

Реакции про- и эукариотных микроорганизмов на действие синтетических поверхностно-активных веществ (обзор)

© 2018. Л. И. Домрачева^{1,2}, д. б. н., профессор, В. С. Симакова¹, аспирант,

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
e-mail: dli-alga@mail.ru

Анализ литературных данных показывает, что такие поллютанты, как синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), могут оказывать очень сильное действие на развитие микроорганизмов различной систематической принадлежности: бактерии, водоросли и грибы. СПАВ могут и стимулировать, и ингибировать метаболические процессы в клетках: фотосинтез у водорослей и цианобактерий, ферментативную активность всех групп изучаемых микроорганизмов. СПАВ вызывают нарушение проницаемости цитоплазматических мембран, которое полностью изменяет поток питательных веществ в клетки и выход из них экзометаболитов.

Попадание СПАВ в почву приводит к изменению численности, видового состава и структуры микробных комплексов, что становится причиной нарушения природных циклов элементов, в частности, азота, связанного с перераспределением доли аммонификаторов, нитрификаторов, денитрификаторов и азотфиксаторов в микробиоценозах.

Ключевые слова: синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), бактерии, цианобактерии, водоросли, дрожжи, микромицеты, токсичность.

Reactions of pro-and eukaryotic microorganisms to the action of synthetic surfactants (review)

L. I. Domracheva^{1,2}, V. S. Simakova¹,

¹Vyatka State Agricultural Academy,
133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: dli-alga@mail.ru

The analysis of scientific publications shows that such pollutants as synthetic surfactants, brought into the environment with technogenic and domestic pollution, can have a very strong effect on the development of microorganisms of different systematic groups: bacteria, algae and fungi. The diversity of water and soil microflora and the diversity of pollutants do not allow the creation of a solid concept of the evolution of microbial communities under the influence of synthetic surfactants, since these compounds can both stimulate and inhibit microbiological processes. In particular, during studies on pure cultures of microorganisms associated with the study of the role of synthetic surfactants in the change in the physiological processes taking place in microbial cells, it was shown that synthetic surfactants cause a strong violation of the permeability of cytoplasmic membranes, which completely disturbs the flow of nutrients into the cells and the escape of exometabolites from them. The surfactants also affect metabolic processes such as photosynthesis in algae and cyanobacteria, the enzymatic activity of all groups of microorganisms studied.

The penetration of synthetic surfactants into the soil leads to radical reorganization of microbial complexes, changing the contribution of different physiological groups of microorganisms to their structure. In particular, violations of the nitrogen cycle are associated with changes in the number of ammonifiers, nitrifiers, denitrifiers and nitrogen fixers.

At the same time some microorganisms strains resistant to various surfactants are isolated, which in the future can be used for bioremediation of ecosystems contaminated with these pollutants.

Keywords: synthetic surfactants, bacteria, cyanobacteria, algae, yeast, micromycetes, toxicity.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) представляют собой разнородную по химической структуре группу соединений, которые обладают одинаковой способностью снижать поверхностное натяжение жидкостей. Традиционно все СПАВ принято делить на 4 группы: ионогенные – анионные (АСПАВ) и катионные (КСПАВ) (диссоциирующие на ионы в водной среде); неионные (НСПАВ) (недиссоциирующие) и амфотерные (диссоциирующие как анионные или как катионные в зависимости от реакции среды). Общий объём производства СПАВ составляет более 20 млн т в год. Количество марок предлагаемых на рынке СПАВ, которые продаются под разными наименованиями, варьирует, по различным источникам, от 700 до 6000 [1–3]. Целевое назначение СПАВ как моющих средств обуславливает попадание почти всего объёма их мировой продукции в сточную воду, которая, в свою очередь, может загрязнять поверхностные водоёмы, грунтовые воды, почву [4]. В настоящее время 95–98% СПАВ от общего количества применяемых детергентов – синтетические моющие средства (СМС), содержащие в своей основе 20–40% СПАВ и различные добавки, повышающие моющую способность средства [5–9]. СПАВ могут усиливать токсичность ряда ксенобиотиков (пестицидов, красителей, лекарственных веществ) [10, 11].

В почву СПАВ попадают различными путями. Источником загрязнения могут служить технологические процессы, связанные с их получением, хранением, транспортировкой. СПАВ входят в состав пестицидов, они использовались при проведении дезактивационных мероприятий во время ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС [12–14]. Увеличение парка автомобилей привело к увеличению числа автомоек, использующих СПАВ для мытья автомобилей [15]. Поступление СПАВ в окружающую среду (ОС) продолжает ежегодно нарастать приблизительно на 2–5% [16].

В почвенных экосистемах СПАВ влияют, в первую очередь, на состояние микробиоты. Характер изменений в составе и функционировании микробсообществ фиксируется гораздо быстрее, чем в фитоценозах, благодаря высокой скорости размножения микроорганизмов (МО). Поэтому в последние годы при оценке состояния ОС и нормировании её качества становится доминирующим экологический подход с использованием МО [17, 18].

Цель данного обзора – рассмотрение ответных реакций бактерий, водорослей и

микровицетов на действие СПАВ различной химической природы.

Влияние СПАВ на бактерии. Бактерии и бактериальные комплексы на действие СПАВ реагируют по-разному. Чаще всего первичные реакции связаны с изменением численности и темпов размножения бактерий. Так, наблюдалось возрастание численности аммонифицирующих бактерий в ризосфере пшеницы по сравнению с контролем от 2-х до 4,8 раз в зависимости от фазы развития растения при внесении НСПАВ неонала АФ-14 в серую лесную тяжелосуглинистую почву в дозах 2 и 10 г/см² [19]. При этом максимум развития аммонификаторов наблюдался в фазу цветения пшеницы, что авторы связывают с усиленным выделением корневых экзометаболитов в этот период.

СПАВ избирательно действуют на бактерии. Внесение в почву АСПАВ алкилбензолсульфоната натрия (АБС) оказало стимулирующее действие на аэробные нитрифицирующие бактерии и на анаэробные клостридии [20]. НСПАВ диталан в концентрации 100 мкг/мл и сульфенол в концентрации 200 мкг/мл при внесении в чернозём и тёмно-каштановую почву оказывали токсическое действие на МО, вызвав уменьшение их общего количества по сравнению с контролем на 2–4 порядка [21]. Особенно чувствительными к действию СПАВ оказались актиномицеты. Добавление АБС в природную воду в концентрациях 2, 20 и 100 мг/л приводило к увеличению численности бактерий, степени их агрегированности и деструкции АБС [22]. Полученные данные явно свидетельствуют о стимуляции генеративной и метаболической функций бактерий этим препаратом.

Концентрации додецилсульфата натрия (ДСН) и СМС Лотос от 50 до 1000 мг/кг вызывали снижение численности целлюлозоразрушающих бактерий в почве [23]. Высокую чувствительность к действию автошампуня Uni проявили бактерии-азотфиксаторы, снизив на порядок свою численность при концентрации препарата, соответствующей 4 рекомендуемым дозам (р. д.) [24].

Изменяя количественные соотношения физиологических групп МО, СПАВ могут привести к нарушению круговорота веществ в экосистемах. Так, на фоне разных концентраций сульфенола (0,1; 0,3; 1,0 г/кг почвы) показано, что низкие концентрации препарата активизировали азотфиксацию, высокие – тормозили этот процесс [25]. Нитрификация подавлялась при всех испытываемых дозах

сульфонола. Процесс аммонификации активизировался тем больше, чем выше была концентрация препарата, видимо, благодаря тому, что некоторые виды аммонификаторов являются деструкторами СПАВ, что способствует накоплению аммонийной формы азота, снижению нитратной, уменьшению денитрификационных потерь азота. В то же время подавление азотфиксаторов ведёт к снижению доли «биологического» азота в почве [25]. Однако существуют и противоположные данные, свидетельствующие о том, что некоторые СПАВ способны стимулировать рост клеток и активность азотфиксации популяцией *Azotobacter chroococcum* [26].

СПАВ могут оказывать влияние на метаболические процессы в клетках МО. Например, подавление дыхательной активности обнаружено при добавлении натриевой соли бензол-1,2-дикарбоновой кислоты к клеткам бактериального штамма *Gluconobacter oxydans* 9.4 [27].

Обнаружен разный уровень протеолитической активности двух наиболее распространённых почвенных бактерий: *Bacillus mesentericus* и *Serratia marcescens* при действии НСПАВ неонала АФ-14 [28]. Так, у *B. mesentericus* происходило заметное увеличение биомассы и протеазной активности при добавлении в среду СПАВ в концентрациях от 0,0001 до 100 мг/л; у *S. marcescens* увеличивалась протеазная активность, но величина микробной биомассы сохранялась на уровне контроля.

Существуют данные о том, что под влиянием СПАВ из клеток МО в ОС выделяются низкомолекулярные метаболиты, а также плазмиды [29]. Опасность СПАВ проявляется и в способности вызывать мутации у ряда бактерий [30]. Доказано наличие прямой корреляции между мутагенной активностью некоторых СПАВ и их способностью индуцировать профаги из лизогенных бактерий [31].

СПАВ, в частности тритон X-100, способен вызывать структурные перестройки в липидах бактериальных мембран, которые приводят к отрыву от мембран крупных фрагментов, содержащих окислительно-восстановительные ферменты, тем самым ингибируя перенос электронов в дыхательной цепи. Это свойство детергентов широко используется для лизиса МО и имеет большое практическое значение, особенно для уничтожения патогенных форм [32].

Сдругой стороны, при изучении взаимозависимых связей между концентрацией растворённого кислорода, удельной скоростью роста

и дегидрогеназной активностью в присутствии СПАВ установлено, что детергенты улучшают проницаемость клеточных мембран, увеличивают аэрацию культуральной жидкости и способствуют транспорту кислорода и субстрата к клеткам растущей культуры [33, 34], повышают активность некоторых ферментов [35], изменяют проницаемость клеточных мембран [36], повышают скорость дыхания [37].

Полисахариды и белки снижают антимикробную активность ряда катионных и амфотерных СПАВ [38], активность анионных соединений усиливается при снижении pH среды [39], неионогенные вещества характеризуются более слабым антимикробным действием [40].

Среди СПАВ важное место занимают НСПАВ Twin. Деформации в клеточной стенке МО, возникающие в результате действия Twin, ведут к изменению её компонентного состава, влияют на биосинтез и активацию глюкозоизомеразы, особенно у стрептомицетов [41–44]. Другие СПАВ также могут снижать активность бактериальных ферментов. Так, после обработки клеток сальмонелл лаурилсульфатом натрия значительно понижается их дегидрогеназная активность, гликолиз, а также потребление кислорода [38]. Действие КСПАВ на стрептококки сопровождается изменением вторичной структуры белков и инактивацией их ферментных систем [45].

Считается, что «молодые» бактериальные клетки, выращенные на полноценной питательной среде, устойчивее к действию СПАВ, чем клетки в более поздней фазе роста [46].

Эксперименты, проведённые с таким СПАВ, как циперметрин, показали, что добавление в наружную среду ионов Cs^+ в концентрации $2,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л вызывало уменьшение входящего ионного тока в бактериальных клетках, в то время, как внесение во внешнюю среду ионов Na^+ в концентрации $5,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л приводило к заметному росту входящего ионного тока [47, 48]. Таким образом, циперметрин, возможно, способен индуцировать возникновение дефектов в липидном бислое бактериальных мембран, что проявляется в наблюдаемом росте неселективной ионной утечки.

Разрушение клеточной стенки под воздействием СПАВ зависит и от концентрации ионов магния в среде. В присутствии 70 мМ Mg^{2+} из клеток выходят только низкомолекулярные РНК и растворимые белки, а при концентрации 40 мМ 70 S субъединицы и рибосомные фрагменты выделяются вместе

с растворимым материалом. При более низких концентрациях Mg^{2+} в экстракционном растворе обнаруживаются полирибосомы, а при падении концентрации ниже 5 мМ из клеток выходит ДНК [49].

КСПАВ способны действовать на фосфолипидные компоненты мембран протопластов у бактерий, в то время, как АСПАВ воздействует на белковые компоненты мембран [50–52]. Была предложена модель действия СПАВ на мембраны, согласно которой они сорбируются на мембране, внедряясь в неё своей липофильной частью, и действует на мембранное окружение по принципу клина, при этом прочность мембраны резко падает, в результате чего она разрушается [53].

«Мягкие» СПАВ (алкилсульфаты) даже в концентрациях 500–2000 мг/л не оказывают бактерицидного и бактериостатического действия на протеолитическую микрофлору. При концентрациях 2–10 мг/л они даже стимулируют размножение бактерий. Причиной этого, очевидно, является утилизация СПАВ микрофлорой и вероятность лучшего усвоения питательных элементов из ОС вследствие изменения проницаемости мембран [54, 55].

Определяющим в механизме действия «жестких» КСПАВ (алкилдиметиламмоний хлорид) на бактерии является нарушение целостности цитоплазматической мембраны [56]. Эффект усиления действия СПАВ на граммотрицательные бактерии проявляется при их совместном действии с антибиотиками [57].

Деструкторы СПАВ встречаются чаще среди представителей родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Serratia*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, способных образовывать эстеразы, расщепляющие эфирные связи с освобождением жирных кислот [58–60].

На активность ферментов МО могут влиять не сами СПАВ, а токсичные продукты их деструкции, что показано в опытах с микробным штаммом *Dietzia maris* АМЗ, внесённым в почву одновременно со СПАВ, в которых активность микробной дегидрогеназы снизилось в почве со СПАВ на 59% по сравнению с контролем только через 30 суток после начала опыта [61–64].

В ряде исследований показана повышенная устойчивость цианобактерий (ЦБ) к СПАВ по сравнению с другими бактериями. В частности, действие анионного детергента ДСН на клетки ЦБ *Anacystis nidulans* и пурпурные бактерии *Rhodobacter capsulatus* и *Rh. sphaeroides* показало, что ДСН приводил

к нарушению барьерных свойств цитоплазматической мембраны у родококков, у *A. nidulans* подобных изменений не наблюдалось [65]. Вероятно, причиной данного явления является повышенное содержание полисахаридов (до 60%) в составе липосахаридов клеточной стенки ЦБ. Именно полисахариды могут выполнять защитную функцию по отношению к токсическому действию СПАВ. При этом, чем выше плотность цианобактериальной популяции, тем слабее токсическое действие СПАВ [66]. В определённых условиях СПАВ, содержащие фосфор, могут стимулировать рост ЦБ [18].

Иные результаты получены при оценке степени токсичности некоторых НСПАВ (превоцела, неонолов, плюроники), рекомендованных для использования при нефтедобыче, в концентрациях от 0,05 до 13,00% для ЦБ *Anabaena variabilis*, *Nostoc commune* и *N. linckia*: отмечалось не только ингибирование роста колоний ЦБ, но и обесцвечивание клеток ЦБ с последующим их лизисом [12].

При изучении влияния трёх автошампуней (Концентрат, Uni и Felix) в концентрациях, применяемых для мойки автомобилей, на развитие почвенных ЦБ *N. paludosum* и *Fischerella muscicola* было показано, что происходит изменение таких показателей состояния цианобактериальных популяций, как их численность и дегидрогеназная активность [67–70]. Наибольшей токсичностью для представителей фотосинтезирующей почвенной микробиоты обладал автошампунь Uni: под его влиянием численность клеток *N. paludosum* снизилась почти в 25 раз по сравнению с контролем в дозе, рекомендуемой для мойки автомобилей. Определение дегидрогеназной активности показало, что из испытуемых автошампуней менее токсичен Концентрат (71% нежизнеспособных клеток), наиболее токсичны Uni и Felix, вызывающие гибель почти 100% клеток

Влияние СПАВ на водоросли. Влияние СПАВ на водоросли проявляется в изменении их видового состава, снижении разнообразия, уменьшении численности клеток, что, возможно, связано с ингибированием потребления питательных веществ водорослями, подавлением синтеза белка и повреждением ДНК, приводящем в результате к патоморфологическим нарушениям [73–76]. Например, в ценобиях зелёной водоросли *Scenedesmus quadricauda* при действии различных концентраций АБС появились клетки как бы лишённые содержимого (тенивые клетки). При всех

испытуемых концентрациях АБС вызывал заметное снижение количества белков и ДНК [77]. Усиление токсичности АБС для одноклеточной зелёной водоросли *Chlamydomonas variabilis* наблюдалось пропорционально удлинению алканной цепи от 10 до 19 атомов углерода [78]. Для другой зелёной водоросли *Ch. reinhardii* установлено, что по мере увеличения атомов углерода в алкильной цепи анионных, неионных и амфотерных СПАВ токсический эффект слабеет и усиливается по мере повышения гидрофильности испытуемых веществ [79].

Сравнительная оценка действия анионного и катионного детергентов на рост *Platymonas viridis* показала, что катионный детергент тетрадецилметаммоний бромид вызывал угнетение роста уже в концентрации 0,25 мг/л. Анионный детергент ДСН в этой концентрации влияния на развитие водорослевой культуры не оказывал. Предполагается, что ингибирование роста водорослей под влиянием КСПАВ является следствием ряда нарушений их структур и метаболизма, в частности, пигментного комплекса водорослей и его фотосинтетической активности. При этом КСПАВ для водорослей являются более токсичными, чем АСПАВ [80, 81].

В экспериментах с аксеничными культурами водорослей, не имеющих бактерий-спутников, было выявлено, что АСПАВ ДСН ингибирует рост культуры водорослей р. *Chlorella* на жидкой питательной среде при меньших концентрациях, чем на плотных средах [82]. Действие КСПАВ тетрадецилтриметиламмоний бромида и цетилтриметиламмоний бромида на *Sc. quadricauda* проявилось в полном угнетении её роста уже при концентрациях 0,5–0,6 мг/л [83]. Исследование токсичности такого катионного детергента, как катамин, для двух видов р. *Chlorella* и двух видов р. *Scenedesmus* показало, что максимальной резистентностью отличались виды р. *Scenedesmus* по сравнению с видами р. *Chlorella* [84]. В другом исследовании влияния неионных, катионных и анионных СПАВ на почвенные водоросли установили, что невысокие концентрации СПАВ (0,2–2,0 мг/г) увеличивали общую численность и биомассу водорослей, в то время, как видовое разнообразие оставалось на уровне контроля [85]. При высоких концентрациях (7,0–80,0 мг/г) эти показатели снижались и почвенные водоросли погибали. Наиболее резистентными оказались виды из порядков *Chlorococcales* и *Chlamydomonadales*. При содержании в среде СПАВ

в количестве 40,0–80,0 мг/г обнаружались только мелкие хламидомонады *Ch. minima* и *Ch. minutissima* и деформированные, не пригодные для идентификации, клетки других зелёных водорослей. Наименее токсичными для почвенных водорослей были НСПАВ, по сравнению с которыми анионные и катионные характеризовались повышенной альготоксичностью.

Мембранотропное влияние СПАВ на водоросли, являющееся следствием нарушения структуры и повышения проницаемости цитоплазматических мембран клеток, проявляется как в накоплении в клетках посторонних соединений, так и в выходе наружу эндобиополимеров [86]. Одновременно с накоплением чужеродных соединений под влиянием СПАВ отмечен выход из клеток около 60% белка, около 30% ДНК, аминокислот и углеводов, утечка калия и усиление протонной проницаемости мембран [87].

СПАВ способны вызывать изменения в прочности связи хлорофилл-белково-липидного комплекса, концентрации хлорофилла *a* в клетках и их фотосинтетической активности у альгологически чистых культур зелёных водорослей *C. vulgaris* и *Ankistrodesmus fusiformis* при использовании катамина АБ (катионный КСПАВ), ДСН (анионный АСПАВ) и гидропола (неионный НСПАВ) в концентрациях 3–5 мг/л [88, 89]. Под влиянием КСПАВ происходит снижение концентрации фотосинтетических пигментов, более существенное и резкое по мере увеличения времени контакта и снижения плотности суспензии. АСПАВ и НСПАВ, наоборот, стимулировали фотосинтетическую активность клеток.

В серии опытов с микроводорослями из разных отделов *Dunaliella salina* (Chlorophyta), *Plagioselmis prolunga* (Cryptophyta) и *Atthey aussurensis* (Bacillariophyta) установлено, что наиболее негативное воздействие действие СПАВ ДСН и используемые в быту детергенты «Обычный порошок» и «Ariel» в концентрациях 0,1; 1 и 10 мг/л оказывают на содержание хлорофилла *a*, каротиноидов и кислородную продуктивность, наименее – на изменение рН культуральной среды, численность клеток и скорость роста популяции [90].

При действии одного и того же СПАВ на разные отделы водорослей их ответные реакции могут быть одинаковыми. Так, препарат ТХ100 вызывал подавление роста клеток и красных, и диатомовых водорослей [91, 92].

Влияние СПАВ на микромицеты. Многие СПАВ могут оказывать как стимулирующие,

так и ингибирующие эффекты на грибы в зависимости от природы СПАВ и систематического положения микромицетов. Например, в опытах с АСПАВ ДСН было установлено его фунгистатическое действие на следующие виды дрожжей: *Saccharomyces cerevisiae*, *Torula roseum*, *Candida albicans*, *Hansenula anomala* и мицелиальных грибов *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Penicillium cyclopium*, *P. chrysogenum* уже в концентрации 0,4–0,75 мг/мл [39]. В присутствии ДСН в большой концентрации не наблюдалось спороношения у мицелиальных грибов, хотя и происходил их рост. В противоположность этому НСПАВ ОП-10 в дозах 2 и 10 г/м² стимулировал размножение почвенных микромицетов в 3,1 раза по сравнению с контролем [93]. Стимулирующей активностью по отношению к грибам р. *Aspergillus* обладают СПАВ из группы Twin, при добавлении которых в питательную среду биомасса гриба увеличивается более, чем в 2 раза и возрастает скорость поглощения питательных веществ на 27–50% [43].

НСПАВ способствуют изменению формы и увеличению размеров клеток дрожжей р. *Candida*, видимо, вследствие более лёгкого проникновения питательных веществ в клетки в присутствии СПАВ [12], могут оказывать положительное воздействие и на рост гриба *Fusarium gibbosum* как при низких концентрациях (0,5%), так и при более высоких (5%) [12].

Другие НСПАВ (Эмульген 120, 909 и 108) ингибировали рост гриба *Puricularia oryzae* на 50–90% уже при концентрации 0,005–0,010% [94].

Выращивание дрожжей на среде с КСПАВ диталаном приводит к нарушению процесса спорообразования [56]. Под воздействием некоторых детергентов («Domestos», «AOS», «Обычный») возможно снижение пенообразующей способности дрожжей *S. cerevisiae* [95, 96].

Своеобразное действие на развитие микромицетов отмечено в опытах с использованием автошампуня Uni [24]. В интервале концентраций данного препарата 0,25–2,00 расчётные дозы (р. д.) происходило постепенное снижение численности грибных популяций. Однако доза 4 р. д. приводила к вспышке размножения микромицетов. Подобное возрастание численности грибов в загрязнённых различными поллютантами почвах неоднократно отмечалось и ранее [97].

На примере дрожжей и мицелиальных грибов, утилизирующих СПАВ, было по-

казано, что первичной адаптивной реакцией является модификация наружных полисахаридных компонентов клеточной оболочки, на которой появляются гидролазы СПАВ [98]. Деструкторы СПАВ обнаружены среди плесневых грибов родов *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* [99].

Таким образом, циркуляция СПАВ в ОС становится причиной изменения функционирования как отдельных микробных клеток, так и микробоценозов в целом. Сила и глубина воздействия СПАВ на МО обусловлены природой поллютантов, различными абиотическими факторами и систематическим положением МО. СПАВ способны нарушать цитоплазматические мембраны, их липопротеиновый слой, что нарушает потоки веществ в клетку и из клетки. В значительной степени нарушается активность ферментов оксидоредуктаз и гидролаз. У фотосинтезирующих МО происходит снижение активности фотосинтеза, обусловленное нарушением белково-пигментных комплексов. Всё это приводит к снижению видового разнообразия и численности МО, перераспределению их физиологических групп в структуре микробных комплексов, элиминации из них полезных видов.

Изучение адаптационных особенностей резистентных форм МО указывает, что они во многом связаны со способностью МО к синтезу экзополимеров, образующих мощные слизистые чехлы вокруг клеток и со способностью к выработке экзоферментов, гидролизующих СПАВ до компонентов, служащих МО источником питания.

Дальнейшие исследования по влиянию СПАВ на МО перспективны для разработки микробиологических методов биодиагностики и ремедиации экосистем, загрязнённых этими поллютантами.

Литература

1. Ho Tan Tai L., Nardello-Rataj V. Detergents The main surfactants used in detergents and personal care products // *Oleagineus, Corp Gras, Lipids*. 2001. V. 8. No. 2. P. 141–144.
2. Китмейер Д. Поверхностно-активные вещества в моющих средствах на водной основе // *Мир гальваники*. 2007. № 4. С. 16–18.
3. Буканова Е.Ф. Коллоидная химия ПАВ. Мицеллообразование в растворах ПАВ. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2006. 80 с.
4. Ротмистров М.Н., Гвоздяк П.И., Ставская С.С. *Микробиология очистки воды*. Киев: Наукова думка, 1978. 268 с.

5. Тихонова Ю.В., Хабибуллин Р.Р., Ломакин С.П., Филатова Э.С. Сравнительная оценка основных технологических характеристик разработанных синтетических моющих средств // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 5. С. 50–52.
6. Остроумов С.А. Биологические эффекты при воздействии поверхностно-активных веществ на организмы. М.: МАКС-Пресс. 2001. 334 с.
7. Macias-Zamora J.V., Ramirez-Alvarez N. Tracing sewage pollution using linear alkylbenzenes (LABs in surface sediments at the south end of the Southern California Bight // *Environmental Pollution*. 2004. V. 130. P. 229–238.
8. Куклева К.К. Массообмен и самопроизвольное наноструктурирование поверхностно-активных веществ и полимеров в процессах моющего действия: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2012. 164 с.
9. Ланге К.Р., Зайченко Л.П. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. С-Пб.: Профессия, 2007. 240 с.
10. Bobra A. M., Shiu W. Y., Mackay D. Structure-activity relationships for toxicity of hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons and oils to *Daphnia magna* / Quantitative structure activity relations in environmental toxicology / Ed. K.L.E. Kaiser Dordrecht. Germany: D. Reidel Publishing Co., 1984. P. 3–16.
11. Маркина Ж.В., Айздайчер Н.А. Действие детергента ARIEL на рост и физиологическое состояние одноклеточных водорослей // *Гидробиологический журнал*. 2009. Т. 45. № 6. С. 52–60.
12. Ханисламова Г.М., Кабиров Р.Р., Хазипова Р.Х. Поверхностно-активные вещества в наземных экосистемах. Уфа, 1988. 143 с.
13. Паршикова Т.В., Негруцкий С.Ф. Влияние поверхностно-активных веществ на водоросли // *Гидробиологический журнал*. 1988. Т. 24. № 6. С. 46–58.
14. Каленеченко К.П. Поверхностно-активные вещества в Киевском водохранилище // *Гидробиологический журнал*. 1993. Т. 29. № 5. С. 106–108.
15. Медведева А.В., Мынбаева Б.Н. Некоторые элементы мониторинга почвы г. Алматы // Биологический мониторинг природно-техногенных систем: Матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2011. Кн. 1. С. 86–89.
16. Остроумов С.А. Роль биоты в экологических механизмах самоочищения воды. М.: МАКС Пресс, 2016. 124 с.
17. Колесников С.И. Разработка региональных и локальных нормативов содержания химических веществ в почве по биологическим показателям // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии: Матер. междунар. симпозиума и молодежной школы. М.: ГЕОС, 2016. С. 120–122.
18. Остроумов С.А. Доказательство решающей роли биоты в улучшении качества воды // *Вода: технология и экология*. 2010. № 1. С. 32–36.
19. Киреева Н.А., Шабалина Л.В., Галимзянова Н.Ф. Влияние поверхностно-активных веществ на микроорганизмы: II Неонол АФ-14 и ризосферная микрофлора пшеницы. Уфа, 1984. 12 с.
20. Sujbert L., Csatai L. Termeszeti mikrofloraju valyog talajoszlop bakteriumszam valtozasa tenzidek hatasara // *Agrokemia es Talajtan*. 1980. V. 29. No. 1–2. P. 311–322 (на венгерском языке).
21. Шигаева М.Х., Сартбаева У.А., Кайназарова М.М. Роль ПАВ в выделении почвенных микроорганизмов // *Микроорганизмы как компонент биогеоценоза: Мат. Всес. симпоз. Алма-Ата, 1982. С. 56.*
22. Потапова И.А., Галаган Н.П. Влияние алкилбензолсульфоната натрия на бактериопланктон Киевского водохранилища // *Гидробиологический журнал* 1993. Т. 19. № 1. С. 44–47.
23. Галиулин Р.В., Семенова Н.А., Галиулина Р.А. Влияние ПАВ и других загрязнителей на целлюлозолитическую активность лугово-аллювиальной почвы // *Агрохимия*. 1999. № 6. С. 86–91.
24. Домрачева Л.И., Симакова В.С. Автошампунь Уні как регулятор численности почвенных микроорганизмов // Биодиагностика природных и природно-техногенных систем. Матер. XV Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 71–75.
25. Берендеева Л.Л. Выявление токсичных концентраций СПАВ в поливных водах и биохимическая деятельность почвенных микроорганизмов на фоне этих концентраций // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Тр. IV Всес. совещ. Обнинск. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 192–194.
26. Szember A., Drażkiewicz M., Wielgosz E. Wpływ niektórych syntetycznych środków strukturotwórczych na wiązanie azotu atmosferycznego przez azotobaktera // *Annales UMCS, Sec. E*. 1980/1981. No. 35/36. P. 287–292 (на польском языке).
27. Кувичкина Т.Н., Будина Д.В., Решетилов А.Н. Окислительная деградация орто-фталата иммобилизованными клетками *Rhodococcus* и *Gluconobacter* // Международный научный институт «Educatio» г. Новосибирск. 2015. Ч. 4. № 5 (12). С. 38–41.
28. Киреева Н.А., Галимзянова Н.Ф. Влияние поверхностно-активных веществ на микроорганизмы: 1. Неонол АФ-14 и протеолитическая активность некоторых сапротрофов. Уфа, 1984. 10 с.
29. Сим Э. Биохимия мембран. М.: Мир, 1985. 109 с.
30. Lombardo M.J., Lee A.A., Knox T.M., Miller C.G. Regulation of the *Salmonella typhimurium* *pepT* gene by cyclic AMP receptor protein (CRP) and FNR acting at a hybrid CRP-FNR site // *J. Bacteriol.* 1997. V. 179 (6). P. 1909–1917.
31. Кушкина А.И., Товкач Ф.И. Лизогения у бактерий и ее значение для биотехнологии // *Биотехнология*. 2011. Т. 4. № 1. С. 29–40.
32. Кучер Р.В., Дзумедзей Н.В., Хмельницкая Д.Л. Комплексное влияние поверхностно-активных ве-

ществ на процесс микробиологического окисления углеводов // Микробиология. 1981. Т. 50. № 6. С. 1105–1108.

33. Панченко Л.В., Турковская О.В., Шуб Г.М. Выделение и изучение микроорганизмов – деструкторов ПАВ // Микробиология. 1981. Т. 50. № 6. С. 217–222.

34. Суковатая И.Е., Кратасюк В.А., Межевикин В.В., Свицерская И.В., Есимбекова Е.Н., Немцева Е.В. Фотобиофизика. [Электронный ресурс]: <http://files.lib.sfu-kras.ru/> (Дата обращения: 10.09.2008).

35. Medvedeva S.E., Tyulkova N.A., Kuznetsov A.M., Rodicheva E.K. Bioluminescent bioassays based on luminous bacteria // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2009. No. 2. С. 418–452.

36. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, применение. С-Пб.: Профессия, 2004. 239 с.

37. Cline T.W. Isolation and characterization of luminescence system mutants in bacteria // Methods in Enzymology. 1978. V. 57. P. 166–171.

38. Ставская С.С., Кривец И.А., Самойленко Л.С. Изучение продуктов разложения додецилсульфата натрия // Прикладная биохимия и микробиология. 1979. Т. 15. № 5. С. 790–792.

39. Ставская С.С. Биологическое разрушение АПАВ. Киев: Наукова думка, 1981. 116 с.

40. Алексеева А.В. Коллоидная химия. СПб.: Наука, 1998. 290 с.

41. Могилевич Н.Ф., Ставская С.С. Химия природных соединений // Микробиологический журнал. 1972. № 5. Т. 34. С. 688–689.

42. Мосичев М.С., Моносов Э.З., Грачева И.М. Локализация глюкозоизомеразы у *Astinomyc esalbogriseolus* 28-3 // Биотехнология. 1986. № 1. С. 41–47.

43. Борисова С.В. Влияние неионогенных поверхностно-активных веществ на глюкозоизомеразную активность продуцента *Streptomyces rubiginosus* AC 836 // КазГУ. 2015. Т. 18. № 18. С. 259–261.

44. Хотенов Д.А. Влияние ПАВ на микроорганизмы // Водные экосистемы и организмы. Матер. научн. конф. М., 2000. С. 85.

45. Мэдди Э., Данн М. Биохимическое исследование мембран. М.: Мир, 1979. 458 с.

46. Елисеев С.А., Снежко И.А., Шульга А.Н. О механизме действия поверхностно-активных веществ на бактериальные клетки. МГУ: Биологический факультет, 1984. С. 4–7.

47. Brudenell A.J.P., Baker D.A., Grayson V.T. Phloem mobility of xenobiotics: tabular review of physicochemical properties governing the output of the Kleier model // J. Plant Growth Regul. 1995. V. 16. P. 215–231.

48. Яковец О.Г., Крытынская Е.Н., Юрин В.М. Индуцированные циперметрином изменения неселективной ионной утечки // Ксенобиотики и живые системы: Матер. III Междунар. науч. конф. Минск. 2008. С. 170–172.

49. Удилова О.Ф., Кривец И.А. Действие додецилсульфата натрия на оптическую плотность и

выживаемость *Pseudomonas aeruginosa* – деструктора алкилсульфатов // Микробиологический журнал. 1982. Т. 45. № 1. С. 13–15.

50. Ротмистров М.Н., Ставская С.С., Кривец И.А. Разрушение алкилсульфатов бактериями // Микробиология. 1978. Т. 47. № 2. С. 338–341.

51. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений загрязняющих веществ и буровых растворов. Москва: РЭФИА, НИА-Природа, 2002. 61 с.

52. Бутовский Р.О. Токсичность для почвенных беспозвоночных техногенных химических загрязнителей – хлорфенолов и анионоактивных синтетических поверхностно-активных веществ // Агрехимия. 2005. № 3. С. 14–18.

53. Богач П.Г., Курский М.Д., Кучеренко Н.Е. Структура и функции биологических мембран. Киев: Высшая школа, 1981. 361 с.

54. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 234 с.

55. Корш Л.Е., Артемова Т.З. Ускоренные методы санитарно-бактериологического исследования воды. М.: Медицина, 1978. 271 с.

56. Лишко Б.И., Шевченко М.И. Мембраны и жизнь клетки. Киев: Наукова думка, 1987. 104 с.

57. Биология и биотехнология микроорганизмов / Под ред. А.Г. Халмурадова, С.М. Ходжибаевой. Ташкент: Фан, 1992. 220 с.

58. Сопрунова О.Б., Утепешева А.А., Виет Гиен Нгуен Микроорганизмы – деструкторы ПАВ в водных средах // Вестник Астраханского ГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2013. № 1. С. 83–90.

59. Ставская С.С., Кривец И.А., Самойленко Л.С. Изучение продуктов разложения додецилсульфата натрия // Прикладная биохимия и микробиология. 1979. Т. 15. № 5. С. 790–792.

60. Roberts M.H., Warinner J.E., Tsai C., Wright D., Cronin L.E. Comparison of estuarine species sensitivities to three toxicants // Arch. Environ. Contam Toxicol. 1982. No. 11. P. 681–692.

61. Вайтнер Е.В. Технология снижения содержания анионных синтетических поверхностно-активных веществ в поверхностных водных объектах: Дисс. ... канд. техн. наук. Екатеринбург. 2005. 165 с.

62. Панченко Л.В., Турковская О.В., Шуб Г.М. Выделение и изучение микроорганизмов – деструкторов ПАВ // Микробиология. 1981. Т. 50. № 6. С. 217–222.

63. Беляков А.Ю., Головки Д.С., Плешакова Е.С. Определение токсического воздействия на почву бурового раствора углеводородной основы с помощью различных приемов биотестирования // Известия Самарского университета. 2012. Т. 12. № 3. С. 106–113.

64. Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. Вып. 13. № 1. С. 1–18.

65. Хасанова Л.А., Иванов А.Ю., Маркелия Л.Ю., Хасанова З.М. Сравнительное изучение чувствительности представителей и к действию анионного детергента // Альгология. 1999. Т. 9. № 2. С. 149.
66. Ostroumov S.A. Aquatic ecosystem as a bioreactor: water purification and some other functions // Rivista di biologia. 2004. V. 97 (1). P. 67–78.
67. Симакова В.С., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю., Фокина А.Н., Ашихмина Т.Я. Влияние фосфорсодержащих автошампуней на развитие почвенных цианобактерий // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 89–94.
68. Симакова В.С., Огородникова С.Ю., Домрачева Л.И. Изучение накопления формазана в клетках цианобактерий *Nostoc paludosum* под влиянием автошампуней // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностики живых систем. Матер. XIII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. 2015. Книга 1. Киров: Веси, 2015. С. 278–281.
69. Симакова В.С. Домрачева Л.И. Влияние возрастающих концентраций автошампуня Uni на развитие цианобактерии *Nostoc paludosum* // Экология родного края: проблемы и пути их решения. Матер. XII Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 260–262.
70. Симакова В.С., Домрачева Л.И., Фокина А.И. Исследование влияния синтетических поверхностно-активных веществ на рост и развитие почвенной цианобактерии *Nostoc paludosum* // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 4 (165). С. 65–69.
71. Симакова В.С., Домрачева Л.И. Влияние возрастающих концентраций синтетических поверхностно-активных веществ на развитие цианобактерии *Nostoc paludosum* // 1-й Российский микробиологический конгресс: сборник тезисов. Материалы конгресса. 2017. Москва: ИД Вода, химия и экология, 2017. С. 80.
72. Симакова В.С., Трефилова Л.В., Фокина А.И., Домрачева Л.И. Сравнение влияния СПАВ на рост и развитие почвенной цианобактерии *Nostoc paludosum* в стерильной почве // Биодиагностика природных и природно-техногенных систем. Матер. XV Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. 2017. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 75–79.
73. Леонова Л.И., Ступина В.В., Ставская С.С. Царенко П.М. Избирательная устойчивость водорослей к некоторым компонентам сточных вод // Альгология. 1991. Т. 1. № 1. С. 69–74.
74. Senborn J.R., Metcalf R.L., Yu C.C., Lu P.Y. Plasticizers in the environment: the fate of di-N-octyl-phthalate (DOP) in two model ecosystems and uptake and metabolism of DOP by aquatic organisms // Arch. Environ. Contam. and Toxicol. 1975. V. 3. No. 2. P. 244–255.
75. Pedersen K. Explorattion of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives // Microbiological Letters. 2000. V. 185. P. 9–16.
76. Chawla G., Viswanathan P.N., Devi S. Biochemical studies on the toxicity of linear alkyl-benzene sulphonate to *Scenedesmus quadricauda* in culture // Environ. Exp. Bot. 1987. No. 27. P. 311–323.
77. Chawla C.E., Viswanatthan P.N., Santha D. Effect of linear alkyl-benzene sulfonate on *Scenedesmus quadricauda* in culture // Environ. and Exp. Bot. 1986. V. 26. No. 1. P. 39–51.
78. Lundaht P., Cabridenc R. Molecular structure-biological properties relationships in anionic surface-activ agents // Water Res. 1978. V. 12. No. 1. P. 25–30.
79. Ernst R., Gonzates J.C., Arditti J. Eeffects of anionic, non-ionic and amphoteric surfactans on a green alga (*Chlamydomonas*) // Envirom. Pollut. (Ser. A). 1983. V. 31. No. 3. P. 159–175.
80. Парфёнова И.А. Сравнительная оценка действия анионного и катионного детергентов на рост накопительных культур микроводоросли *Platymonas viridis* // Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология. Химия». 2013. Т. 26 (65). № 2. С. 154–158.
81. Masakorala K., Turner A., Brown M.T. Toxicity of synthetic surfactant stothe marine macroalga *Ulva lactuca* // Water, Air, Soil Pollut. 2011. V. 218. P. 283–291.
82. Леонова Л.И., Ступина В.В. Водоросли в очистке сточных вод. Киев: Наукова думка, 1990. 184 с.
83. Остроумов С.А., Колопилова Н.Н., Пискунова Н.Ф., Лямин М.Я., Краевский Н.И. Изучение воздействия синтетических поверхностно-активных веществ на Chyanophyta и Chlorophyta // Альгология. 1999. Т. 9. № 2. С. 105–106.
84. Паршикова Т.В. Сравнительная оценка чувствительности различных видов водорослей к действию катионоактивного детергента и некоторых металлов // Альгология. 1999. Т. 9. № 2. С. 109–110.
85. Хазипова Р.Х. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на почвенные водоросли // Альгология. 1999. Т. 9. № 2. С. 147.
86. Паршикова Т.В., Негруцкий С.Ф. Влияние поверхностно-активных веществ на водоросли (обзор) // Гидробиологический журнал. 1988. Т. 24. № 6. С. 46–58.
87. Matsuyama T., Murakami T., Fujita M. Extracellular vesicle formation and biosurfactant production by *Serratia marcescens* // J. Gen. Microbiol. 1986. V. 132. No. 4. P. 27–35.
88. Липницкая Г.П., Паршикова Т.В. Изменения в прочности связи хлорофилл-белково-липидного комплекса водорослей под влиянием поверхностно-активных веществ // Гидробиологический журнал. 1992. Т. 28. № 6. С. 60–67.
89. Паршикова Т.В., Веселовский В.В., Веселова Т.В., Дмитриева А.Г. Влияние поверхностно-активных веществ на функционирование фотосинтетического аппарата хлореллы // Альгология. 1994. Т. 4. № 1. С. 38–46.
90. Маркина Ж.В. Применение микроводорослей для оценки качества морской воды и действия детер-

гентов: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Владивосток, 2008. 22 с.

91. Nyberg H., Koskimies-Soininen K. The glycolipid fatty acids of *Porphyridium purpureum* cultured in the presence of detergents // *Phytochemistry*. 1984. V. 23. No. 4. P. 751–757.

92. Nyberg H., Koskimies-Soininen K. The phospholipid fatty acids of *Porphyridium purpureum* cultured in the presence of Triton X-100 and sodium desoxycholate // *Phytochemistry*. 1984. V. 23. No. 11. P. 2489–2495.

93. Киреева Н.А., Шабалина Л.В., Галимзянова Н.Ф. Влияние поверхностно-активных веществ на микроорганизмы: III. ОП-10 и почвенная микрофлора. Уфа, 1984. 10 с.

94. Watanabe M., Ohyanagi H., Saitoh Y. Experimental study on anaphylactic effects by Fluosol-DA // *J. Artif. Organs*. 1988. V. 17. P. 1513–1522.

95. Вятчина О.Ф., Жданова Г.О. Пенообразование в суспензии дрожжей как экспресс тест-реакция // *Научные достижения европейской науки – 2011: Матер. VII Междунар. практ. конф. София: Бел-Град-БГ, 2011. С. 60–64.*

96. Жданова Г.О., Вятчина О.Ф. Новая тест-реакция для определения некоторых классов загрязнителей в окружающей среде // *Известия Иркутской ГЭА*. 2011. № 1. [Электронный журнал] <http://eizvestia.isea.ru> (Дата обращения 01.03.2018).

97. Микроорганизмы и охрана почв / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 206 с.

98. Дмитриев В.В., Звонарев А.Н. Структурно-функциональные перестройки микроорганизмов при адаптации к экстремальным факторам внешней среды // 1-й Российский микробиологический конгресс: сборник тезисов. Материалы конгресса. 2017. Москва: ИД Вода, химия и экология, 2017. С. 38–39.

99. Сармурзина З.С. Изучение липолитических свойств бактерий рода *Bacillus* для биологической очистки сточных вод от жировых отложений // «Ломоносов-2009»: Матер. Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Москва, 2009. С. 18–19.

References

1. Ho Tan Tai L., Nardello-Rataj V. Detergents the main surfactants used in detergents and personal care products // *Oleagineus, Corp Gras, Lipids*. 2001. V. 8. No. 2. P. 141–144.

2. Quitmeyer D. Surfactants in detergents based on water // *Mir galvaniki*. 2007. No. 4. P. 16–18 (in Russian).

3. Bukanova E.F. Colloid chemistry of surfactants. Micelle formation in solutions of surfactants. Moskva: MITKhT imeni M.V. Lomonosova. 2006. 80 p. (in Russian).

4. Rotmistrov M.N., Gvozdyak P.I., Stavskaya S.S. The microbiology of water purification. Kiev: Naukova dumka, 1978. 268 p. (in Russian).

5. Tikhonova Yu.V., Khabibullin R.R., Lomakin S.P., Filatova E.S. Comparative evaluation of the main characteristics of the developed synthetic detergents // *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal*. 2006. V. 13. No. 5. P. 50–52 (in Russian).

6. Ostroumov S.A. Biological effects on organisms when exposed with surfactants. Moskva: MAX-Press. 2001. 334 p. (in Russian).

7. Macias-Zamora J.V., Ramirez-Alvarez N. Tracing sewage pollution using linear alkylbenzenes (LABs) in surface sediments at the south end of the Southern California Bight // *Environmental Pollution*. 2004. V. 130. P. 229–238.

8. Kukleva K.K. Mass transfer and spontaneous nanostructuring of surfactants and polymers in the processes of cleaning: Dis. ... kand. tekh. nauk. Moskva: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet turizma i servisa. 2012. 164 p. (in Russian)

9. Lange K.R., Zaichenko L.P. Surfactants: synthesis, properties, analysis, application. Sankt-Peterburg: Profesiya, 2007. 240 p. (in Russian)

10. Bobra A.M., Shiu W.Y., Mackay D. Structure-activity relationships for toxicity of hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons and oils to *Daphnia magna* // *Quantitative structure activity relations in environmental toxicology* / Ed. K.L.E. Kaiser Dordrecht. Germany: D. Reidel Publishing Co., 1984. P. 3–16.

11. Markina Zh.V., Aizdaicher N.A. The effect of ARIEL detergent on the growth and physiological state of the unicellular algae // *Gidrobiologicheskiy zhurnal*. 2009. V. 45. No. 6. P. 52–60 (in Russian).

12. Khanislamova G.M., Kabirov R.R., Khazipova R.H. Surfactants in terrestrial ecosystems. Ufa, 1988. 143 p. (in Russian).

13. Parshikova T.V., Negrutskii S.F. Influence of surfactants on algae // *Gidrobiologicheskiy zhurnal*. 1988. V. 24. No. 6. P. 46–58 (in Russian).

14. Kalenechenko K.P. Surfactants in the Kiev reservoir // *Gidrobiologicheskiy zhurnal*. 1993. V. 29. No. 5. P. 106–108 (in Russian).

15. Medvedeva A.V., Mynbaeva B.N. Some elements of soil monitoring in Almaty // *Biological monitoring of natural and man-made systems: Sbornik materialov vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kirov: Izdatelstvo VyatGGU, 2011. Kniga 1. P. 86–89 (in Russian).

16. Ostroumov S.A. The role of biota in ecological mechanisms of water self-purification. Moskva: MAKSPress, 2016. 124 p. (in Russian).

17. Kolesnikov S.I. The Development of regional and local standards for chemical substances in soil biological indicators // *Biodiagnostics and evaluation of the quality of the natural environment: approaches, methods, criteria, and standards of comparison in ecotoxicology: Sbornik materialov mezhdunarodnogo simpoziuma i molodezhnoy shkoly*. Moskva: GEOS, 2016. P. 120–122 (in Russian).

18. Ostroumov S.A. Proving of the crucial role of biota in improving water quality // Voda: tekhnologiya i ekologiya. 2010. No. 1. P. 32–62 (in Russian).
19. Kireeva N.A., Shabalina L.V., Galimzyanova N.F. The influence of surfactants on microorganisms: II Neonol AF-14 and rhizosphere microflora of wheat. Ufa, 1984. 12 p. (in Russian).
20. Sujbert L., Csatai L. Effect of tenzides (detergents) on the number of bacteria in a loam column with natural microflora // Agrokemia es Talajtan. 1980. V. 29. No. 1–2. P. 311–322 (in Hungarian).
21. Shigaeva M.Kh., Sartbaeva U.A., Kainazarova M.M. The role of surfactants in the selection of soil microorganisms // Microorganisms as a component of biogeocenosis: Sbornik materialov vsoyuznogo simpoziuma. Alma-Ata: Nauka, 1982. P. 56 (in Russian).
22. Potapova I.A., Galagan N.P. Effect of sodium alkylbenzene sulfonate on bacterioplankton of the Kiev reservoir // Hidrobiologicheskij zhurnal. 1993. V. 19. No. 1. P. 44–47 (in Russian).
23. Galiulin R.V., Semenova N.A. Galiulina R.A. Influence of surfactants and other contaminants on the cellulolytic activity of meadow-alluvial soils // Agrokhiimiya. 1999. No 6. P. 86–91 (in Russian).
24. Domracheva L.I., Simakova V.S. Uni car shampoo as a regulator of soil microorganisms number // Biondiagnostics of natural and natural-technogenic systems. Sbornik materialov XV vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 71–75 (in Russian).
25. Berendeeva L.L. Identification of toxic concentrations of detergents in irrigation waters and biochemical activities of soil microorganisms on the background of these concentrations // Migration of pollutants in soils and adjacent environments. Sbornik trudov IV vsoyuznogo soveshchaniya. Obninsk. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. P. 192–194 (in Russian).
26. Szember A., Drazkiewicz M., Wielgosz E. The influence of some synthetic structure-forming agents on the binding of atmospheric nitrogen by nitrobacteria // Ann. UMCS. 1980/1981. No. 35/36. P. 285–292 (in Polish).
27. Kuvichkina T.N., Budina D.V., Reshetilov A.N. Oxidative degradation of orthophthalate by immobilized *Rhodococcus* and *Gluconobacter* cells // Mezhdunarodnyy nauchnyy institut “Educatio”. Novosibirsk, 2015. Part 4. No. 5 (12). P. 38–41 (in Russian).
28. Kireeva N.A. Galimzyanova N.F. The influence of surfactants on microorganisms: 1. Neonol AF-14 and proteolytic activity of some saprotrophs. Ufa, 1984. 10 p. (in Russian).
29. Sim E. Membrane biochemistry. University of Oxford, UK. 1982. 80 p.
30. Lombardo M.J., Lee A.A., Knox T.M., Miller C.G. Regulation of the *Salmonella typhimurium* pepT gene by cyclic AMP receptor protein (CRP) and FNR acting at a hybrid CRP-FNR site // J. Bacteriol. 1997. V. 179 (6). P. 1909–1917.
31. Kushkina A.I., Tovkach F.I. Lysogeny in bacteria and its significance for biotechnology // Biotekhnologiya. V. 4. 2011. No. 1. P. 29–40 (in Russian).
32. Kucher R.V., Dzumedzey N.V., Khmelnytsky D.L. Complex effect of surfactants on the process of microbiological oxidation of hydrocarbons // Mikrobiologiya. 1981. V. 50. No. 6. P. 1105–1108 (in Russian).
33. Panchenko L.V., Turkovskaya O.V., Shub G.M. The isolation and study of microorganisms – destructors of surfactants // Mikrobiologiya. 1981. V. 50. No. 6. P. 217–222 (in Russian).
34. Sukovataya I.E., Kratasyuk V.A., Mezhevikin V.V., Sviderskaya I.V., Esimbekova E.N., Nemtseva E.V. Photobiophysics [Internet resource]: <http://files.lib.sfu-kras.ru/> (Accessed: 10.09.2008).
35. Medvedeva S.E., Tyulkova N.A., Kuznetsov A.M., Rodicheva E.K. Bioluminescent bioassays based on luminous bacteria // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2009. No. 2. P. 418–452.
36. Lange K.R. Surfactants: synthesis, properties, application. Sankt-Peterburg: Professiya, 2004. 239 p. (in Russian).
37. Cline T.W. Isolation and characterization of luminescence system mutants in bacteria // Methods in Enzymology. 1978. V. 57. P. 166–171.
38. Stavskaya S.S., Krivets I.A., Samoilenko L.S. The study of the decomposition products of sodium dodecyl sulfate // Prikladnaya biokhiimiya i mikrobiologiya. 1979. V. 15. No. 5. P. 790–792 (in Russian).
39. Stavskaya S.S. The biological degradation of anionic surfactants. Kiev: Naukova dumka, 1981. 116 p. (in Russian).
40. Alekseeva A.V. Colloid chemistry. Sankt-Peterburg: Nauka, 1998. 290 p. (in Russian).
41. Mogilevich N.F., Stavskaya S.S. Chemistry of natural compounds // Mikrobiologicheskij zhurnal. 1972. No. 5. V. 34. P. 688–689 (in Russian).
42. Mosichev M.S., Monosov E.Z., Gracheva M.I. Localization of glucose isomerase in *Astinomyces albobogrius* 28-3 // Biotekhnologiya. 1986. No. 1. P. 41–47 (in Russian).
43. Borisova S.V. The influence of nonionic surfactants on glucose isomerase activity of producer *Streptomyces rubiginosus* AC 836 // KazTU. 2015. V. 18. No. 18. P. 259–261 (in Russian).
44. Khotenov D. A. Influence of surfactants on microorganisms // The Aquatic ecosystem and organisms: Sbornik materialov nauchnoy konferentsii. Moskva, 2000. P. 85 (in Russian).
45. Meddy E., Dann M. Biochemical study of membranes. Moskva: Mir, 1979. 458 p. (in Russian).
46. Eliseev S.A., Snezhko, I.A., Shulga A.N. On the mechanism of action of surfactants on bacterial cells. MGU: Biologicheskij fakultet, 1984. P. 4–7 (in Russian).

47. Brudenell A.J.P., Baker D.A., Grayson B.T. Phloem mobility of xenobiotics: tabular review of physicochemical properties governing the output of the Kleier model // *J. Plant Growth Regul.* 1995. V. 16. P. 215–231.
48. Yakovets O.G., Krytynskaya E.N., Yurin V.M. Changes of non-selective ion leakage Induced by cypermetrine // *Xenobiotics and living systems: Sbornik materialov III mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii.* Minsk: BGU. 2008. P. 170–172 (in Russian).
49. Udilova O.F., Kravets I.A. Effect of sodium dodecyl sulfate on optical density and survival of *Pseudomonasaeruginosa* – destructor of alkyl sulphates // *Microbiologicheskii zhurnal.* 1982. V. 45. No. 1. P. 13–15 (in Russian).
50. Rotmistrov M.N., Stavskaya S.S., Krivets I.A. The Destruction of alkyl sulfates by bacteria // *Microbiologiya.* 1978. V. 47. No. 2. P. 338–341 (in Russia).
51. The guidelines for determining the method of biotesting of toxicity of waters, bottom sediments, pollutants and drilling fluids. Moskva: REFIA, NIA-Priroda, 2002. 61 p. (in Russian).
52. Butovsky R.O. Toxicity to soil invertebrates anthropogenic chemical pollutants – chlorophenols and synthetic anion-active surface-active substances // *Agrokhiimiya.* 2005. No. 3. P. 14–18 (in Russian).
53. Bogach P.G., Kursky M.D., Kucherenko N.E. Structure and function of biological membranes. Kiev: Vysshaya shkola, 1981. 361 p. (in Russian).
54. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaya I.N. Ecology and conservation of the biosphere under chemical pollution. Moskva: Vysshaya shkola, 2002. 234 p. (in Russian).
55. Korsh L.E., Artemova T.Z. Rapid methods of sanitary-bacteriological research of water. Moskva: Meditsina, 1978. 271 p. (in Russian).
56. Lisko B.I., Shevchenko M.I. Membrane and cell life. Kiev: Naukova dumka, 1987. 104 p. (in Russian).
57. Biology and biotechnology of microorganisms / Ed. A.G. Halmuradov, S.M. Khodzhabayeva. Tashkent: Fan, 1992. 220 p. (in Russian).
58. Soprunova O.B., Utepesheva A.A., Viet Hyen Nguyen Microorganisms – destructors of sas in water environments // *Vestnik Astrakhanskogo GTU. Seriya: Rybnoe khozyaystvo.* 2013. No. 1. P. 83–90 (in Russian).
59. Stavskaya S.S., Krivets I.A., Samoylenko L.S. The study of the decomposition products of sodium dodecyl sulfate // *Prikladnaya biokhiimiya i microbiologiya.* 1979. V. 15. No. 5. P. 790–792 (in Russian).
60. Roberts M.H., Warinner J.E., Tsai C., Wright D., Cronin L.E. Comparison of estuarine species sensitivities to three toxicants // *Arch. Environ. Contam Toxicol.* 1982. No. 11. P. 681–692.
61. Vaitner E.V. Technology of reducing the amount of anionic synthetic surface-active substances in superficial water objects: Diss. ... kand. tekhn. nauk. Ekaterinburg. 2005. 165 p. (in Russian).
62. Panchenko L.V., Turkovskaya O.V., Shub G.M. The isolation and study of microorganisms – destructors of surfactants // *Microbiologiya.* 1981. V. 50. No. 6. P. 217–222 (in Russian).
63. Belyakov A.Yu., Golovko D.S., Pleshakova E.S. Determination of toxic effect of hydrocarbon base drilling mud on soil by means of different methods of biotesting // *Izvestiya Samarskogo universiteta.* 2012. V. 12. No. 3. P. 106–113 (in Russian).
64. Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A. Phytotesting: main approaches, problems and laboratory technique and modern solutions // *Doklady po ekologicheskomy pochvovedeniyu.* 2010. V. 13. No. 1. P. 1–18 (in Russian).
65. Khasanova L.A., Ivanov A.Yu., Markelia L.Yu., Khasanova Z.M. Comparative study of the sensitivity of representatives to the action of anionic detergent // *Algologiya.* 1999. V. 9. No. 2. P. 149 (in Russian).
66. Ostroumov S.A. Aquatic ecosystem as a bioreactor: water purification and some other functions // *Rivista di biologia.* 2004. V. 97 (1). P. 67–78.
67. Simakova V.S., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu., Fokina A.I., Ashikhmina T.Ya. Effect of phosphorus autoshampoos on the development of soil cyanobacteria // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya.* 2016. No. 3. P. 89–94 (in Russian).
68. Simakova S.V., Ogorodnikova S.Yu., Domracheva L.I. Study of the accumulation of formazan in the cells of the cyanobacteria *Nostoc paludosum* under the influence of vodka // *Actual problems of regional ecology and biodiagnostic living systems: Sbornik materialov XIII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem.* 2015. Kniga 1. Kirov: Vesi, 2015. P. 278–281 (in Russian).
69. Simakova V.S., Domracheva L.I. Influence of increasing concentrations of Uni auto shampoo on the development of cyanobacteria *Nostoc paludosum* // *Ecology of native land: problems and ways of their solution: Sbornik materialov XII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem.* Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 260–262 (in Russian).
70. Simakova V.S., Domracheva L.I., Fokina A.I. A Study of the synthetic surface active substances effect on the growth and development of the soil cyanobacterium *Nostoc paludosum* // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2017. No. 4. P. 65–69 (in Russian).
71. Simakova V.S., Domracheva L.I. Influence of increasing concentrations of synthetic surfactants on the development of cyanobacteria *Nostoc paludosum* // *1st Russian microbiological Congress: collection of abstracts: Sbornik materialov kongressa.* Moskva: ID Woda, khimiya i ekologiya, 2017. P. 80 (in Russian).
72. Simakova S.V., Trefilova L.V., Fokina A.I., Domracheva L.I. Comparison of effect of detergents on the growth and development of the soil cyanobacterium *Nostoc paludosum* in a sterile soil // *Biodiagnosics natural and natural-technogenic systems: Sbornik materialov*

XV vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 75–79 (in Russian).

73. Leonova L.I., Stupina V.V., Stavskaya S.S., Tsarenko P.M. Selective resistance of algae to certain sewage components // *Algologiya*. 1991. V. 1. No. 1. P. 69–74 (in Russian).

74. Senborn J.R., Metcalf R.L., Yu C.C., Lu P.Y. Plasticizers in the environment: the fate of di-N-octyl-phtalate (DOP) in two model ecosystems and uptake and metabolism of DOP by aquatic organisms // *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* 1975. V. 3. No. 2. P. 244–255.

75. Pedersen K. Explorattion of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives // *Microbiological Letters*. 2000. V. 185. P. 9–16.

76. Chawla G., Viswanathan P. N., Devi S. Biochemical studies on the toxicity of linear alkyl-benzene sulpho-nate to *Scenedesmus quadricauda* in culture // *Environ. Exp. Bot.* 1987. No. 27. P. 311–323.

77. Chawla C. E., Viswanatthan P. N., Santha D. Effect of linear alkyl-benzene sulfonate on *Scenedesmus quadricauda* in culture // *Environ. and Exp. Bot.* 1986. V. 26. No. 1. P. 39–51.

78. Lundaht P., Cabridenc R. Molecular structure-biological properties relationships in anionic surface-activ agents // *Water Res.* 1978. V. 12. No. 1. P. 25–30.

79. Ernst R., Gonzates J.C., Arditti J. Eeffects of anionic, non-ionic and amphoteric surfactans on a green alga (*Chlamydomonas*) // *Envirom. Pollut. (Ser. A)*. 1983. V. 31. No. 3. P. 159–175.

80. Parfenova I.A. Comparative evaluation of the effects of anionic and cationic detergents on the growth of accumulative cultures of microalgae *Platymonas viridis* // *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Biologiya. Khimiya»*. 2013. V. 26 (65). No. 2. P. 154–158 (in Russian).

81. Masakorala K., Turner A., Brown M.T. Toxity of sunthetic surfactant stothe marine macroalga *Ulva lactuca* // *Water, Air, Soil Pollut.* 2011. V. 218. P. 283–291.

82. Leonova L.I., Stupina V.V. Algae in tertiary treatment of sewage. Kiev: Naukova dumka, 1990. 184 p. (in Russian).

83. Ostroumov S.A., Kolotilova N.N., Piskunova N.F., Lyamin M.Ya., Kraevsky N.I. To study the effect of synthetic surfactants on Chyanophyta and Chlorophyta // *Algologiya*. 1999. V. 9. No. 2. P. 105–106 (in Russian).

84. Parshikova T.V. Comparative assessment of sensitivity of different types of algae to the action of cationic detergent and some metals // *Algologiya*. 1999. V. 9. No. 2. P. 109–110 (in Russian).

85. Khazipova R.H. The Effect of synthetic surfactants on soil algae // *Algologiya*. 1999. V. 9. No. 2. P. 147 (in Russian).

86. Parshikova T.V., Negrutskii S.F. Influence of surfactants on algae (a review) // *Gidrobiologicheskii zhurnal*. 1988. V. 24. No. 6. P. 46–58 (in Russian).

87. Matsuyama T., Murakami T., Fujita M. Extracel-lular vesic lo formation and biosurfactant production by *Serratia marcescens* // *J. Gen. Microbiol.* 1986. V. 132. No. 4. P. 27–35.

88. Lipnitskaya G.P., Parshikova T.V. Changes in the bond strength of chlorophyll-protein-lipid complex of algae under the influence of surfactants // *Gidro-biologicheskiiy zhurnal*. 1992. V. 28. No. 6. P. 60–67 (in Russian).

89. Parshikova T.V., Veselovskiy V.V., Veselova T.V., Dmitriev A.G. Influence of surface-active substancies on the function of chlorella photosynthetic apparatus // *Algologiya*. 1994. V. 4. No. 1. P. 38–46 (in Russian).

90. Markina Zh.V. the Use of microalgae to assess the quality of sea water and the action of detergents: Av-toref. diss. ... kand. biol. nauk. Vladivostok, 2008. 22 p. (in Russian).

91. Nyberg H., Koskimies-Soininten K. The gly-colipid fatty acids of *Porphyridium purpureum* cultured in the presence of detergents // *Phytochemistry*. 1984. V. 23. No. 4. P. 751–757.

92. Nyberg H., Koskimies-Soininten K. The phospho-lipid fatty acids of *Porphyridium purpureum* cultured in the presense of Triton X-100 and sodium desoxycholate // *Phytochemistry*. 1984. V. 23. No. 11. P. 2489–2495.

93. Kireeva N.A. Shabalina L.V., Galimzyanova N.F. The influence of surfactants on microorganisms: III. OP-10 and soil microflora. Ufa, 1984. 10 p. (in Russian).

94. Watanabe M., Ohyanagi H., Saitoh Y. Experi-mental study on anaphylactic effects by Fluosol-DA // *J. Artif. Organs*. 1988. V. 17. P. 1513–1522.

95. Vyatchina O.F., Zhdanov G.O. Foaming in sus-pension of yeast as the Express test reaction// *Scientific achievements of European science – 2011: Sbornik mate-rialov VII mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii*. Sofia: Bel-Grade-BG, 2011. P. 60–64 (in Russian).

96. Zhdanova G.A., Vyatchina O.F. A new test reaction for the determination of certain classes of con-taminants in the environment // *News of Irkutsk GEA*. 2011. No. 1 [Internet journal] <http://eizvestia.isea.ru/> (Accessed: 01.03.2018).

97. Microorganisms and soil protection / Ed. D.G. Zvyagintsev. Moskva: Izd-vo MGU, 1989. 206 p. (in Russian).

98. Dmitriev V.V., Zvonarev A.N. Structural and functional perestroika of microorganisms in adaptation to extreme environmental factors // *1st Russian microbio-logical Congress: a collection of abstracts: Sbornik mate-rialov kongressa*. Moskva: ID Voda: khimiya i ekologiya, 2017. P. 38–39 (in Russian).

99. Sarmurzina Z.S. Study of lipolytic properties of bacteria of genus *Bacillus* for biological treatment of waste water from fatty deposits // “Lomonosov-2009”: *Sbornik materialov mezhdunarodnoy konferetsii stu-dentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Moskva, 2009. P. 18–19 (in Russian).