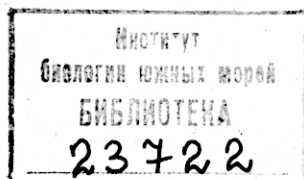


ПРОВ 98.

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР

Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского

ВОПРОСЫ ПРОДУКЦИОННОЙ, САНИТАРНОЙ
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ ЮЖНЫХ
МОРЕЙ



Издательство "Наукова думка"
Киев - 1971

САНИТАРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

В конце 1965 г. в Институте биологии южных морей АН УССР была создана первая в Советском Союзе лаборатория морской санитарной гидробиологии, в задачу которой входило изучение влияния загрязнений на организмы моря и роли биологического фактора в процессе самоочищения морской среды.

В связи с тем, что в настоящее время попадающие в морскую воду нефть и нефтепродукты приобрели роль нового неблагоприятного экологического фактора, основные усилия вновь созданной лаборатории были направлены на изучение биологических аспектов нефтяного загрязнения.

Актуальность разрабатываемой темы и постоянная поддержка со стороны дирекции способствовали быстрому развитию нового научного направления в институте. В план лаборатории была включена тема Госкомитета по науке и технике при Совете Министров СССР, а также развернуты хозяйственные работы. Это в большой степени способствовало увеличению количества сотрудников, оснащению лаборатории необходимым оборудованием, приобретению дополнительного лабораторного помещения.

Проблема нефтяного загрязнения морей имеет много аспектов. В настоящей работе остановимся на биологических аспектах проблемы, исходя из позиции, что влияние загрязнений на организмы моря и участие последних в самоочищении морской среды представляет собой единый процесс — часть общебиологического процесса круговорота вещества и трансформации энергии в океане.

Считая, что главное направление санитарно-биологических исследований на море должно идти по пути изучения влияния загрязнений на морские организмы и роли последних в процессе самоочищения морской среды, нами были проведены многолетние экспериментальные и полевые

наблюдения по воздействию нефти на флору и фауну Черного моря (свыше 40 массовых видов фито- и зоопланктона, организмов бентоса и рыб). Наряду со взрослыми стадиями изучались гидробионты на ранних этапах развития. Полученные результаты подверглись обработке методом вариационной статистики. Следует подчеркнуть, что до настоящих исследований изучение влияния нефти на черноморские организмы практически не проводилось.

Для изучения роли биологического фактора в самоочищении морской среды от нефти были осуществлены экспедиционные работы, которые позволили впервые установить видовой состав микроорганизмов, растущих на нефти и нефтепродуктах в качестве единственного источника углерода и энергии в Черном море, а также закономерности распространения этой группы бактерий в морях Средиземноморского бассейна, Красном море, Индийском и Атлантическом океанах, выделить и описать около 450 культур нефтеокисляющих микроорганизмов, провести лабораторные эксперименты по разрушению ими нефти и нефтепродуктов в морской воде, что явилось основой для начала работ по разработке гидробиологического метода борьбы с нефтью в море.

Влияние нефти на морские организмы

Наличие в морской воде нефти и нефтепродуктов оказывает определенный токсический эффект на фитопланктон. При этом наблюдается различие в чувствительности отдельных видов к нефтяному загрязнению (табл. 1), что наиболее ярко видно на примере двух диатомовых водорослей *Ditulum brightwellii* и *Melosira moniliformis*. В данном случае разница в чувствительности к нефтяному загрязнению составляла три-четыре порядка величин.

Токсическое воздействие на зоопланктон нефти и нефтепродуктов отмечалось при концентрации 0,001 мл/л, которая ускоряла гибель подопытных организмов (табл. 2).

Сведения о влиянии нефти на рыб весьма скудны и ограничены, в основном, пресноводными объектами. Полученные данные показали, что сеголетки морского карася и зеленушки остаются жизнеспособными в морской воде

Таблица 1

Реакция водорослей на различные концентрации
нефтяного загрязнения морской воды в течение
5 суток (мл/л)

Название водорослей	Гибель 100% клеток (минимальная концентрация)	Отсутствие деления или замедление деления клеток	Не отличаются от контроля
<i>Glenodinium foliaceum</i>	1,0-0,1	0,1-0,01	0,001-0,0001
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	1,0-0,1	0,01	0,001-0,0001
<i>Gymnodinium wulffii</i>	1,0-0,1	0,01-0,0001	-
<i>Ditylum brightwellii</i>	0,1-0,0001	-	-
<i>Gymnodinium koralevskii</i>	1,0-0,001	0,001-0,0001	0,00001
<i>Prorocentrum trochoideum</i>	1,0	0,1-0,00001	-
<i>Licmophora ehrenbergii</i>	1,0	1,0-0,1	0,01-0,0001
<i>Peredinium trochoideum</i>	1,0	1,0	0,1-0,00001
<i>Platmonas viridis</i>	1,0	0,1-0,001	0,0001-0,00001
<i>Coscinodiscus granii</i>	1,0	0,01-0,001	0,0001
<i>Melosira moniliformis</i>	1,0	1,0-0,1	0,01

на протяжении ряда суток при содержании в ней нефти в количестве 0,25 мл/л. Кефаль нормально развивалась на протяжении нескольких месяцев в чистой морской воде после многосуточного нахождения в эксперименте с 0,25 мл/л нефти или нефтепродуктов.

Выживаемость рыб во многом зависит от способа введения нефти в морскую воду. Так, при эмульгировании нефтепродуктов в морской воде поражающий эффект был выше, чем если нефть находилась на поверхности в виде пленки. Эмульгирование часто можно наблюдать в природных условиях в результате волнового перемешивания и других факторов. Вероятно, помимо токсичности, играет роль и механическое воздействие мельчайших капель нефти на

Таблица 2

Изменение продолжительности жизни гидробионтов в морской воде с нефтью или нефтепродуктами в концентрации 0,001 мл/л

В и д организмов	Вид нефтепродуктов					
	нефть		мазут		соляр	
	Гибель организмов в процентах к контролю					
	50	100	50	100	50	100
<i>Acartia clausi</i>	69	89	79	89	78	78
<i>Parcalanus parrus</i>	64	70	64	70	72	70
<i>Penilia averaestrus</i>	80	64	80	67	80	67
<i>Centropages ponticus</i>	83	87	83	84	83	95
<i>Oithona nana</i>	-	57	-	42	-	71

жаберный аппарат.

Данные о влиянии нефти на организмы бентоса, в частности на моллюсков, весьма противоречивы. Наши материалы, полученные на массовых взрослых формах моллюсков (*Rissoa Euxinica*, *Bittium reticulatum*, *Gibulla divaricata*), являющихся кормовыми объектами для рыб и обитающих в прибрежной зоне Черного моря, показали, что нефть оказывает выраженный токсический эффект на эти организмы. Весьма чувствительными к нефтяному загрязнению были раки-отшельники, которые погибали в концентрации 0,01 мл/л. Нефть, находящаяся в грунте в концентрации 1,0 г на 1 кг сырого веса донных осадков, ускоряла гибель *Nereis diversicolor*. С другой стороны, относительной стойкостью к нефтяному загрязнению отличались мраморные крабы. Также на протяжении ряда суток взрослые формы морского желудка оставались жизнеспособными, находясь в пленке нефтепродуктов.

Одной из особенностей нефтяного загрязнения является возможность быстрого перемещения его по акватории под действием ветров и течений. Это обуславливает вероятность кратковременного контакта с нефтью морских организмов, после чего гидробионты вновь попадают в чистую воду. Результаты кратковременного воздействия нефти на некоторые виды фитопланктона показали, что пятиминутный контакт *Ditylum brightwellii* с морской водой, содержащей 1,0 мл/л мазута, вызывал статистически достоверную задержку в его развитии после помещения в чистую морскую воду. Если пребывание этой водоросли в морской воде с мазутом увеличивалось до 1 часа, то клетки ее начинали отмирать на третьи сутки в чистой морской воде.

Кратковременное влияние (время экспозиции составляло 5–30–60 мин) нефти, соляра и мазута в концентрации 0,1 мл/л на зоопланктон приводило затем к ускорению гибели подопытных организмов в чистой морской воде. Аналогичные данные были получены и на планктонных стадиях бентосных ракообразных. Следует подчеркнуть, что поражающее действие в данном случае происходило за счет растворенных и эмульгированных компонентов нефтяного загрязнения, так как контакт с нефтяной пленкой практически не наблюдался.

Высокочувствительной к нефтяному загрязнению оказалась развивающаяся икра рыб. Так, икра *Riondus maeoticus*, погибала на вторые сутки в морской воде, содержащей нефть и нефтепродукты в пределах 10^{-2} – 10^{-3} мл/л. При остальных концентрациях углеводородов (10^{-4} и 10^{-5} мл/л) к моменту выклева осталось жизнеспособными 55 – 89% икринок. Выклев предличинок из сохранившейся жизнеспособной икры был не дружным и растянутым по времени. В контроле на четвертые сутки обычно выклевалось свыше 90% предличинок, в опыте же при содержании мазута 10^{-4} мл/л и нефти 10^{-3} мл/л выклев к этому времени не наступил. В остальных концентрациях нефти и нефтепродуктов процент выклева колебался от 60 до 100%. Таким образом, в ряде случаев выклев личинок из икры, подвергавшейся действию нефти или нефтепродуктов, несколько замедлялся. Большинство предличи-

нок, выключившихся в морской воде, содержащей нефть и нефтепродукты, были аномальными (в основном искривление тела, часто многократное) и оказывались нежизнеспособными. При содержании нефтепродуктов в концентрации 10^{-4} мл/л практически все выключившиеся личинки имели дефекты и погибали в последующие сутки. При концентрации нефтепродуктов в 10^{-5} мл/л количество уродливых предличинок составляло 23–40%, тогда как в контроле оно не превышало 7–10%. Аналогичные данные были получены и с икрой других видов рыб (*Engraulis engraulichetus ponticus*, *Scorpaena porcus*, *Crenilabrus tinca*).

Высокой чувствительностью к нефтяному загрязнению отличались и науплиальные стадии планктонных и бентосных ракообразных. Гибель личинок *Acartia clausi* и *Oithona lata* наступала на 3–4 сутки в морской воде, содержащей 0,001 мл/л мазута. Концентрация нефтепродуктов в морской воде 0,1–0,01 мл/л оказывает выраженный токсический эффект на личинки морского желудка и мраморного краба, тогда как взрослые формы этих организмов выдерживали концентрации в сотни и тысячи раз более высокие.

Таким образом, полученные данные, а также литературные сведения свидетельствуют со всей очевидностью о высокой токсичности нефти для организмов моря, однако существующие в настоящее время уровни загрязнения морской воды (исключая аварийные ситуации, районы, прилегающие к подводным нефтегазодобыткам, акватории портов) являются, в основном, губительными для ранних стадий развития гидробионтов и не приводят к быстрому и массовому вымиранию взрослых организмов.

Существующие концентрации нефти могут приводить к постепенному выпадению определенной части организмов путем воздействия на ранние этапы развития, видимые последствия которого могут сказаться в будущем. Возможно, что влияние нефтяной интоксикации при длительном систематическом воздействии малых доз скажется спустя несколько поколений. Дело усугубляется тем, что многие акватории находятся в хроническом состоянии нефтяного загрязнения. Если даже дальнейший сброс неф-

ти прекратится, то еще пройдет длительное время, прежде чем в процессе самоочищения она будет разрушена и перестанет оказывать вредное биологическое воздействие.

Самоочищение морской среды от нефти

В сложном комплексном процессе самоочищения моря от нефтяного загрязнения ведущее положение занимает биологический фактор, решающую роль в котором играют нефтеокисляющие микроорганизмы. Именно в результате деятельности этих бактерий происходит трансформация нефтяного загрязнения до простых соединений (углекислоты и воды), накопление нового органического вещества за счет нарастания биомассы микроорганизмов и тем самым включение углеводородных компонентов нефтяного загрязнения в общий круговорот углерода в океане.

Систематические сезонные наблюдения, проведенные в акватории у западной оконечности Крыма, позволили проследить за численностью и видовым составом микроорганизмов, растущих на нефтепродуктах в акваториях, имеющих различную степень нефтяного загрязнения.

Полученные материалы показывают, что наиболее часто в этом районе моря встречаются бактерии, отнесенные к родам *Bacterium* и *Pseudobacterium*, а по числу выделенных культур виды *Pseudomonas sinuosa* и *Pseudobacterium furcosum*.

Большинство нефтеокисляющих микроорганизмов выделялось в летние месяцы, чему способствовала, по всей видимости, более высокая температура морской воды. Численность микроорганизмов, способных расти на углеводородах нефти, была примерно одинакова на станциях, расположенных в районе загрязнения, и составляла, в среднем, для зимних месяцев 100 клеток в 1 мл, для летних месяцев 1000 – 100000 клеток в 1 мл. На станции, где нефтяное загрязнение было мало, количество этой группы микроорганизмов было на 2–3 порядка меньше.

Исследование микрофлоры, окисляющей нефть, в грунтах Черного моря ранее практически не проводилось. В этой связи параллельно с морской водой изучалась нефтеокисляющая микрофлора донных осадков на тех же стан-

ниях. Всего было выделено 138 бактериальных культур, из которых 55 оказались способными расти на минеральной среде с нефтью в качестве единственного источника углерода и энергии. Выделенные микроорганизмы были отнесены к пяти родам *Pseudomonas* (4 вида), *Bacterium* (3 вида), *Pseudobacterium* (3 вида), *Vibrio* (2 вида), *Chromobacterium* (1 вид).

Таким образом, полученные материалы свидетельствуют о широком распространении и видовом разнообразии в этом прибрежном районе Черного моря микроорганизмов, растущих на нефти.

В остальных пунктах западной половины Черного моря было проведено 22 станции, из которых на 10, т.е. (менее 50%), отмечался рост микроорганизмов данной группы.

Картина резко изменяется в проливе Босфор с его интенсивным судоходством и высокой степенью загрязнения вод нефтепродуктами, где на всех четырех станциях отмечался рост микроорганизмов на нефти.

При переходе в Мраморное море, пролив Дарданеллы и далее в Эгейское море вновь значительно уменьшается количество микроорганизмов, растущих на нефти.

В Средиземном и прилегающем к нему морях (Лигурийском, Тирренском, Ионическом) из 68 станций рост микроорганизмов наблюдался на 30. Однако распределение "положительных" станций по акватории моря было крайне неравномерным. В восточной части (восточнее 24° восточной долготы) нефтеокисляющие микроорганизмы были выделены только в Порт-Саиде (этот район отнесен к зоне Суэцкого канала). В западном и центральном участках Средиземного моря также наблюдалась неравномерность в выделении бактерий данной группы (табл. 3).

В северо-западной части Индийского океана по разрезу Бомбей-Мозамбикский пролив (до 10° южной широты) из 35 отобранных проб рост микроорганизмов на нефти наблюдался в 30 пробах, что составляет свыше 85%. В дальнейшем количество положительных проб на таком же отрезке пути снизилось более чем в два раза — из 25 проб положительных было всего 10 (40%). На наш взгляд,

Т а б л и ц а 3

Некоторые показатели распространения микроорганизмов, растущих на нефти и нефтепродуктах в центральном и западном районах Средиземного моря (западнее 24° в.д.)

Район исследования	Число станций	Число станций, на которых наблюдался рост микроорганизмов на нефти	Число выделенных культур	Число видов микроорганизмов
Северный район	27	18	26	11
Южный район	27	10	13	10
Всего	54	28	39	16

такое распределение микроорганизмов, растущих на нефти, объясняется, в основном, следующим: к Аравийскому морю примыкают нефтеносные районы Ближнего Востока, откуда начинаются основные пути транспортировки нефти. Поэтому, вполне естественно предположить частое попадание нефтепродуктов в морскую воду в этих акваториях как при откачке балласта танкерами, так и при бункеровочных операциях. Существующие течения способствуют заносу вод, содержащих нефть, из Персидского залива и района нефтеперевозок в центральные участки Аравийского моря и прилегающие районы Индийского океана. А южно-экваториальное течение служит своего рода барьером, препятствующим распространению этих вод южнее 10° южной широты. О барьерной роли океанских течений в распределении нефтепродуктов в море указывалось ранее *Zo Bell* (1964). Можно отметить, что и в остальных случаях, например, в Атлантическом океане, положительные пробы группировались в акваториях, прилегающих к крупным портам или местам работ промысловых флотилий, т.е. местам, подвергающимся нефтяному загрязнению.

Таким образом, наблюдается тесная связь между наличием в море микроорганизмов, растущих на углеводородах, и нефтяным загрязнением морской воды. Это позволяет рассматривать углеводородокисляющие микроорганизмы как индикаторы нефтяного загрязнения моря. Наряду с микроорганизмами в море имеются гидробионты, которые, по всей видимости, принимают участие в процессе самоочищения (простейшие, фильтраторы, растения и так далее). Однако следует отметить, что между микроорганизмами и, например организмами фильтраторами, имеется принципиальное различие. Микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности разрушают органические вещества до простых соединений, включая их таким образом в общий круговорот вещества и энергии в водоеме. Организмы фильтраторы лишь очищают толщу воды от взвешенных веществ, в том числе и органических, не приводя их к полной деструкции. При этом (в случае с моллюсками) связанные компоненты загрязнения в виде псевдофекалий опускаются на дно. Таким образом, происходит лишь освобождение толщи воды от загрязнений и последнее переводится в донные осадки, где процессы самоочищения крайне замедленны. Все это указывает на сложность, комплексность и взаимосвязь биологических процессов самоочищения и необходимость изучения как всего процесса в целом, так и его отдельных звеньев. Важный вклад в решение этого вопроса должна внести океаническая микробиология.

Таким образом, основные итоги проделанной за пятилетие работы сводятся к следующему:

1. Впервые в широких масштабах изучено влияние нефти и нефтепродуктов в различном диапазоне концентраций на массовые виды морских организмов Черного моря, фито- и зоопланктона, организмов бентоса и рыб (всего 42 вида).

2. Получены новые данные о закономерности распространения и видовом составе нефтеокисляющих микроорганизмов в Черном, Красном, Средиземном морях и некоторых районах Атлантического и Индийского океанов. Подобные исследования в таком объеме проведены впервые и являются новым этапом развития морской и океанологической микробиологии.

3. Заложены основы гидробиологического метода борьбы с нефтяным загрязнением.