

Оценка влияния абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря

Д.Г. Баубекова  , В.В. Проскурина 

 suslig.zenia@mail.ru

Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Астрахань, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. В условиях дальнейшего развития промышленности Каспийского региона одной из основных природоохранных проблем является реализация устойчивых мер экологического мониторинга акватории Каспийского моря, в частности, проведение комплексных наблюдений за состоянием экосистем Каспия. В рамках поставленной задачи проведена оценка влияния абиотических факторов – гидрологического и температурного режимов – на изменение численности групп гетеротрофных бактерий в северной части Каспийского моря в весенний, летний и осенний периоды 2020–2021 гг. **Методы.** Использованы стандартные микробиологические методы исследований, проведен анализ статистических и полевых данных. **Результаты.** Анализ сезонной динамики показал, что на всех этапах исследований количественные показатели сапротрофов были обусловлены воздействием природных факторов: половодьем, стоком Волги, температурным режимом. При этом обнаружено менее выраженное влияние температурного и гидрологического режимов на численность нефтеокисляющих бактерий, что, возможно, связано с особенностями метаболизма нефтедеструкторов. Концентрация сапротрофной группы была больше по отношению к нефтеокисляющей на протяжении всего периода проведенных исследований, что вполне закономерно и косвенно указывает на незначительное содержание нефти и ее производных на изучаемой акватории Северного Каспия. Наблюдаемые изменения микробиологических параметров исследуемых групп гетеротрофов связаны с сезонными условиями и абиотическими факторами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бактериопланктон, бактериобентос, гетеротрофы, сапротрофные бактерии, нефтеокисляющие бактерии, нефтедеструкторы, абиотические факторы, Северный Каспий.

Для цитирования: Баубекова Д.Г., Проскурина В.В. Оценка влияния абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 5. С. 71-84. DOI: 10.35567/19994508_2023_5_6.

Дата поступления 23.01.2023.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SOME ABIOTIC FACTORS
ON HETEROTROPHIC BACTERIOCOENOSIS OF WATER AND BOTTOM
SEDIMENTS IN THE NORTHERN PART OF THE CASPIAN SEA

Dinara G. Baubekova  , Victoria V. Proskurina 

 suslig.zenia@mail.ru

Volga-Caspian Branch All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Astrakhan, Russia

ABSTRACT

Relevance. The article presents data on the abundance of saprotrophic and oil-oxidizing bacterioplankton and bacteriobenthos in the waters of the Northern Caspian in the spring, summer and autumn periods of research in 2020–2021. The influence of abiotic factors, such as hydrological and temperature regimes, on the abundance of the studied groups of heterotrophic bacteria in the northern part of the Caspian Sea was assessed. **Methods.** We used standard microbiological research method, and analyzed statistical and field data. **Results.** The analysis of seasonal dynamics has shown that at all stages of research, the quantitative indicators of saprotrophs were caused by the influence of natural factors: floods, the Volga River flow, and temperature regime. At the same time, a less pronounced effect of temperature and hydrological regimes on the number of oil-oxidizing bacteria was found, which might be due to the peculiarities of the metabolism of oil decomposers. The concentration of the saprotrophic group was higher in relation to the oil-oxidizing group throughout the entire period of the studies, which quite naturally and indirectly indicates a low content of oil and its derivatives in the studied water area of the Northern Caspian. The observed changes in the microbiological parameters of the studied groups of heterotrophs are associated with seasonal conditions and abiotic factors.

Keywords: bacterioplankton, bacteriobenthos, heterotrophs, saprotrophic bacteria, oil-oxidizing bacteria, oil destructors, abiotic factors, Northern Caspian.

For citation: Baubekova D.G., Proskurina V.V. Assessment of the influence of some abiotic factors on heterotrophic bacteriocoenosis of water and bottom sediments in the northern part of the Caspian Sea. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 71–84. DOI: 10.35567/19994508_2023_5_6.

Received 23.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море располагается на границе двух частей Евразийского материка и является крупнейшим водоемом, не имеющим выхода к Мировому океану. Основываясь на особенностях морфологического строения и физико-географических условий, Каспий условно можно разделить на три части – Северный, Средний и Южный [1–3]. Каспийское море, как и прилегающие к нему сухопутные территории, богато различными биологическими ресурсами. При этом разнообразие флоры и фауны Каспия сравнительно невелико, однако отличается высоким эндемизмом [4, 5].

В настоящее время одной из основных природоохранных задач является реализация устойчивых мер экологического мониторинга акватории Каспийского моря при дальнейшем развитии промышленности Каспийского региона, в частности, проведение комплексных наблюдений за состоянием экосистем Каспия. Нефтяная, газовая и рыболовная отрасли не только вносят существенный вклад в развитие экономики государств региона, но и оказывают наибольшее влияние на экологическую систему Каспийского моря, т. к. имен-

но с их деятельностью связаны основные риски негативного воздействия на окружающую среду¹ [6–9]. Проведение экологического мониторинга является важным аспектом современной оценки состояния Каспийского моря.

Основной вклад в процессы биохимического разрушения нефтяных углеводородов вносят микроорганизмы, способные внутриклеточно использовать их в качестве дополнительного источника углерода и энергии [10–12]. К таким бактериям относятся нефтеокисляющие бактерии или нефтедеструкторы. Данные микроорганизмы являются частью гетеротрофного микробного сообщества и присутствуют как в загрязненных, так и в незагрязненных экосистемах² [13, 14]. Однако поступление нефти и нефтепродуктов в экосистему вносит дополнительный источник углерода, который стимулирует развитие данной группы бактерий [15–17].

Связь между численностью нефтеокисляющих бактерий и количеством нефтеуглеводородов в морской среде не всегда выражена, однако изучение численности и особенностей пространственного распределения нефтедеструкторов относительно акватории Каспийского моря является в настоящее время весьма важным аспектом экологического мониторинга.

Сапротрофная группа бактериоценозов Каспийского моря также представляет интерес для микробиологических исследований. Сапротрофы – это обширная группа гетеротрофов, изучение количественных показателей которой лежит в основе санитарно-бактериологического контроля водоемов, позволяет оценить степень загрязнения и качество исследуемых вод.

Помимо антропогенного влияния значительное воздействие на экосистемы Каспия продолжают оказывать абиотические факторы, корректирующие распределение и развитие тех или иных групп макро- и микроорганизмов в биоценозе региона [18, 19].

Целью проведенного в 2020–2021 гг. исследования являлась оценка влияния некоторых абиотических факторов на гетеротрофные бактериоценозы воды и донных отложений в северной части Каспийского моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – морская вода поверхностного и придонного горизонтов, а также донные отложения. Отбор проб морской воды и грунта для микробиологических исследований проводили в весенний (60 проб), летний (192 пробы) и осенний (60 проб) периоды 2020–2021 гг. в соответствии с нормативной документацией^{3,4} с помощью батометра ГР–18 и дночерпателя «Океан–50» в стерильные полимерные контейнеры.

¹ Каспийское море. Состояние окружающей среды // Доклад Временного Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря (Тегеранской конвенции). 2019. 147 с.

² Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. М.: Министерство сельского хозяйства и природопользования РФ, 1999. 18 с.

³ ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 5 с.

⁴ ГОСТ 31942–2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. М.: Стандартиформ, 2013. 27 с.

Микробиологические исследования осуществляли согласно общепринятым методикам определения количества клеток [20, 21] путем высева соответствующих разведений на специализированные плотные питательные среды (питательный агар, среда Теппер) в пяти повторностях. Десорбцию микроорганизмов донных отложений проводили путем десятиминутного встряхивания суспензии первого разведения с навеской грунта. Для определения сапротрофных бактерий соответствующее разведение полученной суспензии высевали на питательный агар, для определения нефтеокисляющих бактерий использовали среду Теппер с добавлением 1,00 % сырой нефти в качестве единственного источника углерода^{5,6} [14, 20, 21]. После инкубирования подсчитывали количество выросших на агаре колоний: для сапротрофных бактерий – через 72 ч, нефтеокисляющих – через 72–144 ч.

Коэффициент корреляции Пирсона рассчитывали общепринятыми статистическими методами [22, 23]. Оценку разброса данных в экспериментах проводили подсчетом средних величин и среднего квадратичного отклонения для выявления доверительного интервала при 95 % уровне значимости. Результаты экспериментов обрабатывали стандартными методами математической статистики с помощью пакета программы Microsoft Excel, Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка влияния абиотических факторов на изменение численности сапротрофной группы гетеротрофов показала, что весной 2020 г. складывалась микробиологическая ситуация (рис. 1), характерная для сапротрофного бактериоценоза Северного Каспия в исследуемый период, которая носила временный сезонный характер и определялась поступлением большого количества аллохтонных микроорганизмов и органического вещества в морскую экосистему с паводковыми водами (38,5 км³), а также температурным водным режимом (14,3–16,7 °С). Летом отмечено повышение численности сапротрофной группы бактериопланктона и бактериобентоса за счет прогрева толщи морской воды (23,9–24,3 °С). Также необходимо отметить, что паводок в 2020 г. был длительным с дополнительными попусками воды в середине лета (133,5 км³), что обеспечивало продолжающееся привнесение аллохтонных бактерий и органики. В осенний период исследований численность сапротрофных бактерий в морской воде и донных отложениях значительно снизилась, что закономерно и связано с существенным снижением температуры воды (до 2,7–2,9 °С) и небольшими попусками (15,08 км³).

В ходе проведенного анализа корреляционной зависимости численности сапротрофов в поверхностном ($R=0,98$), придонном горизонтах ($R=0,97$) и грунте ($R=0,95$) от температуры морской воды обнаружена прямая корреляция численности исследуемой группы гетеротрофов от температурного фактора

⁵ МУК 4.2.1884–04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. 108 с.

⁶ МУК 4.2.3695–21. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 16 с

($p \leq 0,05$). С повышением температуры численность сапротрофной группы бактерий увеличивалась, при этом снижение прогрева водной толщи, наоборот, приводило к уменьшению количества сапротрофов в исследуемых горизонтах. Анализ влияния гидрологического фактора на рассматриваемый микробиологический показатель также показал наличие прямой корреляции численности сапротрофов от стока: для поверхностного горизонта – $R=0,95$; придонного – $R=0,99$; грунта – $R=0,76$ ($p \leq 0,05$). Увеличение попусков воды приводило к повышению количественных величин сапротрофной группы гетеротрофов, снижение – к уменьшению численности сапротрофов в горизонтах.

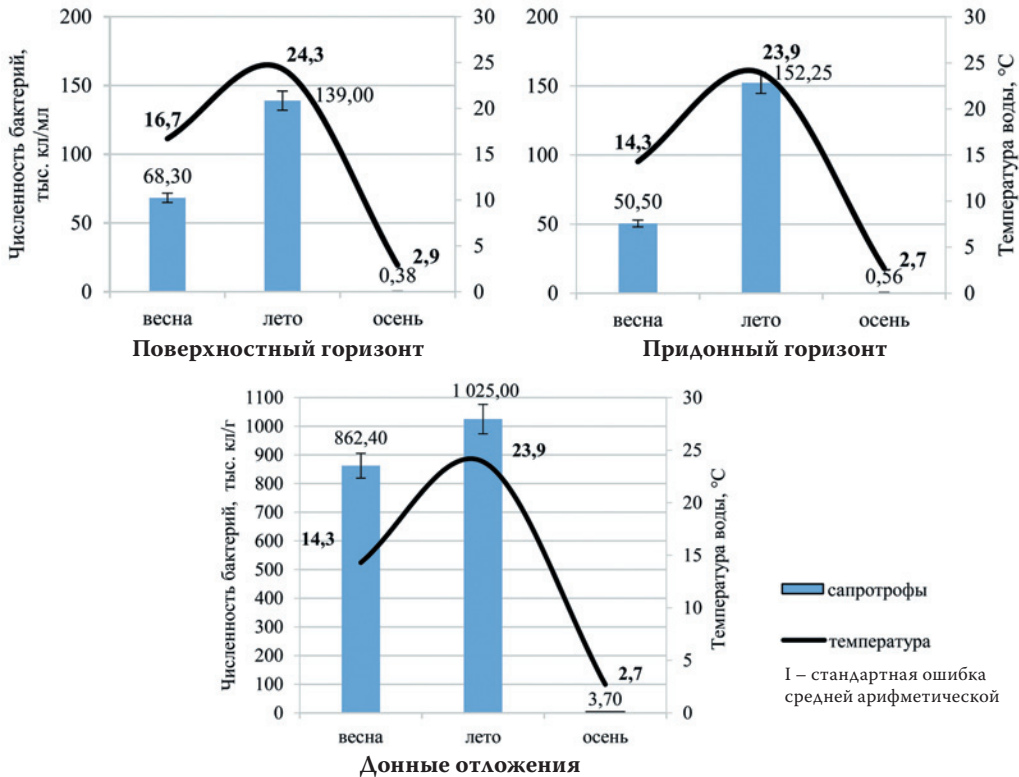


Рис. 1. Средняя численность сапротрофных бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2020 г. (различия достоверны при $p \leq 0,05$).

Fig. 1. The average number of saprotrophic bacteria and the average water temperature by season in 2020 (differences are significant at $p \leq 0,05$).

На акватории северной части Каспийского моря в поверхностном горизонте морской воды отмечено снижение концентрации нефтеокисляющих бактерий от весны к осени (рис. 2). В воде у дна и грунте их численность незначительно возрастала летом и снижалась в осенний период. Известно, что одним из факторов, влияющих на развитие данной группы гетеротрофов, является наличие нефти и ее производных в морской воде. Нефтеокисляющие бактерии, как часть гетеротрофного микробного сообщества, способны утилизировать нефть в качестве дополнительного источника питания. При поступлении

в морскую экосистему нефти и ее производных образуется дополнительный источник углерода, что стимулирует развитие нефтедеструкторов [15, 24, 25]. Низкая их концентрация на исследованной акватории косвенно свидетельствует о незначительном содержании нефти в морской воде и о смещении численного преобладания гетеротрофных бактерий в сторону сапротрофов.

На основе оценки влияния абиотических факторов на изменение численности нефтеокисляющей группы бактерий регистрировали прямую корреляцию количественных показателей нефтедеструкторов от температуры и стока. Как и в случае сапротрофов, увеличение количественных показателей абиотических факторов приводило к повышению численности изучаемой группы гетеротрофов, уменьшение величин рассматриваемых факторов сопровождалось снижением концентрации нефтедеструкторов. Для поверхностного горизонта морской воды корреляция составляла $R=0,67$; для придонного – $R=0,98$; для донных отложений – $R=0,91$ в отношении температурного фактора ($p \leq 0,05$). Гидрологический фактор также оказывал влияние на развитие исследуемой группы гетеротрофов в воде у дна ($R=0,84$) и грунте ($R=0,68$), ($p \leq 0,05$). Лишь в воде у поверхности корреляционная зависимость не обнаружена ($R=0,23$), что может объясняться влиянием других факторов, в частности, метаболическими особенностями нефтеокисляющих бактерий.

В результате проведенных исследований весной 2020 г. численность сапротрофного и нефтеокисляющего бактериопланктона доминировала в поверхностном слое морской воды Северного Каспия (рис. 1, рис. 2), что вполне закономерно [26–30]. При этом на всех этапах исследований концентрация сапротрофов преобладала над нефтедеструкторами. В целом, весной высокие показатели численности изучаемой сапротрофной группы гетеротрофов были обусловлены воздействием абиотических факторов, таких как сток Волги, температурный режим, доступное органическое вещество. Летом, наряду с абиотическими факторами (продолжительный сезон вегетации, высокий теплоспас), на концентрацию сапротрофных микроорганизмов дополнительно оказывали влияние ветра (до 10 м/с) за счет увеличения количества взвешенного вещества в морской воде. На осеннем этапе исследований лимитирующим развитие сапротрофного бактериоценоза фактором являлась низкая температура морской воды.

Учитывая гидрологический и температурный режимы, продолжительность и объем половодья 2020 г. можно сделать вывод о влиянии природных факторов на численность сапротрофов в северной части Каспийского моря, что подтверждается корреляционной зависимостью. В случае влияния температурного и гидрохимического режимов на концентрацию нефтеокисляющих бактерий в исследуемые периоды также обнаружена менее выраженная корреляционная зависимость, что, возможно, в большей степени связано с особенностями метаболизма нефтедеструкторов.

Анализ вклада абиотических факторов в изменение численности сапротрофных бактерий показал, что весной 2021 г. наблюдались низкие микробиологические показатели (рис. 3). В этот период осуществлялись небольшие

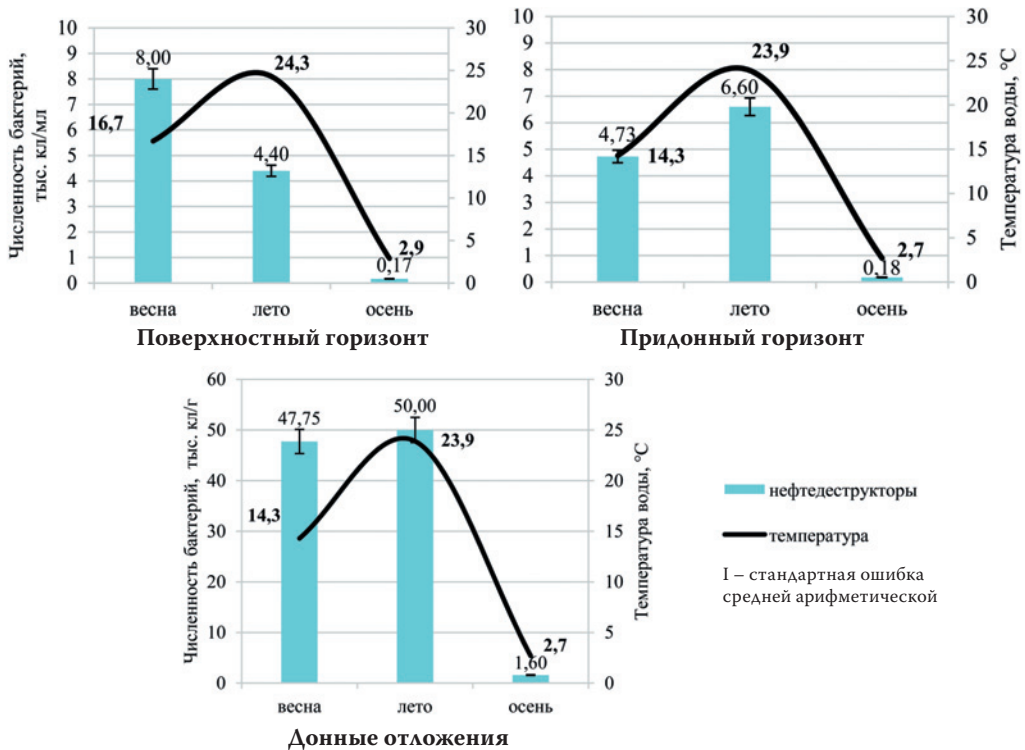


Рис. 2. Средняя численность нефтеокисляющих бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2020 г. (различия достоверны при $p \leq 0,05$).
 Fig. 2. The average number of oil-oxidizing bacteria and the average water temperature by season in 2020 (differences are significant at $p \leq 0,05$).

попуски воды (24,3 км³), при этом половодье началось значительно позже начала проведения исследований, что привело к незначительному поступлению аллохтонных микроорганизмов и органических веществ на исследуемую акваторию. Отмечены также низкие температуры воды в дельте Волги (8,0–8,2 °C) и непосредственно на акватории (8,2–8,4 °C), что указывает на недостаточный для роста бактерий прогрев водных масс. В целом весной абиотические факторы повлияли на незначительное количественное развитие микроорганизмов и дальнейшее поступление их на акваторию северной части Каспийского моря.

Летом отмечено повышение изучаемых микробиологических показателей, однако общее количество рассматриваемых параметров продолжало оставаться на низком уровне. Исследуемый период характеризовался высокими температурами морских вод (24,9–25,3 °C), лимитирующими развитие бактерий. При этом небольшое поступление микроорганизмов в весенний период на акваторию определило низкий уровень их дальнейшего количественного развития летом. Раннее окончание половодья и невысокий сток за второй квартал (97 км³) привели к меньшему поступлению воды на акваторию северной части Каспия и, соответственно, аллохтонных бактерий и органики. В целом микробиологические показатели, хотя и увеличились по сравнению с

данными весенних исследований, но продолжали оставаться на низком уровне, существенно определяясь влиянием природных факторов.

Осенью рассматриваемые микробиологические показатели незначительно снизились. Температурный режим морской воды (18,8–19,0 °С) при небольших попусках (14,57 км³) благоприятно воздействовал на развитие микроорганизмов, что отразилось на уровне микробиологических показателей.

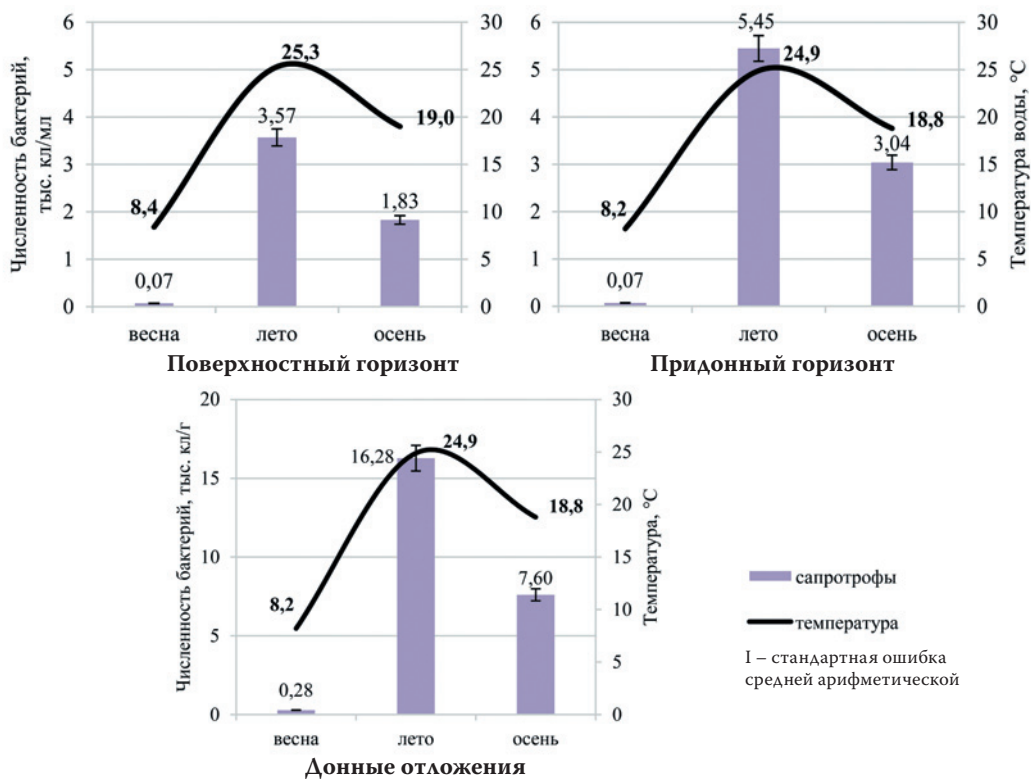


Рис. 3. Средняя численность сапротрофных бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2021 г. (различия достоверны при $p \leq 0,05$).
 Fig. 3. The average number of saprotrophic bacteria and the average water temperature by season in 2021 (differences are significant at $p \leq 0,05$).

В результате определения корреляционной зависимости численности сапротрофной группы гетеротрофов в исследуемых горизонтах от температуры морской воды зарегистрирована прямая корреляция численности сапротрофов от температурного фактора: для поверхностного горизонта – $R=0,99$; придонного – 1,00; грунта – 0,98 ($p \leq 0,05$). Снижение температуры воды приводило к уменьшению количества сапротрофных бактерий в исследуемых горизонтах. С повышением прогрева водной толщи численность сапротрофов увеличивалась. При оценке влияния гидрологического фактора на количественные показатели обнаружена прямая корреляция численности сапротрофов от стока как в воде у поверхности ($R=0,92$), так и в воде у дна ($R=0,98$) и в донных отложениях ($R=0,70$) ($p \leq 0,05$). Снижение стока приводило к уменьшению численности сапротрофов.

ности сапротрофов в исследуемых горизонтах, а увеличение – к повышению концентрации сапротрофной группы бактерий.

Численность нефтеокисляющего бактериопланктона и бактериобентоса от весны к осени незначительно повышалась (рис. 4). В весенний период концентрация нефтеокисляющих бактерий была на низком уровне, летом несущественно увеличилась, осенью регистрировали незначительное повышение численности нефтедеструкторов на исследуемой акватории. Анализ влияния абиотических факторов на изменение численности нефтеокисляющих бактерий показал наличие прямой корреляционной зависимости численности изучаемой группы гетеротрофов от температурного и гидрологического факторов: уменьшение количественных показателей абиотических факторов приводило к снижению концентрации нефтедеструкторов, а увеличение сопровождалось повышением численности нефтеокисляющей группы гетеротрофов. Влияние температуры морской воды на концентрацию нефтедеструкторов показало корреляцию для поверхностного горизонта равную $R=1,00$; для грунта – $R=0,88$ ($p \leq 0,05$). Для придонного горизонта корреляционная зависимость не обнаружена ($R=0,24$), что, вероятно, связано с метаболизмом изучаемых бактерий или воздействием других факторов.

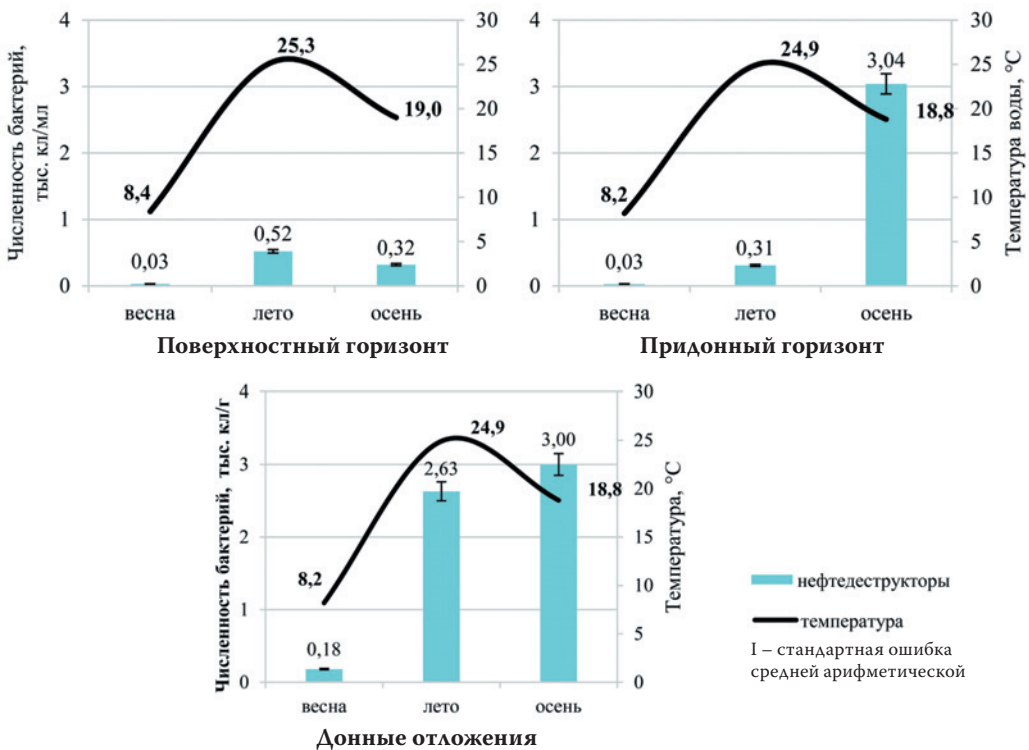


Рис. 4. Средняя численность нефтеокисляющих бактерий и средняя температура воды по сезонам в 2021 г. (различия достоверны при $p \leq 0,05$).
Fig. 4. The average number of oil-oxidizing bacteria and the average water temperature by season in 2021 (differences are significant at $p \leq 0.05$).

Гидрологический фактор демонстрировал меньшую корреляционную зависимость от количественного развития исследуемой группы гетеротрофов в воде у дна $R=0,79$, донных отложений – $R=0,62$ ($p \leq 0,05$). В поверхностном горизонте морской воды значение корреляции было $R=0,15$, что указывает на отсутствие зависимости рассматриваемых показателей.

В результате анализа полученных данных в 2021 г. установлено, что численность сапрофитного и нефтеокисляющего бактериопланктона весной в поверхностном и придонном слоях морской воды была низкой и находилась на одном уровне, что обусловлено гидрологическими и температурными особенностями периода исследований (рис. 3, рис. 4). Концентрация сапротрофной группы бактерий по отношению к нефтеокисляющей была выше на всех этапах проведенных исследований, как и в 2020 г. Небольшая численность сапротрофов обусловлена поздним началом и ранним окончанием половодья, непродолжительным паводком и небольшим объемом стока в 2021 г. При этом температурный режим воды как в русле Волги, так и непосредственно на исследуемой акватории существенно лимитировал развитие микроорганизмов: весной за счет низких температур и летом за счет высоких величин абиотического фактора. Низкая концентрация нефтедеструкторов косвенно указывает на несущественное привнесение нефти и углеводородов на акваторию Северного Каспия. Обнаруженная корреляционная зависимость подтверждает влияние изучаемых природных факторов на количественное распределение сапротрофов в северной части Каспийского моря. В отношении численности нефтеокисляющих бактерий отмечено менее выраженное наличие корреляционной зависимости от температурного и гидрохимического режимов, что, возможно, объясняется метаболическими особенностями нефтедеструкторов.

Проведенная оценка внутригодовой динамики количественного распределения гетеротрофных бактерий в 2020–2021 гг. показала, что на всех этапах исследований микробиологические показатели зависели от воздействия абиотических факторов – половодья, стока Волги, температуры морской воды. На основе данных гидрологического и температурного режимов, продолжительности и объема половодья можно сделать вывод о воздействии изучаемых природных факторов на количественное распределение сапротрофов и нефтедеструкторов в Северном Каспии, что подтверждается установленной корреляционной зависимостью.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного анализа влияния исследуемых абиотических факторов на изменение численности сапротрофных и нефтеокисляющих бактерий в северной части Каспийского моря в 2020–2021 гг. обнаружено, что наблюдаемые изменения микробиологических параметров, заключающиеся в снижении или повышении рассматриваемых количественных показателей изучаемых групп гетеротрофов, связаны с сезонными условиями. Комплекс изучаемых природных факторов в большей степени влияет на развитие сапротрофных бактерий в морской воде и донных отложениях за счет изменения температуры морской воды, стока и половодья.

В совокупности определяющим критерием, влияющим на сапротрофный микробиоценоз Северного Каспия, являются абиотические факторы. В случае распространения и развития нефтеокисляющей группы изучаемых гетеротрофов обнаружено менее выраженное воздействие температурного и гидрологического режимов, что может объясняться особенностями метаболизма нефтедеструкторов. При этом их низкая численность на исследованной акватории Каспийского моря косвенно свидетельствует о небольшом содержании нефти и ее производных в морской воде и о смещении в сторону преобладания сапротрофной группы гетеротрофов. Таким образом, несмотря на продолжающееся антропогенное воздействие на исследуемую акваторию северной части Каспийского моря, наблюдаемые изменения микробиологических параметров как в 2020 г., так и в 2021 г., связаны в большей степени с сезонными условиями и абиотическими факторами – температурным режимом воды, половодьем и стоком Волги.

Благодарность

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность старшему специалисту лаборатории водных проблем и токсикологии Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» Елене Глебовне Лардыгиной за предоставление гидрохимических данных, используемых в статье для анализа полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байдин С.С., Косарев А.Н. Каспийское море: гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. 261 с.
2. Косарев А.Н. Каспийское море: структура и динамика вод. М.: Наука, 1990. 164 с.
3. Гаврилов В.П. Экологические проблемы Каспийского моря // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. № 4 (265). С. 37–45.
4. Иванов В.П. Биологические ресурсы Каспийского моря. Астрахань: КаспНИРХ, 2000. 100 с.
5. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. The Caspian Sea Encyclopedia. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 p.
6. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. New York, 2005. 271 p.
7. Катунин Д.Н. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте р. Волги. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2014. 478 с.
8. Костяной А.Г. О необходимости организации комплексного мониторинга Каспийского моря // Проблемы постсоветского пространства. 2014. № 2. С. 110–140.
9. Габбасова С.М., Аблеева И.Ю. Экологические проблемы Каспийского моря // Мат-лы между. научно-практ. конф. молодых исследователей им. Д.И. Менделеева, посвященной 10-летию Института промышленных технологий и инжиниринга. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. С. 162–164.
10. Кураков А.В. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. М.: Графикон, 2006. 408 с.
11. Wackett L.P. Biodegradation of fuel components // Environmental Microbiology. 2008. Vol. 10. № 5. P. 1380–1381.
12. Odd B., Ingunn N., Liv-Guri F., Per B. Responses of Microbial Communities in Arctic Sea Ice After Contamination by Crude Petroleum Oil // Microbial Ecology. 2013. Vol. 55. № 3. P. 540–552.
13. Барышникова Л.М., Черемис Н.А., Головлев Е.Л. Глюкозный эффект в регуляции транспорта глюкозы клетками *Rhodococcus minimus* // Микробиология. 1994. Т. 3. С. 405–410.

14. Зайцева Т.А., Рудакова Л.В., Комбарова М.М. Микроорганизмы – деструкторы нефти // Научные исследования и инновации. 2010. № 4. С. 59–63.
15. Рубцова С.И. Гетеротрофные бактерии – показатели загрязнения и самоочищения морской среды // Экология моря. 2002. № 62. С. 81–85.
16. Шамраев А.В. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №. 6. С. 642–645.
17. Менькова А.В., Баубекова Д.Г., Дьякова С.А., Галяутдинова Е.Р. Мониторинг углеводородокисляющих бактерий воды и донных отложений на лицензированном участке «Северный» // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений. Астрахань: Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО (КаспНИРХ). 2019. С. 100–104.
18. Карыгина Н.В. Проскурина В.В., Лардыгина Е.Г., Дегтярева Л.В., Кравченко Е.А., Головатых Н.Н., Галлей Е.В., Дьякова С.А., Шокашева Д.И. Абиотические и биотические факторы, формирующие условия обитания биоресурсов Каспийского моря // Сохранение биологических ресурсов Каспия. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2014. С. 210–214.
19. Баубекова Д.Г., Проскурина В.В., Воронина Е.А. Влияние природных факторов на численность сапротрофных и нефтеокисляющих бактерий в северной части Каспийского моря // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. М.: Изд-во ВНИРО, 2022. С. 260–263.
20. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
21. Практикум по микробиологии / под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.
22. Лялин В.С., Зверева И.Г., Никифорова Н.Г. Статистика: теория и практика в Excel: учеб. пос. для вузов. М.: Финансы и статистика: Инфра-М, 2010. 448 с.
23. Новиков Д.А., Новочадов В.В. Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи). Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2005. 84 с.
24. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 527 с.
25. Менькова А.В., Баубекова Д.Г., Дьякова С.А., Галяутдинова Е.Р. Характеристика отдельных групп гетеротрофных бактериоценозов воды и донных отложений на лицензионном участке «Северный» в 2020 г. // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений. Астрахань: Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО (КаспНИРХ), 2021. С. 224–228.
26. Мишустина И.Е., Щеглова И.К., Мицкевич И.Н. Морская микробиология. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 1985. 181 с.
27. Нетрусов А.И., Бонч-Осмоловская Е.А., Горленко В.М. Экология микроорганизмов. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 272 с.
28. Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview // Marine Ecology Progress Series, 1988. Vol. 43. P. 1–10.
29. Милько Е.С., Егоров Н.С. Гетерогенность популяций бактерий и процесс диссоциации (корине- и нокардиоподобные бактерии). М.: Изд-во МГУ, 1991. 120 с.
30. Atlas R.M., Bartha R. Biodegradation of petroleum in seawater at low temperatures // Canadian Journal of Microbiology. 1972. Vol. 18. T. 12. P.1851–1855.

REFERENCES

1. Baidin S.S., Kosarev A.N. Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry. М.: Nauka, 1986. 261 p. (In Russ.).
2. Kosarev A.N. Caspian Sea: Structure and dynamics of waters. М.: Nauka, 1990. 164 p. (In Russ.).
3. Gavrilov V.P. Environmental problems of the Caspian Sea. *Trudy Rossiyskogo Gosudarstvennogo universiteta im. I.M. Gubkina [Proceedings of I.M. Gubkin Russian State Oil and Gas University]*. 2011. No. 4 (265). pp. 37–45 (In Russ.).
4. Ivanov V.P. Biological resources of the Caspian Sea. Astrakhan: CaspNIRKH, 2000. 100 p. (In Russ.).
5. Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M. The Caspian Sea Encyclopedia. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 2010. 527 p.

6. Kostianoy A.G., Kosarev A.N. The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2005. 271 p.
7. Katunin D.N. Hydro/ecological foundations of the ecosystem processes formation in the Caspian Sea and the Volga River delta. Astrakhan: Isd-vo FGUP "KaspNIRKh, 204. 478 p. (In Russ.)
8. Kostyanoy A.G. About the necessity of organization of the Caspian Sea overwhelming monitoring. *Problemy postsovetskogo postranstva [Problems of the post-Soviet area]* 2014. No. 2. P. 110–140 (In Russ.)
9. Gabbasova S.M., Ableyeva I.Y. Ecological problems of the Caspian Sea. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prokticheskoy konferentsiyi molodykh issledovateley im. D. I. Mendeleyeva, psyyashchennoy 10-letiyu Instituta promyshlennykh tekhnologiy i inzhiniringa. [Proceedings of D.I. Mendeleev International scientific/practical conference of young researchers, devoted to the 10th anniversary of the Institute of industrial technologies and engineering.* Tyumen: Tyumen Industrial University] P. 162–164 (In Russ.)
10. Kurakov A.V. Bioindication and rehabilitation of ecosystems in case of petroleum contaminations. M.: Grafikon, 2006. 408 p. (In Russ.)
11. Wackett L.P. Biodegradation of fuel components. *Environmental Microbiology*. 2008. Vol. 10. No. 5. P. 1380–1381.
12. Odd B., Ingunn N., Liv-Guri F., Per B. Resposces of Microbial Communities in Arctic Sea Ice After Contamination by Crude Petroleum Oil. *Microbial Ecology*. 2013. Vol. 55. No. 3. P. 540–552.
13. Baryshnikova L.M., Cheremic N.A., Golovly E.L. Glucose effect in regulation of the glucose transport by *Rhodococcus minimus* cells. *Microbiology*. 1994. V. 3. P. 405–410 Shamraev, A.V. Influence of oil and oil products on various components of the environment. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2009. № 6. P. 642–645 (In Russ.)
14. Zaitseva T.A., Rudakova L.V., Kombarova M.M. Microorganisms as oil destructors. *Nauchniye issledovaniya i innovatsiyi [Scientific research and innovation]*. 2010. № 4. P. 59–63 (In Russ.)
15. Rubtsova S.I. Heterotrophic bacteria as indicators of pollution and self-purification of the marine environment. *Ekologiya morya [Marine ecology]*. 2002. No. 62. P. 81–85 (In Russ.)
16. Shamrayev A.V. Petroleum oil and petroleum oil products effect on various components of environment. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]*. 2009. No. 6. P. 642–645 (In Russ.)
17. Men'kova A.V., Baubekova D.G., Dyakova S.A., Galyautdinova E.R. Monitoring of hydrocarbon-oxidizing bacteria in water and bottom sediments at «Severny» licensed site. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviyakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdeniy [Problems of conservation of the Caspian ecosystem in the conditions of development of oil and gas fields]*. Astrakhan: «VNIRO» Volga-Caspian branch («CaspNIRKH»). 2019. P. 100–104 (In Russ.)
18. Karygina N.V. Proskurina V.V., Lardygina E.G., Degtyareva L.V., Kravchenko E.A., Golovytkh N.N., Galley E.V., Dyakova S.A., Shokasheva D.I. Abiotic and biotic factors that form the living conditions of the Caspian Sea bioresources. *Sokhraneniye biologicheskikh resursov Kaspiya [Preservation of biological resources of the Caspian Sea.]* Astrakhan: Publishing House of ASTU, 2014. P. 210–214 (In Russ.)
19. Baubekova D.G., Proskurina V.V., Voronina E.A. Influence of natural factors on the number of saprotrophic and oil-oxidizing bacteria in the northern part of the Caspian Sea. *Sovremenniye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozaystvennogo kompleksa [Current problems and prospects of the fishery complex development]*. M.: VNIRO Publishing House, 2022. P. 260–263 (In Russ.)
20. Tepper E.Z., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. Workshop on microbiology. M.: Bustard, 2004. 256 p. (In Russ.)
21. Workshop on microbiology / A.I. Netrusov. M.: Academy, 2005. 608 p. (In Russ.)
22. Lyalin V.S., Zvereva I.G., Nikiforova N.G. Statistics: theory and practice in Excell: manual for universities. M.: Finance and statistics, Infra-M, 2010. 448 p. (In Russ.)
23. Novikov D.A., Novochadov V.V. Statistical methods in biomedical experiment (typical cases). Volgograd: Publishing House of VolGMU, 2005. 84 p. (In Russ.)
24. Israel Y.A., Tsyban A.V. Anthropogenic ecology of the ocean. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 527 p. (In Russ.)
25. Men'kova A.V., Baubekova D.G., Dyakova S.A., Galyautdinova E.R. Characteristics of individual groups of heterotrophic bacteriocenoses of water and bottom sediments in the license area

- «Severny» in 2020. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspia vusloviyakh osvoyeniya gazovykh mestorozhdeniy* [Problems of preserving the Caspian ecosystem in the conditions of development of oil and gas fields]. Astrakhan: Volga-Caspian branch of FGBNU «VNIRO» («CaspNIRKh»). 2021. P. 224–228 (In Russ.).
26. Mishustina I.E., Shcheglova I.K., Mitskevich I.N. Marine microbiology. Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern University, 1985. 181 p. (In Russ.).
 27. Netrusov A.I., Bonch-Osmolovskaya E.A., Gorlenko V.M. Ecology of microorganisms. M.: Publishing Center «Academy», 2004. 272 p. (In Russ.).
 28. Cole J.J., Findlay S., Pace M.L. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: A cross-system overview. *Marine Ecology Progress Series*, 1988. Vol. 43. P. 1–10.
 29. Milko E.S., Egorov N.S. Heterogeneity of bacterial populations and the process of dissociation (coryne- and nocardio-like bacteria). M.: Publishing House of Moscow State University, 1991. 120 p. (In Russ.).
 30. Atlas R.M., Bartha R. Biodegradation of petroleum in seawater at low temperatures. *Canadian Journal of Microbiology*. 1972. Vol. 18. V. 12. P.1851–1855.

Сведения об авторах:

Баубекова Динара Гайдаровна, старший специалист, лаборатория ихтиопатологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 414040, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 1; ORCID: 0000-0002-3288-9487; e-mail: suslig.zenia@mail.ru

Проскурина Виктория Владимировна, ведущий специалист, лаборатория ихтиопатологии, Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия, 414040, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 1; ORCID: 0000-0003-0138-4774; e-mail: vita-vp@yandex.ru

About the authors:

Dinara G. Baubekova, Senior Expert, Laboratory of ichthyopathology, All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography Volga-Caspian Branch (Caspian Fisheries Research Institute). ul. Savushkuna, 1, Astrakhan, 414040, Russia; ORCID: 0000-0002-3288-9487; e-mail: suslig.zenia@mail.ru

Victoria V. Proskurina, Leading Expert, Laboratory of ichthyopathology, All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography Volga-Caspian Branch, ul. Savushkuna, 1, Astrakhan, 414040, Russia; ORCID: 0000-0003-0138-4774; e-mail: vita-vp@yandex.ru