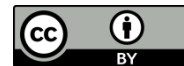


Оригинальная статья / Original article

УДК 602.4:561.23

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-441-448>



## Изучение скорости биодеструкции амфотерного сурфактанта кокамидопропилбетаина бактериями рода *Pseudomonas* и активным илом

© А.С. Бурлаченко, О.В. Салищева, Л.С. Дышлюк

Кемеровский государственный университет,  
г. Кемерово, Российская Федерация

**Резюме:** Целью работы являлось исследование скорости процесса биодеструкции кокамидопропилбетаина бактериями рода *Pseudomonas* и активного ила. В качестве штаммов-деструкторов были взяты микроорганизмы: *Pseudomonas fluorescens* TR (ВКПМ В-4881), *Pseudomonas putida* ТП-19 (В-6582), *Pseudomonas stutzeri* Т (В-4904), *Pseudomonas putida* ТШ-18 (В-2950), *Pseudomonas putida* ТО (В-3959), *Pseudomonas mendocina* 2S (В-4710), *Pseudomonas oleovorans* TF4-1L (В-8621) и активный ил, полученный с аэротенков действующего предприятия Кузбасса. Биоокисление ПАВ проводили в стеклянных колбах объемом 250 см<sup>3</sup>, помещенных в шейкер-инкубатор, в условиях постоянной температуры 30 °С для чистых культур и 18 °С – для активного ила. Штамм-деструктор должен обладать способностью за минимальный временной интервал снижать концентрацию сурфактанта до безопасных значений. Штаммы *Pseudomonas stutzeri* Т (В-4904) и *Pseudomonas fluorescens* TR (В-4881) показали наименьший период полураспада сурфактанта – 2,5 и 2,6 суток соответственно. Несколько большие периоды показали штаммы *Pseudomonas putida* ТО (В-3959), *Pseudomonas putida* ТШ-18 (В-2950) и *Pseudomonas oleovorans* TF4-1L (В-8621) – 3,0; 4,5 и 4,9 суток соответственно. Наибольший период полураспада ПАВ показали микроорганизмы *Pseudomonas mendocina* 2S (В-4710) – 5,5 суток, и *Pseudomonas putida* ТП-19 (В-6582) – 6,0 суток. Максимальная степень биодеструкции сурфактанта наблюдалась при действии биоценоза микроорганизмов. За 14 суток концентрация кокамидопропилбетаина снизилась до 0,27% от его начальной концентрации. Показана эффективность использования бактерий рода *Pseudomonas* в качестве деструкторов сурфактантов. Бактерии данного рода имеют короткое время генерации, высокую скорость наращивания биомассы по сравнению с бактериями-деструкторами других родов и меньший период адаптации к ПАВ по сравнению с активным илом. Были подобраны штаммы микроорганизмов *Pseudomonas*, способных за минимальный временной интервал снижать концентрацию ПАВ до безопасных значений для последующей разработки технологии получения эффективного биопрепарата, предназначенного для очистки сточных вод от амфотерных сурфактантов.

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества, кокамидопропилбетаин, бактерии рода *Pseudomonas*, активный ил, биодеструкция

**Для цитирования:** Бурлаченко А.С., Салищева О.В., Дышлюк Л.С. Изучение скорости биодеструкции амфотерного сурфактанта кокамидопропилбетаина бактериями рода *Pseudomonas* и активным илом. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 3. С. 441–448. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-441-448>

## Study into biodegradation of cocamidopropyl betaine, an amphoteric surfactant, by *Pseudomonas* bacteria and activated sludge

Anastasia S. Burlachenko, Olesya V. Salishcheva, Lyubov S. Dyshlyuk

Kemerovo State University,  
Kemerovo, Russian Federation

**Abstract:** The paper examines the biodegradation rate of cocamidopropyl betaine by bacteria of the genus *Pseudomonas* and activated sludge. The following microorganisms were taken as destructor strains: *Pseudomonas fluorescens* TR (VKPM В-4881), *Pseudomonas putida* TP-19 (В-6582), *Pseudomonas stutzeri* Т (В-4904), *Pseudomonas putida* TSh-18 (В-2950), *Pseudomonas putida* TO (В-3959), *Pseudomonas mendocina* 2S (В-4710), *Pseudomonas oleovorans* TF4-1L (В-8621) and activated sludge obtained at activated sludge reactors of a Kuzbass plant. Biooxidation of surfactant samples was carried out in 250 cm<sup>3</sup> glass

flasks, placed into an incubator shaker, at a constant temperature of 30°C for pure cultures and 18°C for activated sludge. The destructor strain should reduce the surfactant concentration to safe values within a minimum time interval. *Pseudomonas stutzeri* T (B-4904) and *Pseudomonas fluorescens* TR (B-4881) strains provided the shortest half-life of the surfactant under study – 2.5 and 2.6 days, respectively. For *Pseudomonas putida* TO (B-3959), *Pseudomonas putida* TSh-18 (B-2950) and *Pseudomonas oleovorans* TF4-1L (B-8621) strains, these values amounted to 3.0, 4.5 and 4.9 days, respectively. The maximum half-life of the surfactant under study was demonstrated by *Pseudomonas mendocina* 2S (B-4710) and *Pseudomonas putida* TP-19 (B-6582) microorganisms – 5.5 and 6.0 days, respectively. The maximum biodegradation of the surfactant was observed under its exposure to the biocenosis of microorganisms. Over 14 days, the concentration of cocamidopropyl betaine decreased to 0.27% of its initial concentration. The efficiency of *Pseudomonas* bacteria as destructors of surfactants was demonstrated. Bacteria of this genus exhibit a shorter generation time and a higher rate of biomass growth when compared to other strains and a shorter period of adaptation to surfactants when compared to activated sludge. Capable of reducing surfactant concentrations to safe values in a minimum time interval, *Pseudomonas* strains can be used as an effective agent in the development of technologies for wastewater purification from amphoteric surfactants.

**Keywords:** surfactants, cocamidopropyl betaine, *Pseudomonas* bacteria, activated sludge, biodegradation

**For citation:** Burlachenko AS, Salishcheva OV, Dyshlyuk LS. Study into biodegradation of cocamidopropyl betaine, an amphoteric surfactant, by *Pseudomonas* bacteria and activated sludge. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(3):441–448. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-441-448>

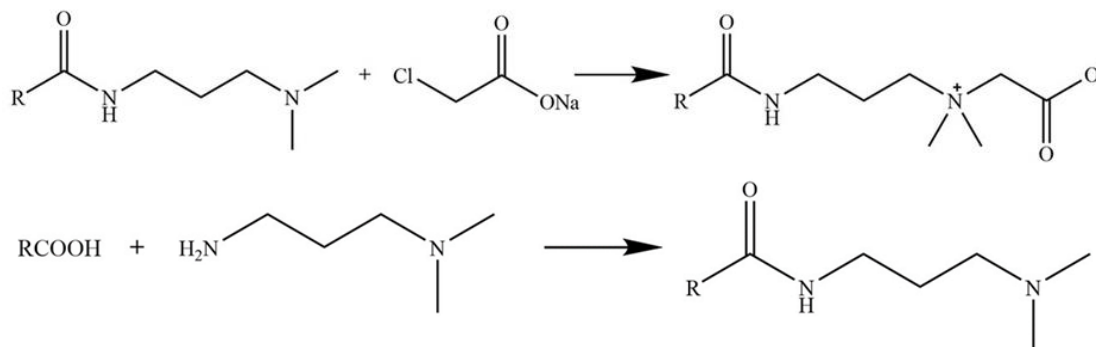
## ВВЕДЕНИЕ

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – распространенные органические соединения, которые благодаря своему дипольному строению способны понижать энергетические взаимодействия на границе фаз. Очень важным аспектом является то, что ПАВ легко адсорбируются полимерами. Также сурфактанты способны проникать через цитоплазматические мембраны клеток, нарушая их физиологические процессы, тем самым проявляя ярко выраженные антимикробные свойства, что является причиной токсического действия сурфактантов, а также их негативного влияния на окружающую среду и накопление этих веществ в экосистеме [1–3].

В то же время каждому типу ПАВ присущи как достоинства, так и недостатки. Для компенсации недостатков одного сурфактанта достоинствами другого эмпирическим путем подбирается оптимальный состав композиции из ионогенных и неионогенных ПАВ. На данном этапе развития индустрии сурфактантов наиболее предпочтительными в использовании являются амфотерные ПАВ благодаря широкому спектру их

действия. В настоящее время во всем мире отмечается тенденция применения био-ПАВ. Достоинством биосурфактантов являются низкие значения токсичности для пресноводных, морских и наземных экосистем. Недостатки их применения – низкая устойчивость к действию некоторых абиотических факторов и высокая стоимость, что существенно сказывается на объеме их потребления по сравнению с синтетическими ПАВ. Вместе с тем большое число исследований направлено на улучшение биоразложения нефти, а также на увеличение нефтеотдачи с помощью био-ПАВ [4, 5].

Кокаמידопропилбетаин (САРВ) – алкиламидобетаиновый ПАВ, представляющий коммерчески самый важный класс амфотерных сурфактантов, который используется в производстве средств личной гигиены в огромных масштабах. Он представляет собой продукт реакции конденсации жирных кислот ( $R = C_7-C_{17}$ ) и 3,3-диметиламинопропиламина после взаимодействия промежуточного продукта кокаמידопропилдиметиламина с монохлоруксусной кислотой [6]:



Известны работы, посвященные исследованию токсичных свойств САРВ, которые демонстрируют его способность нарушать фотосинте-

тические процессы в клетках водорослей [7], а также подавлять цветение водорослей, т.е. вызывать лизис клеток живых организмов [8].

Не так давно была обнаружена способность кокаmidопропилбетаина проявлять мощные анти-септические свойства. Авторы работа [9] предложили использовать его в качестве составного 0,075%-го раствора в физиологической сыворотке для гигиенического процесса интубации.

Изучению процессов биодеструкции кокаmidопропилбетаина посвящено ограниченное число работ. Так, например, в исследованиях по биодegradации структурно похожего вещества оксида кокаmidопропиламина (АО-Сосоамидо) показано, что способность микроорганизмов к разрыву связи C–N является решающим фактором, характеризующим способность штамма к осуществлению процесса биодеструкции ПАВ [10, 11]. Известны микроорганизмы, которые при взаимодействии могут практически полностью утилизировать кокаmidопропилбетаин за 4 суток [12], но только в среде, богатой низкомолекулярными неорганическими азотосодержащими соединениями, так как штаммы практически не могут ассимилировать азот из сурфактанта. Это микроорганизмы *Pseudomonas sp.* FV CCM 8810 и *Rhizobium sp.* CCM 8811. Бактерия рода *Pseudomonas* осуществляет первичную биодegradацию и разрушает алкильный радикал, в то время как штамм *Rhizobium sp.* CCM 8811 является утилизатором алкиламидопропилбетаинового остатка. Для осуществления быстрого и полного процесса биодеструкции этим микроорганизмам необходим доступный источник азота. При проведении эксперимента в суспензии, не содержащей минеральных компонентов, продолжительность биодegradации составляет 29 суток, что является достаточно долгим периодом. В этом направлении требуются дальнейшие исследования.

Известно, что представители рода *Pseudomonas* обладают способностью к быстрой degradation углеводов [13]. Это объясняется наличием у данных бактерий комплекса оксидаз – ферментов, окисляющих углеводороды. Также они имеют повышенный уровень гидрофобности клеточной стенки при росте на углеводородах и способность синтезировать поверхностно-активные вещества, повышающие биодоступность гидрофобных веществ. Данный род бактерий содержит генетический материал, необходимый для трансляции ряда ферментов, осуществляющих destruction различных органических веществ. Благодаря этим особенностям бактерии рода *Pseudomonas* активно исследуются учеными всего мира с целью использования их в экологических биотехнологиях. Так, в работе [14] рассмотрено влияние композиций ПАВ на рост и ферментативную активность углеводородокисляющей микрофлоры месторождений вязких парафинистых нефтей. Усиленный рост микрофлоры (на 3–4 порядка) сопровождался повышением активности окислительно-восстанови-

тельных ферментов в 3–14 раз. После биодegradации в составе вязких парафинистых нефтей накапливались промежуточные продукты окисления углеводов – кислоты, альдегиды, спирты, кетоны, эфиры, обладающие поверхностно-активными свойствами, что позволяет им эмульгировать нефть и способствовать снижению межфазного натяжения в системе нефть–вода–порода. А в работе [15] представлены результаты исследования влияния низкочастотного ультразвука на destruction неионогенных синтетических ПАВ различной молекулярной структуры, полученные на основе фотокolorиметрических и вискозиметрических измерений.

Полифункциональность действия синтетических ПАВ, а также биорезистентность большинства из них приводят к снижению степени очистки промышленных стоков. Интенсивное пенообразование в аэротенках, обусловленное даже малыми концентрациями ПАВ, приводит к нарушению поступления кислорода и созданию неблагоприятных условий для развития биоценоза активного ила [15]. В результате формируется неадаптированный биоценоз микроорганизмов, не способный ассимилировать специфические загрязняющие вещества. Как результат, наблюдается несоответствие качества очищенных стоков нормативным требованиям по токсичным и биорезистентным поллютантам, особенно в случаях аномальных сбросов на химических предприятиях.

Цель настоящей работы заключалась в подборе штаммов микроорганизмов, способных за минимальный временной интервал снижать концентрацию кокаmidопропилбетаина до безопасных значений для последующей разработки технологии получения эффективного биопрепарата, предназначенного для очистки сточных вод от амфотерных сурфактантов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования являлись штаммы-деструкторы, приобретенные во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов Национального биоресурсного центра (БРЦ ВКПМ) НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИ-генетика: *Pseudomonas fluorescens* TR (ВКПМ В-4881), *Pseudomonas putida* ТП-19 (В-6582), *Pseudomonas stutzeri* Т (В-4904), *Pseudomonas putida* ТШ-18 (В-2950), *Pseudomonas putida* ТО (В-3959), *Pseudomonas mendocina* 2S (В-4710), *Pseudomonas oleovorans* TF4-1L (В-8621). А также активный ил, полученный с аэротенков действующего предприятия Кемеровской области, амфотерный ПАВ кокаmidопропилбетаин (сосоamidopropylbetaine, CAPB) производства Италии.

Для каждого микроорганизма готовили суспензию на основе физиологического раствора (0,9%-й раствор NaCl) с конечной концентрацией  $10^7$ – $10^8$  КОЕ/мл. Далее микроорганизм культивировали при 30 °С в жидкой питательной среде,

приготовленной в соответствии с паспортом штамма, в течение 24 ч. Состав среды, г/л: дрожжевой экстракт – 5,0; пептон – 15,0; NaCl – 5,0; агар – 15,0; вода дистиллированная – 1,0 л.

Численность колоний определяли с помощью денситометра DEN-1 по мутности клеточных суспензий в пределах значения 0,5 единиц Мак-Фарланда ( $1 \cdot 10^8$  КОЕ/мл).

Концентрацию, ингибирующую рост микроорганизмов, определяли макрометодом, готовили 10 растворов путем последовательного двукратного разбавления водных растворов ПАВ. Начальная концентрация сурфактанта составила 0,7304 моль/дм<sup>3</sup>. В каждую пробирку добавляли суспензию штамма-деструктора по 1 см<sup>3</sup>. Через 24 ч измеряли светорассеяние при длине волны 980 нм с помощью спектрофотометра UV 1800 (Shimadzu, Япония). Минимальная ингибирующая концентрация (МИК) соответствовала минимальному содержанию ПАВ в растворе, при котором происходит сдерживание видимого роста тест-культур.

Биоокисление ПАВ проводили в стеклянных колбах объемом 250 см<sup>3</sup>, помещенных в шейкер-инкубатор LSI-3016A/LSI-3016R (Daihan Labtech, Южная Корея), в условиях постоянной температуры: 30 °С – для чистых культур, 18 °С – для активного ила. Начальная концентрация сурфактанта была выбрана с условием определения минимальной ингибирующей концентрации.

Степень биодеструкции определяли посредством измерения остаточной концентрации ПАВ в растворе. Для этого ежедневно отбирали пробы каждого из образцов, центрифугировали и измеряли значения оптической плотности на фоне натрий-фосфатного буфера в присутствии индикатора – эриохрома черного Т, который образует комплексное соединение с CAPB. На спектрофотометрической кривой раствор комплекса показывал максимум поглощения при длине волны 659 нм [16].

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предварительно было установлено значение минимальной ингибирующей концентрации кокамидопропилбетаина.

Согласно полученным данным, полное подавление роста микроорганизмов штамма *Pseudomonas putida* TO (B-3959) происходило при концентрации сурфактанта свыше 0,0228 моль/дм<sup>3</sup>. Активный рост биомассы испытуемого штамма наблюдалось при низких концентрациях (рис. 1). Таким образом, для дальнейших исследований была взята концентрация сурфактанта в 4 раза меньше, чем минимальная ингибирующая концентрация.

Результаты изучения скорости процесса биодеструкции представлены на рис. 2.

Штамм-деструктор должен обладать способностью за минимальный временной интервал

снижать концентрацию сурфактанта до безопасных значений. В ходе эксперимента по биодеструкции ПАВ получены следующие результаты:

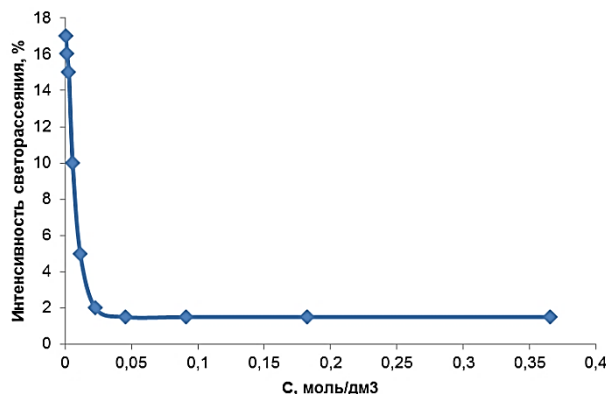


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеяния света от концентрации кокамидопропилбетаина в растворе суспензий штамма *Pseudomonas putida* TO (B-3959)

Fig. 1. Light scattering intensity versus cocamidopropylbetaine concentration in a solution of the *Pseudomonas putida* TO (B-3959) suspensions

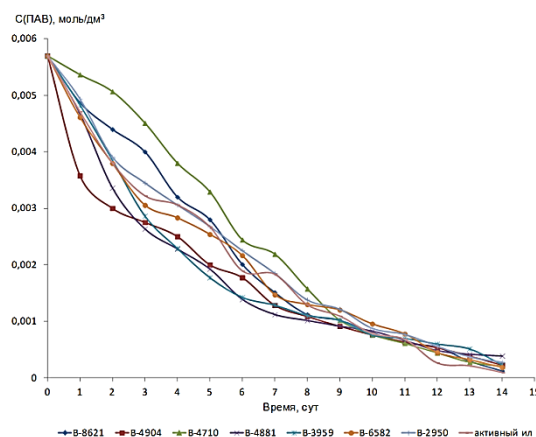


Рис. 2. Зависимость концентрации кокамидопропилбетаина от продолжительности инкубации для исследуемых штаммов рода *Pseudomonas*

Fig. 2. Relationship between the cocamidopropylbetaine concentration and the incubation duration for the studied strains of the genus *Pseudomonas*

штаммы *Pseudomonas stutzeri* T (B-4904) и *Pseudomonas fluorescens* TR (B-4881) продемонстрировали наименьший период полураспада вещества – 2,5 и 2,6 суток соответственно. Несколько большие периоды показали штаммы *Pseudomonas putida* TO (B-3959), *Pseudomonas putida* ТШ-18 (B-2950) и *Pseudomonas oleovorans* TF4-1L (B-8621) – 3,0; 4,5 и 4,9 суток соответственно. Микроорганизмы *Pseudomonas mendocina* 2S (B-4710) и *Pseudomonas putida* ТП-19 (B-6582) – наибольший период полураспада – 5,5 и 6,0 суток соответственно (таблица). Полученные результаты связаны, вероятно, с продолжительностью периода адаптации штаммов-деструкторов к неизвестному ранее субстрату,

Данные исследования скорости процесса биодеструкции кокаמידопропилбетаина чистыми культурами рода *Pseudomonas*

Biodegradation rate of cocamidopropylbetaine by pure cultures of the genus *Pseudomonas*

Параметр	Вид штамма-деструктора рода <i>Pseudomonas</i>						
	B-8621	B-4904	B-4710	B-4881	B-3959	B-6582	B-2950
Концентрация ПАВ, ммоль/дм <sup>3</sup> : начальная	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
по истечении 14 суток	0,121	0,223	0,203	0,385	0,233	0,182	0,278
Степень разложения ПАВ, %	97,9±1,2	96,4±0,6	96,4±0,8	93,2±0,9	95,9±1,1	96,8±1,3	95,1±0,9
Период полураспада ПАВ t <sub>1/2</sub> , сут.	4,9±0,1	2,5±0,2	5,5±0,4	2,6±0,05	3,0±0,2	6,0±0,3	4,5±0,2

с реакцией на токсическое действие кокаמידопропилбетаина. Немаловажным фактором является и особенность периферийного метаболизма микроорганизмов, то есть осуществление начального этапа метаболизма ксенобиотика. Также нельзя исключать возможность использования микробными клетками внутренних запасов питательных веществ, полученных ими во время активации на классических средах.

Полученные данные подтверждают эффективность использования бактерий рода *Pseudomonas* в качестве деструкторов сурфактантов, поскольку они имеют короткое время генерации, высокую скорость наращивания биомассы по сравнению с бактериями-деструкторами других родов, а также легко культивируются в лабораторных условиях [17, 18].

По истечении 21 суток был выполнен посев всех чистых культур, которые культивировались в стерильном растворе ПАВ без добавления в среду минеральных компонентов. Активный прирост биомассы наблюдался уже в первые сутки эксперимента. Результат посева не показал признаков угнетения жизнедеятельности микроорганизмов ни для одного штамма, и поскольку для всех штаммов единственным источником азота был CAPB, это свидетельствовало, что все испытываемые штаммы способны ассимилировать азот из сурфактанта и практически полностью утилизировать ПАВ за 14 суток. В работе [12] описаны штаммы, утилизирующие CAPB за 29 суток без добавления в среду легкоусвояемого азота, что вдвое дольше, чем утилизация ПАВ штаммами, рассматриваемыми в данной работе.

Параллельно проводили исследования по биодеструкции CAPB активным илом – биоценозом, где симбиотически сосуществуют бактерии и простейшие [19]. Согласно известным данным о составе консорциума, предполагаемыми деструкторами кокаמידопропилбетаина являются бактерии семейства *Pseudomonadaceae* (50–80%), бактерии рода *Mycobacterium* (5–15%), основной функцией которых является окисление углеводов, а также микроорганизмы рода *Bacte-*

*rium*, к биохимическим особенностям которых относится окисление нефти, нефтепродуктов, фенолов, альдегидов, жирных кислот.

Активный ил показал максимальную степень биодеструкции кокаמידопропилбетаина на 14-е сутки эксперимента, концентрация ПАВ составила 0,91 ммоль/дм<sup>3</sup>, что соответствует 15,9% от начальной концентрации.

Таким образом, в консорциуме штаммов наблюдалась почти полная деградация CAPB. Однако скорость биодеструкции по сравнению с самыми эффективными штаммами (*Pseudomonas stutzeri* T (B-4904), *Pseudomonas fluorescens* TR (B-4881), *Pseudomonas putida* TO (B-3959)) была ниже. Кроме того, в безазотистой среде первичные биодеструкторы обеспечивают поступление азота как в свой собственный метаболизм, так и в метаболизм своих микробных партнеров, которые обеспечивают вторичную биодеградацию. Известно, что для повышения эффективности биодеградации нефти и нефтепродуктов чаще всего используются смешанные культуры, состоящие из двух и более микроорганизмов [20, 21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемая ассоциация углеводородокисляющих микроорганизмов, а также чистые культуры начали активный рост уже в первые сутки эксперимента без периода адаптации в среде, содержащей кокаמידопропилбетаин в качестве единственного источника углерода и азота. Это свидетельствует о том, что испытываемые штаммы сразу начинают окислять сурфактант. Кроме того, многие *Pseudomonas* наряду с хромосомной ДНК имеют дополнительный генетический материал в виде плазмид биодеградации, которые играют важную роль в адаптации бактерий к изменяющимся условиям окружающей среды.

В результате проведенного исследования отобраны самые эффективные штаммы – деструкторы кокаמידопропилбетаина: *Pseudomonas stutzeri* T (B-4904), *Pseudomonas fluorescens* TR (B-4881), *Pseudomonas putida* TO (B-3959), работа которых характеризуется меньшим пери-



одом адаптации к поллютанту, что является существенным преимуществом для процесса очистки стоков в реальных производственных условиях. Дальнейшие исследования будут

направлены на разработку биодеструктивного препарата сурфактантов, в состав которого будут включены данные штаммы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hamouda T., Myc A., Donovan B., Shih A.Y., Reuter J.D., Baker J.R. A novel surfactant nanoemulsion with a unique non-irritant topical antimicrobial activity against bacteria, enveloped viruses and fungi // *Microbiological Research*. 2001. Vol. 156. Issue 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00069>
2. Reijmar K., Schmidtchen A., Malmsten M. Bactericidal and hemolytic properties of mixed LL-37/surfactant systems // *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2007. Vol. 17. Issue 4. P. 293–297. [https://doi.org/10.1016/S1773-2247\(07\)50098-5](https://doi.org/10.1016/S1773-2247(07)50098-5)
3. Salishcheva O.V., Prosekov A.Y. Antimicrobial activity of mono- and polynuclear platinum and palladium complexes // *Foods and Raw Materials*. 2020. Vol. 8. Issue 2. P. 298–311. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-298-311>
4. Finnerty W.R. Biosurfactants in environmental biotechnology // *Current Opinion in Biotechnology*. 1994. Vol. 5. Issue 3. P. 291–295. [https://doi.org/10.1016/0958-1669\(94\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0958-1669(94)90031-0)
5. Souza E.C., Vessoni-Penna T.C., de Souza Oliveira R.P. Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: An overview // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2014. Vol. 89. P. 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.007>
6. Shao W., Zhang J., Wang K., Liu C., Cui S. Cocamidopropyl betaine-assisted foam separation of freshwater microalgae *Desmodesmus brasiliensis* // *Biochemical Engineering Journal*. 2018. Vol. 140. P. 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.09.006>
7. Vonlanthen S., Brown M.T., Turner A. Toxicity of the amphoteric surfactant, cocamidopropyl betaine, to the marine macroalga, *Ulva lactuca* // *Ecotoxicology*. 2018. Vol. 20. Issue 1. P. 202–207. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0571-3>
8. Sun X.-X., Han K.-N., Choi J.-K., Kim E.-K. Screening of surfactants for harmful algal blooms mitigation // *Marine Pollution Bulletin*. 2004. Vol. 48. Issue 9-10. P. 937–945. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.11.021>
9. Nogales L.M., Jiménez L.L., Abarca L.E., Gil M.M., López-Nieves M. Cocamidopropyl Betaine Surfactant 0.075% Solution in Physiological Serum for Hygiene Process of COVID-19 Intubated Patients // *International Journal of Pharmaceutical Compounding*. 2020. Vol. 24. Issue 5. P. 358–364.
10. Garcia M.T., Campos E., Ribosa I. Biodegradability and ecotoxicity of amine oxide based surfactants // *Chemosphere*. 2007. Vol. 69. Issue 10. P. 1574–1578. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.089>
11. Rios F., Lechuga M., Fernandez-Serrano M., Fernandez-Arteaga A. Aerobic biodegradation of amphoteric amine-oxide-based surfactants: effect of molecular structure, initial surfactant concentration and pH // *Chemosphere*. 2017. Vol. 171. P. 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.070>
12. Merkova M., Zalesak M., Ringlova E., Julinova M., Ruzicka J. Degradation of the surfactant Cocamidopropyl betaine by two bacterial strains isolated from activated sludge // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2018. Vol. 127. P. 236–240. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.12.006>
13. Коршунова Т.Ю., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Логинов О.Н. Бактерии рода *Pseudomonas* для очистки окружающей среды от нефтяного загрязнения // *Экобиотех.* 2020. Т. 3, N 1. С. 18–32. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-1-18-32>
14. Филатов Д.А., Овсянникова В.С., Алтунина Л.К., Сваровская Л.И. Влияние композиций на основе ПАВ на биодеструкцию вязких парафинистых нефтей // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2012. N 1(2). С. 106–112.
15. Закиров Р.К., Ахмадуллина Ф.Ю., Балымова Е.С. Перспективы сонохимической обработки сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. N 4. С. 111–116. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-111-116>
16. Gholami A., Golestaneh M., Andalib Z. A new method for determination of cocamidopropyl betaine synthesized from coconut oil through spectral shift of Eriochrome Black T // *Spectrochimica Acta – Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2018. Vol. 192. P. 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.11.007>
17. Asabina E.A., Chetverikov S.P., Loginov O.N. Optimization of biosynthesis of phytopathogen growth inhibitors by bacteria of *Pseudomonas* genus // *Biotechnology in Russia*. 2009. Issue 3. P. 81–89.
18. Анохина Т.О., Сиунова Т.В., Сизова О.И., Захарченко Н.С., Кочетков В.В. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas* в современных агробиотехнологиях // *Агрохимия*. 2018. N 10. С. 54–66. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100034>
19. Сибиева Л.М., Дегтярева И.А., Сироткин А.С., Бабынин Э.В. Состав микробного сообщества активного ила в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2019. Т. 9. N 2. С. 302–312. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-312>
20. Кобзев Е.Н., Петрикевич С.Б., Шкидченко А.Н. Исследование устойчивости ассоциации микроорганизмов-нефтедеструкторов в открытой системе // *Прикладная биохимия и микробиоло-*

гия. 2001. Т. 37. N 4. С. 413–417.

21. Шкидченко А.Н., Аринбасаров М.У. Изучение нефтеструктивной активности микро-

флоры прибрежной зоны Каспийского моря // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38. N 5. С. 509–512.

## REFERENCES

1. Hamouda T, Myc A, Donovan B, Shih AY, Reuter JD, Baker JR. A novel surfactant nanoemulsion with a unique non-irritant topical antimicrobial activity against bacteria, enveloped viruses and fungi. *Microbiological Research*. 2001;156(1):1–7. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00069>
2. Reijmar K, Schmidtchen A, Malmsten M. Bactericidal and hemolytic properties of mixed LL-37/surfactant systems. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2007;17(4):293–297. [https://doi.org/10.1016/S1773-2247\(07\)50098-5](https://doi.org/10.1016/S1773-2247(07)50098-5)
3. Salishcheva OV, Prosekov AY. Antimicrobial activity of mono- and polynuclear platinum and palladium complexes. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):298–311. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-298-311>
4. Finnerty WR. Biosurfactants in environmental biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*. 1994;5(3):291–295. [https://doi.org/10.1016/0958-1669\(94\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0958-1669(94)90031-0)
5. Souza EC, Vessoni-Penna TC, de Souza Oliveira RP. Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: An overview. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2014;89:88–94. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.007>
6. Shao W, Zhang J, Wang K, Liu C, Cui S. Cocamidopropyl betaine-assisted foam separation of freshwater microalgae *Desmodesmus brasiliensis*. *Biochemical Engineering Journal*. 2018;140:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.09.006>
7. Vonlanthen S, Brown MT, Turner A. Toxicity of the amphoteric surfactant, cocamidopropyl betaine, to the marine macroalga, *Ulva lactuca*. *Ecotoxicology*. 2018;20(1):202–207. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0571-3>
8. Sun X-X, Han K-N, Choi J-K, Kim E-K. Screening of surfactants for harmful algal blooms mitigation. *Marine Pollution Bulletin*. 2004;48(9-10):937–945. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.11.021>
9. Nogales LM, Jiménez LL, Abarca LE, Gil MM, López-Nieves M. Cocamidopropyl Betaine Surfactant 0.075% Solution in Physiological Serum for Hygiene Process of COVID-19 Intubated Patients. *International Journal of Pharmaceutical Compound-ing*. 2020;24(5):358–364.
10. García MT, Campos E, Ribosa I. Biodegradability and ecotoxicity of amine oxide based surfactants. *Chemosphere*. 2007;69(10):1574–1578. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.089>
11. Rios F, Lechuga M, Fernandez-Serrano M, Fernandez-Arteaga A. Aerobic biodegradation of amphoteric amine-oxide-based surfactants: effect of molecular structure, initial surfactant concentration and pH. *Chemosphere*. 2017;171:324–331. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.070>
12. Merkova M, Zalesak M, Ringlova E, Julinova M, Ruzicka J. Degradation of the surfactant Cocamidopropyl betaine by two bacterial strains isolated from activated sludge. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2018;127:236–240. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.12.006>
13. Korshunova TYu, Kuzina EV, Rafikova GF, Loginov ON. Using *pseudomonas* for cleaning the environment from oil contamination. *Ecobiotech = Ekobiotech*. 2020;3(1):18–32. (In Russian) <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-1-18-32>
14. Filatov DA, Ovsyannikova VS, Altunina LK, Svarovskaya LI. The effect of surfactant-based systems on biodestruction of viscous waxy oils. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2012;1:106–112. (In Russian)
15. Zakirov RK, Akhmadullina FY, Balymova ES. Prospects for sonochemical treatment of wastewater containing synthetic surfactants. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2020;4:111–116. (In Russian) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-111-116>
16. Gholami A, Golestaneh M, Andalib Z. A new method for determination of cocamidopropyl betaine synthesized from coconut oil through spectral shift of Eriochrome Black T. *Spectrochimica Acta – Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2018;192:122–127. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.11.007>
17. Asabina EA, Chetverikov SP, Loginov ON. Optimization of biosynthesis of phytopathogen growth inhibitors by bacteria of *Pseudomonas* genus. *Biotechnology in Russia*. 2009;3:81–89.
18. Anokhina TO, Siunova TB, Sizova OI, Zakharchenko NS, Kochetkov VV. Rhizospheric bacteria of the genus *Pseudomonas* in modern agrobiotechnology. *Agrokhimiya*. 2018;10:54–66. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0002188118100034>
19. Sibieva LM, Degtyareva IA, Sirotkin AS, Babynin EV. Composition of activated sludge microbial community used in the combined biological and chemical wastewater treatment. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(2):302–312. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-312>
20. Kobzev EN, Petrikevich SB, Shkidchenko AN. Study of the stability association of oil-degrading microorganisms in an open system. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied Biochemistry and Microbiology*. 2001;37(4):413–417.
21. Shkidchenko AN, Arinbasarov MU. Study of petroleum-degrading activity of microflora from the

shoreline region of the Caspian sea. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* = *Applied Biochemistry*

and *Microbiology* 2002;38(5):509-512. (In Russian)

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Бурлаченко Анастасия Сергеевна,**  
Кемеровский государственный университет,  
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6,  
Российская Федерация,  
e-mail: nastya\_sergeevna99@mail.ru

**Салищева Олеся Владимировна,**  
к.х.н., доцент, доцент кафедры общей  
и неорганической химии,  
Кемеровский государственный университет  
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6,  
Российская Федерация,  
✉ e-mail: salishchevaov@mail.ru

**Дышлюк Любовь Сергеевна,**  
к.б.н., доцент кафедры бионанотехнологии,  
Кемеровский государственный университет,  
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6,  
Российская Федерация,  
e-mail: soldatovals1984@mail.ru

#### **Заявленный вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад  
в подготовку публикации.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта  
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-  
тельный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 02.06.2021.  
Одобрена после рецензирования 28.06.2021.  
Принята к публикации 30.08.2021.*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Anastasia S. Burlachenko,**  
Kemerovo State University,  
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000,  
Russian Federation,  
e-mail: nastya\_sergeevna99@mail.ru

**Olesya V. Salishcheva**  
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,  
Department of General and Inorganic Chemistry,  
Kemerovo State University,  
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000,  
Russian Federation,  
✉ e-mail: salishchevaov@mail.ru

**Lyubov S. Dyshlyuk,**  
Cand. Sci. (Biology), Associate Professor,  
Department of Bionanotechnology,  
Kemerovo State University,  
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000,  
Russian Federation,  
e-mail: soldatovals1984@mail.ru

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Conflict interests**

The authors declare no conflict of interests re-  
garding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved  
by all the co-authors.*

*The article was submitted 02.06.2021.  
Approved after reviewing 28.06.2021.  
Accepted for publication 30.08.2021.*