

АДГЕЗИЯ БАКТЕРИЙ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ГИДРОФОБНОСТИ К ПОВЕРХНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Полудова Т.В., *Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь*
Антипьева М.В., *Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь*

Проведено исследование влияния гидрофобных характеристик бактерий и субстратов на интенсивность микробной колонизации синтетических полимеров. В качестве субстратов использовали полистирол, полипропилен и целлофан. В качестве тест-бактерий – *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis* и *Mycobacterium smegmatis*. Степень гидрофобности бактерий определяли в тесте с *n*-гексадеканом. Уровень гидрофобности полимеров оценивали путем измерения краевого угла смачивания. Интенсивность адгезии определяли с помощью светового микроскопа по количеству прикрепившихся клеток после инкубации бактерий на поверхности субстрата с последующим окрашиванием генцианвиолетом. Показано, что интенсивность адгезии зависит от гидрофобности как бактерий, так и субстратов. Так, для бактерий наблюдалась прямая зависимость между интенсивностью адгезии и степенью гидрофобности поверхности клеток. Однако наиболее подверженным бактериальной адгезии оказался амфифильный материал – полистирол. Следовательно, дополнительная гидрофобизация или гидрофилизация поверхности субстрата может препятствовать бактериальной адгезии. Кроме того, при тестировании адсорбционных свойств материалов целесообразно использовать несколько тест-бактерий с различными характеристиками клеточной поверхности.

Ключевые слова: адгезия, адсорбция, полистирол, полипропилен, целлофан, *Escherichia coli*, *Mycobacterium smegmatis*, *Staphylococcus epidermidis*

Введение

Адгезия микроорганизмов к поверхностям различных субстратов – первый и обязательный этап формирования биопленок [1, 2, 3]. Биопленки – структуры, формирующиеся на границе раздела фаз, являются основной формой существования бактерий в окружающей среде [4]. Именно в состоянии биопленок метаболическая активность прокариот проявляется наиболее интенсивно, что, в случае паразитарных форм, приводит к развитию патологических процессов [5, 6], а в случае сапрофитов обеспечивает оптимальное протекание процессов ассимиляции и биотрансформации органических субстратов [7]. Формированию биопленки предшествует этап первичной колонизации, который определяется взаимодействиями, возникающими между поверхностями субстрата и клеточной стенки бактерий. На первичном этапе действуют межмолекулярные силы различной природы, прежде всего гидрофобные, электростатические и Ван-дер-Ваальсовы. Начальные механизмы первичной колонизации не специфичны и зависят от физико-химических характеристик поверхностей пары субстрат-адгезив. Неспецифическая адгезия обратима, и ее интенсивность определяет развитие последующих специфических процессов адгезии, которые приводят к необратимому закреплению бактерий и создают основу для формирования биопленки [8].

Механизмы специфической адгезии патогенных бактерий к биотическим субстратам детально исследованы [5, 9]. В гораздо меньшей степени изучены механизмы взаимодействия прокариот с абиотическими поверхностями.

В настоящее время при изучении абиотических поверхностей наиболее широко используется разработанный в Японии стандарт для оценки антибактериальных свойств твёрдых непористых поверхностей, согласно которому в качестве тест бактерий рекомендуется использовать кишечную палочку и стафилококк [10]. Адгезионные и антиадгезионные свойства твёрдых поверхностей широко изучаются для конструкционных стоматологических материалов, как правило, в отношении кариесогенных микроорганизмов, таких как *Enterococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Candida* spp. и др. [11]. Свойства поверхностей широко изучаются и относительно материалов медицинского назначения, применяемых для изготовления имплантатов. Обычно для изучения адгезии бактерий к новым материалам принято использовать грамположительные бактерии рода *Staphylococcus* как наиболее частых колонизаторов имплантируемых устройств и возбудителей постимплантационных инфекций, а в качестве представителей грамотрицательных бактерий – *Escherichia coli* [12].

Изучение не специфических механизмов адгезии актуально не только со стороны медицинской и санитарной микробиологии, но и со стороны биотехнологии. Интерес к изучению взаимодействий бактерий и субстратов возрастает, в частности, в свете развития технологий конструирования материалов с заданными поверхностными характеристиками. Материалы, поверхности которых способствуют или препятствуют бактериальной адгезии, могут иметь широкую сферу применения и использоваться при создании биореакторов, биосенсоров, аэротенков, медицинского инструмента и оборудования, имплантатов, протезов, предметов общественного пользования, упаковки для продуктов питания и оборудования для пищевой промышленности.

При разработке новых материалов с противомикробными и антиадгезивными свойствами возникает проблема их воспроизводимой лабораторной верификации и валидации. Существующие стандартные микробиологические методы тестирования поверхностей подвергаются справедливой критике и требуют совершенствования [13]. Остаются открытыми вопросы: какие микроорганизмы использовать в качестве тест-объектов? Какое количество штаммов достаточно для надежного подтверждения исследуемого эффекта? Как воспроизвести условия конечного использования тестируемого материала? Перечисленные вопросы сохраняют свою актуальность, что свидетельствует, в частности, о недостаточном уровне исследования механизмов бактериальной адгезии на абиотических субстратах.

Изучение влияния гидрофобных характеристик различных твердых поверхностей и их шероховатости на адгезию бактерий неоднократно проводились, и эти характеристики продолжают исследоваться разными научными коллективами. Несмотря на большой объем данных, появление новых полимеров, наноматериалов и методов их обработки ставит перед наукой новые вызовы. Анализ большого количества экспериментальных данных и их сравнение открывают перспективы разработки универсальных методов и подходов для изучения этого важного биологического процесса.

Цель работы – изучение поверхностных характеристик субстратов и тест-бактерий с оценкой интенсивности их адгезии к промышленным синтетическим полимерам.

Материалы и методы

В работе исследованы полимерные поверхности из полипропилена (21020-02, сорт 1), полистирола (525M) и целлофана (ГОСТ 7730-89). Образцы полимеров размером 10×10 мм вырезали с помощью канцелярского ножа из полипропиленовых крышек-нахлбучек (РосПак, Россия), листового целлофана (ОАО «Химволокно», Россия) и полистироловых одноразовых чашек Петри (Медполимер, Россия).

Исследование морфологии поверхностей полимеров проводили методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе Dimension Icon («Veeco», США). Измерения выполняли на воздухе в полуконтактном режиме с использованием кремниевых кантилеверов серии NSG01 («NT-MDT», Россия). Зонды имели следующие номинальные характеристики: радиус скругления острия – 10 нм, жесткость – 7Н/м, резонансная частота – 150 кГц.

Уровень гидрофобности полимерных поверхностей оценивали путем измерения краевого угла смачивания по модифицированному методу сидячей капли. Для этого на поверхности полимеров наносили несколько капель деионизированной воды («Milli-Q», Millipore) объемом 10 мкл, в течение 60 с после контакта с поверхностями фотографировали профиль капель. На фотографиях измеряли радиус (r) и высоту (h) капли. Контактные углы (θ) вычисляли по формуле $\theta = 2 \times \arctg(h/r)$.

В качестве тест-бактерий использовали грамотрицательные бактерии *E. coli* M-17, грамположительные кислотоустойчивые бактерии *Mycobacterium smegmatis* mc² 155 и *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228. Культивирование проводили при 37°C в течение 16-18 ч в жидкой питательной среде Luria Bertani, содержащей г/л дистиллированной воды: триптон – 10, дрожжевой экстракт – 5, KCl – 6,4.

Определение степени гидрофобности бактерий проводили с помощью МАТН-теста (Microbial Adhesion to Hydrocarbons) с *n*-гексадеканом в 0,2 М РUM-буфере (Phosphate-urea-magnesium), pH 7,1 [14]. Для этого суспензию бактерий в указанном буфере интенсивно встряхивали с *n*-гексадеканом (10:1) в течение 2 мин. Затем выдерживали в статических условиях до расслоения жидкостей и оценивали оптическую плотность бактериальной суспензии при 600 нм (спектрофотометр PD-303, «Arel», Япония), сравнивая полученное значение со значением оптической плотности до перемешивания с углеводородом.

Дзета-потенциал (Z-потенциал) бактерий определяли в воде («Milli-Q», Millipore) (pH 5,8) и РUM-буфере (pH 7,1) на лазерном анализаторе размера частиц и дзета-потенциала «Zetasizer Nano ZS» (Malvern, Великобритания).

Для изучения интенсивности адгезии бактерий готовили в 0,2 М РUM-буфере суспензию, содержащую 10⁷ колониеобразующих единиц в 1 мл (КОЕ/мл). По 3 мл суспензии бактерий наносили поверх фрагментов полимеров (10×10 мм), помещенных в чашку Петри диаметром 30 мм. Инкубацию проводили 15 мин при 37 °С. Затем жидкость удаляли, образцы полимеров трижды промывали в 5 мл стерильной воды и окрашивали 0,1% раствором генцианвиолета в течение 10 мин. Не связавшийся краситель трижды отмывали стерильной водой. Высушенные поверхности полимеров исследовали на микровизоре «Ломо» (Россия) с увеличением ×1000 раз. Интенсивность адгезии определяли прямым счетом количества связавшихся с поверхностью образца клеток бактерий, рассчитывая их среднее количество в поле зрения микровизора (не менее 10 полей зрения). Доверительные интервалы средних значений рассчитаны при $\alpha=0,05$ с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждения

Межмолекулярные силы, определяющие неспецифические взаимодействия пары бактерия-субстрат, выражены рядом поверхностных физико-химических характеристик, среди которых наибольшее значение имеют электростатические взаимодействия, рельеф поверхности субстрата и характер взаимодействия поверхностей с водой (гидрофобность/гидрофильность). Однако именно уровень гидрофобности бактериальной стенки считается основным фактором, определяющим степень и интенсивность неспецифической бактериальной адгезии [5, 7, 15]. В этой связи в качестве объекта исследования были выбраны представители бактерий, клетки которых резко отличаются друг от друга по уровню гидрофобности. Клеточная стенка *M. smegmatis* была наиболее гидрофобной: $84 \pm 6,34$ % клеток из смеси гексадекан/вода переходило в фазу гексадекана. Поверхность *S. epidermidis* демонстрировала амфифильные свойства – $49 \pm 4,52$ % клеток адсорбировалось гексадеканом. Клетки *E. coli* проявили выраженные гидрофильные свойства – показатель адсорбции гексадеканом для них составил 0%.

Как правило, поверхность полимерных материалов, таких как полистирол и полипропилен, обладает гидрофобными свойствами, а целлофан, напротив, хорошо смачивается водой. Оценка данного параметра исследуемых полимеров показала, что наибольшей гидрофобностью обладал полипропилен. Краевой угол смачивания для полипропилена составлял $74 \pm 4^\circ$. Значение краевого угла смачивания полистирола соответствовало $64 \pm 6^\circ$, что близко к пограничному значению (65°), при котором принято различать гидрофильные ($\theta < 65^\circ$) и гидрофобные материалы ($\theta > 65^\circ$). Таким образом, можно отметить, что поверхность исследуемого полистирола обладала амфифильными свойствами. На целлофане капля воды полностью растекалась ($\theta = 0^\circ$), характеризуя его как материал, поверхность которого проявляет ярко выраженные гидрофильные свойства [16].

Для определения электростатических сил, действующих в парах бактерия-субстрат, был изучен дзета-потенциал поверхности тестируемых бактерий. Наибольшим отрицательным значением дзета-потенциала обладали бактерии *M. smegmatis* mc^2 155, а наименьшим – *E. coli* M-17. Однако резкий сдвиг дзета-потенциала в сторону нейтральности наблюдался при увеличении ионной силы среды (в PUM-буфере). В данных условиях значение дзета-потенциала всех исследованных бактерий было практически одинаковым (Табл. 1).

Таблица 1

Дзета-потенциал поверхностей бактериальных клеток

Бактерии	Z-потенциал (вода), мВмВ	Z-потенциал (PUM-буфер), мВмВ
<i>E. coli</i> M-17	$-22,8 \pm 3,32$	$-8,7 \pm 1,84$
<i>M. smegmatis</i> mc^2 155	$-45,7 \pm 5,98$	$-10,5 \pm 2,54$
<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	$-30,9 \pm 4,62$	$-9,3 \pm 2,68$

Известно, что в солесодержащей среде происходит экранирование фактического поверхностного заряда катионами, которые сосредотачиваются вблизи отрицательных

зарядов на поверхности бактерий [17]. Поверхности твердых диэлектриков, как и бактерии, заряжены отрицательно. Поверхностные заряды синтетических полимеров, погруженных в водную среду, также уравниваются ионами двойного слоя. Такие поверхности считаются электронейтральными, но могут иметь значительную электрическую неоднородность [18]. Полученные данные позволяют считать влияние электростатических сил на адгезию бактерий к полимерам не существенным, поскольку в предложенных условиях значение дзета-потенциала для исследуемых бактерий достоверно не различалось.

В то же время, характер рельефа поверхности субстрата может способствовать бактериальной адгезии или, наоборот, препятствовать ей. Шероховатость и пористость поверхности увеличивает площадь соприкосновения бактерий, создавая, в сравнении с гладким рельефом, большую основу для прикрепления клеток к субстрату, а также обеспечивая дополнительную защиту от сил сдвига. В случае, если неровности поверхности меньше линейных размеров бактериальной клетки, может наблюдаться обратный эффект уменьшения интенсивности бактериальной адгезии [19].

АСМ-сканирование поверхностей исследуемых полимеров показало, что полипропилен и полистирол обладают схожей гладкой текстурой с незначительным бороздчатым рельефом, что позволяет пренебречь влиянием характера рельефа поверхностей этих полимеров на бактериальную адгезию. Однако наблюдаемая текстура целлофана с бугристостью и впадинами может оказывать определенное влияние на интенсивность закрепления клеток (Рис. 1).



Рис. 1. АСМ-изображения поверхностей полимеров:
1 – полипропилен, 2 – полистирол, 3 – целлофан

Сродство бактерий к полимерным поверхностям было неодинаковым, как между бактериями, так и в зависимости от типа поверхности. Наибольшим сродством к полипропилену и полистиролу обладали бактерии *M. smegmatis* mc² 155. На гидрофильной поверхности целлофана бактерии *M. smegmatis*, обладающие высокой гидрофобностью, были выявлены в наименьшем количестве. Интенсивность адгезии *E. coli* M-17 и *S. epidermidis* ATCC12228 к разным материалам возрастала по мере снижения гидрофобности полимеров. При этом на поверхности целлофана фиксировалось наибольшее количество бактерий кишечной палочки и стафилококка (Рис. 2).

Полученные данные хорошо согласуются с общепринятым в литературе представлением о том, что для бактерий отмечается четкая прямая корреляция гидрофобных и адгезивных свойств [5, 7, 15].

В группе полимеров амфифильный полистирол оказался наиболее подвержен адгезии грамположительных бактерий, причем гидрофобные бактерии *M. smegmatis* проявили наибольшее сродство именно к этому материалу. Из-за выраженной

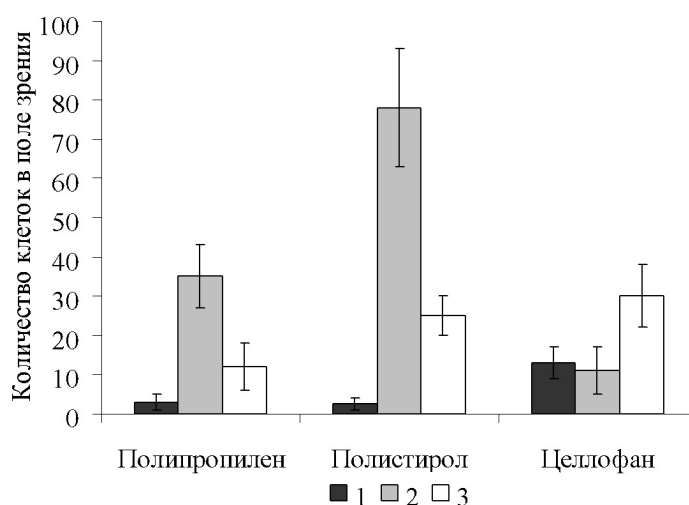


Рис. 2. Адгезия бактерий на поверхности полимерных материалов
1 – *E. coli*, 2 – *M. smegmatis*, 3 – *S. epidermidis*

гидрофобности микобактерии легко прикрепляются к неполярным или амфифильным поверхностям. Однако при формировании биопленки на границе твердая поверхность/жидкость ключевую роль играют экзополисахариды и амфифильные гликопептидолипиды. Их количество в клеточных стенках микобактерий относительно не велико, но именно эти структуры могут играть ключевую роль в усилении неспецифической адгезии на амфифильных поверхностях [20].

Отдельно следует отметить, что гидрофильный целлофан сорбировал амфифильные клетки *S. epidermidis* аналогично с полистиролом (Рис. 2). Это может быть связано с амфифильностью стафилококков и наличием у них специфических факторов адгезии [21]. Адгезивные свойства гидрофильных бактерий *E. coli* наиболее интенсивно проявлялись в отношении гидрофильного целлофана, который сорбировал максимальное количество бактерий *E. coli* по сравнению с другими полимерами. Данное поведение бактерий кишечной палочки и стафилококка могло быть также обусловлено особенностями микрорельефа поверхности целлофана, обладающего большей шероховатостью, чем полистирол и полипропилен.

Заключение

Проведенные исследования показали, что синтетические полимеры с амфифильными поверхностями могут быть более подвержены адгезии бактерий, обладающих определенной степенью гидрофобности, чем гидрофобные или гидрофильные материалы. При конструировании поверхностей, препятствующих бактериальной адгезии, следует учитывать, что гидрофобизация или гидрофилизация субстрата может способствовать проявлению антиадгезионных характеристик. В то же время гидрофильные материалы обладают высоким сродством с бактериями, обладающими оводнённой клеточной поверхностью, что характерно для большинства представителей грамотрицательных бактерий. Результаты проведенных исследований указывают, что в случае изучения неспецифических механизмов бактериальной адгезии на абиотических субстратах не следует ограничиваться одним видом микроорганизма или одним типом субстрата, большую ценность имеют исследования

целого ряда пар бактерия-субстрат, в котором спектр физико-химических поверхностных характеристик должен быть представлен как можно шире. Тестирование адгезивных свойств различных материалов необходимо проводить с использованием бактерий с гидрофобными, амфифильными и гидрофильными поверхностями клеток, а не ограничиваться узким рядом микроорганизмов, характерных для узкоспециализированных экологических ниш. Антиадгезивные свойства материала в отношении одной группы микробов не могут гарантировать отсутствие сродства бактерий других групп к исследуемому субстрату.

Библиографический список

1. Nikolaev Yu.A., Plakunov V.K. Biofilm – «city of microbes» or an analogue of multicellular organisms? // Microbiology. – 2007. – Vol. 76. – No. 2. – P. 125-138. – DOI10.1134/S0026261707020014.
2. Nozhevnikova A.N., Bochkova E.A., Plakunov V.K. Multi-species biofilms in ecology, medicine, and biotechnology // Microbiology. – 2015. – Vol. 84. No. 6. – P. 731-750. – DOI: 10.1134/S0026261715060107.
3. Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Демаков В.А. Адгезия бактериальных клеток на углеродных носителях: характеристики процесса и применение в биотехнологии // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2019. – № 3. – С. 86-93. – DOI: 10.7242/2658-705X/2019.3.9.
4. Costerton J.W., Geesey G.G., Cheng K-J. How Bacteria Stick // Scientific American. – 1978. – Vol. 238. – P. 86-95.
5. Серегина Н.В., Честнова Т.В., Жеребцова В.А., Хромушина В.А. Обзор биофизических особенностей микробной адгезии // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. 15. – № 4. – С. 175-177.
6. Hartmann M., Lindhorst T. Understanding Bacterial Adhesion // G.I.T. Laboratory Journal. – 2010. – Vol. 5. – P. 32-34.
7. Dunne W.M. Bacterial Adhesion: Seen Any Good Biofilms Lately? // Clinical Microbiology Reviews. – 2002. – Vol. 15. – P. 155-166.
8. Plakunov V.K., Zhurina M.V., Mart'yanov S.V., Gannesen A.V. Biofilms as a Probable Basic Form of Microbial Existence: Present-Day Notions // Microbiology. – 2025. – Vol. 94. – No. 4. – P. 461-483. – DOI10.1134/S0026261725601083.
9. Зубарева И.В., Беренштейн Т.Ф., Федянин С.Д. Об адгезии грамположительных кокков // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2010. – Т. 9. – № 1. – С. 6-15.
10. JISZ2801:2010 / AMENDMENT 1: 2012 Japanese Industrial Standard 2012. Antimicrobial products. Test for antimicrobial activity and efficacy (Amendment 1). – URL: <https://webstore.ansi.org/standards/jis/jis28012010/> (дата обращения: 14.04.2026).
11. Царёв В.Н., Степанов А.Г., Ипполитов Е.В., Подпорин М.С., Царёва Т.В. Контроль первичной адгезии микроорганизмов и формирования биоплёнок на стоматологических материалах, используемых для трансдентальной имплантации при зубосохраняющих операциях // Клиническая лабораторная диагностика. – 2018. – Т. 63. – № 9. – С. 568-573. – DOI10.18821/0869-2084-2018-63-9-568-573.
12. Matinha-Cardoso J., Mota R., Gomes L.C., Gomes M., Mergulhao F.J., et al. Surface activation of medical grade polyurethane for the covalent immobilization of an anti-adhesive biopolymeric coating // J. Materials Chemistry. – 2021. – Vol. 9. – No. 17. – P. 3705-3715. DOI: 10.1039/d1tb00278c.
13. Cunliffe A.J., Askew P.D., Stephan I., Iredale G., Cosmans P., et al. How Do We Determine the Efficacy of an Antibacterial Surface? A Review of Standardised Antibacterial Material Testing Methods // Antibiotics (Basel). – 2021. – Vol. 10. – No. 9. – P. 1069. DOI:10.3390/antibiotics10091069.
14. Rosenberg M., Gutnick D., Rosenberg E. Adherence of bacteria to hydrocarbons: A simple method for measuring cell-surface hydrophobicity // FEMS Microbiology Letters. – 1980. – Vol. 9. – No. 1. – P. 29-33.

15. *Дмитриева Н.Ф., Брико Н.И., Вылегжанина Е.С.* Гидрофобность *Streptococcus pyogenes* как возможный маркер его вирулентности // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1996. – Т. 2. – С. 21-24.
16. *Jothi Prakash C.G., Prasanth R.* Approaches to design a surface with tunable wettability: a review on surface properties // Journal of Materials Science. – 2021. – Vol. 56. – P. 108-135. DOI: 10.1007/s10853-020-05116-1.
17. *Brown D.G., Zhu H., Albert L.S., Fox J.T.* Rapid Characterization and Modeling of Natural and Undefined Charge-Regulated Surfaces in Aqueous Systems // Langmuir. – 2019. – Vol. 35. No. 43. – P. 14083-14091. DOI: 10.1021/acs.langmuir.9b02265.
18. *De Lima Burgo T.A., Rezende C.A., Bertazzo S., Galembeck A., Galembeck F.* Electric potential decay on polyethylene: Role of atmospheric water on electric charge build-up and dissipation // Journal of Electrostatics. – 2011. – Vol. 69. – No. 4. – P. 401-409. DOI: 10.1016/j.elstat.2011.05.005.
19. *Morozov I.A., Kamenetskikh A.S., Scherban M.G.* The challenges of creating deformable plasmacoatings on the surface of elastic polymers // Mechanics, resource and diagnostics of materials and structures (MRDMS-2019): Proceedings of the 13th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures. – Екатеринбург. – 2019. – Vol. 2176. – P.040009. DOI: 10.1063/1.5135158.
20. *Viljoen A., Dufrene Y.F., Nigou J.* Mycobacterial Adhesion: From Hydrophobic to Receptor-Ligand Interactions // Microorganisms. – 2022. – Vol. 10. – №2. – P.454. DOI: 10.3390/microorganisms10020454.
21. *Ерошенко Д.В., Коробов В.П.* Адгезия стафилококков: первый шаг к образованию биопленок // Успехи современной биологии. – 2017. – Т. 137. – №1. – С. 100–112.

Благодарности:

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН в рамках государственного задания №124020500028-4 «Биоразнообразие микроорганизмов антропогенно загрязненных экосистем и функционально-генетические механизмы их адаптации к стрессовым условиям окружающей среды».

Для цитирования:

Полюдова Т.В., Антипова М.В. Адгезия бактерий с разным уровнем гидрофобности к поверхности синтетических полимеров // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2026. – № 3. – С. 93–101. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2026.3.6>

Сведения об авторах:

Полюдова Татьяна Вячеславовна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биохимии развития микроорганизмов, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИЭГМ УрО РАН»), 614081, г. Пермь, ул. Голева, д. 13; e-mail: polyudova@iegm.ru, ORCID: 0000-0002-9536-694X

Антипова Марина Владимировна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, «ИЭГМ УрО РАН»; e-mail: girmar@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2955-2258

ADHESION OF BACTERIA WITH DIFFERENT LEVELS OF HYDROPHOBICITY TO THE SURFACE OF SYNTHETIC POLYMERS

Polyudova T.V., Antipova M.V.

Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms UB RAS, Perm

The role of the hydrophobic characteristics of bacteria and substrate on the intensity of microbial colonization of synthetic polymers was studied. Polystyrene, polypropylene, and cellophane were used as substrates. *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*,

and *Mycobacterium smegmatis* served as test bacteria. The degree of hydrophobicity of the bacterial surface was determined via an n-hexadecane test. The hydrophobicity of the polymers was assessed by measuring the contact angle. The intensity of adhesion was determined using a light microscope by the number of attached cells after incubation of bacteria on the substrate surface, followed by staining with gentian violet. It has been shown that the intensity of adhesion depends both on the hydrophobicity of the bacteria and on the substrates. Thus, for bacteria, a direct relationship was observed between the intensity of adhesion and the degree of cell surface hydrophobicity. However, the amphiphilic material that proved to be most susceptible to bacterial adhesion was polystyrene. Therefore, additional hydrophobization or hydrophilization of the substrate surface can hinder bacterial adhesion. Furthermore, when testing the adsorption properties of materials, it is advisable to use several test bacteria with different cell surface characteristics.

Keywords: *adhesion, adsorption, polystyrene, polypropylene, cellophane, Escherichia coli, Mycobacterium smegmatis, Staphylococcus epidermidis*

Поступила в редакцию: 07.05.2026

Принята к публикации: 26.06.2026