглубь воды, почти нулевая освещенность на глубине 3 м отмечена для мест с интенсивным нефтяным загрязнением. При наличии пленки нефти на поверхности морской воды существенно изменяется скорость проникновения кислорода в нижележащие слои водной массы. Таким образом, при попадании нефти на поверхность морской воды происходит ряд взаимосвязанных процессов, приводящих к появлению различных форм нефти: пленочной, растворенной, эмульгированной, взвешенной, которые в течение некоторого времени могут оставаться стабильными, но в дальнейшем также подвергаются деструкции. На этом этапе в первую очередь начинает играть важнейшую роль биологическая трансформация нефти морскими микроорганизмами.

В последние годы был сделан ряд попыток определить степень воздействия крупных нефтяных разливов в различных частях мира на прибрежную флору и фауну. Выводы, полученные в результате исследований, значительно колебались: от минимальных последствий до катастрофических изменений и полной деградации для прибрежных экосистем. Но практически всегда

оценка изменялась в зависимости от типа анализируемой экосистемы.

В мировой практике танкерных перевозок примерно 2% судов с водоизмещением более 6 тыс. т терпят аварии [1]. Когда перевозки сопряжены с операциями по перегрузке нефтепродуктов, риски аварийных ситуаций значительно возрастают.

Интерес к проблеме влияния разливов нефти на природные биоценозы возник достаточно давно, но первые комплексные обзорные работы появились после крупных катастроф – крушения танкера «Торри Каньон» возле берегов Великобритании в 1967 г. и танкера «Амоко Кадис» в 1978 г. возле атлантического побережья Франции. Самая масштабная авария, связанная с разливом нефти в районе ее добычи, произошла в Мексиканском заливе в 2011 г. Тогда в морскую воду и прибрежные акватории попало несколько сотен тысяч тонн нефти. Аварии с танкерным флотом имели место и у российских берегов в 1990–2000 гг., но это были небольшие аварии, связанные с попаданием в воду десятков, сотен тонн нефтепродуктов. Наиболее масштабный до недавнего времени в российской части Черного моря разлив нефтепродуктов произошел в Керченском проливе 11 ноября 2007 г., когда в морскую воду и на побережье попало более 2 тыс. т мазута, погибли люди.

Нефть и нефтепродукты способны вносить дисбаланс в структуру и функционирование морских прибрежных экосистем, оказывая негативное воздействие на макрофиты – фототрофные организмы, подавляя их развитие и рост. Важно понимать, каким будет ответ и реакция сообществ макрофитов на негативное воздействие нефтяного загрязнения. Один из вариантов решения этой задачи – это разработка концептуальных моделей или схем ответной реакции живых объектов на токсическое воздействие.

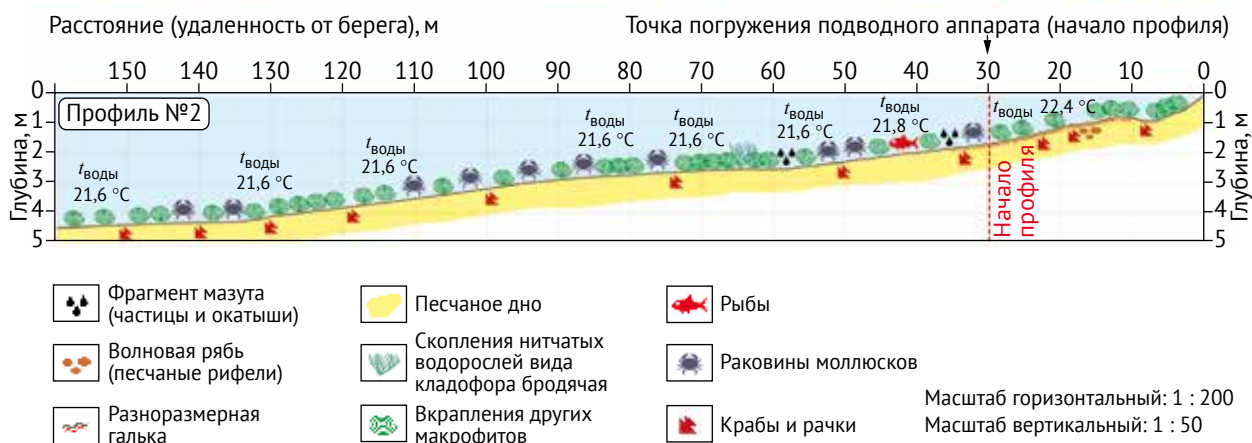
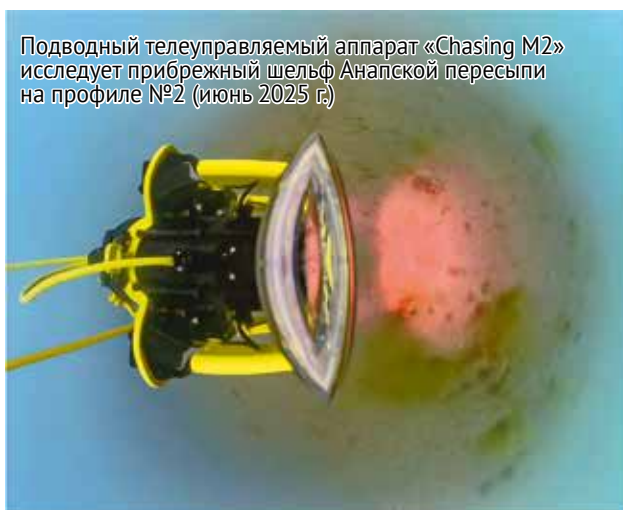
Обоснование концептуальных схем устойчивости живых организмов к воздействию различных токсикантов – важная научная задача в гидробиологии и морской биологии. Следует отметить концептуальную модель академика Г.Г. Поликарпова [2, 3], где обоснованы, градуированы и визуализированы степени воздействия радиоизотопов на живые организмы: от бактерий, растений, животных до человека и биосферы, от клеток и организмов до популяций и биологических сообществ. В своих работах Поликарпов показывает, что негативные эффекты воздействия высоких доз радиации на одних уровнях организации организмов могут трудно предсказуемо отзываться на других уровнях организации биосферы. Важно отметить, что Поликарпов выделяет условный верхний предел устойчивости биосферы – «зону неопределенности», которая требует еще своего осмысления и расчета предельной устойчи-

вности компонентов биосферы к воздействию сверхмощных доз радиации. Концептуальная схема профессора О.Г. Миронова самоочищения вод морей умеренной зоны от токсикантов, в том числе нефтепродуктов, показывает вклад абиотических и биотических факторов в этот процесс и ведущую роль живого биофильтра [4]. Миронов уделяет значительное внимание животному компоненту природных систем и показывает высокую устойчивость некоторых групп беспозвоночных (например, двусторчатых моллюсков) к токсическому воздействию различных поллютантов. При этом «живой биофильтр» не только осуществляет очистку водной толщи от нежелательных компонентов, но и производит их консервацию и захоронение в донных отложениях, где может протекать дальнейшая химическая и биологическая деструкция токсикатов.

С.А. Патиным [1] предложена схема восстановления и сукцессии прибрежных сообществ.

Показано, что после воздействия нефти восстановившаяся прибрежная экосистема может не совпадать по своим характеристикам с сообществом, существовавшим до фазы острого воздействия. Патин подчеркивает, что главное – это восстановление уровней и динамики изменчивости (сезонной, межгодовой) продуктивности экосистемы, зафиксированных до воздействия, а какие виды сформируют новую экосистему – не столь важно, исключением являются экосистемы, сложенные промысловыми видами, исчезновение которых может нанести ущерб экономике прибрежных территорий.

В концептуальной схеме Г.М. Воскобойникова с коллегами [5] показаны взаимосвязи морских макрофитов и сообществ эпифитных нефтеокисляющих бактерий, исследованы процессы трансформации углеводородов нефти на поверхности таллов макрофитов.



Типовой профиль берегового подводного склона от начальной точки (глубина 1,8 м) до глубины 4,3 м (на примере профиля № 2, расположенного в станице Благовещенской Краснодарского края)



Скопление нитчатых водорослей кладофора бродячая с вкраплениями пластинчатой ульвы и покрытых мазутом обрывков отмерших макрофитов на берегу и в прибойной зоне на профиле обследования № 2

### Концептуальная схема реакции сообществ макрофитов к воздействию нефтяного загрязнения

Наши экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях позволили установить ряд закономерностей, характерных для процесса взаимодействия растворенной и пленочной нефти с макроводорослями [6–12]. Реакция макроводорослей на токсическое действие нефти и нефтепродуктов прослеживается на всех стадиях жизненного цикла. Действие нефтетоксикантов, так же как других поллютантов и абиотических факторов окружающей среды (температура, освещенность, соленость и др.), способно вызывать изменения морфо-функциональных характеристик макроводорослей. При этом снижается уровень фотосинтеза, увеличивается интенсивность дыхания, что вызывает падение относительной скорости роста или гибель организма. Наименее устойчивыми к воздействию нефти и нефтепродуктов оказались макроводоросли на ранних стадиях жизненного цикла. На примере фукуса показано, что наибольшую чувствительность проявляют макроводоросли на стадии прорастающей зиготы [9]. Максимальные концентрации, которые способны они переносить, не изменяя своих морфо-функциональных характеристик, не превышают 5 мг/л (что соответствует 100 ПДК для нефтепродуктов для рыбохозяйственных водоемов) для нефти и бензина, хотя их рост и развитие возможно и при более высоких концентрациях нефтетоксикантов. Вегетативные талломы макроводорослей менее восприимчивы к воздействию токсикантов и их развитие возможно при концентрациях нефтепродуктов в воде достигающих 50 мг/л (1000 ПДК).

Район произрастания макроводорослей, его гидрохимическая характеристика определенным образом влияют на развитие водорослей. Водорос-

ли, произрастающие в загрязненных нефтью и нефтепродуктами акваториях, более устойчивы к воздействию нефтетоксикантов, чем аналогичные виды из относительно чистых участков литорали [11].

Отметим, что при климатических изменениях может измениться скорость биодеструкции (в первую очередь нефтеокисляющими бактериями) углеводородов нефти в морской воде, что может повлиять на устойчивость водорослевых популяций и сообществ. В то же время макроводоросли (особенно многолетние виды со сложно дифференцированным талломом) являются субстратом для многих нефтеокисляющих бактерий, что значительно повышает эффективность такого живого биофильтра в очистке водных акваторий от нефтепродуктов как в естественных условиях, так и при практическом применении в биремедиации [5].

Чувствительность (или реакция) фитоценозов южных морей России к воздействию нефтепродуктов имеет выраженный сезонный характер. Весной происходит интенсивный рост практически всех макроводорослей. При катастрофическом воздействии (разливе нефтепродуктов) и гибели в весенний период большей части популяции уже осенью могут появиться новые растения, образовавшиеся из спор и зигот оставшихся фертильных талломов многолетних водорослей. Однолетние макрофиты с высокой скоростью продуцирования гамет также могут достаточно быстро увеличить свое количество. В этом случае восстановление популяции может произойти за один год, и ущерб для прибрежной экосистемы будет минимален.

В случае катастрофы в летний период, когда происходят репродуктивные процессы у большинства водорослей, ущерб будет значителен. Могут погибнуть не только вегетативные талломы, но и ювенильные проростки макроводорослей. В этом случае восстановление литорали займет 2–3 года в зависимости от наличия «фонда» фертильных во-



Отдельные сообщества нитчатых водорослей на профиле обследования № 2 (глубина 2,4 м)

дорослей, оставшихся за пределами участка катастрофы.

На наш взгляд, разовая катастрофа оказывает не столь значительное воздействие на экосистемы, как например, хроническое поступление нефтетоксикантов в условиях полузакрытых заливов. Попадание нефти не приведет к полному исчезновению бурых водорослей, которые являются доминантами прибрежной экосистемы. Структурный «скелет» сообщества сохранится, но вместе с тем, могут исчезнуть чувствительные к воздействию нефти группы беспозвоночных животных и водорослей. Это может привести к дисбалансу в прибрежных экосистемах и спровоцировать возникновение трудно прогнозируемых явлений, которые определенным образом способны повлиять на продуктивность и распределение макроводорослей на литорали и сублиторали. Вероятно, сукцессионные процессы в сообществе макроводорослей будут развиваться аналогично наблюдаемому в Новороссийской бухте. В то же время популяции макрофитов, обитающих в условиях хронического загрязнения, вероятно, уже выработали способность к адаптации к неблагоприятным условиям [11].

На основе проведенных исследований предлагается концептуальная схема оценки чувствительности фитоценозов южных морей России к воздействию нефтепродуктов. Можно выделить четыре стадии развития сообществ макрофитов: стимуляция, стабилизация, деградация и гибель. По отношению к хозяйственной деятельности человека это будет соответствовать зоне экологического неблагополучия, зоне экологического напряжения, региональной экологической катастрофе, глобальной экологической катастрофе. Что возможно соотнести с оценкой состояния природных систем: I – естественное, II – равновесное, III – кризисное, VI – критическое, V – катастрофическое, VI – кол-

лапс. Концентрации нефти 10 мг/л и выше будут критичны для развития водорослей на стадии размножения и молодых проростков. По мере увеличения концентрации нефти в морской воде до 50 мг/л будет наблюдаться снижение выживаемости макроводорослей, в том числе фукусовых, и увеличение уязвимости водорослевых сообществ. Концентрации нефти более 50 мг/л (соответствует 200 г/м<sup>2</sup>) приведут к тотальной гибели массовых видов водорослей. В то же время возможна достаточно быстрая (1–2 года) колонизация поврежденных (уничтоженных) участков литорали макрофитами из соседних акваторий. При больших концентрациях нефти в морской воде, появлению нефтяного «мусса», возникновению нефтяных slicks различной толщины, будет отмечаться гибель популяций и прибрежных сообществ, при этом период восстановления прибрежных экосистем может измеряться десятилетиями.

Вероятно, в случае глобальных катастроф, связанных с разливами сотен тысяч тонн и попаданием этого объема нефти на морские мелководья, это будет означать тотальную экологическую катастрофу, и восстановление таких участков побережья займет несколько десятилетий. Возможно, что это будет означать начало нового цикла развития прибрежных экосистем, где места макрофитам уже не найдется, а их экологическую нишу займет бактериальная экосистема. Накопленный опыт изучения последствий подобных масштабных катастроф показывает, что запас прочности природных экосистем значителен. И даже катастрофы с разливами нефти 50–100 тыс. т и выше не приводят к тотальной гибели всех морских организмов. Прибрежные экосистемы восстановятся, однако этот процесс может затянуться на годы и десятилетия, а вновь сформированные прибрежные экосистемы зачастую имеют более упрощенную структуру и меньшую продуктивность.

### **Аварии нефтетанкеров в районе Керченского пролива и Анапы в декабре 2024 г.**

Утром 15 декабря 2024 г. перед Керченским проливом со стороны Черного моря из-за сильнейшего шторма и высоких волн произошло две аварии с танкерами «Волгонепфть-212», который сел на мель и разломился пополам, и «Волгонепфть-239», который в результате полученных в шторм повреждений лег в дрейф, а затем сел на мель в 80 м от берега за западным пирсом порта Тамань Краснодарского края. На обоих судах находилось 9200 т мазута. Авария двух нефтетанкеров в декабре 2024 г. во многом повторила ситуацию с аварией танкеров в ноябре 2007 г. В воду попало примерно та-

кое же количество мазута марки М100 – 2,5 тыс. т. В 2024 г. основной вектор выбросов мазута пришелся на песчаное побережье Анапы и в меньшей степени на Крымский полуостров и акваторию г. Севастополя, отдельные выбросы отмечались в южной части Азовского моря (Темрюкский р-н, пос. Кучугуры). В первый месяц пострадало около 2 тыс. птиц, отмечена гибель морских млекопитающих (примерно 60 особей), однако истинные причины смерти для большинства животных не были установлены. При низких зимних и весенних температурах значительная часть мазута не растворилась, а оказалась выброшенной на берег или осело на дно. Наиболее загрязненными оказались участки побережья между пос. Волна и городским пляжем города-курорта Анапа.

На устранение мазутного загрязнения были брошены значительные силы МЧС и волонтеров. С декабря 2024 г. по апрель 2025 г. вывезено более 170 тыс. т мазутно-песчаной смеси. В дальнейшем стала применяться механическая очистка песка на месте и различные системы (сети, боны), обваловка участков для предотвращения попадания мазута на берег. В конце января 2025 г. закончилась откачка мазута и начался демонтаж кормовой части танкера «Волгонефть 239», который находился рядом с портом Тамань. На конец февраля 2025 г. затонувшая носовая часть «Волгонефть-239» и разломившийся танкер «Волгонефть-212» находились на глубине 20–25 м. В настоящее время решается вопрос с подъемом судов. Данные по загрязнению нефтепродуктами в настоящее время не опубликованы. Однако отметим, что район Керченского пролива, как и акватории крупных российских портов и ранее были более загрязнены, чем другие участки и акватории Черного моря [13, 14].

### Подводные исследования сообществ макрофитов на прибрежном шельфе в пределах Анапской пересыпи

В ходе экспедиции Южного научного центра РАН, проведенной 9–15 июня 2025 г. под руководством академика Г.Г. Матишова, с помощью подводного телеуправляемого аппарата Chasing M2 в пределах акватории Черного моря (район Анапской пересыпи) на площади более 1500 м<sup>2</sup> были изучены последствия загрязнения мазутом прибрежного шельфа, в том числе заселяющих его макрофитов [15]. Обследование подводных ландшафтов производилось как в открытом море – в пределах отдельных площадных точек с борта поисково-спасательного судна, так и по четырем линейным профилям (№ 1–4), начальные точки которых находились как на суше, так и в море [15].



Типичный участок дна на глубинах 2,9–3,8 м с отдельными колониями нитчатых водорослей, прикрепленных ко дну



Участок профиля № 2, ограниченный глубинами от 3,8 до 4,3 м, со сплошным покрытием дна нитчатыми водорослями

Точка начала подводного профиля № 2 (ст. Благовещенская Краснодарского края; координаты: 45° 4' 5,79" С, 37° 1' 29,73" В) располагалась в 30 м от уреза воды на глубине 1,8 м, примерно в том месте, где заканчивается зона прибоя, прохождение которой подводным аппаратом оказалось затруднительным. Общая длина профиля между местом погружения и крайней точкой обследования дна (координаты: 45° 4' 0,97" С, 37° 1' 27,53" В; глубина погружения аппарата – 4,3 м) составила 120 м. От начальной до конечной точки профиля температура воды в придонном слое постепенно снижалась от 22,4°С до 21,6°С.

В пределах линейного профиля обследования № 2 от уреза воды до глубины 1,6–1,8 м расположена зона прибоя, в пределах которой у подводного берегового вала было отмечено скопление нитчатых водорослей кладофора (*Cladophora sp.*) с редкими вкраплениями ульвы (*Ulva sp.*), а также обрывками отмерших макрофитов темного цвета. Отдельные фрагменты водорослей, выброшенные волнами на берег, на 30–40% были покрыты мазутом, который легко отставал от субстрата. На глу-

бинах от 1,8 до 2,5 м больших скоплений макрофитов не наблюдалось. Среди мелких песчаных рифелей встречались отдельные колонии нитчатых водорослей, не загрязненных мазутом, немногочисленные мелкие комки которого свободно перемещались по дну, не прикрепляясь к водной растительности. На участке профиля № 2, ограниченного глубинами от 2,5 до 2,9 м, зафиксировано сплошное покрытие дна нитчатыми водорослями. В просветах между зарослями макрофитов наблюдались отдельные, свободно перемещающиеся по дну мазутные окатыши. На промежутке профиля № 2 между глубинами 2,9–3,8 м не наблюдалось сплошного покрытия дна макрофитами, как и наличия мазутных фрагментов. Начиная с глубины 3,8 м, вплоть до конечной точки профиля № 2 (глубина 4,3 м) покрытие дна нитчатыми водорослями вновь возросла, а присутствие мазутных фракций не было отмечено.

Нами обнаружено, что в относительно загрязненных местах, например, возле причальных свай, где происходило налипание мазута на техногенный субстрат и макрофиты, которые на нем произрастали, массовой гибели макроводорослей не отмечалось (причал технопарка «Эра», точка с координатами 44° 55' 56", 37° 18' 7", апрель 2025 г.). Бурые

водоросли нормально функционировали, несмотря на налипание мазута на талломы. Отметим, что наши исследования [7], проведенные ранее, позволили определить, что цистозейра бородачатая (*Cystoseira barbata*), являющаяся основой черноморских фитоценозов, относится к устойчивым к воздействию нефтепродуктов видам.

В заключении отметим, что анализ состояния макрофитов в районе Керченского пролива и Анапской пересыпи после катастрофы танкеров в декабре 2024 г. показал, что состояние подводных фитоценозов находится в относительно стабильном состоянии.

Концептуальная схема адекватно отражает реально происходящие природные процессы, дает возможность прогнозирования долговременных изменений и может служить методической основой для проведения экологических исследований прибрежных акваторий. Приведенные результаты полевых исследований в районе аварии танкеров весной 2025 г. могут быть использованы в качестве научной основы для диагностического мониторинга и экологического прогнозирования, при разработке мероприятий по биоремедиации и реабилитации водных ресурсов и их охране.

*Исследования проведены в рамках государственного задания Южного научного центра РАН «Разработка научно-методических подходов к оценке загрязнения нефтепродуктами береговой зоны Черного и Азовского морей», № 125061107006-1.*

## Литература / References

1. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х томах. М., 2017. [Patin S.A. Oil and ecology of the continental shelf. In 2 v. Moscow, 2017. (In Russ.)]
2. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н. Морская динамическая радиохемэкология. М., 1986. [Polikarpov G.G., Egorov V.N. Marine dynamic radio-chemecology. Moscow, 1986. (In Russ.)]
3. Polikarpov G.G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems to all possible dose rates of ionising radiation in the environment. Radiation Protection Dosimetry. 1998; 75(1–4): 181–185.
4. Миронов О.Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. Л., 1985. [Mironov O.G. Interaction of marine organisms with petroleum hydrocarbons. Leningrad., 1985. (In Russ.)]
5. Воскобойников Г.М., Пуговкин Д.В. О возможной роли *Fucus vesiculosus* в очистке прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения. Вестник МГТУ. 2012. 15(4): 716–721. [Voskoboynikov G.M., Pugovkin D.V. On the possible role of *Fucus vesiculosus* in the cleaning of coastal water areas from oil pollution. Vestnik MGTU. 2012. 15(4): 716–721. (In Russ.)]
6. Воскобойников Г.М., Ильинский В.В., Лопушанская Е.М. и др. Санитарная водорослевая плантация для очистки прибрежных акваторий от нефтепродуктов: от теории к практике. Вопросы современной альгологии. 2017; 3(15): 1–76. [Voskoboynikov G.M., Ilyinsky V.V., Lopushanskaya E.M. et al. Sanitary algae plantation for the bioremediation of coastal waters from oil: from theory to practice. Issues of Modern Algology. 2017; 3(15): 1–76. (In Russ.)]
7. Степаньян О.В., Воскобойников Г.М. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфо-функциональные особенности морских макроводорослей. Биология моря. 2006; 32(4): 241–248. [Stepanyan O.V., Voskoboynikov G.M. Effects of oil and oil products on morphofunctional parameters of marine macroalgae. Russian Journal of Marine Biology. 2006; 32(1): 32–40.]
8. Степаньян О.В. Влияние нефти и нефтепродуктов на ранние стадии развития макроводорослей Черного моря. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2018; 3: 32–37. [Stepanyan O.V. The Influence of oil and oil products on the early stages of development of the Black Sea macroalgae. Environmental Protection in Oil and Gas Complex. 2018; 3: 32–37. (In Russ.)]

9. Степаньян О.В. Влияние сырой нефти на основные функциональные параметры макроводорослей Баренцева моря. Биология моря. 2008; 34(2): 144–147. [*Stepanyan O.V. Influence of crude oil on the main functional characters of the Barents Sea macroalgae. Russian Journal of Marine Biology. 2008; 34: 131–134.*]
10. Степаньян О.В. Влияние сырой нефти на ранние стадии развития макроводорослей Баренцева моря. Ботанический журнал. 2013; 98(7): 903–912. [*Stepanyan O.V. Effect of crude oil on early stages of macroalgae development in the Barents Sea. Botanical Journal. 2013; 98(7): 903–912. (In Russ.).*]
11. Степаньян О.В. Воздействие нефтяной пленки на фотосинтез бурых водорослей Баренцева моря. Ботанический журнал. 2014; 99(10): 1095–1100. [*Stepanyan O.V. The oil film influence on the photosynthesis of brown algae in the Barents Sea. Botanical Journal. 2014; 99(10): 1095–1100. (In Russ.).*]
12. Степаньян О.В. Макрофитобентос Новороссийской бухты (Черное море): деградация в условиях хозяйственной деятельности и климатических изменений. Вестник КамчатГТУ. 2018; 45: 110–116. [*Stepanyan O.V. Macrophytobenthos of the Novorossiysk Bay (the Black Sea): Degradation under conditions of economic activity and climate changes. Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2018; 45: 110–116. (In Russ.).*]
13. Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г. Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растет. Природа. 2016; (5): 64–69. [*Matishov G.G., Stepanyan O.V., Kharkovsky V.M., Sawyer V.G. Oil pollution of the Azov and Black Seas is growing. Priroda. 2016; (5): 64–69. (In Russ.).*]
14. Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г. Современные данные по загрязнению Азовского и Черного морей углеводородами нефти. Вестник Южного научного центра. 2014; 10(4): 49–52. [*Matishov G.G., Stepanyan O.V., Kharkovsky V.M., Sawyer V.G. Modern data on the pollution of the Azov and Black Seas with oil hydrocarbons. Vestnik of the Southern Scientific Center. 2014; 10(4): 49–52. (In Russ.).*]
15. Матишов Г.Г., Клещенков А.В., Кулыгин В.В., Бердников С.В. Аварии и последствия танкерной перевозки мазута (Керченский пролив – 2007 г., г. Анапа – 2024 г.). Ростов-на-Дону, 2025. [*Matishov G.G., Kleshnikov A.V., Kulygin V.V., Berdnikov V.V. Accidents and consequences of tanker transportation of fuel oil (Kerch Strait – 2007, Anapa – 2024). Rostov-on-Don, 2025. (In Russ.).*]

## Communities of macrophytes after the impact of oil spill in the Anapa Bay area

**O.V. Stepanyan, O.A. Khoroshev**

Federal Research Center The Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia)

An analysis of the state of macrophytes in the area of the Kerch Strait and the Anapa Spit after the tanker disaster in December 2024 showed that the developed conceptual scheme adequately reflects the natural processes that are actually taking place, provides an opportunity to predict long-term changes, and can serve as a methodological basis for conducting environmental studies of coastal water areas.

**Keywords:** Macrophytes, marine communities, oil pollution, phytoremediation, Black sea, Anapa.