

УДК 57.014+574.24+574.632+579.68+581.1
DOI: 10.7868/S25000640220308

ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ, ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ И ИНФУЗОРИЙ ГУБЫ ЗЕЛЕНЕЦКОЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

© 2022 г. Д.В. Пуговкин¹, Г.М. Воскобойников¹,
Л.О. Метелькова², А.А. Олейник¹, Д.О. Салахов¹

Аннотация. Вопрос о взаимодействии нефти и нефтепродуктов с рядом микроорганизмов (пелагическими микроводорослями, инфузориями) и возможной роли последних в деструкции нефтяных углеводородов остается актуальным. Целью работы являлось определение возможного воздействия нефтяных углеводородов на количественные показатели некоторых организмов. В эксперименте использовалась природная морская вода с естественной ассоциацией пелагических диатомовых водорослей, динофлагеллят и инфузорий. Данный комплекс микроорганизмов способен участвовать в процессах деструкции и трансформации нефтяных углеводородов. Указанные процессы идут интенсивнее в условиях темноты. Выявлено, что токсическое воздействие дизельного топлива на диатомовые водоросли, динофлагелляты и инфузории приводит к уменьшению количественных показателей микроорганизмов (численности и биомассы). Наибольший токсический эффект отмечался для инфузорий, которые в присутствии дизтоплива не выявлялись уже на пятый день эксперимента. Для диатомовых водорослей и динофлагеллят в присутствии дизтоплива отмечалось постепенное снижение количественных показателей относительно чистой среды по сравнению с реакцией на дизтопливо инфузорий. В условиях освещенности, даже в присутствии дизельного топлива, численность диатомовых водорослей и инфузорий была значительно выше, чем в темноте. Можно предположить, что для диатомовых водорослей и инфузорий значимым фактором для сохранения жизнеспособности наряду с присутствием/отсутствием нефтепродуктов является свет. Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на возможную роль микроорганизмов в биоремедиации морской воды от нефтепродуктов в арктическом регионе, где до трех месяцев (ноябрь – январь) в году приходится на период полярной ночи.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, инфузории, динофлагелляты, нефтяные углеводороды, дизельное топливо, деструкция нефтепродуктов.

THE EFFECT OF DIESEL FUEL ON THE QUANTITATIVE INDICATORS OF DIATOMS, DINOFLAGELLATES AND CILIATES IN THE ZELENETSKAYA BAY OF THE BARENTS SEA UNDER THE EXPERIMENTAL CONDITIONS

D.V. Pugovkin¹, G.M. Voskoboinikov¹,
L.O. Metelkova², A.A. Oleinik¹, D.O. Salakhov¹

Abstract. The question of the interaction of oil and oil products with a number of microorganisms (pelagic microalgae, ciliates) and their possible role in the destruction of petroleum hydrocarbons remains topical. The aim of the work was to determine the possible impact of petroleum hydrocarbons on the quantitative

¹ Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, e-mail: pugovkin2005@yandex.ru, grvosk@mail.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (The D.I. Mendeleev All-Russian Institute for Metrology, Saint Petersburg, Russian Federation), Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 19

indicators of some organisms. The experiment used natural marine water with a natural association of pelagic diatoms, dinoflagellates and ciliates. It was shown that this complex of microorganisms is able to participate in the processes of degradation and transformation of hydrocarbons. It is noted that these processes are more intense in the dark. It was revealed that the toxic effect of diesel fuel on diatoms, dinoflagellates and ciliates leads to a decrease in the quantitative indicators of microorganisms (number and biomass). The greatest toxic effect was noted for ciliates, which were not detected in the presence of diesel fuel already on the fifth day of the experiment. For diatoms and dinoflagellates in the presence of diesel fuel, there was a gradual decrease in quantitative indicators relative to a pure environment compared with the reaction to diesel fuel of ciliates. It should be noted that under light conditions, even in the presence of diesel fuel, the abundance of diatoms and ciliates was significantly higher than in the dark. It can be assumed that for diatoms and ciliates, light is a significant factor for maintaining viability (along with the presence/absence of petroleum products). The results obtained allow us to take a fresh look at the possible role of microorganisms in the bioremediation of sea water from oil products in the Arctic region, where the polar night period lasts up to three months (November-January) per year.

Keywords: diatoms, ciliates, dinoflagellates, oil hydrocarbons, diesel fuel, destruction of oil products.

ВВЕДЕНИЕ

Известна способность пелагических организмов – представителей фитопланктонных сообществ адаптироваться к антропогенному воздействию, в частности к нефтяному загрязнению [1–3].

Скорость и степень реакции на внесение загрязнителя в среду зависит от концентрации, состава, типа загрязнителя и других факторов [4; 5]. Увеличение содержания нефтепродуктов в среде негативно сказывается на физиологических, морфологических характеристиках микроводорослей: скорости деления и роста клеток, синтезе пигментов [3; 6–10]. Например, различные образцы венесуэльской нефти подавляют фотосинтез морского фитопланктона. Вместе с тем экспериментально было показано, что невысокие концентрации нефтяных углеводородов способны стимулировать некоторые процессы, происходящие в клетках микроводорослей, в частности интенсивность фотосинтеза [8; 11; 12].

Таким образом, до сих пор актуальным остается вопрос о взаимодействии нефти и нефтепродуктов с рядом микроорганизмов (пелагическими микроводорослями, инфузориями) и возможной роли последних в деструкции нефтяных углеводородов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Морскую воду (соленость 33‰) отбирали на побережье губы Зеленецкой Баренцева моря (69°07'09" с.ш., 36°05'35" в.д.). Для удаления крупной взвеси воду пропускали через ватно-марлевый фильтр, а часть воды фильтровали через мембран-

ный фильтр с порами 0,22 мкм для удаления микроводорослей и частично бактерий. Дополнительная стерилизация морской воды не проводилась. После очистки воды в нее добавляли летнее дизельное топливо в количестве 25 мг/л, что составляет 500 ПДК для воды по валовому содержанию нефтепродуктов.

Экспериментальные емкости экспонировали в термостатируемом помещении при температуре 8–10 °С и постоянном освещении 16–18 Вт/м². Часть емкостей содержали в полной темноте для исключения влияния фотосинтетических микроорганизмов на деструкцию нефтепродуктов в эксперименте.

Пробы воды для определения диатомовых водорослей, динофлагеллят и инфузорий объемом 1 л фиксировали 40%-м раствором формальдегида [13]. Подсчет и идентификацию выполняли под световым микроскопом в счетной камере Нажотта объемом 0,05 мл. Учитывали организмы размером 20 мкм и более (микропланктон) и отдельные организмы меньшего размера (нанопланктон) – виды, идентификация которых возможна в границах использованной методики.

Расчет биомассы проведен с использованием таблицы среднего веса клеток фитопланктона Баренцева моря [14; 15]. В ряде случаев были сделаны индивидуальные определения размерных параметров клеток общепринятым способом геометрического подобия [16].

Валовое содержание нефтепродуктов в воде определяли методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии. Процесс пробоподготовки и инструментального анализа осуществляли на основе методики EPA 8270 (Semivolatile Organic Compounds by GC/MS), описанной ранее [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение содержания нефтепродуктов в воде. Исходная нефилтрованная морская вода содержала 371 мкг/л нефтепродуктов, что составило 7,4 ПДК. Данное содержание характерно для губы Зеленецкой и может быть обусловлено наличием действующего причала и курсирующим по губе маломерным флотом.

За время эксперимента (10 суток) количество нефтепродуктов в исходной воде без добавления дизтоплива сократилось до 283 на свету и 331 мкг/л без света, то есть на 24 и 11 % соответственно (рис. 1). Отношение суммы n-алканов к валовому содержанию нефтепродуктов (\sum n-алканов / \sum нефтепродуктов), отражающее степень трансформации нефтяных углеводородов, увеличилось с 0,15 до 0,19, что свидетельствует о происходящем в эксперименте на свету процессе фотодеструкции нефтяных углеводородов, который, по-видимому, обеспечивался микроводорослями.

Для образцов без света величина этого показателя, наоборот, уменьшилась за 10 суток с 0,15 до 0,11. Это незначительное снижение указывает на проходящие процессы трансформации углеводородов. Значение соотношения \sum n-алканов / \sum нефте-

продуктов, близкое к 0,1, характерно для природной воды в отсутствии свежего загрязнения. В то же время количество изопреноидов (пристана и фитана) возросло за 10 суток во всех образцах, как на свету, так и в условиях темноты: с 1,2 до 4,1 и 6,8 мкг/л соответственно (табл. 1). Увеличение содержания фитана и пристана, особенно в темноте, может объясняться деструктивными процессами у микроводорослей вследствие токсического эффекта нефтяных углеводородов. Известно, что основным источником данных соединений является хлорофилл [18]. В процессе распада данного пигмента выделяется фитол, который, в свою очередь, трансформируется в указанные углеводороды.

Воздействие дизтоплива на количественные характеристики диатомовых водорослей, динофлагеллят и инфузорий. В эксперименте использовалась природная морская вода с естественной ассоциацией пелагических организмов: диатомовые, инфузории, динофлагелляты (табл. 1).

На долю диатомовых водорослей приходился 91 % сообщества (12747 кл./л). Динофлагелляты и инфузории составили 7,86 % (1100 кл./л) и 1,06 % (148 кл./л) соответственно. Наиболее массовыми среди диатомовых водорослей были представители родов *Chaetoceros*, *Leptocylindrus*, *Nitzschia*.

Таблица 1. Видовой состав ассоциации пелагических организмов, использованных в эксперименте
Table 1. Species composition of the association of pelagic organisms in the experiment

Диатомовые водоросли Diatoms	Инфузории Ciliates	Динофлагелляты Dinoflagellates
<i>Amphiprora</i> sp.	<i>Helicostomella subulata</i>	<i>Ceratium lineatum</i>
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Parafavella denticulata</i>	<i>Dinophysis acuminata</i>
<i>Chaetoceros decipiens</i>	<i>Ptychocylis obtusa</i>	<i>Dinophysis norvegica</i>
<i>Chaetoceros</i> sp.	Tintinnida Kofoid et Campbell, 1929, incertae familiae	<i>Prorocentrum</i> aff. <i>balticum</i>
<i>Corethron criophilum</i>	<i>Tontonia / Paratontonia</i> sp.*	<i>Gyrodinium lachryma</i>
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>		<i>Heterocapsa triquetra</i>
<i>Leptocylindrus danicus</i>		<i>Pronoctiluca pelagica</i>
<i>Melosira moniliformis</i>		<i>Protoperidinium ovatum / P. arcticum</i> *
<i>Melosira nummuloides</i>		<i>Ceratium fusus</i>
<i>Pseudo-nitzschia</i> compl. <i>delicatissima</i>		<i>Ceratium longipes</i>
<i>Nitzschia longissimi / Cyllindrotheca closterium</i> *		
<i>Proboscia alata</i>		
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i>		
<i>Surirella ovata</i>		
<i>Synedra tabulata</i> (= <i>Fragilaria fasciculata</i>)		
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>		
<i>Thalassiosira gravida / Th. antarctica</i> *		

Примечание. * – виды из этих пар при учете не разделялись, поэтому для каждой пары это мог быть только один из этих видов или оба сразу, учтенные суммарно.

Note. * – The species from these pairs were not separated during the count, so for each pair it could be only one of these species or both at once, counted in total.

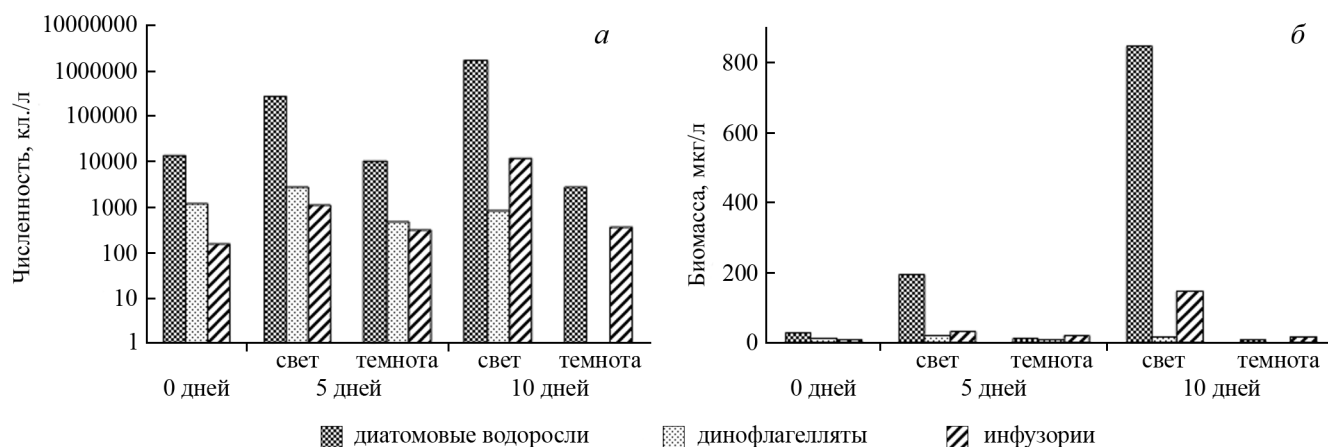


Рис. 1. Количественные показатели диатомовых водорослей, динофлагеллят и инфузурий в ходе эксперимента в чистой воде: *а* – численность, *б* – биомасса.

Fig. 1. The number of diatoms, dinoflagellates and infusoria during the experiment in clean water: *a* – number, *b* – biomass.

В ходе эксперимента отмечено изменение численности исследуемых организмов (рис. 1). Так, инфузории присутствовали до конца эксперимента во всех образцах. При этом на свету их численность возросла со 148 до 1065 кл./л к пятым суткам и до 11600 кл./л к десятым. В темноте также отмечено увеличение их численности, но оно было не так выражено, как в условиях освещенности: до 338 кл./л к концу эксперимента.

Численность динофлагеллят на свету к пятым суткам эксперимента увеличилась до 2684 кл./л. К десятым суткам зарегистрировано снижение их количества до 800 кл./л. В условиях темноты на пятые сутки их число было значительно меньше (440 кл./л), а к десятым суткам опыта присутствие динофлагеллят в воде уже не отмечено.

Количество диатомовых водорослей на свету на пятые сутки увеличилось до 266185 кл./л, а на десятые сутки было отмечено 1656000 кл./л. В темноте в ходе эксперимента численность снизилась до 9598 кл./л на пятые сутки и до 2699 кл./л на десятые.

Биомасса динофлагеллят в эксперименте в варианте без добавления дизельного топлива уменьшалась на свету и в темноте. На десятые сутки опыта она снизилась до нулевых значений.

Биомасса диатомовых водорослей при освещении значительно увеличилась от 24,47 мкг/л в начале эксперимента до 212 мкг/л на пятые сутки. К десятым суткам наблюдалось небольшое ее снижение до 199 мкг/л. В условиях темноты биомасса диатомовых водорослей постепенно уменьшалась до 5 мкг/л к пятым суткам и к нулевому значению в конце эксперимента.

При внесении дизтоплива наблюдалась несколько иная картина (рис. 2). В экспериментальных емкостях с добавлением дизтоплива количество диатомовых водорослей на свету уже к пятым суткам увеличилось более чем на порядок, с 12747 до 318576 кл./л. В дальнейшем, к десятым суткам, их число возросло до 598453 кл./л. В целом картина схожа с той, что наблюдалась в емкостях без дизтоплива.

Численность динофлагеллят при добавлении дизтоплива снижается к пятым суткам как на свету, так и в темноте с 1100 до 757 и 233 кл./л соответственно. При этом в темноте уменьшение численности было более выражено и составило около 4,7 раза. На десятые сутки в условиях темноты динофлагелляты не обнаруживались, а на свету их численность относительно пятых суток снизилась более чем в 2,5 раза, до 270 кл./л.

Наиболее остро токсический эффект от нефтепродуктов проявлялся на инфузориях. Исходное их значение достигало 148 кл./л. На пятые сутки они присутствовали только в емкостях, находившихся в условиях темноты, и их численность составляла до 25 кл./л. В освещенных емкостях инфузории не зафиксированы. На десятые сутки данная группа организмов не отмечена ни в одной емкости.

Биомасса инфузурий в варианте с добавлением дизтоплива увеличивается как в условиях освещенности, так и в темноте. Однако на свету данный рост более выражен: от 5,44 до 143 мкг/л (при значениях до 15 мкг/л в темноте). Биомасса динофлагеллят на свету также увеличивается, а в условиях темноты уменьшается и к концу эксперимента достигает нуля. Для диатомовых водорослей наблюдается сходная картина. На свету отмечается резкое

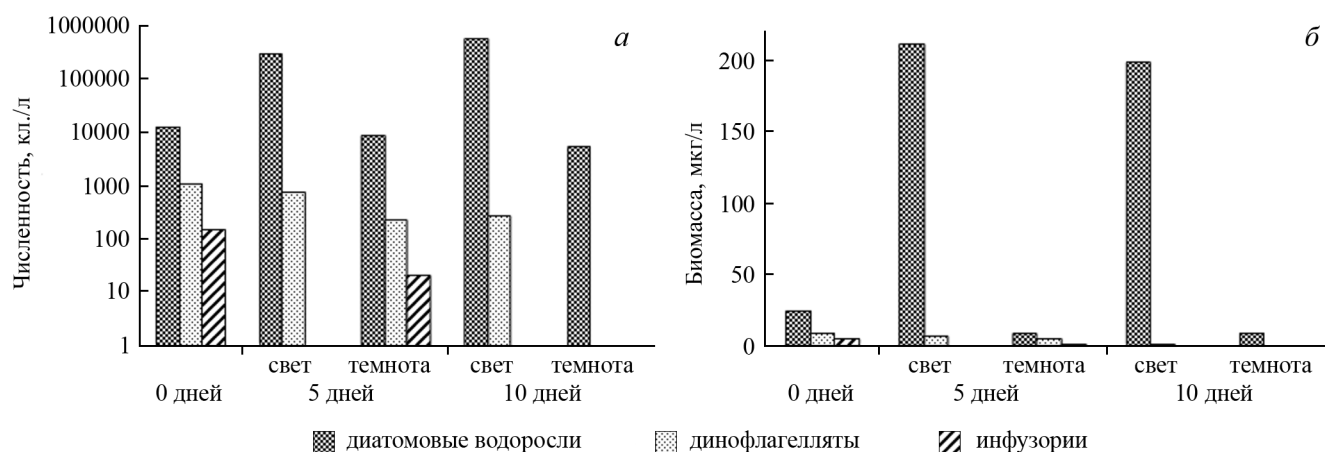


Рис. 2. Количественные показатели диатомовых водорослей, динофлагеллят и инфузорий в ходе эксперимента в присутствии дизтоплива: *a* – численность, *б* – биомасса.

Fig. 2. The number of diatoms, dinoflagellates and infusoria during the experiment in the presence of diesel fuel: *a* – number, *b* – biomass.

увеличение биомассы с 24,47 до 193 мкг/л на пятые сутки и до 848 мкг/л на десятые. В темноте же биомасса заметно уменьшается.

Нужно отметить, что различающиеся по строению и таксономической принадлежности микроводоросли реагируют на присутствие в среде загрязнителя по-разному [4; 3].

Ранее экспериментально было показано, что водные экстракты семи видов сырой нефти оказывали негативное воздействие на фитопланктон и различались между собой по степени токсичности [11]. Для большинства диатомовых водорослей, обитающих в различных морях, была показана высокая чувствительность к сырой нефти.

В работе по микроводорослям Кольского залива отмечалось, что даже краткосрочное (несколько дней) воздействие комплекса нефтяных углеводородов в концентрации 3 мг/л приводит к изменению численности и таксономической структуры пелагического сообщества [19]. По результатам работы авторы предлагают указанную концентрацию считать сублетальной для фитопланктона.

В исследованиях О.Г. Миронова [2; 20] показано, что наиболее чувствительными к присутствию нефтепродуктов в среде были диатомовые и жгутиковые микроводоросли. В ряде случаев негативный эффект отмечался уже при концентрациях, не превышающих и даже меньше предельно допустимых.

В нашем эксперименте для всех исследуемых групп микроорганизмов под влиянием дизтоплива отмечено уменьшение количественных показателей. Так, численность и биомасса диатомовых водорослей, динофлагеллят и инфузорий была заметно выше в чистой воде, без добавления дизтоплива.

При этом количество клеток диатомовых водорослей, как и их биомасса, в присутствии дизтоплива многократно увеличивается на свету. В темноте же отмечается снижение этих показателей. В экспериментальных условиях токсический эффект от влияния дизтоплива наиболее ярко проявляется у диатомовых водорослей.

Как уже было отмечено выше, роль морских простейших, например инфузорий, в процессах биодеструкции нефтяных углеводородов исследована не настолько полно, как роль бактерий и микроводорослей. Также остаются вопросы относительно воздействия нефтепродуктов на данную группу организмов. Большая часть работ, касающихся данной тематики, выполнена на почвенных или пресноводных инфузориях. Что касается морских инфузорий, то они могут развиваться на нефтяных остатках и в морской воде, содержащей нефти до 0,1 мл/л. В комплексе с углеводородокисляющими бактериями такие инфузории участвуют в процессах преобразования и деструкции нефтяных углеводородов [21].

Проведенные нами экспериментальные исследования показали, что нефтяные углеводороды приводят к гибели инфузорий. Количество и биомасса инфузорий, в отличие от количества и биомассы диатомовых водорослей, увеличивается в ходе эксперимента без дизтоплива как на свету, так и в темноте. На свету это возрастание более выражено.

Что касается динофлагеллят, то к десятым суткам эксперимента как в присутствии дизтоплива, так и без него их количество и биомасса снижается. При этом в условиях темноты на десятые сутки они не отмечаются вовсе.

Однако помимо присутствия дизтоплива в среде не менее важным является фактор освещенности, что логично, учитывая, что у большинства диатомовых водорослей метаболизм зависит от данного фактора. В условиях освещенности даже в присутствии дизтоплива численность диатомовых водорослей и инфузорий была значительно выше, чем в темноте. Полученные нами данные позволяют сделать предположение, что для диатомовых водорослей и инфузорий значимым фактором (наряду с присутствием/отсутствием нефтепродуктов) является свет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально показано, что исследованный комплекс микроорганизмов способен участвовать в процессах деструкции и трансформации нефтяных углеводородов. Отмечено, что указанные процессы идут интенсивнее в условиях темноты. Выявлено токсическое воздействие дизтоплива на диатомовые водоросли, динофлагелляты и инфу-

зории, которое выражается в уменьшении численности и биомассы микроорганизмов. Наибольший токсический эффект отмечен для инфузорий, которые в присутствии дизтоплива не выявлялись уже на пятый день эксперимента. Для диатомовых водорослей и динофлагеллят в присутствии дизтоплива зарегистрировано постепенное снижение количественных показателей. Можно предположить, что для диатомовых водорослей и инфузорий важным фактором для сохранения жизнеспособности (наряду с присутствием/отсутствием нефтепродуктов) является свет.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 22-17-00243 «Радиационная океанология и геоэкология прибрежного шельфа Баренцева и Белого морей. Биокосные взаимодействия в системе: донные отложения – вода – макроводоросли – микроорганизмы, их роль в ремедиации морской прибрежной экосистемы при радиационном и химическом загрязнении в условиях Арктики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов О.Г. 1972. *Биологические ресурсы моря и нефтяное загрязнение*. М., Пищевая промышленность: 105 с.
2. Миронов О.Г. 1985. *Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами*. Л., Гидрометеиздат: 127 с.
3. Хромов В.М. 1977. Влияние нефтепродуктов на планктонное сообщество. В кн: *Проблемы изучения действия загрязнителей на экосистемы северных морей*. Апатиты, КФ АН СССР: 44–56.
4. Prouse N.J., Gordon D.C. Jr, Keizer P.D. 1976. Effects of low concentrations of oil accommodated in sea water on the growth of unialgal marine phytoplankton cultures. *Journal of the Fisheries Board of Canada*. 33(4): 810–818. doi: 10.1139/f76-098
5. Chan K.Y., Chiu S.Y. 1985. The effects of diesel oil and oil dispersants on growth, photosynthesis, and respiration of *Chlorella salina*. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 14(3): 325–331. doi: 10.1007/BF01055410
6. Gordon D.C., Prouse N.J. 1973. The effects of three oils on marine phytoplankton photosynthesis. *Marine Biology*. 22(4): 329–333. doi: 10.1007/BF00391389
7. Нельсон-Смит А. 1977. *Нефть и экология моря*. М., Прогресс: 303 с.
8. Hsiao S.I., Kittle D.W., Foy M.G. 1978. Effects of crude oils and the oil dispersant corexit on primary production of arctic marine phytoplankton and seaweed. *Environmental Pollution*. 15(3): 209–221. doi: 10.1016/0013-9327(78)90066-6
9. Патин С.А. 2017. *Нефть и экология континентального шельфа*. М., изд-во ВНИРО: 245 с.
10. Макаревич П.Р. 2013. Воздействие разработки объектов морского нефтегазового комплекса на пелагические фитопланктоны Баренцева моря. *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 16(3): 478–485.
11. Kauss P.B., Hutchinson T.C., Griffiths M. 1972. Field and laboratory studies of the effects of crude oil spills on phytoplankton. *Inst. Environ. Sci. Proc.* 18: 22–26.
12. Karydis M., Fogg G.E. 1980. Physiological effects of hydrocarbons on the marine diatom *Cyclotella cryptica*. *Microbial Ecology*. 6(4): 281–290. doi: 10.1007/BF02010491
13. Абакумов В.А. 1983. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений*. Л., Гидрометеиздат: 240 с.
14. Соловьева А.А. 1976. Первичная продукция и фитопланктон в прибрежных водах Баренцева моря. В кн: *Биология Белого и Баренцева морей*. Апатиты, КФ АН СССР: 25–32.
15. Makarevich P.R., Larionov V.V., Druzhkov N.V. 1993. Mean weights of dominant phytoplankton species of the Barents Sea. *Альгология*. 3(1): 103–106.
16. Кольцова Т.И. 1970. Определение объема и поверхности клеток фитопланктона. *Научные доклады высшей школы. Биологические науки*. 6: 114–120.
17. Воскобойников Г.М., Рыжик И.В., Салахов Д.О., Метелькова Л.О., Жаковская З.А., Лопушанская Е.М. 2020. Поглощение и преобразование дизельного топлива водорослью *Palmaria palmata* (Linnaeus) F. Weber et D. Mohr, 1805 (Rhodophyta) и ее возможная роль в биоремедиации морской воды. *Биология моря*. 46(2): 135–141. doi: 10.31857/S0134347520020102
18. Dean R.A., Whitehead E.V. 1961. The occurrence of phytane in petroleum. *Tetrahedron Letters*. 2(21): 768–770. doi: 10.1016/S0040-4039(01)99264-0
19. 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. 2009. Полевые и лабораторные испытания ин-

- дикаторных видов. В кн: *Новые технологии мониторинга природных процессов в зоне взаимодействия пресных и морских вод (биологическая индикация)*. Апатиты, Кольский научный центр РАН: 132–161.
20. Mironov O.G. 1972. Effect of oil pollution on flora and fauna of the Black Sea. In: *Marine Pollution and Sea Life*. London, Fishing News Books: 222–224.
21. Миронов О.Г., Авдеева С.У. 1973. Влияние нефтяного загрязнения на развитие некоторых черноморских инфузорий. *Научные доклады высшей школы. Биологические науки*. 5: 19–21.
- REFERENCES
1. Mironov O.G. 1972. *Biologicheskie resursy morya i nefyanoe zagryaznenie*. [Biological resources of the sea and oil pollution]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost': 105 p. (In Russian).
2. Mironov O.G. 1985. *Vzaimodeystvie morskikh organizmov s nefyanyimi uglevodородami*. [Interaction of marine organisms with petroleum hydrocarbons]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 127 p. (In Russian).
3. Khromov V.M. 1977. [The influence of petroleum products on the plankton community]. In: *Problemy izucheniya deystviya zagryazniteley na ekosistemy severnykh morey*. [Problems of studying the effect of pollutants on the ecosystems of the northern seas]. Apatity, Kola Branch of the USSR Academy of Sciences: 44–56. (In Russian).
4. Prouse N.J., Gordon D.C. Jr, Keizer P.D. 1976. Effects of low concentrations of oil accommodated in sea water on the growth of unialgal marine phytoplankton cultures. *Journal of the Fisheries Board of Canada*. 33(4): 810–818. doi: 10.1139/f76-098
5. Chan K.Y., Chiu S.Y. 1985. The effects of diesel oil and oil dispersants on growth, photosynthesis, and respiration of *Chlorella salina*. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 14(3): 325–331. doi: 10.1007/BF01055410
6. Gordon D.C., Prouse N.J. 1973. The effects of three oils on marine phytoplankton photosynthesis. *Marine Biology*. 22(4): 329–333. doi: 10.1007/BF00391389
7. Nelson-Smith A. 1977. *Neft' i ekologiya morya*. [Oil and ecology of sea]. Moscow, Progress: 303 p. (In Russian).
8. Hsiao S.I., Kittle D.W., Foy M.G. 1978. Effects of crude oils and the oil dispersant corexit on primary production of arctic marine phytoplankton and seaweed. *Environmental Pollution*. 15(3): 209–221. doi: 10.1016/0013-9327(78)90066-6
9. Patin S.A. 2017. *Neft' i ekologiya kontinental'nogo shel'fa*. [Oil and ecology of the continental shelf]. Moscow, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography: 245 p. (In Russian).
10. Makarevich P.R. 2013. [The impact of oil and gas facilities development on the pelagic phytocenoses of the Barents Sea]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 16(3): 478–485. (In Russian).
11. Kauss P.B., Hutchinson T.C., Griffiths M. 1972. Field and laboratory studies of the effects of crude oil spills on phytoplankton. *Inst. Environ. Sci. Proc.* 18: 22–26.
12. Karydis M., Fogg G.E. 1980. Physiological effects of hydrocarbons on the marine diatom *Cyclotella cryptica*. *Microbial Ecology*. 6(4): 281–290. doi: 10.1007/BF02010491
13. Abakumov V.A. 1983. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy*. [Guidelines for methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 240 p. (In Russian).
14. Solov'eva A.A. 1976. [Primary production and phytoplankton in the coastal waters of the Barents Sea]. In: *Biologiya Belogo i Barentseva morey*. [Biology of White and Barents seas]. Apatity, Kola Branch of the USSR Academy of Sciences: 25–32. (In Russian).
15. Makarevich P.R., Larionov V.V., Druzhkov N.V. 1993. Mean weights of dominant phytoplankton species of the Barents Sea. *Al'gologiya*. 3(1): 103–106.
16. Kol'tsova T.I. 1970. [Determination of the volume and surface of phytoplankton cells]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskie nauki*. 6: 114–120. (In Russian).
17. Voskoboinikov G.M., Ryzhik I.V., Salakhov D.O., Metelkova L.O., Zhakovskaya Z.A., Lopushanskaya E.M. 2020. Absorption and conversion of diesel fuel by the red alga *Palmaria palmata* (Linnaeus) F. Weber et D. Mohr, 1805 (Rhodophyta): The potential role of alga in bioremediation of sea water. *Russian Journal of Marine Biology*. 46(2): 113–118. doi: 10.1134/S1063074020020108
18. Dean R.A., Whitehead E.V. 1961. The occurrence of phytane in petroleum. *Tetrahedron Letters*. 2(21): 768–770. doi: 10.1016/S0040-4039(01)99264-0
19. Makarevich P.R., Gudimov A.V., Lyubina O.S., Frolov A.A., Frolova E.A., Voskoboynikov G.V., Il'in G.V., Kasatkina N.E., Stepanyan O.V., Kreneva S.V., Kreneva K.V., Semin V.L. 2009. [Field and laboratory tests of indicator species]. In: *Novye tekhnologii monitoringa prirodnykh protsessov v zone vzaimodeystviya presnykh i morskikh vod (biologicheskaya indikatsiya)*. [The new technologies for monitoring natural processes in fresh and marine waters interaction zone (biological indication)]. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 132–161. (In Russian).
20. Mironov O.G. 1972. Effect of oil pollution on flora and fauna of the Black Sea. In: *Marine Pollution and Sea Life*. London, Fishing News Books: 222–224.
21. Mironov O.G., Avdeeva S.U. 1973. [The influence of oil pollution on development of some infusoria in the Black Sea]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskie nauki*. 5: 19–21. (In Russian).

Поступила 15.07.2022