

УДК 57.045(268.45)

Воздействие разработки объектов морского нефтегазового комплекса на пелагические фитоценозы Баренцева моря

П.Р. Макаревич

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация. Проанализированы возможные последствия влияния на пелагический альгоценоз объектов морского нефтегазового комплекса Баренцева моря на основе литературных и полученных оригинальных данных. Дана характеристика источников техногенного загрязнения на различных этапах освоения нефтегазовых месторождений.

Abstract. The paper analyzes possible effects of the offshore oil and gas industry on pelagic algal cenoses of the Barents Sea basing on some published and newly obtained data. Sources of technogenic contamination at different stages of exploratory and production development of oil and gas fields have been described as well.

Ключевые слова: фитопланктон, нефтегазовый комплекс, источники техногенного воздействия, Баренцево море

Key words: phytoplankton, oil and gas industry, sources of technogenic impacts, Barents Sea

1. Введение

Интенсивная эксплуатация биологического потенциала северных морей, освоение шельфа нефте- и газодобывающей индустрией, расширение транспортных перевозок и других видов хозяйственной деятельности с каждым годом делают все более актуальными задачи изучения антропогенного воздействия на экосистему Арктики.

В последние десятилетия произошло значительное усиление антропогенной нагрузки на экосистемы северных морей России, в основном это связано с проведением работ по поиску и разработке нефтяных и газовых месторождений на арктическом шельфе (*Патин, 1997; Гриценко и др., 2009*). В этой ситуации особую важность приобретают экологические исследования влияния техногенного загрязнения как на экосистему в целом, так и на ее отдельные звенья.

Основным компонентом морских экосистем, определяющим их структуру и биологическую продуктивность, являются пелагические микроводоросли – главные продуценты органического вещества. Обладая высокой скоростью размножения и, вследствие этого, быстрой реакцией на изменения внешних условий, они оказываются наиболее уязвимыми при негативном воздействии на них факторов, связанных с освоением морских нефтегазовых месторождений.

Главным источником опасности для сообществ микроводорослей в ходе разработки и освоения минеральных ресурсов Мирового океана является изменение физических и химических параметров среды. При производстве работ на морскую биоту будут воздействовать следующие процессы: сбросы бурового шлама и взмучивание донных осадков при монтаже подводного оборудования (что вызывает увеличение мутности вод); возможные утечки горюче-смазочных материалов; сброс бытовых сточных вод; возможные утечки нефти, газа и газоконденсата, метанола, буровых жидкостей при бурении и опробовании скважин; химическое загрязнение воды; разностороннее воздействие углеводородов на гидробионтов; локальное повышение температуры с началом ввода в действие систем охлаждения буровых и энергетических установок (*Четвертый..., 2009*). Кроме того, велика вероятность возникновения аварийных ситуаций. В этом случае наибольшую экологическую опасность будут представлять крупномасштабные разливы нефти, газоконденсата, метанола и сжиженного природного газа (*Научно-методические..., 1997*).

2. Основные источники и последствия воздействия

Строительство добывающих комплексов и проведения буровых разведочных работ в Баренцевом море окажет непосредственное влияние на структурные и функциональные характеристики и первичное продуцирование микрофитопланктонного сообщества.

Общая информация о возможных источниках воздействия в целом на планктонные альгоценозы на различных этапах освоения морских нефтегазовых месторождений представлена в табл. 1.

Таблица 1. Факторы и объекты экологического воздействия на сообщества фитопланктона на разных этапах освоения морских нефтегазовых месторождений

Основные этапы производства работ при строительстве добывающих комплексов и проведения буровых разведочных работ	Основные источники и процессы воздействия
Разведочно-поисковые работы	<ul style="list-style-type: none"> • Пневмопушки • Буровые растворы • Буровые шламы
Обустройство месторождений	<ul style="list-style-type: none"> • Перемещение донных грунтов • Буровые шламы • Взмучивание грунтов • Шумы и вибрация
Эксплуатация месторождений	<ul style="list-style-type: none"> • Буровые растворы и шламы • Пластовые воды • Аварийные разливы нефти и газоконденсата
Ликвидация месторождений	<ul style="list-style-type: none"> • Взмучивание грунтов • Технологические сбросы • Взрывные работы

Основными факторами воздействия на видовой и количественный состав фитопланктонного сообщества на этапе строительства добывающих комплексов и проведения буровых разведочных работ в Баренцевом море являются:

- 1) эвтрофирование вод в результате сброса бытовых отходов;
- 2) загрязнение акватории нефтепродуктами;
- 3) попадание в воду буровых растворов;
- 4) водозабор на технические и бытовые нужды;
- 5) сброс грунта в море при бурении.

Необходимо отметить, что ввиду динамичности водной среды, незначительности объемов сточных вод и водозабора, а также небольших концентраций в морской воде нефтепродуктов, буровых растворов и шламов на начальном этапе, воздействие этих факторов на пелагический альгоценоз следует считать очень слабым.

В районах работ попадание грунта в воду при бурении и связанное с этим повышение концентрации взвеси приурочено к придонным слоям, в то время как основная масса фитопланктона сосредоточена в верхнем 50-метровом слое (*Многолетний...*, 1993). Следовательно, воздействие этого фактора на фитоценоз можно оценить как очень слабое. В то же время в прибрежных районах дампинг грунта при рытье траншей приведет к значительному повышению концентрации взвеси и, следовательно, увеличению мутности воды, уменьшению ее прозрачности и высвобождению биогенных элементов из донных осадков. Все эти факторы окажут неоднозначное влияние на прибрежный пелагический альгоценоз. С одной стороны, увеличение мутности и снижение освещенности приведет к ингибированию фотосинтеза, с другой стороны, приток биогенов обеспечит дополнительные объемы продукции фитопланктона.

Воздействие на пелагический фитоценоз при нормальной эксплуатации морского добывающего комплекса определяют следующие факторы:

- 1) значительный объем водозабора на технологические нужды;
- 2) сброс подогретых вод;
- 3) сброс сточных вод.

В процессе водозабора весь содержащийся в воде фитопланктон погибает, однако реальное значение этот факт приобретает только в период активного цветения микроводорослей. Следовательно, воздействие может оцениваться как очень слабое, долговременное.

Поскольку сброс теплых технологических вод будет производиться локально небольшими объемами, следовательно, под влиянием естественных гидродинамических процессов воздействие на пелагический альгоценоз будет очень слабым.

Долговременные последствия локального воздействия поступления в пелагиаль жидких бытовых отходов могут выражаться в повышении уровня первичного продуцирования. Однако доля дополнительной продукции в масштабах года будет крайне незначительной.

При возникновении аварийных ситуаций на скважинах и сооружениях морского добывающего комплекса в воду попадут нефть, газ и газоконденсат, метанол, буровые шламы и растворы, которые и окажут определенное влияние на структуру фитопланктонного сообщества.

Нефть. Известно, что физиолого-биохимическое воздействие нефтяных углеводородов на фитопланктон неоднозначно. При низких концентрациях происходит стимуляция фотосинтеза и скорости деления клеток, при высоких – ингибирование (Нельсон-Смит, 1977; Хромов, 1977; Патин, 2001; Hsaio, 1978). Стимулирующее действие нефти может быть связано как с фазностью реагирования фитопланктона на воздействие токсиканта, так и с наличием в составе нефти регуляторов роста и следовых количеств металлов, выполняющих роль микроэлементов (Hsaio, 1978).

Видимые воздействия нефти на сообщество микроводорослей проявляются при концентрации углеводородов 0.02 мг/л. Концентрация нефти в воде 1.0 мг/л и более вызывает уже токсический пролонгированный эффект в виде снижения обилия фитопланктона (уменьшение количества клеток фитопланктона, в основном за счет гибели диатомовых). В лабораторных опытах после часовой экспозиции при такой концентрации нефтепродуктов происходит отмирание планктонных клеток через три дня (Нельсон-Смит, 1977).

На ответную реакцию фитопланктона влияют химический состав нефти, способ диспергирования, температура, длительность воздействия, видовая чувствительность водорослей и т.д. В экспериментальных условиях ингибирующего действия концентраций нефти менее 1 мкг/л на развитие монокультуры различных видов микроводорослей не отмечено (Prouse et al., 1976). Загрязнение нефтяными углеводородами в концентрации 40-80 мкг/л приводит к интенсивному развитию мелких форм диаметром около 10 мкм (Parsons et al., 1976). Такая закономерность подтверждается и в экспериментальных исследованиях смешанных культур морских микроводорослей (Шуляковский, 1980). Изменение видового состава и размера клеток – наиболее чувствительный индикатор нарушения функционирования фитопланктона под влиянием нефтяного загрязнения. Эти изменения зарегистрированы при концентрации нефтепродуктов от 0.05 до 5 мг/л (Patin, 1995).

Наиболее чувствительны к воздействию нефти диатомовые водоросли. Миронов (Mironov, 1972) экспериментально установил, что диатомовые погибают в течение 24 часов при концентрации жидкого топлива 100 мкг/л и менее. Отрицательное действие нефти и соляра на развитие мелких жгутиковых отмечено при концентрациях 0.001-0.1 мг/л (Миронов, 1985).

В естественных популяциях фитопланктона Баренцева моря отрицательное влияние специфических нефтепродуктов (машинное масло, дизельное топливо, мазут) может проявляться даже при концентрациях, равных санитарному ПДК (0.05 мг/л) (Хромов, 1977). При различной остроте реакции разных видов водорослей на воздействие нефтепродуктов очевидна общая тенденция к снижению биомассы и первичной продукции растительных клеток (табл. 2).

Таблица 2. Изменение структурных и функциональных характеристик фитопланктона под действием нефтепродуктов (Хромов, 1977)

Варианты опыта	Численность, млн кл./л	Биомасса, мг/л	Первичная продукция, мгС/м ³
Контроль	0.81	1.99	103.1
Мазут	0.38	0.80	16.8
Диз. топливо	0.10	0.27	26.4
Масло	0.44	1.08	12.9

Нами были проведены специальные исследования с помощью натуральных экспериментов с разливом сырой нефти (объем разлива составил 50 л сырой нефти на 100 м²) на эстуарном участке Кольского залива в условиях весенней сукцессии. Они показали, что воздействие всего (неспецифического) комплекса нефтяных углеводородов при концентрации в воде около 3 мг/л в течение нескольких дней приводит к изменению скорости роста численности различных видов микроводорослей и изменению видовой структуры пелагического альгоценоза (Макаревич и др., 2009). Следовательно, концентрацию 3 мг/л следует считать сублетальной для фитопланктона.

Баренцево море представляет собой систему отдельных водных масс, отграниченных друг от друга фронтальными зонами различной природы. Именно в этих зонах будет концентрироваться и вдоль них распространяться нефтяное загрязнение в случае аварийных разливов нефти. С этой точки зрения зонами особой чувствительности являются районы прибрежных фронтов южной части акватории Баренцева моря. В целом негативное воздействие углеводородов на микрофитопланктон в основном будет приурочено к районам максимальной концентрации и активного функционирования сообщества пелагических водорослей.

Степень токсичности нефти усиливается с увеличением освещенности поверхности моря. В условиях Арктики большое значение имеет уровень солнечной радиации. В период максимальной радиации – весной и летом – токсичность нефти значительно возрастает из-за образования продуктов её фотоокисления (Sydnes et al., 1985).

В Баренцевом море, акватория которого в холодный период года на две трети покрыта дрейфующими или паковыми льдами, разливы нефти опасны еще тем, что лед интенсивно накапливает нефтепродукты, которые во время весеннего таяния будут в концентрированном виде поступать в подледную воду, что отрицательно скажется на развитии криофлоры (Архинов и др., 2001; Матишов и др., 2009).

Отрицательное воздействие нефтяного загрязнения на фитопланктон в фотическом слое моря наиболее ощутимо в полярных экосистемах (Нестерова, Симонов, 1979). Низкие температуры тормозят процессы окисления углеводородов. При одинаковых темпах поступления углеводородов в полярных водах загрязнение на несколько порядков больше, чем в умеренной и тропической зонах.

Уязвимость фитопланктона зависит от пороговых концентраций нефтяных углеводородов (НУ), которые ранжируют смену качественных эффектов функционирования фитоценозов. Обратимые эффекты в баренцевоморских сообществах микроводорослей наблюдаются при концентрации НУ свыше 0.05 мг/л НУ, сублетальные эффекты – от 10 мг/л и летальные – при 100 мг/л. В отличие от обратимых и сублетальных концентраций, летальные концентрации более достоверно регистрируются и вызывают самые серьезные нарушения в структуре сообщества, проявляющиеся в гибели значительной доли клеток (Шавыкин, Ильин, 2010).

Природный газ. Анализ экспериментов по изучению хронического воздействия природного газа на культуру морских планктонных водорослей (концентрации 0.3, 0.9, 1.9, 3.9 мг/л; длительность 35 суток) позволяет сделать вывод о том, что природный газ оказывает неблагоприятное воздействие на фитопланктон при концентрациях выше 0.9 мг/л. Концентрация 0.3 мг/л является допустимой для существования пелагических микроводорослей (Кошелева и др., 1997).

Газоконденсат. В экспериментах по изучению хронического воздействия газового конденсата на планктонные водоросли (концентрации газоконденсата 0.01, 0.1, 1.0, 10.0, 100 мг/л; длительность опыта 31 сутки) была выявлена значительная чувствительность фотосинтетического аппарата клеток к воздействию. Снижение интенсивности фотосинтетических реакций было отмечено на 6-е сутки экспозиции при концентрациях газоконденсата 0.1-100 мг/л. В дальнейшем показатели фотосинтеза претерпевали некоторые изменения колебательного характера. Выраженный токсический эффект при влиянии газоконденсата в указанных концентрациях сформировался на 20-е сутки и сохранялся до конца эксперимента. На основании полученных данных можно считать, что газовый конденсат в концентрациях ниже 0.01 мг/л не оказывает заметного влияния на фотосинтез морского фитопланктона. При исследовании влияния газоконденсата на динамику общей численности клеток фитопланктона в культуре, достоверное снижение численности наблюдалось только при концентрациях 100 мг/л, начиная с 10-х суток эксперимента, и на его средней фазе (15-20 сутки) при концентрации 10 мг/л. Таким образом, в природной обстановке возможно сдерживание массового развития отдельных групп фитопланктона в результате воздействия газоконденсата, что при определенных условиях (в период с оптимальными для сообщества климатическими условиями) может привести к значительному нарушению структуры и функционирования пелагического фитоценоза. По основному токсикологическому показателю безопасным для роста и развития фитопланктона можно считать уровень воздействия газоконденсата в концентрациях, не превышающих 1 мг/л, однако достоверные стойкие нарушения фотосинтеза наблюдаются уже при концентрации 0.1 мг/л. На основании этого для фитопланктона в качестве допустимого уровня содержания газового конденсата в морской воде следует принять концентрацию 0.01 мг/л (Кошелева и др., 1997).

Таким образом, при продолжительном поступлении газоконденсата в воду (при длительном открытом фонтанировании скважин, нарушении целостности подводных коммуникаций или разрушениях подводных хранилищ) возможны значительные потери первичной продукции вследствие гибели фитопланктона, подавления фотосинтеза, либо нарушения структуры и функционирования сообщества микроводорослей. Воздействие на пелагический альгоценоз в местном масштабе оценивается как сильное, кратковременное.

Газовые гидраты. Могут образоваться при выбросах газа на большой глубине и при высоких давлениях. Это – соединения метана и его высокомолекулярных гомологов с водой, представляющие собой тонкодисперсные твердые вещества, способные адсорбировать на поверхность другие высокотоксичные полиароматические углеводороды (бензолы, толуол, антрацен и др.).

Газовые гидраты во взвешенном состоянии могут переноситься течениями на большие расстояния и быть источником вторичного загрязнения вод метаном и его гомологами. При прямом воздействии на фитопланктон может приводить к его гибели.

Метанол (ингибитор). Действие концентрированного метанола или его сырца на гидробионтов мало изучено. Подпороговая концентрация метанола, определенная по влиянию на санитарно-гигиенические показатели водоема (сапрофитная микрофлора, биологическая потребность в кислороде и др.), определена в 2 мг/л (*Перечень...*, 1999), а подпороговая концентрация по токсикологическим признакам – более 60 мг/л.

Если ориентироваться на соотношения этих показателей и ПДК по другим спиртам гомологического ряда, то ПДК метанола для водоемов может составить порядка 0.01-0.02 мг/л. Судя по пороговым концентрациям физиологического воздействия, токсичность метанола для водных организмов может быть на порядок выше, чем токсичность газоконденсата.

При изучении хронического воздействия метанола (концентрации 0.05, 0.5, 5.0, 50.0, 500.0 мг/л; длительность воздействия в течение 33 суток) на культуру водоросли *Rhizosolenia* sp. было выявлено токсическое влияние на фотосинтез и прирост численности в концентрациях выше 5.0 мг/л (*Кошелева и др.*, 1997).

Учитывая высокую степень токсичности метанола, аварийный сброс метанольного продукта приведет к гибели фитопланктона и ингибированию фотосинтеза в значительном объеме воды. Но, в то же время, воздействие будет кратковременным и локальным.

Буровые иламы. Воздействие ограничится в основном придонными слоями и может быть оценено как очень слабое.

Буровые растворы. Имеют высокую токсичность для гидробионтов. При аварии на одной скважине летальные концентрации могут сохраняться в течение нескольких часов на расстоянии сотен метров от источника. Учитывая канцерогенную и мутагенную опасность высокотоксичных компонентов буровых растворов, воздействие может быть оценено как крайне неблагоприятное с локальными проявлениями, с возможными отдаленными последствиями (*Матишов и др.*, 2009).

При изучении хронического воздействия буровых растворов (концентрации 0.004, 0.02, 0.1, 0.5 г/л, длительность воздействия 31 сутки) была установлена максимальная концентрация, при которой отсутствует влияние на морской фитопланктон – 0.004 г/л. При концентрациях 0.1 и 0.5 г/л буровые растворы оказывают стимулирующее действие на репродуктивную функцию диатомовых водорослей. Однако в экологическом плане в холодных олиготрофных районах Баренцева моря, где предполагается строительство и эксплуатация комплексов добычи газа и нефти, этот процесс не будет иметь решающего значения (*Кошелева и др.*, 1997). Для морского фитопланктона в целом подавление фотосинтеза на 50 % происходит при концентрации бурового раствора 35-100 г/л за 96 часов экспонирования, причем в первые часы воздействия никаких реакций не наблюдается. Таким образом, наиболее значительное усиление фотосинтеза наблюдается при самых низких концентрациях растворов, по мере увеличения концентрации стимуляция снижается. В зоне прямого воздействия при сбросах буровых отходов нарушения в структуре и физиологическом состоянии фитопланктонного сообщества будут проявляться в форме кратковременного снижения первичной продукции и быстрого (в течение нескольких часов) восстановления естественной нормы без каких-либо заметных перестроек на популяционном уровне (*Андреева*, 2001; *Патин*, 2001).

С точки зрения экологии, любые отклонения от нормальных значений первичной продукции, вызываемые сбросом буровых растворов, опасны для окружающей среды. Однако, учитывая, что бурение будет производиться в шельфовых водах Баренцева моря, следует признать, что подавление фотосинтеза представляет серьезную экологическую угрозу для этого района, относящегося к высокопродуктивным. Усиление фотосинтеза на открытых акваториях не столь опасно, как в прибрежных, где оно может вызвать цветение.

Сейсмо-акустические исследования (САИ). Данные по воздействию сейсмо-акустических исследований на фитопланктон противоречивы. Скорее всего, есть определенное воздействие этого источника на сообщества микроводорослей. Вместе с тем, учитывая скорость деления клеток фитопланктона, в целом влияние САИ на экосистему через воздействие на фитопланктон будет незначительным. При сейсморазведочных работах с использованием отдельных пневмоисточников (ПИ) к настоящему времени определены безопасные радиусы при единичных выстрелах пневмопушек, которые для гидробионтов, в т.ч. и фитопланктонных организмов, составляют от 1 до 7 м в зависимости от объема камер пневмоисточника. В экспериментальных работах ММБИ по биоэкспертизе воздействия пневмоисточника ПИ-200 (общим объемом 5 л и давлением 140 атм.) на гидробионтов Баренцева моря отмечена высокая устойчивость фитопланктона к одноразовому воздействию источника упругих колебаний. На расстоянии 1 м от ПИ-200 у клеток микроводорослей не обнаружено морфологических

нарушений, констатировалась сохранность наружных покровов и фотосинтетического аппарата. Для групповых ПИ безопасные радиусы воздействия не установлены (Матишов и др., 2009).

Взвесь. При всех видах строительных работ в море основным фактором воздействия на биоту считается взмучивание пелагической толщи, вызванное перемещением донных грунтов. Размеры и время существования зон повышенного содержания взвеси определяются гранулометрическим составом грунта и гидрологической ситуацией в районе работ. При этом максимальный разнос самых мелких фракций взвеси составляет расстояния порядка нескольких километров (Патин, 2001).

В результате взмучивания уменьшается прозрачность воды и, соответственно, мощность фотического слоя, от которого зависит интегральное значение первичной продукции на площади акватории. Таким образом, снижение первичной продуктивности существует в пространственно-временных границах, определяемых существованием взвеси. Разумеется, все сказанное относится к периоду активной вегетации фитопланктона; в зимний период в Баренцевом море никаких значимых продукционных эффектов от взмучивания водной толщи быть не может по причине, практически, полного отсутствия в этот период фотосинтеза. Следовательно, воздействие этого фактора на пелагический фитоценоз можно оценить как очень слабое. В то же время в прибрежных районах дампинг грунта при рытье траншей под трубопроводы приведет к значительному повышению концентрации взвеси и увеличению мутности воды, уменьшению ее прозрачности и высвобождению биогенных элементов из донных осадков. С одной стороны, приток биогенов обеспечит дополнительные объемы продукции фитопланктона, с другой стороны, увеличение мутности и снижение освещенности приведет к ингибированию фотосинтеза. При повышении содержания взвеси до 20-30 мг/л скорость фотосинтеза микрофитопланктона снижается до 2 раз (Бульон, 1985), отмечено также снижение первичной продукции при содержании взвеси выше 20 мг/л (Joint, 1984). Однако необходимо отметить, что эти реакции легко обратимы и одноклеточные водоросли с их высокой скоростью деления (до двух и более раз в сутки) способны также быстро восстанавливать свою биомассу и численность при ослаблении неблагоприятных воздействий (Патин, 2001).

Другой, практически не анализируемый в литературе фактор, имеющий место при грунтовых работах в море, – возможная миграция биогенов в поверхностный горизонт. Концентрации биогенов в придонных горизонтах пелагиали (ниже фотического слоя) и в толще грунта многократно превышают таковые в верхнем горизонте в период активного развития фотоавтотрофов. Фактически при перемещении грунтов в зону фотосинтеза возникает эффект апвеллинга – снимается лимитирующее действие низких концентраций биогенов и, соответственно, растет первичная продукция. Значимость этого фактора также носит сезонный характер и может проявиться только в период дефицита биогенов – летом или осенью.

Описанные выше два фактора, изменяющие "фоновый" уровень первичной продукции, имеют разнонаправленный характер. Численные оценки интегрального эффекта воздействия грунтовых работ на первичную продукцию в море не проводились, однако самый общий прогноз для периода активной вегетации фитопланктона представляется таким:

- непосредственно в области грунтовых работ и на расстоянии нескольких километров (с учетом гидродинамических особенностей места) выражен эффект снижения первичной продукции в сравнении с фоновым;
- на периферии зоны, на фоне восстановленных характеристик прозрачности фотического слоя и на фоне повышенного содержания биогенов выражен эффект повышения первичной продукции;
- пространственно-временные границы первого эффекта определяются размерными характеристиками взвеси и исходной мощностью фотического слоя; пространственно-временные границы второго эффекта определяются активностью первичных продуцентов по ассимиляции биогенов.

3. Заключение

Акватория Баренцева моря далеко неоднородна по своей гидрофизической и гидробиологической структуре, поэтому и возможные источники воздействия на фитопланктон, связанные с объектами морского нефтегазового комплекса, будут проявлять себя неодинаково в различных районах. Необходимо отметить, что мозаичность пространственного распределения микроводорослей по акватории ограничивает негативное воздействие указанных выше факторов на микрофитопланктон районами максимальной концентрации и активного функционирования сообщества.

В целом негативное воздействие источников техногенного загрязнения на микрофитопланктон будет приурочено к районам максимальной концентрации и активного функционирования сообщества пелагических водорослей. В первую очередь, это прибрежные и прикромочные участки акватории и зоны речного выноса, то есть районы с максимальными количественными характеристиками и видовым разнообразием пелагического фитоценоза в период биологической весны, а также высокопродуктивные

участки в области Мурманской возвышенности, Гусиного и Северо-Канинского плато в летний период. Необходимо отметить, что максимальная продолжительность вегетационного периода фитопланктона в Баренцевом море составляет 240-250 суток. Период активной вегетации (биологическая весна) продолжается около 90 суток, и именно этот период является временем максимального риска для фитопланктонного сообщества. На отдельных участках акватории, значительную часть года покрытых льдами (например, Печорское море, акватория прибрежных вод архипелага Земля Франца-Иосифа), период активной вегетации более короткий, что делает их еще более уязвимыми к внешнему воздействию.

Литература

- Hsaio S.T.C.** Effects of crude oils on the growth of Arctic marine phytoplankton. *Env. Pollut.*, v. 17, N 2, p. 209-221, 1978.
- Joint I.R.** The microbial ecology of the Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 15, N 2, p. 62-67, 1984.
- Mironov O.G.** The effect of oil pollution on the flora and fauna of the Black Sea. *Marine pollution and sea life. London, Fishing News (Books) Ltd.*, 624 p., 1972.
- Parsons T.R., Li W.K.W., Waters R.** Some preliminary observations on the enhancement of phytoplankton growth by low levels of mineral hydrocarbons. *Hydrobiologia*, v. 5, p. 85-89, 1976.
- Patin S.A.** Global pollution and biological resources of the World Ocean. *World Fisheries Congress Proceedings. New Delhy, Oxford and IBH Publ. Co.*, p. 69-95, 1995.
- Prouse N.J., Gerdon D.C.Jr., Keizer P.D.** Effects of low concentrations of oil accommodated in sea water on the growth of unialgal marine phytoplankton cultures. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, v. 33, N 4, p. 810-818, 1976.
- Sydnes L.K., Hemmingsen T.H., Skase S., Hansen S.H.** Seasonal variations in weathering end toxicity of crude oil on seawater under Arctic conditions. *Env. Sci. Techn.*, v. 19, N 11, p. 1076-1081, 1985.
- Андреева В.В.** Научно-исследовательский отчет по НИР теме "Экологическое воздействие нефтегазовых разработок на структуру планктонного сообщества в прибрежных районах восточного Сахалина". Владивосток, ДВФ ВНИИприроды, 67 с., 2001.
- Архипов Б.В., Пархоменко В.П., Солбаков В.В., Шапочкин Д.А.** Математическое моделирование распространения нефтяных разливов в морской среде. М., ВЦ РАН, 53 с., 2001.
- Бульон В.В.** Активность микрофлоры в прибрежных водах Земли Франца-Иосифа. *Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. М.*, с. 101-108, 1985.
- Гриценко А.И., Максимов В.М., Самсонов Р.О., Аكوпова Г.С.** Экология: нефть и газ. М., ИКЦ "Академкнига", 680 с., 2009.
- Кошелева В.В., Мигаловский И.П., Новиков М.А., Горбачева Е.А., Лаптева А.М.** Реакции гидробионтов на загрязнение среды при разработке нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря. Мурманск, ПИИРО, 91 с., 1997.
- Макаревич П.Р., Гудимов А.В., Любина О.С., Фролов А.А., Фролова Е.А., Воскобойников Г.В., Ильин Г.В., Касаткина Н.Е., Степаньян О.В., Кренева С.В., Кренева К.В., Семин В.Л.** Полевые и лабораторные испытания индикаторных видов. *Новые технологии мониторинга природных процессов в зоне взаимодействия пресных и морских вод (биологическая индикация). Апатиты, КНЦ РАН*, с. 132-161, 2009.
- Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Дженюк С.Л., Денисов В.В.** Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. Ростов-на-Дону, ЮНЦ РАН, 500 с., 2009.
- Миронов О.Г.** Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. Л., Гидрометеиздат, 127 с., 1985.
- Многолетний комплексный экологический мониторинг акватории Штокмановского и Мурманского месторождений на шельфе Баренцева моря. *Мат. одиннадцати экспедиций НИС "Дальние Зеленцы" за 1985-1992 гг. Апатиты*, 52 с., 1993.
- Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта). *Апатиты, КНЦ РАН*, 394 с., 1997.
- Нельсон-Смит А.** Нефть и экология моря. М., Прогресс, 303 с., 1977.
- Нестерова М.П., Симонов А.И.** Химическое загрязнение океана и методы борьбы с ним. *Химия океана. М., Наука*, т. 1, с. 436-490, 1979.
- Патин С.А.** Нефть и экология континентального шельфа. М., Изд-во ВНИРО, 249 с., 2001.
- Патин С.А.** Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М., Изд-во ВНИРО, 350 с., 1997.

- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М., Госкомрыболовство России, 305 с., 1999.
- Хромов В.М.** Влияние нефтепродуктов на планктонное сообщество. *Проблемы изучения действия загрязнителей на экосистемы северных морей. Апатиты, КФ АН СССР*, с. 44-56, 1977.
- Четвертый национальный доклад "Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации" (Выполнение обязательств Российской Федерации по Конвенции о биологическом разнообразии). М., 174 с., 2009.
- Шавыкин А.А., Ильин Г.В.** Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. *Мурманск, ММБИ КНЦ РАН*, 110 с., 2010.
- Шуляковский Ю.А.** Влияние химического загрязнения на первично-продукционные процессы в некоторых районах и экологических зонах Северной и Центральной Атлантики. *Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь*, 27 с., 1980.