

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



29
—
1988

ВЛИЯНИЕ НЕФТИ И АЗОТА НА ФИТОПЛАНКТОН ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Проведенные ранее исследования воздействия нефти и ее продуктов на вегетативное и репродуктивное размножение диатомовых водорослей в культурах позволили установить общую чувствительность клеточного цикла на это воздействие и различие в токсикорезистентности отдельных его стадий. Установлено, что нефть наиболее опасна для ауксоспор в момент их переоформления в новые вегетативные клетки. При хроническом воздействии нефти наблюдалось увеличение продолжительности стадии вегетативного роста и сокращение периода аукспородообразования, нарушалось соотношение фаз жизненного цикла во времени [2—4].

Влияние нефти на отдельные виды и биологические комплексы организмов в водоеме представляет определенный интерес для исследователей. В связи с этим нами было изучено совместное и раздельное действие специфичных загрязнителей — нефти и нитратного азота — на общую численность доминирующих «мелких» и «крупных» форм фитопланктона восточного побережья Черного моря.

Исследовали материал, собранный в течение 1981—1982 гг. в районе Батумской бухты Черного моря. Фитопланктон отбирали из поверхностного горизонта (глубина 0,5 м) два раза в месяц. Количественную обработку фитопланктона проводили по методу Федорова [7].

Эксперименты по изучению комбинированного действия азота и нефти на фитопланктонное сообщество проводили с применением методов математического планирования [5]. Опыты ставили по плану полного факторного эксперимента ПФЭ-2² [5]. Нижним уровням факторов «—» соответствовали средние концентрации азота и нефти в морской воде в период постановки опытов — 4 и 0,8 мг/л соответственно. Верхним уровням «+» — их пятикратные значения — 20 мг/л.

Пробы воды для экспериментов брали с поверхностного горизонта, разливали в сосуды емкостью 5 л и в соответствии с матрицей ПФЭ-2² [5] добавляли азот в виде соли NaNO_3 и сырую нефть. Стеклообразные сосуды экспонировали в естественных условиях в течение 3-х суток, после чего определяли в них видовой состав и численность водорослей. Каждый вариант опыта был представлен в трех повторностях. Был изучен видовой состав фитопланктона прибрежных вод Кавказского побережья Черного моря и изменение их общей численности. Удалось выделить 12 основных таксонов водорослей: общая численность одних доминирует в отдельные периоды сезона, другие в течение года присутствуют в планктоне постоянно. При этом водоросли условно делили на две размерные группы: «мелкие» — объем клеток менее 10 мкм³ и «крупные» — более 10 мкм³.

Данные о сезонном изменении общей численности фитопланктона, общей биомассы и соотношении биомассы «крупных» и «мелких» форм представлены ниже:

Фитопланктон	Средние объемы клеток, N·10 ³
Мелкие виды	
<i>Nitzschia delicatissima</i> Cl.	0,1
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran.	0,2
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grun.	0,5
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cl.	0,9
<i>Chaetoceros</i> sp.	1,0
<i>C. curvisetus</i> Cl.	2,5
<i>C. affinis</i> Laud.	5,0
<i>C. socialis</i> Laud.	7,0

Крупные виды

<i>Thalassiosira excentrica</i> (Ehr.) Cl.	33,0
<i>Melosira moniliformis</i> (O. Mull.) Ag.	60,0
<i>Cerataulina bergonii</i> Perag.	68,0
<i>Rhizosolenia calcar avis</i> Scultze	450,0

Увеличение численности наблюдалось в марте (в 1 л до 250 тыс. клеток); в планктоне присутствовали «мелкие» и «крупные» виды водорослей. Пик численности наблюдался летом — с мая до конца августа, с максимумом в июне — более 700 тыс. клеток в 1 л. В планктоне в это время по биомассе доминируют «крупные» формы — *C. bergonii*, *Rh. calcar avis*. В сентябре численность снижается, преобладают «мелкие» формы. Соотношение «мелких» и «крупных» форм водорослей позволяет выделить «мертвый» сезон, который охватывает декабрь—февраль и начало весны.

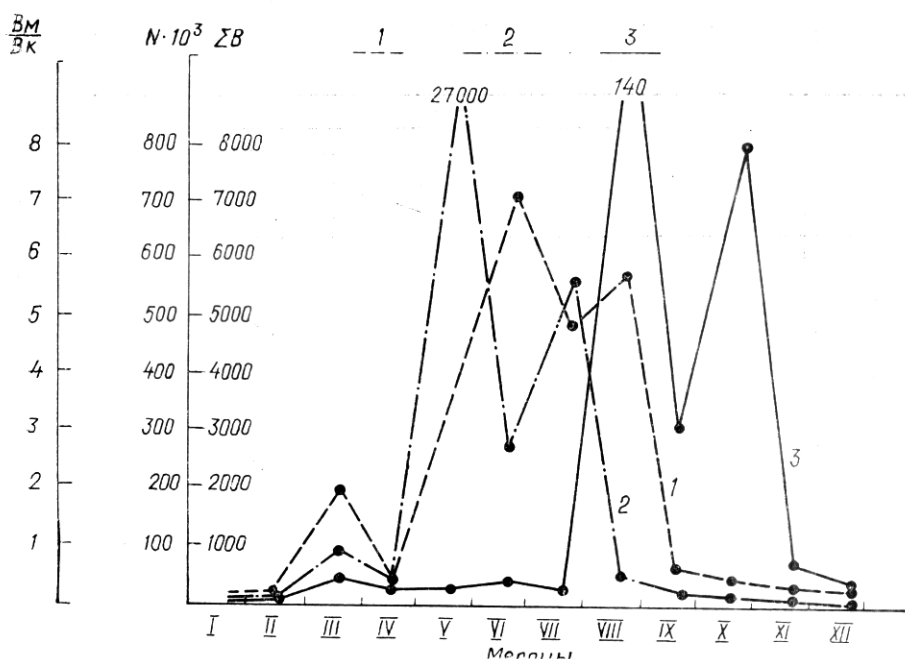
Как видно из рисунка, вегетационный сезон длится 8 мес, а в октябре—январе плотность фитопланктона незначительна и колеблется в интервале 3—30 тыс. особей в 1 л. Наибольшее количество биомассы фитопланктона отмечено в мае в результате цветения *Rh. calcar avis*.

Таким образом, изучение динамики численности и биомассы фитопланктона Батумской бухты Черного моря позволили обнаружить связь между отдельными размерными группами водорослей и сезонной динамикой численности сообщества фитопланктона. Доминирование в планктоне «крупных» форм водорослей совпадает с летними пиками общей численности и биомассы; доминирование «мелких» форм совпадает с осенним максимумом численности фитопланктона и с уменьшением суммарной биомассы водорослей; преобладание в планктоне размерной «смеси» водорослей совпадает с весенним увеличением общей численности и биомассы.

Обработка результатов факторных экспериментов и их регрессивный анализ проводили по формализованным схемам Ф. Иейтса, а для выделения достоверных коэффициентов регрессии был применен графический метод К. Даниела [5]. В результате такой обработки стало возможным получение системы уравнений, отражающей зависимость типа «воздействие — отклик» (табл. 1). Согласно табл. 1 было выяснено 8 типов откликов. Анализ этих уравнений дает возможность интерпретировать изменения различных биологических показателей (в данном случае численности) при соответствующем изменении уровня и комбинации добавок изучаемых токсикантов.

Для каждого вида были получены уравнения регрессии, описывающие изменение численности в течение года под воздействием добавок азота X_1 , нефти X_2 при отдельном и совместном их внесении в среду (табл. 2). Водоросли по-разному реагировали на присутствие в среде азота и нефти. Например, добавка нефти оказывала отрицательное воздействие на численность водоросли *S. costatum* в апреле, августе — октябре и декабре. В эти же месяцы азот действовал положительно, взаимодействие факторов было также положительным. В марте и мае влияние нефти было отрицательно, азота положительно, комплексное воздействие имело отрицательный эффект. В июне добавки каждого токсиканта снижали численность *S. costatum*, а их взаимодействие оказывало положительное влияние на численность клеток данной водоросли.

«Крупная» форма *C. bergonii* реагировала на добавку нефти и азота несколько иначе, чем «мелкая» водоросль *S. costatum*. Положительный эффект добавок нефти на численность *C. bergonii* был отмечен в августе, сентябре, ноябре, апреле. Совместное внесение нефти и азота также имело положительный эффект. Следовательно, данный вид был более устойчив к нефтяному загрязнению, чем *S. costatum*. Для «мелких» форм чаще других свойствен 3-й и 6-й типы «откликов», т. е. отрицательное влияние нефти и совместных добавок ее с азотом.



Сезонная динамика общей численности (1, N), биологической массы (2, ΣB) фитопланктона и отношение биомасс «мелких» и «крупных» форм (3, $\frac{B_m}{B_k}$).

«Крупные» формы не обнаружили четкой реакции на добавки нефти и азота. Согласно представленным типам «откликов» (табл. 2), несколько чаще встречается 1-й тип, характерный для *C. bergonii*. Остальные виды водорослей из группы «крупных» отрицательно реагируют на добавки азота и нефти.

Зависимость общей численности фитопланктона восточного побережья Черного моря в отдельные сезоны 1981—1982 гг. от уровня исследуемых загрязнений представлена в табл. 3. Рассматривая данные этой таблицы совместно с данными сезонных изменений общей численности, уравнениями регрессии (рисунок, табл. 1) и типами «откликов» численности доминирующих видов фитопланктона (табл. 2), можно заметить, что чаще других встречаются 3-й и 5-й типы «отклика», при которых действие добавок азота положительное, а нефти отрицательное. Эти типы откликов в основном совпадают с максимальной численностью — в августе и начале сентября. В мае и декабре вновь прослеживается положительное действие добавок нефти на общую численность. Вместе с тем в отдельные периоды (апрель, июнь, сентябрь) наблюдается отрицательное действие обеих добавок.

В планктоне восточного побережья Черного моря чаще других встречаются «мелкие» формы: *S. costatum*, *C. bergonii*, *C. affinis*, *T. nitzschoides*. Именно этим водорослям больше других свойственен 3-й тип «отклика», т. е. положительное действие азота и отрицательное нефти, что согласуется с аналогичным действием азота и нефти на общую численность фитопланктона в период господства «мелких» форм (табл. 3).

Исследования позволили выделить соответ-

Таблица 1. Виды уравнений регрессии, полученных при постановке факторных экспериментов по плану ПФЭ-2²

Уравнение	Тип «отклика»
$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_1X_2$	1
$y = B_0 - B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_1X_2$	2
$y = B_0 + B_1X_1 - B_2X_2 + B_3X_1X_2$	3
$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 - B_3X_1X_2$	4
$y = B_0 - B_1X_1 - B_2X_2 + B_3X_1X_2$	5
$y = B_0 + B_1X_1 - B_2X_2 + B_3X_1X_2$	6
$y = B_0 - B_1X_1 + B_2X_2 - B_3X_1X_2$	7
$y = B_0 - B_1X_1 - B_2X_2 - B_3X_1X_2$	8

Таблица 2. Типы «отклика» при действии азота и нефти на численность основных видов фитопланктона

Фитопланктон	1981 г.					1982 г.				
	24—27. 08	7—10. 09	20—23. 10	10—13. 11	15—18. 12	23—26. 03	16—19. 04	14—17. 05	24—26. 06	27—30. 08
<i>S. costatum</i> (Grev.) Cl.	3	3	3	—	3	4	3	4	5	3
<i>S. sp.</i>	5	3	—	—	—	—	5	—	—	6
<i>C. curvisetus</i> Cl.	6	—	—	—	—	6	3	1	5	8
<i>N. delicatissima</i>	2	6	7	—	1	—	—	—	5	5
<i>T. nitzschioides</i> Grun.	3	3	6	7	4	3	3	—	—	—
<i>C. affinis</i> Laud.	3	3	3	5	—	—	—	—	—	3
<i>C. socialis</i> Laud.	7	—	6	4	3	—	—	1	—	—
<i>C. bergonii</i> Perag.	1	1	—	1	—	2	2	—	6	1
<i>L. minimus</i>	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—
<i>R. calcar avis</i> Schultze	—	—	—	—	1	—	—	7	5	5
<i>T. excentrica</i> (Ehr.) Cl.	—	—	6	5	—	2	5	—	—	—
<i>M. moniliformis</i> (O. Mull.) Ag.	—	—	—	—	1	—	—	—	5	—

ственно классификации В. Г. Богорова [1] следующие сезоны: «биологическую весну» — с середины февраля до конца апреля, когда наблюдается весенняя вспышка общей численности и биомассы фитопланктона, представленного «смесью» различных размерных групп водорослей; «биологическое лето» — с начала мая до конца августа, когда наблюдается летнее увеличение численности и биомассы фитопланктона, представленного «крупными» формами водорослей; «биологическая осень» — с начала сентября до конца ноября, когда наблюдается уменьшение численности и резкое снижение биомассы фитопланктона, в которой доминируют «мелкие» формы водорослей; «биологическую зиму» — с начала декабря до середины февраля, когда фитопланктон представлен лишь единичными клетками водорослей крупных форм.

Вывод. В результате наблюдений удалось установить три пика в сезонной динамике общей численности фитопланктона прибрежных вод восточного побережья Черного моря: относительно малый в середине марта, максимальный в середине июня и средний в конце августа. Изменение общей биомассы фитопланктона характеризуется двумя пиками: в середине мая (максимальным) и в середине августа.

Методами математического планирования экспериментов изучена специфика действия азота и нефти на фитопланктонное сообщество. Полученные системы уравнений регрессии позволили связать общую

Таблица 3. Уравнения регрессии, связывающие изменение общей численности фитопланктона ($\ln y$) с уровнями азота (X_1) и нефти (X_2)

Дата опыта	Уравнение	Тип отклика
1981 г.		
24—27. 08	$\ln y = 7,900 + 0,082x_1 - 0,194x_2 + 0,494x_1x_2$	3
7—10. 09	$\ln y = 8,096 + 0,634x_1 - 0,544x_2 + 0,237x_1x_2$	3
20—23. 10	$\ln y = 5,980 + 0,351x_1 - 0,975x_2 - 0,322x_1x_2$	6
10—13. 11	$\ln y = 4,427 - 0,203x_1 - 0,198x_2 + 0,272x_1x_2$	5
16—18. 12	$\ln y = 5,057 + 0,862x_1 + 0,218x_2 + 0,560x_1x_2$	1
1982 г.		
23—26. 03	$\ln y = 9,557 + 0,270x_1 - 0,035x_2 + 0,081x_1x_2$	3
16—19. 04	$\ln y = 7,571 - 0,070x_1 - 0,276x_2 + 0,240x_1x_2$	5
14—17. 05	$\ln y = 11,752 + 0,121x_1 - 0,305x_2 + 0,011x_1x_2$	4
24—26. 06	$\ln y = 10,290 - 0,444x_1 - 0,946x_2 + 0,350x_1x_2$	5
27—30. 08	$\ln y = 9,458 + 0,002x_1 - 0,476x_2 + 0,033x_1x_2$	3

численность фитопланктона и отдельных видов водорослей с уровнями содержания азота и нефти в морской воде.

Анализ «отклика» отдельных водорослей на воздействие загрязнителей позволил сделать заключение о сходном типе «отклика» у мелких форм водорослей и различном у крупных. И только водоросль *S. bergonii* обнаруживает положительный «отклик» на добавки нефти. Эта водоросль, по-видимому, оказывается способной использовать нефть в качестве субстрата при фитоорганоτροφном питании.

На основании проведенных исследований могут быть сделаны рекомендации относительно допустимых величин сброса азота и нефти, которые должны производиться с учетом особенности сезонных изменений реакционной способности фитопланктона. Эти изменения связаны с различной устойчивостью фитопланктонных популяций весенних, летних и осенних периодов. Количество сбросов должно быть уменьшено в период вегетации фитопланктона, и прежде всего летней.

1. Богоров В. Г. Биологические сезоны полярного моря // Докл. АН СССР. — 1938. — 19, № 8. — С. 639—642.
2. Кустенко Н. Г. Влияние нефти на длительность вегетативной и репродуктивной фаз онтогенеза у двух видов диатомовых водорослей // Физиол. растений. — 1980. — 27. — Вып. 3. — С. 631—635.
3. Кустенко Н. Г. Влияние небольших концентраций нефти на сперматогонангии и ауксоспоры трех видов морских диатомовых водорослей // Океанология. — 1981. — 21. — Вып. 2. — С. 366—369.
4. Кустенко Н. Г., Подоляк Г. П. Влияние нефти на стадии клеточного цикла двух видов диатомовых водорослей // Биология моря. — Владивосток. — 1982. — № 5. — С. 67—69.
5. Максимов В. Н., Федоров В. Д. Методы математического планирования при отыскании оптимальных условий культивирования микроорганизмов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. — 173 с.
6. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность мирового океана. — М.: Пищ. пром-сть, 1979. — 297 с.
7. Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 127 с.

Карадагское отделение
Ин-та биологии юж. морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР
Республиканская комплексная
лаборатория Госкомприроды ГССР

Получено 12.02.87

N. G. KUSTENKO, N. O. IMNADZE

THE EFFECT OF OIL AND NITROGEN ON PHYTOPLANKTON IN THE EASTERN COAST OF THE BLACK SEA

Summary

Nitrogen nitrate and oil both taken separately and in combination were studied for their effect on the structure of phytoplankton in the eastern coast of the Black Sea during 1981-1982. Different resistance of phytoplankton community of various periods to one and the same amounts of toxicants is determined.

УДК 591.524.12(262.5)

Н. В. БЕЛЯЕВА, Ю. А. ЗАГОРОДНЯЯ

ЗООПЛАНКТОН СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В 1981—1983 гг.

Постоянный обмен вод Севастопольской бухты с открытым морем существенно ослаблял влияние загрязнения на качественные и количественные показатели планктонного населения. В настоящее время возникла необходимость систематического контроля за состоянием биоты бухты в связи с постройкой в 1977—1978 гг. молов у выхода на большой рейд и ограничением водообмена с открытым морем.