

# Анализ белковых препаратов вирулентных штаммов *Y. pestis* методом двумерного электрофореза

П.Х.Копылов, Е.А.Красильникова, О.Н.Перовская, Р.З.Шайхутдинова,  
С.А.Иванов, Е.А.Тюрин, А.П.Анисимов, С.В.Дентовская

ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора,  
Оболенск, Российская Федерация

Клеточные суспензии вирулентных штаммов чумного микроба использовали для получения проб для двумерного электрофореза. Показано, что последовательная обработка микробных клеток водными растворами, включающими 80% трихлоруксусную кислоту и 90% ацетон, приводила к их полной инактивации. Специфическую стерильность доказывали высевы препаратов на чувствительные среды и постановками биопроб на мышах. 2D-электрофореграммы демонстрировали высокую степень разделения белков. Двумерный электрофез и масс-спектрометрия показали ожидаемое наличие F1 антигена (Caf1) и Ymt (мышинный токсин, фосфолипаза D) в препарате штамма *Y. pestis* И-3189 (pFra+).

**Ключевые слова:** *Yersinia pestis*, протеом, двумерный гель-электрофорез, вирулентность, инактивация микробных клеток

**Для цитирования:** Копылов П.Х., Красильникова Е.А., Перовская О.Н., Шайхутдинова Р.З., Иванов С.А., Тюрин Е.А., Анисимов А.П., Дентовская С.В. Анализ белковых препаратов вирулентных штаммов *Y. pestis* методом двумерного электрофореза. Бактериология. 2017; 2(3): 28–32. DOI: 10.20953/2500-1027-2017-3-28-32

## Analysis of *Y. pestis* virulent strain proteins by two-dimensional electrophoresis

P.Kh.Kopylov, Ye.A.Krasil'nikova, O.N.Perovskaya, R.Z.Shaykhtudinova,  
S.A.Ivanov, Ye.A.Tyurin, A.P.Anisimov, S.V.Dentovskaya

State Research Center of Applied Microbiology and Biotechnology of Rosпотребнадзор, Obolensk, Russian Federation

*Y. pestis* microbial cell suspensions have been used for preparation of samples for 2D-electrophoresis. It was demonstrated that consecutive treatment of microbial cells by water solutions of trichloroacetic acid (80%) and acetone (90%) yields to complete inactivation of samples. The specific sterility of preparations was demonstrated by seeding preparations on nutrient media and infection of mice. A high resolution of proteins of this preparation was revealed by 2D-electrophoresis. The expected presence of Caf1 and Ymt proteins in pFra<sup>+</sup> plasmid bearing strain I-3189 was manifested by 2D-electrophoresis and mass spectrometry.

**Keywords:** *Yersinia pestis*, proteome, 2-D gel electrophoresis, virulence, microbial cell inactivation

**For citation:** Kopylov P.Kh., Krasil'nikova Ye.A., Perovskaya O.N., Shaykhtudinova R.Z., Ivanov S.A., Tyurin Ye.A., Anisimov A.P., Dentovskaya S.V. Analysis of *Y. pestis* virulent strain proteins by two-dimensional electrophoresis. Bacteriology. 2017; 2(3): 28–32. (In Russian). DOI: 10.20953/2500-1027-2017-3-28-32

**В**ысокоразрешающий двумерный электрофорез лежит в основе протеомных технологий, позволяющих идентифицировать и охарактеризовать белки микроорганизмов. Воспроизводимость результатов протеомного анализа обуславливается высоким разрешением двумерных гелей и

зависит от градиента pH и качества исследуемого образца, содержащего репрезентативный пул белков в растворенном виде [1]. Для получения таких образцов используют традиционные реагенты, осаждающие белки, например, трихлоруксусную кислоту, аммоний серноокислый. Однако соосажде-

### Для корреспонденции:

Копылов Павел Христофорович, кандидат биологических наук, заведующий сектором биохимии особо опасных инфекций, ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора

Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПИМБ

Телефон: (4967) 36-0003

E-mail: pkopylov@obolensk.org

Статья поступила 04.08.2017 г., принята к печати 26.09.2017 г.

### For correspondence:

Pavel Kh. Kopylov, PhD (Biol.), head of the biochemistry of especially dangerous infections department, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology

Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation

Phone: (4967) 36-0003

E-mail: pkopylov@obolensk.org

The article was received 04.08.2017, accepted for publication 26.09.2017

ние липополисахаридных и липидных компонентов цельноклеточных лизатов микроорганизмов существенно ухудшает разделение белков как по изоэлектрическим точкам, так и по молекулярным массам. Последовательная обработка тотальных клеточных осадков органическими растворителями позволяет значительно уменьшить количество нежелательных примесей [2]. Использование концентрированных растворов трихлоруксусной кислоты и органических растворителей позволяет добиться полноты осаждения белков и полностью инактивировать микробные клетки, что важно при работе с возбудителями опасных инфекций. В представленной публикации описаны эксперименты по определению инактивирующего действия химических реагентов, используемых при получении белковых препаратов из вирулентных штаммов *Y. pestis*, и приведены данные по получению и контролю безопасных образцов, пригодных для дальнейшего масс-спектрометрического анализа после разделения путем двумерного электрофореза.

### Материалы и методы

**Штаммы.** В работе использовали два вирулентных штамма *Y. pestis* subsp. *microti* bv. *ulegeica* И-2422 (pFra<sup>-</sup>pCad<sup>+</sup>pPst<sup>+</sup>Pgm<sup>+</sup>) и И-3189 (pFra<sup>+</sup>pCad<sup>+</sup>pPst<sup>+</sup>Pgm<sup>+</sup>) из фондов ГКПМ-Оболensk.

**Культивирование.** Штаммы *Y. pestis* выращивали и пробоподготовку проводили в боксах биологической безопасности III класса, оборудованных в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами [3] и требованиями инструкций биологической безопасности в помещениях, относящихся по международной классификации к BSL3. Бактерии культивировали на плотной питательной среде Хоттингера с добавлением 5% гемолизированной крови в течение 2-х сут: 1-е сутки при температуре 28°C, 2-е – при температуре 37°C.

**Получение препаратов для двумерного электрофореза.** Полную петлю (10 мкл) каждого из исследуемых штаммов суспендировали в 1 мл фосфатного буферного раствора, содержащего 150 мМ NaCl, pH 7,2 (ФБР) в микропробирке объемом 2 мл. К полученной суспензии добавляли 250 мкл 80% раствора трихлоруксусной кислоты, перемешивали с помощью пипетки и инкубировали в течение 30 мин на льду. Суспензии центрифугировали в течение 5 мин при 13 000 × g и пипеткой удаляли надосадочную часть. К осадку добавляли 1 мл ледяного 90% водного раствора ацетона, ресуспендировали и центрифугировали при тех же условиях. Процедуру экстракции ацетоном повторяли дважды, после чего из каждого образца отбирали пробу объемом 20 мкл для проверки специфической стерильности.

**Определение специфической стерильности.** Для исключения бактериостатического действия ацетона пробы объединяли (не более 5 проб), после чего разводили 5 мл ФБР для последующего высева на чувствительные среды и постановки биопробы на мышах. По 0,2 мл подготовленных разбавленных проб высевали в пяти повторах на агар Хоттингера с 2% гемолизированной кровью, а также, в пяти повторах в пробирки с полужидкой тиогликолевой средой. Посевы инкубировали в течение 7 сут в термостате при температуре 28°C, оптимальной для роста *Y. pestis*. Параллельно

проводили контроль ростовых качеств и контроль стерильности используемых сред. При постановке биопроб пяти белым мышам линии BALB/c подкожно вводили по 0,2 мл контролируемого препарата и трем мышам по 0,2 мл ФБР. Наблюдение за животными проводили в течение 7 сут. До получения результатов, подтверждающих полную стерильность, белковые препараты хранили в ацетоне при температуре –20°C в помещениях лаборатории класса BSL3. При отсутствии роста на всех средах и гибели животных пробы считали стерильными и дальнейшие исследования проводили в помещениях, предназначенных для работы с различным материалом.

**Проведение двумерного электрофореза и визуализация белков.** Для получения электрофоретических проб ацетон удаляли, а осадки растворяли при перемешивании в буферном растворе, содержащем 8 М мочевины, 2 М тиомочевину, 20 мМ дитиотрейтол, 5% (о/о) амфолиты 3-10 (Bio-Rad), 5,5% CHAPS (в/о) и 2% NP40 (о/о) в течение 1 ч при температуре 24°C. Смешанный раствор детергентов CHAPS/NP-40 готовили предварительно из 0,6 г CHAPS и 200 мкл NP-40 в объеме 2 мл. Раствор мономеров в деионизованной воде объемом 100 мл содержал 0,9 г N,N'-метиленабисакриламида и 29,2 г акриламида. Полиакриламидные гели высотой 110 мм полимеризовали под слоем деионизованной воды в течение 2 ч в стеклянных капиллярах с внутренним диаметром 1,5 мм. Последовательно растворяли в 680 мкл деионизованной воды 1,0 г мочевины, 260 мкл мономеров, 40 мкл амфолинов (3–10), 75 мкл амфолинов (5–8), 120 мкл CHAPS/NP-40, доводили объем до 2 мл и непосредственно перед заполнением капилляров добавляли 4 мкл 10% персульфата аммония и 2 мкл TEMED. Пробы с содержанием общего белка от 30 мкг до 50 мкг наслаивали непосредственно на верхние части гелей, свободные части капилляров наполняли катодным буфером и закрепляли в ячейках камеры Protean II xi (Bio-Rad). В качестве катодного буфера применяли 50 мМ NaOH, анодным буфером служил 20 мМ раствор ортофосфорной кислоты. Изоэлектрическое фокусирование проводили в режиме нарастания напряжения от 100 В до 500 В течение первого часа, далее при 600 В течение 1 ч, 700 В – 18 ч, 900 В – 0,5 ч. По завершении изоэлектрического фокусирования столбики геля вытесняли из капилляров деионизованной водой и сразу же помещали их при непрерывном перемешивании в уравнивающий буфер, содержащий 6 М мочевины, 30% глицерин (о/о), 0,125 М трис-HCl (pH 6,8), 2% додецилсульфат натрия (в/о), 15 мМ дитиотрейтол, 0,02% бромфеноловый синий на 2,5 ч при 25°C. Уравновешенную буфером гелевую нить помещали на верхнюю часть полиакриламидного геля с линейным градиентом акриламида (7,5–15)%, фиксировали ее положение 1% расплавом агарозы и проводили электрофоретическое разделение во втором направлении в режиме постоянного тока 50 мА на один столбик геля в камере SE600X Chroma Deluxe (Hoefel). Гели окрашивали в течение 1 ч раствором Кумасси G-250, избыток красителя удаляли раствором, содержащим 7% уксусной кислоты и 5% этанола. Гели сканировали, цифровые изображения сравнивали с использованием программы InfoQuest™ FP (Bio-Rad) с корректировкой вручную путем маркирования повторяющихся сквозных белковых пятен в разных частях изображений. Выб-

Таблица 1. Результаты контроля стерильности препаратов белков *Y. pestis* И-2422 и И-3189 путем посева на питательные среды

Препарат	Рост на агаре Хоттингера с 2%-ной гемолизированной кровью, КОЕ					Рост в полужидкой тиогликолевой среде				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Неинaktivированный из штамма <i>Y. pestis</i> И-2422	81	99	102	96	83	+	+	+	+
Инактивированный из штамма <i>Y. pestis</i> И-2422	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
Неинaktivированный из штамма <i>Y. pestis</i> И-3189	83	79	92	111	89	+	+	+	+	+
Инактивированный из штамма <i>Y. pestis</i> И-3189	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-

«+» – наличие роста; «-» – отсутствие роста.

Таблица 2. Результаты контроля специфической стерильности препаратов белков *Y. pestis* И-2422 и И-3189 методом биопробы

Исследуемые препараты	Количество животных	Падеж, сут						
		1	2	3	4	5	6	7
Инактивированный препарат белка из штамма <i>Y. pestis</i> И-2422	5	0	0	0	0	0	0	0
Инактивированный препарат белка из штамма <i>Y. pestis</i> И-3189	5	0	0	0	0	0	0	0
Контроль (раствор ацетона в физрастворе)	5	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3. Результаты масс-спектрометрии фрагментов 2D геля штамма *Y. pestis* И-3189

Обозначение белка	Молекулярная масса*, кДа	Данные, полученные в результате анализа аминокислотной последовательности белка (NCBI)			
		молекулярная масса, кДа	изоэлектрическая точка, pI	название белка	% гомологии (MASCOT Search Results)
P1	18,1	15,6	4,4	Caf1	91,3
P2	60,4	67,5	5,5	Фосфолипаза D <i>Enterobacteriaceae</i>	46,0

\*рассчитана по результатам ДСН-ПААГ.

ранние пятна вырезали и использовали для масс-спектрометрического анализа.

**Масс-спектрометрия и идентификация выбранных белков.** Масс-спектры получали на приборе Reflex IV (Bruker Daltonics, Германия) MALDI-TOF в рефлекс-режиме, используя азотный лазер с длиной волны 337 нм и частотой импульса 9 Hz в режиме положительных ионов. Время задержки анализатора – 200 нс, напряжения на электроде ускорителя – 20,0 кВ, накапливающем электроде – 17,1 кВ, фокусирующей линзе – 9,4 кВ. Параметры масс-спектрометра были оптимизированы для диапазона m/z от 500 до 10 000,

используя для определения калибровочных констант масс-спектры пептидов. Идентификацию белков проводили с использованием программного обеспечения Mascot Software (Matrix Science Ltd., London, UK) и базы данных белковых последовательностей NCBI, таксон Bacteria (Eubacteria).

### Результаты и обсуждение

После экспозиции микробной суспензии в течение 10 мин в 15%-ном растворе трихлоруксусной кислоты достигалась полная стерильность исследуемого образца. Спустя 7 сут наблюдения за посевами проб, содержащих инактивированные белковые препараты штаммов *Y. pestis* И-2422 и И-3189, на плотной и полужидкой питательных средах констатировали отсутствие микробного роста. При этом на питательных средах с посевами неинaktivированных микробных суспензий наблюдали специфический рост *Y. pestis* (табл. 1). Таким образом, ростовые качества использованных питательных сред обеспечивали рост единичных клеток исходных микробных суспензий. Биопробные животные после введения смеси белковых препаратов *Y. pestis* И-2422 и И-3189 остались живы и не проявляли признаков заболевания на протяжении срока наблюдения (табл. 2).

Обеззараженные белковые осадки суспензировали и растворяли в буфере, содержащем детергенты и мочевины. В использованном нами методе изофокусирования белков в капиллярных трубках с внутренним диаметром 1,5 мм допустима нагрузка до 40 мкг общего белка на один столбик геля без потери разрешающей способности. Увеличение нагрузки приводило к возникновению существенных затруднений при извлечении гелей из капилляров, что прежде было отмечено для капилляров с гелями, несущими иммобилизованный градиент pH [4]. На рисунке 1 представлен двумерный электрофорез белков из штамма *Y. pestis* И-2422 после

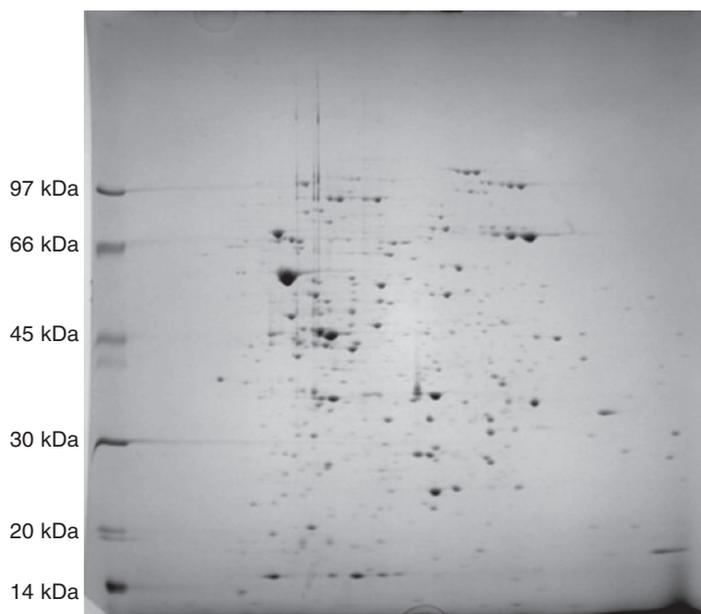


Рис. 1. Двумерный гель-электрофорез белков штамма *Y. pestis* И-2422. Слева в килодальтонах (kDa) обозначены размеры маркера молекулярных масс LMW 170446-01 (Amersham Pharmacia, USA).

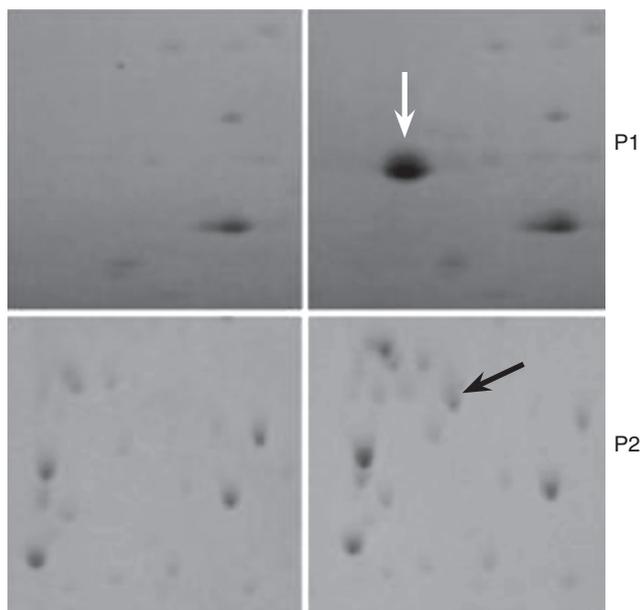


Рис. 2. Фрагменты электрофореграмм с найденными отличиями экспрессии белков штаммов *Y. pestis* И-2422 (левый столбец) и И-3189 (правый столбец). Белки P1 (Caf1) и P2 (Ymt) обозначены стрелками.

окраски Кумасси G-250. Электрофореграмма демонстрирует репрезентативность образца и высокую степень разделения белков, полученных после экстракции проб ацетоном вместе с полным отсутствием «шлейфов», характерных для образцов с ЛПС. Использование двух штаммов *Y. pestis*, содержащего и не содержащего плазмиду pFrg, предполагало «запрограммированное» наличие или отсутствие белков, кодируемых данной плазмидой, что после подтверждения методом масс-спектрометрии представляло удобный инструмент для валидации предложенного метода обеззараживания инфекционного материала, а также приготовления проб для двумерного электрофореза. Данные, представленные на рисунке 2 и в таблице 3, подтверждают, что pFrg<sup>+</sup> штамм *Y. pestis* И-3189 продемонстрировал ожидаемое наличие белков: F1 антигена (Caf1) и Ymt (мышинный токсин, фосфолипаза D).

Предложенный метод получения белковых препаратов из штаммов возбудителя чумы обеспечивает их стерильность. Полученные белковые препараты в дальнейшем могут быть использованы для идентификации белков из штаммов чумного микроба путем двумерного электрофореза и масс-спектрометрии.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ №14-15-00599 «Поиск факторов избирательной вирулентности полевых штаммов Yersinia pestis».*

## Литература

1. Westermeier R. Looking at proteins from two dimensions: A review on five decades of 2D electrophoresis. Arch Physiol Biochem. 2014;120(5):168-72. DOI: 10.3109/13813455.2014.945188
2. Pieper R, Huang Sh-T, Clark DJ, Robinson JM, Alami H, Parmar P.P, et al. Integral and peripheral association of proteins and protein complexes with Yersinia pestis inner and outer membranes. Proteome Sci. 2009 Feb 19;7:5. DOI: 10.1186/1477-5956-7-5

3. Правила соблюдения требований биологической безопасности при работе с ПБА I-II групп в помещениях 3 этажа корпуса № 1 НЭЗ, Оболенск 2017 г.
4. Hirano H, Kawasaki H, Sassa H. Two-dimensional gel electrophoresis using immobilized pH gradient tube gels. Electrophoresis. 2000;21(2):440-45. DOI: 10.1002/(SICI)1522-2683(20000101)21:2<440::AID-ELPS440>3.0.CO;2-X

## References

1. Westermeier R. Looking at proteins from two dimensions: A review on five decades of 2D electrophoresis. Arch Physiol Biochem. 2014;120(5):168-72. DOI: 10.3109/13813455.2014.945188
2. Pieper R, Huang Sh-T, Clark DJ, Robinson JM, Alami H, Parmar P.P, et al. Integral and peripheral association of proteins and protein complexes with Yersinia pestis inner and outer membranes. Proteome Sci. 2009 Feb 19;7:5. DOI: 10.1186/1477-5956-7-5
3. Rules of observance of requirements of biological safety during work with PBA of I-II groups in areas 3 floor of building No. 1 of NEZ, Obolensk, 2017 (In Russian).
4. Hirano H, Kawasaki H, Sassa H. Two-dimensional gel electrophoresis using immobilized pH gradient tube gels. Electrophoresis. 2000;21(2):440-45. DOI: 10.1002/(SICI)1522-2683(20000101)21:2<440::AID-ELPS440>3.0.CO;2-X

## Информация об авторах:

Красильникова Екатерина Александровна, аспирант ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

Перовская Ольга Николаевна, научный сотрудник лаборатории нанобиотехнологии ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

Шайхутдинова Римма Завдатовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии чумы ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

Иванов Сергей Андреевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии чумы ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

Тюрин Евгений Александрович, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией биологической безопасности ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

Анисимов Андрей Павлович, доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

Дентовская Светлана Владимировна, доктор медицинских наук, заведующая лабораторией микробиологии чумы ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Роспотребнадзора  
Адрес: 142279, Московская область, Серпуховский р-н, п. Оболенск, ФБУН ГНЦ ПМБ  
Телефон: (4967) 36-0003

## Information about authors:

Ekaterina A. Krasil'nikova, Postgraduate, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rosпотребнадзор  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

Ol'ga N. Perovskaya, Researcher of the Laboratory of Nanobiotechnology, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rospotrebnadzor  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

Rimma Z. Shayhutdinova, PhD (Biol.), Senior Researcher of the Plague Laboratory, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rospotrebnadzor  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

Sergey A. Ivanov, PhD (Biol.), Leading Researcher of the Plague Laboratory, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rospotrebnadzor  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

Eugene A. Tyurin, PhD (Med.), Chief of the Laboratory of Biological Safety, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rospotrebnadzor  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

Andrey P. Anisimov, Sc.D (Med.), deputy director for science, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rospotrebnadzor  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

Svetlana V. Dentovskaya, Sc.D (Med.), Head of the Plague Laboratory, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Rospotrebnadzor  
Address: SRCAMB 142279 Obolensk, Serpukhov district, Moscow region, Russian Federation  
Phone: (4967) 36-0003

## НОВОСТИ НАУКИ

### Модифицированное соединение сахара против колонизации кишечника уропатогенными эшерихиями

Инфекции мочевых путей, как правило, возвращаются даже при лечении. Большинство этих инфекций вызвано *E. coli*, которые живут в кишечнике и распространяются в мочевыводящих путях. Новое исследование показало, что молекулярная приманка может уменьшить количество бактерий в кишечнике. Исследователи говорят, что с уменьшенным пулом бактерий, вызывающих заболевание, риск развития ИМП снижается.

Spaulding C.N. et al.  
*Selective depletion of uropathogenic E. coli from the gut by a FimH antagonist.*  
*Nature.* 2017; 546: 529-532.

### Новые подходы в лечении бактериальных инфекций, формирующих биопленки

Бактериальные инфекции представляют серьезную проблему для здравоохранения, так как являются причиной значительной доли заболеваний и смертности. Ситуация осложняется старением населения и повышением восприимчивости к инфекциям, появлением значительного количества антибиотикоустойчивых бактериальных штаммов. Бактерии, которые образуют биопленки, колонизируют или заражают медицинские устройства или раны, их особенно трудно обрабатывать, поскольку биопленки по своей природе обладают высокой устойчивостью к антибиотикам. В обзоре Hughes G. и Webber M.A. обобщены основные особенности инфекций, формирующих биопленки, рассмотрены новые подходы и методы их лечения.

Hughes G., Webber M.A.  
*Novel approaches to the treatment of bacterial biofilm infections.*  
*British Journal of Pharmacology.* 2017; 174: 2237–2246. doi: 10.1111/bph.13706.

### Микробы в трюме

Микробиолог Стив Тейтманн получил премию для молодых ученых DARPA за изучение микробных биосигналов, которые определяют, какие воды они проходят. Посещая различные морские порты мира, ученый ищет уникальные для каждого места микробы. Если геном микроба достаточно отличен от других, его можно использовать в качестве маркера, чтобы увидеть, где плавали корабли. Эта техника может быть использована в военных целях, а также для мониторинга окружающей среды.

*Microbes in the bilge [Electronic resource].*  
URL: <https://phys.org/news/2017-06-microbes-bilge.html> (accessed 07.07.2017).