

## МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 579.24

DOI: 10.17072/1994-9952-2019-2-153-158.

А. С. Зорина<sup>а</sup>, Ю. Г. Максимова<sup>а,б</sup>

<sup>а</sup> Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН - филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

<sup>б</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

### ДИСПЕРСИЯ МОНО- И СМЕШАННЫХ БИОПЛЕНОК *ALCALIGENES FAECALIS* 2 И *RHODOCOCCLUS RUBER* GT 1

Изучена дисперсия моно- и смешанных биопленок *Al. faecalis* 2 и *R. ruber* gt 1, обладающих нитрилгидролизующей активностью. Дисперсию оценивали, учитывая два параметра: 1) различный возраст биопленки; 2) время экспозиции выращенной биопленки в физиологическом растворе без питательных веществ. Показано, что наименее устойчивыми являются 7-суточные моноплёнки изученных штаммов, дисперсия которых превышает таковую смешанной биопленки на порядок и более. При сравнении абсолютного количества мигрировавших клеток было показано, что клетки *R. ruber* gt 1 мигрируют из моноплёнки гораздо интенсивнее, чем из смешанной. В смешанной культуре наиболее подвержены разрушению 4-суточные биопленки *Al. faecalis* 2 и *R. ruber* gt 1, что соответствует моменту наиболее интенсивной адгезии микроорганизма-спутника (*R. ruber* gt 1) к первичному колонизатору (*Al. faecalis* 2). Показано, что при дальнейшем совместном росте наступает фаза адаптации, которая выражается в формировании прочной смешанной биопленки, что позволяет эффективно использовать их в биотехнологических процессах.

**Ключевые слова:** биопленки; нитрилгидролизующие бактерии; дисперсия биопленки.

A. S. Zorina<sup>а</sup>, Yu. G. Maksimova<sup>а,б</sup>

<sup>а</sup> Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS, Perm, Russian Federation

<sup>б</sup> Perm State University, Perm, Russian Federation

### THE DISPERSION OF MONO- AND MIXED *Alcaligenes faecalis* 2 AND *Rhodococcus ruber* gt 1 BIOFILMS

The dispersion of mono- and mixed biofilms *Al. faecalis* 2 and *R. ruber* gt 1 with nitrile hydrolyzing activity was studied. Dispersion was assessed taking into account two parameters: 1) different age of the biofilm; 2) the exposure time of the grown biofilm in a physiological solution without nutrients. It was shown that the 7-days monofilms of the studied strains are the least stable, the dispersion from which exceeds that of the mixed biofilm by an order of magnitude or more. When comparing the absolute number of migrated cells, it was shown that *R. ruber* gt 1 cells migrate from monofilm much more intensively than from mixed cells. In a mixed culture, the 4-days old biofilms of *Al. faecalis* 2 and *R. ruber* gt 1 are most susceptible to destruction, which corresponds to the moment of the most intensive adhesion of the satellite microorganism (*R. ruber* gt 1) to the primary colonizer (*Al. faecalis* 2). It is shown that with further cooperative growth comes the phase of adaptation, which is expressed in the formation of a durable mixed biofilm, which makes it possible to effectively use them in biotechnological processes.

**Key words:** biofilms; nitrile-hydrolyzing bacteria; biofilm dispersion.

#### Введение

Бактериальная биопленка как прикрепленная форма жизни является фенотипом, доминирующим в природе над свободно плавающей планктонной формой [Marić, Vraneš, 2007]. Биопленки представляют собой сообщества бактериальных клеток, встроенные во внеклеточный матрикс собственного производства, состоящий преимущественно из экзополисахаридов, белков и нуклеиновых кислот. Внеклеточный полисахаридный матрикс, функци-

онирующий в качестве диффузионного барьера, защищает клетки биопленок от различных неблагоприятных условий окружающей среды, таких как УФ-излучение, резкие изменения pH, высушивание, а также от фагоцитоза и воздействий антибактериальных веществ [Marić, Vraneš, 2007; Dufour, Leung, Levesque, 2012; Burmølle et al., 2014; Omar et al., 2017; Ju et al., 2018]. Наличие полимерного матрикса и существование части клеток в гипометаболическом (персистирующем) состоянии позволяет микроорганизмам использовать биопленоч-

ную форму жизни как стратегию развития в неблагоприятных условиях окружающей среды, в том числе в условиях стресса.

В естественной среде обитания подавляющее большинство биопленок содержит несколько видов бактерий, а также грибы, водоросли и простейшие [Burmølle et al., 2014]. Мультивидовые биопленки имеют преимущества как перед планктонными клетками, так и перед моновидовыми биопленками. При наличии нескольких видов в биопленке усиливаются ее защитные эффекты. Ряд авторов отмечают, что клетки в мультивидовой биопленке более устойчивы к антибактериальным препаратам и химическому стрессу [Burmølle et al., 2014; Røder et al., 2015; Chen, Zhao., Doyle, 2015]. Более того, благодаря физико-химическим свойствам матрикса и его функционированию в качестве диффузионного барьера, в биопленке могут сосуществовать различающиеся по метаболизму бактерии, в том числе аэробы и анаэробы, нитрификаторы и денитрификаторы, что делает мультивидовые биопленки перспективными для использования в многостадийной конверсии веществ и при очистке сточных вод.

Биопленки давно используются в биокатализе и биологической очистке. В частности, они участвуют в производстве химических веществ, процессах биоремедиации и в очистке сточных вод, применяются для улучшения качества воды и создания возобновляемых ресурсов [Dufour, Leung, Levesque, 2012; Максимова, 2013; Rittmann, 2018; Carrel et al., 2018; Thornhill, Kumar, 2018]. Мультивидовые биопленки нашли наибольшее применение в процессах очистки сточных вод на очистных сооружениях.

Известно, что миграция клеток и отрыв целых фрагментов от биопленки являются критическим моментом в развитии биопленочных систем. Этот процесс приводит к распространению микроорганизмов, оказывает вредное воздействие на производственные системы и качество получаемого продукта, а также степень биообрастания и производительность [Derlon et al., 2013]. Существует как минимум три способа выхода бактерий из состава биопленки: десорбция, отслоение и дисперсия [Petrova, Sauer, 2016]. Первый способ – десорбция, которая для налаженных производственных систем не играет значительной роли в разрушении биопленки, так как наблюдается на ранних этапах ее развития и влияет на первоначальную адгезию клеток к поверхности.

Вторым способом выхода клеток из биопленки является отслоение, которое зависит главным образом от влияния движущейся жидкости, контактирующей с поверхностью биопленки. К отслоению относят два процесса: эрозию и истирание. Эрозия – это обусловленный физическими силами непрерывный процесс потери отдельных клеток или их небольших скоплений, который затрагивает всю поверхность биопленки [Derlon et al., 2013;

Walter et al., 2013; Petrova, Sauer, 2016]. Истирание – это высвобождение клеток из биопленки в результате столкновений с частицами на поверхности биопленки [Walter et al., 2013; Petrova, Sauer, 2016]. Таким образом, отслоению подвержены клетки, находящиеся ближе всего к поверхности биопленки.

Процесс дисперсии – третий способ высвобождения клеток из биопленки – характеризуется не только миграцией клеток в результате влияния факторов окружающей среды, но и активным фенотипическим переключением, которое обеспечивает физиологические изменения, способствующие высвобождению клеток из сообществ биопленок [Petrova, Sauer, 2016]. При активном росте биопленки увеличивается ее толщина и плотность, и, как следствие, питательные вещества и другие необходимые для жизни бактериальных клеток компоненты поступают в толщу биопленки в недостаточном количестве, в результате чего клетки в слоях биопленки, которые находятся далеко от границы раздела фаз, могут испытывать голод, а также стресс при синтезе токсичных продуктов. Чувство кворума дает бактериям способность распознавать плотность биопленки и регулировать ее благодаря синтезу разрушающих матрикс ферментов, что является отличием дисперсии от пассивного процесса отслоения.

На миграцию клеток из зрелой биопленки влияют такие параметры, как морфология биопленки, ее шероховатость, пористость, плотность, площадь поверхности; чувство кворума и действие ферментов, локализованных в экзополисахаридном матриксе; деградация матрицы биопленки химическими средствами и внешние физические воздействия окружающей среды [Paul et al., 2012; Walter et al., 2013; Solano, Echeverz, Lasa, 2014; Desmond et al., 2018]. Все эти факторы запускают механизм дисперсии для перемещения бактерий в места с благоприятными условиями окружающей среды и их колонизации. Дисперсия биопленки может оказывать как негативное влияние на процессы, основанные на биопленочных системах, так и являться важным фактором регулирования старения биопленки, от которого зависит эффективность всей системы. Поэтому для управления промышленными процессами, в которых используются биопленки бактерий, необходимы знания о миграции клеток из биопленки.

В данной работе мы изучали дисперсию моно- и смешанных биопленок *Al. faecalis* 2 и *R. ruber* gt 1, обладающих нитрилгидролизующей активностью. Эти штаммы могут быть использованы как в процессах биокатализа для получения акриламида из акрилонитрила (*R. ruber* gt 1) и акриловой кислоты из акриламида (*Al. faecalis* 2), так и в процессах очистки сточных вод от нитрилов. Смешанные биопленки этих штаммов осуществляют полную минерализацию нитрилов, и на их основе может быть сконструирован биофильтр. В этом случае

изучение процесса дисперсии биопленок необходимо для разработки эффективного процесса. В связи с этим целью исследования явилось изучение дисперсии моно- и смешанных биопленок *Al. faecalis* 2 и *R. ruber* gt 1 на различных стадиях роста и оценка стабильности сформированной биопленки в отсутствие питательного субстрата.

## Материалы и методы исследования

### Объекты исследования и условия культивирования

Штаммы: *Al. faecalis* 2, обладающий выраженной амидазной активностью, и *R. ruber* gt 1 с высокой нитрилгидратазной активностью, были выделены и селекционированы в лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии ИЭГМ УрО РАН. Культуры бактерий выращивали в колбах объемом 50 мл на шейкере со скоростью вращения 120 об/мин при 30°C на минимальной солевой среде N следующего состава (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1.0,  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 3.7,  $\text{NaCl}$  – 0.5,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.5,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.005,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0.01, pH 7.2–7.4. В качестве источника углерода для *R. ruber* gt 1 использовали глюкозу в концентрации 0.1%, в качестве источника азота – 0.01 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Для *Al. faecalis* 2 в качестве источника углерода и азота использовали 0.1 M ацетамид. При выращивании смешанной культуры и бинарной биопленки *Al. faecalis* 2 и *R. ruber* gt 1 в минеральную среду вносили глюкозу в концентрации 0.1%, 0.1 M ацетамид и 0.01 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

### Рост бактерий в биопленках и определение количества мигрировавших клеток

В лунки полистерольного плоскодонного 96-луночного планшета (Медполимер, Санкт-Петербург, Россия) вносили 150 мкл синтетической минеральной среды N и инокулировали 10 мкл суспензии нитрилуглизирующих бактерий, содержащей  $(2.0 \pm 0.2) \cdot 10^8$  КОЕ/мл. Планшеты культивировали в термостате при 30°C в течение 1–7 сут.

Миграцию клеток оценивали, учитывая два параметра: 1) различный возраст биопленки; 2) время экспозиции выращенной биопленки в физиологическом растворе без питательных веществ. Для этого планктонные клетки удаляли из лунок декантацией, биопленку отмывали от среды культивирования 200 мкл калий-фосфатного буфера дважды и добавляли 200 мкл 0.9%  $\text{NaCl}$ . Высев клеток проводили сразу (0 день) и через определенное количество суток.

Количество жизнеспособных клеток (число КОЕ) определяли при высеве на плотную агаризованную среду LB сразу же, через 1, 2 и 5 сут.

Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента, различия

считали значимыми при  $p < 0.05$ .

## Результаты и их обсуждение

Анализ дисперсии клеток *Al. faecalis* 2 из 1-суточной моновидовой биопленки показал, что наибольшее количество мигрировавших клеток наблюдается через сутки в условиях голодания по субстрату и составляет в среднем  $5.94 \cdot 10^7$  КОЕ/мл (рис. 1). На второй и пятый дни в физиологическом растворе планктонных клеток в среде становится меньше. Это связано с процессами сорбции/десорбции клеток; кроме того, так как учитывались только жизнеспособные клетки, это может быть связано с гибелью клеток в отсутствие питательного субстрата. Клетки *Al. faecalis* 2 подвижны, и на первоначальном этапе формирования биопленки активно переходят из планктонного состояния в биопленку и обратно. Наибольшее количество мигрировавших клеток из 4-суточной биопленки наблюдается во второй день в среде без питательных веществ.

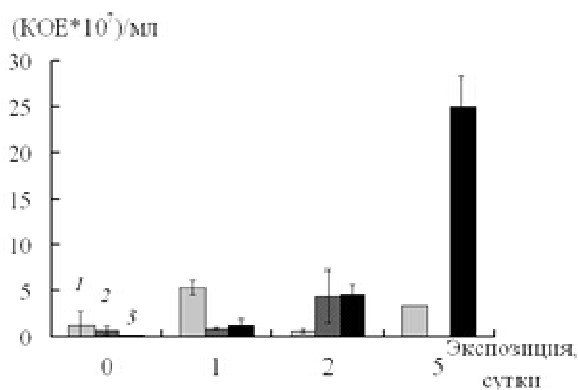


Рис. 1. Дисперсия клеток *Al. faecalis* 2 из моновидовой биопленки:

1 – 1-суточная биопленка, 2 – 4-суточная биопленка, 3 – 7-суточная биопленка

Количество мигрировавших клеток *Al. faecalis* 2 из 7-суточной моновидовой биопленки в среде без питательных веществ каждый день увеличивается, и наибольшее количество мигрировавших клеток наблюдается в пятый день хранения и составляет в среднем  $2.5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл. При этом количество мигрировавших клеток на 5-е сут. в 4.3 и 3.9 раза больше клеток, мигрировавших на 1 день экспозиции 1-суточной биопленки и на второй день экспозиции 4-суточной биопленки в физиологическом растворе соответственно. Это может говорить как о разной массивности биопленки, так и о том, что с началом дисперсии в биопленке запускаются процессы, в результате которых клетки переходят в планктонное состояние более интенсивно. Таким образом, наименее устойчивой среди изученных является 7-суточная монопенка алкалигенеса, дисперсия клеток из которой максимальна на 5-е сут.

Анализ дисперсии клеток *R. ruber* gt 1 из моновидовой биопленки показал, что для 1-суточной биопленки ярко выраженной зависимости количества мигрировавших клеток от времени экспозиции в физиологическом растворе не наблюдается (рис. 2). Наибольшее количество мигрировавших клеток из 4-суточной биопленки наблюдается на 5-е сут. в физиологическом растворе и составляет  $2.80 \cdot 10^6$  КОЕ/мл. По-видимому, на 4-е сут. культивирования клетки успевают образовать достаточно прочную биопленку, которая подвергается дисперсии только на 5-е сут.

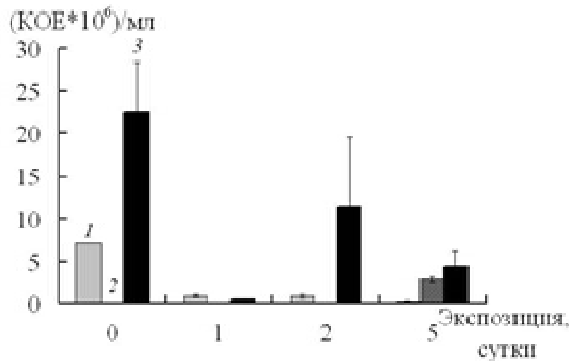


Рис. 2. Дисперсия клеток *R. ruber* gt 1 из моновидовой биопленки:

1 – 1-суточная биопленка, 2 – 4-суточная биопленка, 3 – 7-суточная биопленка

Анализ дисперсии клеток *Al. faecalis* 2 (рис. 3) и *R. ruber* gt 1 (рис. 4) из смешанной биопленки показал, что количество мигрировавших клеток и алкалингенеса, и родококка в 1-суточной и 4-суточной смешанной биопленке возрастает с каждым последующим днем в среде без питательных веществ и имеет наибольшее значение на пятый день.

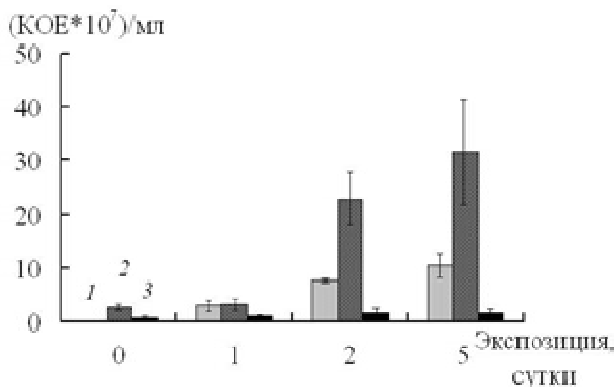


Рис. 3. Дисперсия клеток *Al. faecalis* 2 из смешанной биопленки:

1 – 1-суточная биопленка, 2 – 4-суточная биопленка, 3 – 7-суточная биопленка

Для штамма *Al. faecalis* 2 эти данные соответствуют дисперсии клеток в 7-суточной монокультуре. В 7-суточной смешанной биопленке дисперсия *Al. faecalis* 2 менее выражена, что подтверждается постоянным количеством КОЕ алкалингенеса в

течение всех пяти дней в физиологическом растворе. В то же время, миграция клеток *R. ruber* gt 1 из смешанной 7-суточной биопленки уменьшается со временем экспозиции в физиологическом растворе.

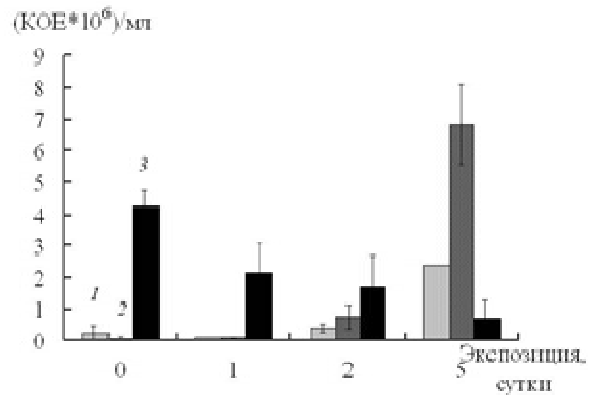


Рис. 4. Дисперсия клеток *R. ruber* gt 1 из смешанной биопленки:

1 – 1-суточная биопленка, 2 – 4-суточная биопленка, 3 – 7-суточная биопленка

Таким образом, наименее устойчивыми среди изученных моновидовых биопленок являются 7-суточные моноплёнки. Однако в смешанной культуре наиболее подвержены разрушению 4-суточные биопленки *Al. faecalis* 2 и *R. ruber* gt 1. Эксперименты, проведенные ранее [Зорина, Максимова, Демаков, 2019], показали, что именно на 4-е сут. формирования смешанной биопленки родококк присоединяется к первичному колонизатору – алкалингенесу, что связано с максимумом роста биопленки родококка [Максимова, Максимов, Демаков, 2015]. Можно предположить, что в момент наиболее интенсивной адгезии клеток второго штамма дисперсия биопленки первичного колонизатора возрастает. Интересно, что в условиях голодания по субстрату 7-суточная смешанная биопленка гораздо более стабильна, чем биопленки монокультур. В целом, дисперсия *R. ruber* gt 1 из моноплёнки более выражена и превышает таковую из смешанной биопленки на порядок и более. Внеклеточный полимерный матрикс *Al. faecalis* 2 способствует формированию более прочной биопленки *R. ruber* gt 1, а биопленка *Al. faecalis* 2 оказывается более стабильной, когда формируется в присутствии *R. ruber* gt 1.

## Заключение

Таким образом, разрушение смешанной биопленки менее выражено, при этом наиболее уязвимым моментом для первичного колонизатора является адгезия и формирование биопленки вторым штаммом – микроорганизмом-спутником. При дальнейшем совместном росте наступает фаза адаптации, которая выражается в формировании прочной смешанной биопленки. Следовательно, использование смешанных биопленок в биотехно-

логических процессах (биокатализе и очистке окружающей среды) более эффективно не только для выполнения многошаговых ферментативных реакций, но и для повышения прочности биопленки-биокатализатора.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы 01201353249.

### Библиографический список

- Зорина А.С., Максимова Ю.Г., Демаков В.А. Биопленкообразование моно- и смешанных культур штаммов *Alcaligenes faecalis* 2 и *Rhodococcus ruber* gt 1 // Микробиология. 2019. Т. 88, № 2. С. 175–183.
- Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Демаков В.А. Биопленки нитрилгидролизующих бактерий: динамика роста, устойчивость к токсичным веществам и биотехнологический потенциал // Биотехнология. 2015. № 4. С. 39–51.
- Максимова Ю.Г. Микробные биопленки в биотехнологических процессах // Биотехнология. 2013. № 4. С. 9–23.
- Burmølle M. et al. Interactions in multispecies biofilms: do they actually matter // Trends in Microbiology. 2014. Vol. 22, № 2. P. 84–91.
- Carrel M. et al. Biofilms in 3D porous media: Delineating the influence of the pore network geometry, flow and mass transfer on biofilm development // Water Research. 2018. Vol. 134. P. 280–291.
- Chen D., Zhao T., Doyle M.P. Single- and mixed-species biofilm formation by *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella*, and their sensitivity to levulinic acid plus sodium dodecyl sulfate // Food Control. 2015. Vol. 57. P. 48–53.
- Chen J. et al. Microbial transformation of nitriles to high-value acids or amides // Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology. 2009. Vol. 113. P. 33–77.
- Derlon N. et al. Growth limiting conditions and denitrification govern extent and frequency of volume detachment of biofilms // Chemical Engineering Journal. 2013. Vol. 218. P. 368–375.
- Desmond P. et al. Stratification in the physical structure and cohesion of membrane biofilms — Implications for hydraulic resistance // Journal of Membrane Science. 2018. Vol. 564. P. 897–904.
- Dufour D., Leung V., Levesque C.M. Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance // Endodontic Topics. 2012. Vol. 22. P. 2–16.
- Ju X. et al. Effect of the *luxS* gene on biofilm formation and antibiotic resistance by *Salmonella serovar* Dublin // Food Research International. 2018. Vol. 107. P. 385–393.
- Marić S., Vraneš J. Characteristics and significance of microbial biofilm formation // Periodicum Biologorum. 2007. Vol. 109, № 2. P. 1–7.
- Omar A. et al. Microbial biofilms and chronic wounds // Microorganisms. 2017. Vol. 5. P. 1–15.
- Paul E. et al. Effect of shear stress and growth conditions on detachment and physical properties of biofilms // Water Research. 2012. Vol. 46. P. 5499–5508.
- Petrova O.E., Sauer K. Escaping the biofilm in more than one way: desorption, detachment or dispersion // Current Opinion in Microbiology. 2016. Vol. 30. P. 67–78.
- Rittmann B.E. Biofilms, active substrata, and me // Water Research. 2018. Vol. 132. P. 135–145.
- Røder H.L. et al. Interspecies interactions result in enhanced biofilm formation by co-cultures of bacteria isolated from a food processing environment // Food Microbiology. 2015. Vol. 51. P. 18–24.
- Solano C., Echeverz M., Lasa I. Biofilm dispersion and quorum sensing // Current Opinion in Microbiology. 2014. Vol. 18. P. 96–104.
- Thornhill S.G., Kumar M. Biological filters and their use in potable water filtration systems in space-flight conditions // Life Sciences in Space Research. 2018. Vol. 17. P. 40–43.
- Walter M. et al. Detachment characteristics of a mixed culture biofilm using particle size analysis // Chemical Engineering Journal. 2013. Vol. 228. P. 1140–1147.

### References

- Zorina A.S., Maksimova Yu.G., Demakov V.A. [Biofilm formation by monocultures and mixed cultures of *Alcaligenes faecalis* 2 and *Rhodococcus ruber* gt 1]. *Mikrobiologija*. V. 88, N 2 (2019): pp. 175–183. (In Russ.).
- Maksimova Yu.G., Maksimov A.Yu., Demakov V.A. [Biofilms of nitrile-hydrolyzing bacteria: dynamics of growth, resistance to toxic substances, and biotechnological potential]. *Biotechnologija*. N 4 (2015): pp. 39–51. (In Russ.).
- Maksimova Yu.G. [Microbial biofilms in biotechnological processes]. *Biotechnologija*. N 4 (2013): pp. 9–23. (In Russ.).
- Burmølle M., Ren D., Bjarnshølt T., Sorensen S.J. Interactions in multispecies biofilms: do they actually matter. *Trends in Microbiology*. V. 22, N 2 (2014): pp. 84–91.
- Carrel M., Morales V. L., Beltran M. A., Derlon N., Kaufmann R., Morgenroth E., Holzner M. Biofilms in 3D porous media: Delineating the influence of the pore network geometry, flow and mass transfer on biofilm development. *Water Research*. V. 134 (2018): pp. 280–291.
- Chen D., Zhao T., Doyle M.P. Single- and mixed-species biofilm formation by *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella*, and their sensitivity to levulinic acid plus sodium dodecyl sulfate. *Food Control*. V. 57 (2015): pp. 48–53.
- Chen J., Zheng R.C., Zheng Y.G., Shen Y.C. Microbial transformation of nitriles to high-value acids or amides. *Advances in Biochemical Engineering/*

- Biotechnology*. V. 113 (2009): pp. 33-77.
- Derlon N., Coufort-Saudejaud C., Queindec I., Paul E. Growth limiting conditions and denitrification govern extent and frequency of volume detachment of biofilms. *Chemical Engineering Journal*. V. 218 (2013): pp. 368-375.
- Desmond P., Bönic L., Fischer P., Morgenroth E., Derlon N. Stratification in the physical structure and cohesion of membrane biofilms – Implications for hydraulic resistance. *Journal of Membrane Science*. V. 564 (2018): pp. 897-904.
- Dufour D., Leung V., Levesque C.M. Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance. *Endodontic Topics*. V. 22 (2012): pp. 2-16.
- Ju X., Li J., Zhu M., Lu Z., Lv F., Zhu X., Bie X. Effect of the *luxS* gene on biofilm formation and antibiotic resistance by *Salmonella serovar* Dublin. *Food Research International*. V. 107 (2018): pp. 385-393.
- Marić S., Vraneš J. Characteristics and significance of microbial biofilm formation. *Periodicum Biologorum*. V. 109, N 2 (2007): pp. 1-7.
- Omar A., Wright J.B., Schultz G., Burrell R., Nadworny P. Microbial biofilms and chronic wounds. *Microorganisms*. V. 5 (2017): pp. 1-15.
- Paul E., Ochoa J.C., Pechaud Y., Liu Y., Line A. Effect of shear stress and growth conditions on detachment and physical properties of biofilms. *Water Research*. V.46 (2012): pp. 5499-5508.
- Petrova O.E., Sauer K. Escaping the biofilm in more than one way: desorption, detachment or dispersion. *Current Opinion in Microbiology*. V. 30 (2016): pp. 67-78.
- Rittmann B.E. Biofilms, active substrata, and me. *Water Research*. V. 132 (2018): pp. 135-145.
- Røder H.L., Raghupathi P.K., Herschend J., Brejnød A., Knøchel S., Sørensen S.J., Burmølle M. Interspecies interactions result in enhanced biofilm formation by co-cultures of bacteria isolated from a food processing environment. *Food Microbiology*. V. 51 (2015): pp. 18-24.
- Solano C., Echeverz M., Lasa I. Biofilm dispersion and quorum sensing. *Current Opinion in Microbiology*. V.18 (2014): pp. 96-104.
- Thornhill S.G., Kumar M. Biological filters and their use in potable water filtration systems in space-flight conditions. *Life Sciences in Space Research*. V. 17 (2018): pp. 40-43.
- Walter M., Safari A., Ivankovic A., Casey E. Detachment characteristics of a mixed culture biofilm using particle size analysis. *Chemical Engineering Journal*. V. 228 (2013): pp. 1140-1147.

Поступила в редакцию 09.04.2019

### Об авторах

Зорина Анастасия Сергеевна, аспирант  
"Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН" - филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН  
**ORCID:** 0000-0002-4276-9921  
614081, Пермь, ул. Голева, 13; cjcyf\_92@mail.ru; (342)2124476

Максимова Юлия Геннадьевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии "Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН" - филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН  
доцент кафедры микробиологии и иммунологии ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
**ORCID:** 0000-0003-1870-1369  
614081, Пермь, ул. Голева, 13; maks@iegm.ru; (342)2124476

### Информация для цитирования:

Зорина А.С., Максимова Ю.Г. Дисперсия моно- и смешанных биопленок *Alcaligenes faecalis* 2 и *Rhodococcus ruber* gt 1 // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2019. Вып. 2. С. 153–158. DOI: 10.17072/1994-9952-2019-2-153-158.

Zorina A.S., Maksimova Yu.G. [The dispersion of mono- and mixed *Alcaligenes faecalis* 2 and *Rhodococcus ruber* gt 1 biofilms]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 2 (2019): pp. 153-158. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2019-2-153-158.

### About the authors

Zorina Anastasiya Sergeevna, graduate student  
Institute of Ecology and Genetics of Microorganism UB RAS.  
**ORCID:** 0000-0002-4276-9921  
13, Golev str., Perm, Russia, 614081;  
cjcyf\_92@mail.ru; (342)2124476

Maksimova Yuliya Gennad'evna, doctor of biology,  
Leading Researcher of the Laboratory of Molecular Microbiology and Biotechnology  
Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms UB RAS.  
associate professor of the Department of Microbiology and Immunology  
Perm State University.  
**ORCID:** 0000-0003-1870-1369  
13, Golev str., Perm, Russia, 614081;  
maks@iegm.ru; (342)2124476

