БИОЛОГИЯ МОРЯ, 2008, том 34, № 2, с. 144–147

Краткие сообщения

УДК 574.632:581.1:581.526.323(268.45)

ЭКОЛОГИЯ

ВЛИЯНИЕ СЫРОЙ НЕФТИ НА ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ[1]

© 2008 г. О. В. Степаньян[1, 2]

[1]*Отдел морских и экосистемных исследований ЮНЦ РАН;*
[2]*Азовский филиал Мурманского морского биологического института КНЦ РАН,*
Ростов-на-Дону 344006
e-mail: step@mmbi.krinc.ru

Статья принята к печати 13.09.2007 г.

В результате экспериментальных исследований по влиянию сырой нефти на основные функциональные параметры (скорость роста, фотосинтез, дыхание) макроводорослей Баренцева моря *(Laminaria saccharina, Fucus vesiculosus, Ascophyllum nodosum, Porphyra umbilicalis, Palmaria palmata)* установлено, что бурые водоросли более устойчивы к воздействию углеводородов нефти, чем красные.

Ключевые слова: нефть, фотосинтез, дыхание, скорость роста, макроводоросли, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *Porphyra umbilicalis*, *Palmaria palmata*.

Influence of crude oil on basic functional parameters of macroalgae from the Barents Sea. *O. V. Stepanyan*[1, 2] ([1]Department for Marine and Ecosystem Research, Southern Science Center, Russian Academy of Sciences; [2]Azov Filial, Murmansk Marine Biological Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don 344006)

Experimental researches on the influence of crude oil on the basic functional characteristics (growth rate, photosynthesis, and respiration) of Barents Sea macroalgae *(Laminaria saccharina, Fucus vesiculosus, Ascophyllum nodosum*, *Porphyra umbilicalis, Palmaria palmata)* showed that arc kelps are more resistant to the influence of oil carbohydrates than lavers and green algae. (Biologiya Morya, Vladivostok, 2008, vol. 34, no. 2, pp. 144–147).

Key words: oil, photosynthesis, respiration, growth rate, macroalgae, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *Porphyra umbilicalis*, *Palmaria palmata*.

В последнее десятилетие в России активно развивается морская нефтегазовая индустрия, которая становится дополнительным источником поступления углеводородов нефти в морскую среду. Практически весь российский арктический шельф перспективен для добычи нефти и газа. В настоящее время разрабатываются месторождения, создается береговая инфраструктура нефтегазового комплекса на шельфе Баренцева моря, что увеличивает риск загрязнения литоральной и сублиторальной зон (Патин, 2001).

При вероятных разливах нефти могут пострадать прикрепленные макроскопические водоросли, формирующие высокопродуктивные прибрежные сообщества (Степаньян, Воскобойников, 2005). В то же время проведенный ранее анализ литературных данных показал, что макроводоросли, особенно фукусовые, благодаря функциональным перестройкам и адаптациям на разных уровнях организации устойчивы к действию углеводородов нефти (Воскобойников и др., 2004; Степаньян, Воскобойников, 2006).

В настоящей работе исследуется отклик основных функциональных параметров макроводорослей (рост, фотосинтез, дыхание) на воздействие эмульсии малосернистой, малосмолистой, парафинистой нефти (Баренцево море, о-в Колгуев).

Материал и методика. В экспериментальной работе использованы массовые виды макроводорослей Баренцева моря: бурые *(Laminaria saccharina, Fucus vesiculosus, Ascophyllum nodosum)* и красные *(Porphyra umbilicalis, Palmaria palmata)*. Водоросли собирали на литорали и в верхней сублиторали губы Дальне-Зеленецкая (69°07′ с.ш., 36°05′ в.д.) в июле–августе 2002–2003 гг. Эксперименты проводили в лаборатории альгологии Мурманского морского биологического института (ММБИ) КНЦ РАН (пос. Дальние Зеленцы).

Получение эмульсии сырой нефти в морской воде. В склянку с притертой крышкой наливали 400 мл отфильтрованной морской воды (соленость 32–33‰, температура воды 8.0 ± 1.0°С) и добавляли нефть, получая объемные концентрации нефти в морской воде: 5, 10, 20 и 30 мг/л. Смесь в течение 30 мин встряхивали на электрокачалке с частотой такта 3.6 качания в секунду при температуре воздуха 9.0°С. В ходе предварительных экспериментов установлено, что максимальный объем нефти (сумма водорастворимой и эмульгированной фракций), который может быть эмульгирован без образования пленки на поверхности воды, при указанных условиях равен 30 мг/л – максимальная концентрация, используемая в эксперименте. Для экспериментов брали только свежеприготовленную смесь.

Изучение влияния нефти на относительную скорость роста макроводорослей. В эксперименте использовали высечки из интеркалярной зоны роста *L. saccharina* (возраст 0+), апикальные участки талломов *F. vesiculosus* (возраст 1+) и *A. nodosum* (возраст 2+), пролификации *P. palmata* и целые талломы *P. umbilicalis* (длина 10–12 см). Предварительно части талломов водорослей адаптировали к условиям термостатированной комнаты в течение 3 сут. После определения сырой массы всего материала и сухой массы из части выборки водорослей талломы или их части (по 20 экз.) помещали в

[1]Исследование проведено при финансовой поддержке ФЦП "Мировой океан", проект "Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Североевропейского бассейна".

химические стаканы объемом 400–600 мл и заливали 300–400 мл эмульсии нефти. Для исключения эффекта взаимного затенения содержимое стаканов периодически перемешивали (2–3 раза в сутки), обеспечивая равномерное распределение водорослей на дне емкостей. Длительность эксперимента составила 10 сут. Затем проводили повторные измерения вышеуказанных параметров. Для расчета относительной скорости роста (RGR) использовали формулу (Coombs et al., 1985):

$$RGR = (\ln A_2 - \ln A_1) / T \times 100\%,$$

где A_1 – начальный и A_2 – конечный размер объекта исследований, T – время (сут) между начальным и конечным измерениями.

Изучение влияния нефти на интенсивность фотосинтеза и дыхания макроводорослей. Часть талломов водорослей или их частей (n = 10 для контроля и каждой концентрации эмульсии нефти) из предыдущего эксперимента использовали для определения видимого фотосинтеза и темнового дыхания. До начала эксперимента и через 10 сут экспозиции в среде с углеводородами нефти с помощью йодометрического метода Винклера измеряли уровень видимого фотосинтеза и темнового дыхания макроводорослей. Интенсивность фотосинтеза определяли как разность между видимым фотосинтезом и дыханием (Баславская, Трубецкая, 1964). Количество кислорода, выделенного водорослями, пересчитывали на 1 г сухой массы, так как этот параметр, по результатам наших предварительных экспериментов, оказался наименее изменчивым во времени (по сравнению с сырой биомассой или площадью поверхности таллома водорослей).

Эксперименты проводили в термостатированной комнате при температуре воздуха 9.0 ± 1.0°C, фотопериоде 24 ч и освещенности 3–6 Вт/м^2. Температура морской воды составляла 8.0 ± 1.0°C. Эксперименты проводили в двух повторностях, каждое измерение – в трех аналитических повторностях.

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментов показали, что рост бурых водорослей *Laminaria saccharina* и *Fucus vesiculosus* под влиянием всех исследованных концентраций сырой нефти не прекращался (рис. 1). У бурой водоросли *Ascophyllum nodosum*, а также у красных водорослей *Porphyra umbilicalis* и *Palmaria palmata* активный рост отмечен только при концентрациях нефти 5–10 мг/л. Увеличение содержания нефтяной эмульсии в воде приводило к существенному снижению относительной скорости роста этих видов.

Фотосинтетическая активность исследованных видов уменьшалась в ряду: *A. nodosum – L. saccharina – F. vesiculosus – P. palmata – P. umbilicalis* (рис. 2). Показатели фотосинтеза у всех видов водорослей, за исключением *A. nodosum*, с увеличением концентрации углеводородов нефти снижались, в то время как интенсивность дыхания колебалась (рис. 2). Полное подавление фотосинтетической активности к концу экспозиции при концентрациях нефти выше 10 мг/л отмечено у *P. umbilicalis* и *P. palmata*, хотя при содержании нефти до 10 мг/л у указанных видов регистрировали аналогичные или бóльшие значения интенсивности фотосинтеза, чем в контроле. Для *A. nodosum* отмечена стимуляция фотосинтетической активности при всех использованных концентрациях нефти. Снижение фотосинтетической активности сопровождалось деформацией и изменением цвета талломов водорослей, подобные явления наблюдались и ранее (Clendenning, North, 1960; Kusk, 1980; Lobban et al., 1985).

Полученные результаты подтверждают существующее мнение о том, что интенсивность функционального отклика на токсическое воздействие нефти различается у систематически разных групп макроводорослей (O'Brien, Dixon, 1976; Lobban et al., 1985). Вероятно, это связано с особенностями строения талломов и функциональной активностью фотосинтетической системы макроводорослей. Проникая в клетку, углеводороды нефти разрушают плазмалемму, приводя к увеличению электропроводности клеточной мембраны, нарушению баланса ионов, уменьшению внутриклеточного давления, снижению количества фикоэритрина и хлорофиллов (O'Brien, Dixon, 1976; Reddin, Prendeville, 1981). Однако такие изменения могут носить обратимый характер, и возобновление фотосинтетической функции макроводорослей возможно после прекращения или уменьшения действия токсиканта (Kusk, 1980). Усиление интенсивности дыхания, наблюдаемое в экспериментах, обусловлено, вероятно, необходимостью компенсации затрат энергии, дефицит которой возникает при подавлении фотосинтетической функции токсикантами (Головко, 1999).

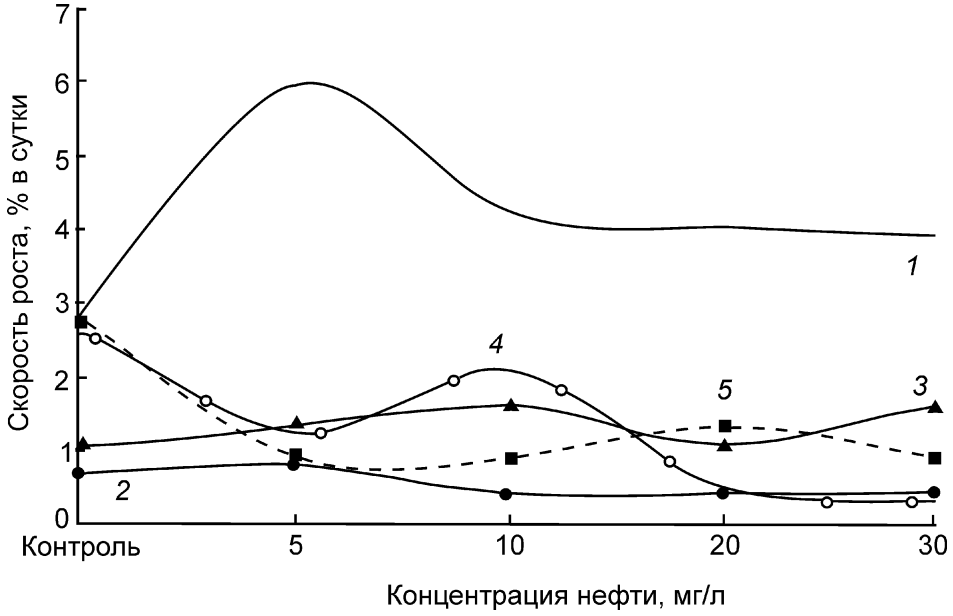

Рис. 1. Влияние эмульсии сырой нефти на относительную скорость роста макроводорослей. *1 – Laminaria saccharina*, *2 – Porphyra umbilicalis*, *3 – Fucus vesiculosus*, *4 – Ascophyllum nodosum*, *5 – Palmaria palmata.*

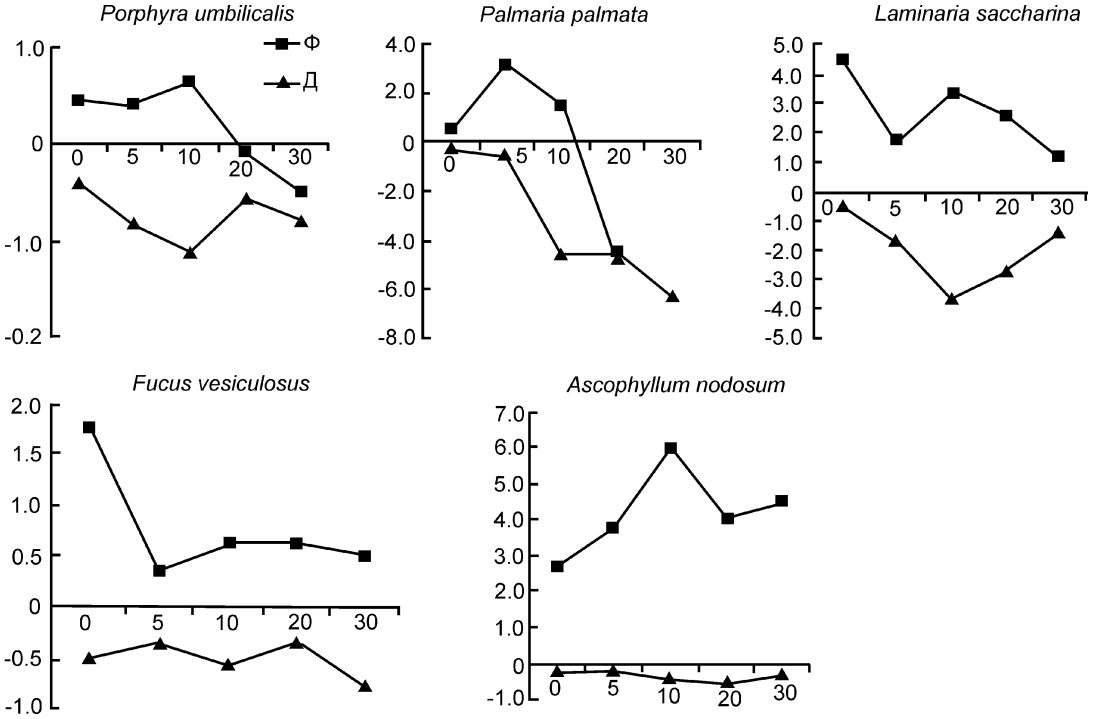

Рис. 2. Зависимость фотосинтетической активности (Ф) и дыхания (Д) водорослей от воздействия эмульсии сырой нефти. По оси абсцисс – концентрация углеводородов нефти, мг/л; по оси ординат – фотосинтез и дыхание, мг O_2/(г ч).

Зависимость функциональных параметров макроводорослей при воздействии сырой нефти носит нелинейный характер (рис. 1, 2). Известно, что разбалансировка в работе биохимической адаптационной системы водорослей сопровождается изменением основных функциональных показателей в виде затухающих со временем колебаний (Егоров, Ерохин, 1998). Из-за инерционности системы биохимических реакций результат воздействия появляется с некоторым опозданием по времени воздействия.

В ходе экспериментов было показано, что при воздействии углеводородов нефти в концентрациях 10–30 мг/л рост исследованных видов бурых и красных водорослей не прекращался. Некоторые исследователи предполагают, что стимуляция роста водорослей в условиях нефтяной интоксикации связана с наличием в нефти нафтеновых кислот, выступающих наряду с некоторыми другими углеводородами нефти в качестве факторов роста, а также металлов, выполняющих функции микроэлементов в клеточном метаболизме водорослей (Hsiao et al., 1978; Проблемы…, 1985).

Альтернативным объяснением роста макроводорослей в морской воде, содержащей нефть, может быть гипотеза об экзогенном поступлении в таллом водорослей низко- и высокомолекулярных органических соединений (Makager, Sandjienses, 1990), образующихся при деструкции нефти в воде и включающихся в метаболические (гетеротрофия) или энергетические (органотрофия) процессы. Экзогенное проникновение углеводородов нефти возможно в случае их сорбции на поверхности клеток и контакта с микроперифитонным сообществом, что может сопровождаться разрушением сложных углеводородов до более простых. Именно такая схема, по-видимому, объясняет устойчивость фукусовых водорослей к воздействию сырой нефти (Степаньян, Воскобойников, 2006).

Автор выражает искреннюю благодарность за ряд методических советов и обсуждение результатов исследований заведующему лабораторией альгологии ММБИ Г.М. Воскобойникову, сотрудникам ММБИ М.В. Макарову и С.И. Бардану, сотруднику Биологического факультета МГУ И.В. Тропину. Автор признателен анонимным рецензентам за конструктивный критический анализ результатов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баславская С.С., Трубецкая О.М. Практикум по физиологии растений. М.: МГУ. 1964. 327 с.

Воскобойников Г.М., Матишов Г.Г., Быков О.Д. и др. Об устойчивости морских макрофитов к нефтяному загрязнению // Докл. РАН. 2004. Т. 397, № 6. С. 842–844.

Головко Т.К. Дыхание растений (физиологические аспекты). СПб.: Наука. 1999. 204 с.

Егоров В.Н., Ерохин В.Е. Эмпирическая модель кинетики адаптивной устойчивости пигментной системы макрофитов при интоксикации фенолом // Экол. моря. 1998. Вып. 47. С. 91–94.

Патин С.А. Нефть и экология моря. М.: ВНИРО. 2001. 247 с.

Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана // Эколого-токсикологические аспекты. Л.: Гидрометеоиздат. 1985. Т. 5. С. 1–115.

Степаньян О.В., Воскобойников Г.М. Морфофункциональное состояние макрофитов и прогноз развития фитоценозов Баренцева моря в условиях нефтяного загрязнения // Современные технологии в полярных исследованиях. М.: Наука. 2005. С. 235–255.

Степаньян О.В., Воскобойников Г.М. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей // Биол. моря. 2006. Т. 32, № 4. С. 241–248.

Clendenning K.A., North W.J. Effects of wastes on the giant kelp *Macrocystis pyrifera* // Proc. Int. Conf. Waste Disp. Mar. Environ. 1960. P. 82–91.

Coombs J., Hall D.O., Long S.P., Scurlock J.M.B. Techniques in bioproductivity and photosynthesis. Oxford: Pergamon Press. 1985. 340 p.

Hsiao S.T.C., Kettle D.W., Foy M.G. Effect of crude oils and the oil dispersant "Corexit®" on primary production of arctic marine phytoplankton and seaweeds // Environ. Pollut. 1978. Vol. 15, no. 3. P. 209–221.

Kusk K.O. Effects of crude oil and aromatic hydrocarbons on the photosynthesis of three species of *Acrosiphonia* grown in the laboratory // Bot. Mar. 1980. Vol. 23. P. 587–593.

Lobban S.C., Harrison P.T., Duncan M.T. The physiological ecology of seaweeds. Cambridge Univ. Press. 1985. 242 p.

Markager S., Sandjiensen K. Heterotrophic growth of *Ulva lactuca* (Chlorophyceae) // J. Phycol. 1990. Vol. 26. P. 670–673.

O'Brien P.Y., Dixon P.S. The effects of oils and oil components on algae: a review // Brit. Phycol. J. 1976. No. 11. P. 115–142.

Reddin A., Prendeville G.N. Effect of oils on cell membrane permeability in *Fucus serratus* and *Laminaria digitata* // Mar. Pollut. Bull. 1981. Vol. 12, no. 1. P. 339–342.