

Антимикробная активность штамма *Aquipseudomonas alcaligenes*

И. А. МАЛАНИЧЕВА, Е. В. ХРАМЦОВА, М. О. МАКАРОВА, *О. В. ЕФРЕМЕНКОВА

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе», Москва, Россия

Резюме

Актуальность. Поиск новых эффективных антибиотиков является одной из основных задач в области медицины, что обусловлено распространением антибиотикорезистентных патогенов, не поддающихся традиционной химиотерапии. **Цель.** Изыскание микроорганизма — потенциального продуцента антибиотика, проявляющего антимикробную активность в отношении патогенных бактерий с множественной лекарственной устойчивостью. **Объект.** Бактерия была выделена из пресноводного комнатного аквариума, идентифицирована как *Aquipseudomonas alcaligenes*, и депонированная в коллекцию НИИНА под номером INA 01568. **Материал и методы.** Для поверхностного культивирования *A. alcaligenes*, бактериальных и грибных штаммов использовали универсальную среду №2 Гаузе. Глубинное культивирование осуществляли в 18 питательных средах разного состава. Для определения антимикробной активности использовали метод диффузии в агар. В качестве тест-штаммов использовали 13 коллекционных тест-штаммов бактерий и грибов. Видовую идентификацию проводили по морфологическим признакам и по гену 16S рРНК. **Результаты.** Штамм *A. alcaligenes* INA 01568 при культивировании в погружённых условиях на 2 средах из 18 проявил антимикробную активность в отношении 6 тест-штаммов, включая бактерии из группы ESKAPE, а именно MRSA, *Pseudomonas aeruginosa*, а также ванкомицинорезистентный штамм *Leuconostoc mesenteroides*, активность к которым описана впервые. Активности в отношении грибов не обнаружено. **Заключение.** Штамм *A. alcaligenes* INA 01568 перспективен для химического исследования.

Ключевые слова: *Aquipseudomonas alcaligenes*; антимикробная активность; ESKAPE; MRSA; *Leuconostoc mesenteroides*; *Pseudomonas aeruginosa*

Для цитирования: Маланичева И. А., Храмцова Е. В., Макарова М. О., Ефременкова О. В. Антимикробная активность штамма *Aquipseudomonas alcaligenes*. Антибиотики и химиотер. 2025; 70 (7–8): 4–9. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2025-70-7-8-4-9>. EDN: PVZQZO.

Antimicrobial Activity of *Aquipseudomonas alcaligenes* Strain

IRINA A. MALANICHEVA, EKATERINA V. KHRAMTSOVA,
MARINA O. MAKAROVA, *OLGA V. EFREMKOVA

Gause Institute of New Antibiotics, Moscow, Russia

Abstract

Background. The search for new effective antibiotics is one of the main tasks in the field of medicine, which is due to the spread of antibiotic-resistant pathogens that are not amenable to traditional chemotherapy. **The aim of the study** was the search for a microorganism that could potentially produce an antibiotic exhibiting antimicrobial activity against pathogenic bacteria with multiple drug resistance. The object of the study was a bacterium isolated from a freshwater indoor aquarium, identified as *Aquipseudomonas alcaligenes* and deposited in the collection of NIINA under the number INA 01568. **Materials and methods.** For the surface cultivation of *A. alcaligenes*, bacterial and fungal strains, universal medium No. 2 Gause was used. Submerged cultivation was carried out in 18 nutrient media of different compositions. An agar diffusion method was used to determine the antimicrobial activity. Thirteen collection test strains of bacteria and fungi were used as test strains. Species identification was carried out by morphological features and the 16S rRNA gene. **Results.** When cultured under submerged conditions on 2 media out of 18, the *A. alcaligenes* INA 01568 strain demonstrated antimicrobial activity against 6 test strains, including bacteria from the ESKAPE group, namely MRSA, *Pseudomonas aeruginosa*, as well as the vancomycin-resistant strain *Leuconostoc mesenteroides*; activity against these strains has been described for the first time. Activity against fungi was not detected. **Conclusion.** The *A. alcaligenes* strain INA 01568 is promising for chemical research.

Keywords: *Aquipseudomonas alcaligenes*; antimicrobial activity; ESKAPE; MRSA; *Leuconostoc mesenteroides*; *Pseudomonas aeruginosa*

For citation: Malanicheva I. A., Khramtsova E. V., Makarova M. O., Efremenkova O. V. Antimicrobial activity of *Aquipseudomonas alcaligenes* strain. Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy. 2025; 70 (7–8): 4–9. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2025-70-7-8-4-9>. EDN: PVZQZO. (in Russian)

*Адрес для корреспонденции:
E-mail: ovefr@yandex.ru



*Correspondence to:
E-mail: ovefr@yandex.ru



Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, с каждым годом усугубляется ситуация с распространением патогенных микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью. В 2024 г. ВОЗ опубликовал обновлённый актуальный список особо опасных патогенов, не поддающихся антимикробной химиотерапии [1, 2]. Одним из подходов к решению этой проблемы является поиск новых природных антибиотиков. Успех при поиске продуцентов новых природных антибиотиков может принести исследование микрофлоры необычных экологических биотопов, ранее не исследованных с этой целью. В некоторых случаях возможно прямое наблюдение антагонизма между микробами. В данном случае наше внимание привлекла зона угнетения роста микроводорослей на внутренней стороне стеклянной стенки пресноводного домашнего аквариума, в центре которого был виден рост бактериальной колонии.

Цель исследования — идентификация выделенного бактериального штамма и анализ его антимикробного спектра, в том числе в отношении тест-штаммов с множественной лекарственной устойчивостью.

Материал и методы

Микроорганизмы. Бактерия — предполагаемый продуцент антимикробных веществ — была выделена из пресноводного аквариума.

Для определения антимикробного спектра использовали следующие тест-штаммы: грамположительных бактерий — *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Bacillus pumilus* NCTC 8241, *Bacillus mycoides* 537, *Micrococcus luteus* NCTC 8340, *Leuconostoc mesenteroides* VKPM B-4177 (VRLM), *Staphylococcus aureus* FDA 209P (MSSA), *S. aureus* INA 00761 (MRSA), *Mycobacterium smegmatis* VKPM Ac 1339 и *Mycobacterium smegmatis* mc² 155; грамотрицательных бактерий — *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853; грибов — *Aspergillus niger* INA 00760, *Saccharomyces cerevisiae* RIA 259.

Питательные среды. Для поверхностного культивирования всех микроорганизмов использовали модифицированную агаровую среду № 2 Гаузе (в %): глюкоза — 1,0, пептон — 0,5, триптон — 0,3, NaCl — 0,5, агар — 2,0, вода водопроводная, pH 7,2–7,4. Для глубинного культивирования применяли 18 сред с разными источниками углерода, азота и солей металлов (в %): среда 11654: глюкоза — 3,0, соевая мука — 2,0, NaCl — 0,3, мел — 0,3, pH 7,4; среда № 2 Гаузе (модификация 1): глюкоза — 1,0, пептон — 0,5, триптон — 0,3, NaCl — 0,5, вода водопроводная, pH 7,2–7,4; среда № 2 Гаузе (модификация 2): глюкоза — 1,0, пептон — 0,5, триптон — 0,3, NaCl — 0,5, мел — 0,25, вода водопроводная, pH 7,2–7,4; среда № 2 Гаузе (модификация 3): маннит — 1,0, пептон — 0,5, триптон — 0,3, NaCl — 0,5, мел — 0,25, вода водопроводная, pH 7,2–7,4; среда картофеля: картофель — 20; среда сусло: солодовый экстракт Maltax (Финляндия) — 20; среда 802: пептон — 0,5, триптон — 0,3, дрожжевой экстракт — 0,2, MgSO₄ × 7 H₂O — 0,1; среда гороховая: глюкоза — 1, гороховая мука — 5, пептон — 0,5, NaCl — 0,5; среда пшеничная: пшеничная мука — 5, (NH₄)₂SO₄ — 0,4, NaCl — 1, мел — 0,6; среда соево-крахмальная: крахмал — 2, соевая мука — 5, (NH₄)₂SO₄ — 0,2, мел — 0,2; среда соево-глицериновая: глюкоза — 1, глицерин — 0,25, пептон — 2,5, соевая мука — 1, NaCl — 0,3; среда AM: сахароза — 4, K₂HPO₄ — 0,1, Na₂SO₄ — 0,1, NaCl — 0,1, (NH₄)₂SO₄ — 0,2, дрож-

жевой экстракт — 0,25, FeSO₄ × 7 H₂O — 0,0001, MnCl₂ × 4 H₂O — 0,0001, NaI — 0,00005, мел — 0,2, вода дистиллированная, pH 6,5–6,7; среда 330: сахароза — 2,1, крахмал — 0,85, гороховая мука — 1,5, NaCl — 0,5, NaNO₃ — 0,5, мел — 0,5, вода водопроводная, pH 7,0; среда сахарозная: сахароза — 2, соевая мука — 1, NaCl — 0,3, мел — 0,3, вода водопроводная, pH 6,8–7,0; среда 6613: крахмал — 2, кукурузный экстракт — 0,3, KNO₃ — 0,4, NaCl — 0,5, мел — 0,5, вода водопроводная, pH 7,0–7,2; среда 5339: глицерин — 2,0, соевая мука — 0,5, (NH₄)₂SO₄ — 0,15, NaCl — 0,3, мел — 0,3, pH 6,8; среда 2663: глицерин — 3, соевая мука — 1,5, NaCl — 0,3, мел — 0,3, вода водопроводная, pH 7,0; среда A4: глюкоза — 1, соевая мука — 1, NaCl — 0,5, мел — 0,25, вода водопроводная, pH 6,8.

Условия культивирования. Тест-культуры *L. mesenteroides*, *A. niger* и *S. cerevisiae* выращивали при температуре 28°C, другие тест-культуры — при 37°C. Исследуемый штамм культивировали на агаровой среде при 37°C в течение 2 сут, при погружённом культивировании с аэрированием на качалке 200 об/мин при 28°C на протяжении от 2 до 11 сут. Глубинное культивирование проводили в колбах объёмом 750 мл, содержащих 150 мл среды.

Морфологическое описание штамма. Описание колоний проводили при высеве от 10 до 30 колоний на чашку.

Для микроскопирования использовали световой микроскоп МИКМЕД-6 («ЛОМО», Россия). Просмотр препаратов осуществляли при увеличении от 60 до 1500 раз.

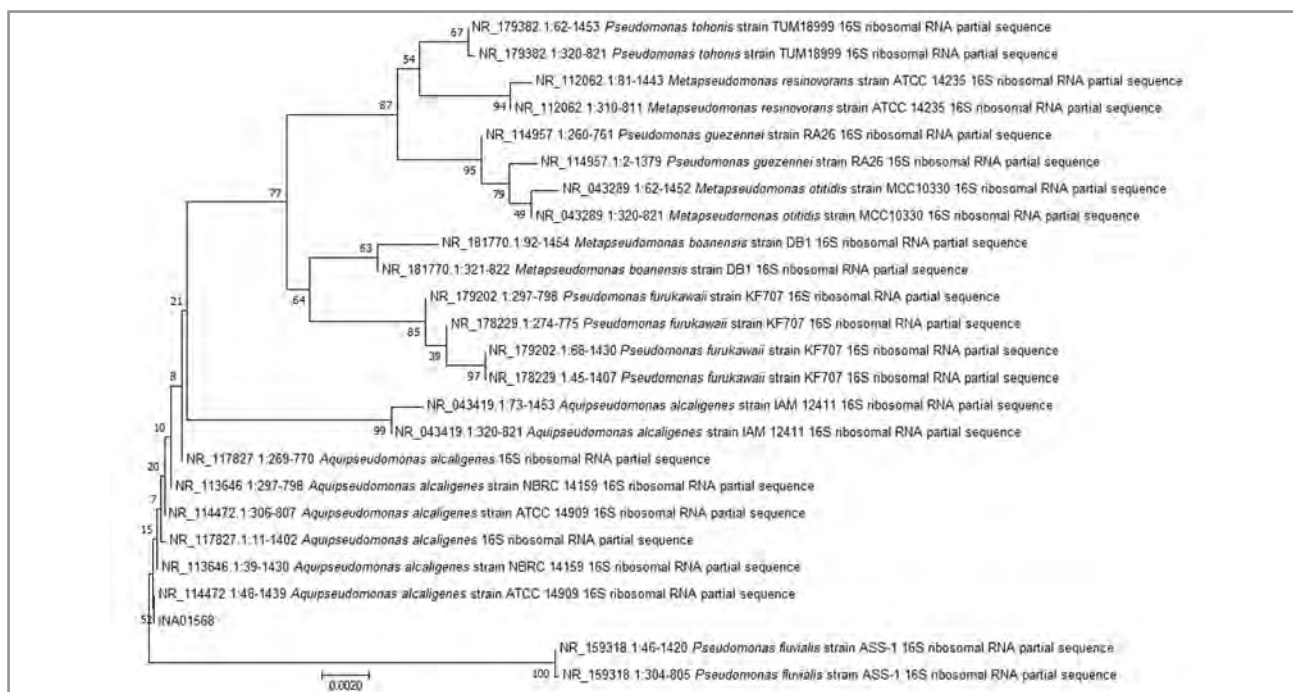
Видовая идентификация по анализу гена 16S рРНК. Выделение ДНК, ПЦР гена 16S рРНК, секвенирование полученных продуктов, анализ последовательностей и построение филогенетического дерева проводили, как описано ранее [3].

Определение антимикробной активности. Антимикробную активность культуральной жидкости исследуемого штамма определяли методом диффузии в агар. Для этого в чашки с высевными газонами тест-штаммами в лунки диаметром 9 мм вносили по 0,1 мл исследуемых культуральных жидкостей. После инкубирования об уровне антимикробной активности судили по диаметрам зон задержки роста тест-культур вокруг лунок.

Результаты и обсуждение

Исследуемый штамм на среде № 2 Гаузе образует тёмно-жёлтые, полупрозрачные, масляно-блестящие колонии с конусно-возвышенной центральной зоной и ровным краем, диаметром 2–3 мм. При микроскопировании штамм представляет собой короткие подвижные палочки, окраска клеток по Граму отрицательная. Последовательность гена 16S рРНК длиной 1392 нуклеотида депонирована в GenBank (PV911117). Сопоставление с последовательностями данного гена у трёх штаммов *Aquipseudomonas alcaligenes* по базе GenBank показало совпадение 99,93%, поэтому на основании указанного выше исследуемый штамм отнесён к виду *A. alcaligenes* (ранее *Pseudomonas alcaligenes*) из семейства Pseudomonadaceae, класс Gammaproteobacteria. Исследуемый штамм депонирован в коллекцию микроорганизмов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе» под номером INA 01568. Филогенетическое дерево показано на рисунке.

Проявление антимикробной активности в условиях глубинного культивирования исследовали на 18 средах, представленных в разделе



Филогенетическое положение штамма INA 01568.

Примечание. Масштаб показывает эволюционное расстояние, соответствующее 2 нуклеотидным заменам на каждые 1000 нуклеотидов. Цифрами показана достоверность ветвления, установленная с помощью «bootstrap»-анализа 100 альтернативных деревьев (значениями признаются значения больше 85).

Phylogenetic position of INA 01568 strain.

Note. The scale bar shows the evolutionary distance corresponding to 2 nucleotide substitutions per 1,000 nucleotides. The numbers indicate the branching significance determined using bootstrap analysis of 100 alternative trees (values greater than 85 are considered significant).

Материал и методы. На каждой из сред было проведено от 3 до 5 ферментаций. В результате была обнаружена антимикробная активность только на двух из восемнадцати питательных сред — средах «сусло» и «330». Из тринадцати микроорганизмов антимикробная активность зафиксирована в отношении 6 из 13 тест-штаммов: *B. pumilus* NCTC 8241, двух штаммов *S. aureus* FDA 209P (MSSA) и INA 00761 (MRSA), *M. luteus* NCTC 8340, *L. mesenteroides* VKPM B-4177 (VRLM), *P. aeruginosa* ATCC 27853 (таблица). Противогрибковой активности не обнаружено.

Обсуждение

Бактерия, идентифицированная нами как *A. alcaligenes* и депонированная под номером INA 01568, проявляет антимикробные свойства в отношении шести коллекционных тест-штаммов бактерий из тринадцати тест-микроорганизмов. Данный штамм образует антимикробные соединения только на двух питательных средах из восемнадцати, причём, как следует из таблицы, штамм в описанных условиях образует не менее двух активных веществ: на среде «сусло» активность проявляется в отношении грамположительных бактерий, включая MRSA, а также в отношении тест-штамма *P. aeruginosa* ATCC 27853

с множественной лекарственной устойчивостью; на среде «330» активность проявляется только в отношении тест-штамма *Leuconostoc mesenteroides* VKPM B-4177.

Условно-патогенный микроорганизм *P. aeruginosa* является возбудителем широкого спектра инфекций и причиной внутрибольничных инфекций. Бактерия устойчива к антибиотикам различных классов, включая карбапенемы [4]. Особое место среди бактерий с множественной лекарственной устойчивостью занимает метициллинорезистентный *S. aureus* благодаря своей относительно высокой вирулентности и большой пластичности, позволяющей ему адаптироваться к различным условиям окружающей среды. Штаммы *S. aureus* выработали механизмы устойчивости практически ко всем противомикробным препаратам, используемым в клинике в настоящее время. Наиболее важной является устойчивость к препаратам, наиболее часто используемым для лечения инфекций, вызванных грамположительными бактериями, то есть к бета-лактамам, гликопептидам и оксазолидинонам [5].

Долгое время ванкомицин был антибиотиком резерва, но в связи с распространением патогенов с множественной лекарственной устойчивостью его стали широко применять в медицине, в ряде случаев как единственное эффективное средство,

Антимикробная активность культуральной жидкости штамма *A. alcaligenes* INA 01568 на средах «сусло» и «330»
 Antimicrobial activity of the culture fluid of the *A. alcaligenes* INA 01568 strain on the «malt extract» and «330» media

Сутки культивирования	Тест-штаммы					
	<i>Bacillus pumilus</i> NCTC 8241	<i>Staphylococcus aureus</i> FDA 209P (MSSA)	<i>S. aureus</i> INA 00761 (MRSA)	<i>Micrococcus luteus</i> NCTC 8340	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> VKPM B-4177 (VRLM)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853
Среда «сусло»						
2						
4						
7						
9						
11						
Среда «330»						
2						
4						
7						
9						
11						

Примечание. Диаметры зон задержки роста (мм): □ — 0; □ — 10–12; □ — 13–15; □ — 16–17; □ — 18–20.

Note. Diameters of growth inhibition zones (mm): □ — 0; □ — 10–12; □ — 13–15; □ — 16–17; □ — 18–20.

после чего стали возникать устойчивые к ванкомицину патогены. *L. mesenteroides* обладает высоким уровнем природной устойчивости к пептидным антибиотикам группы ванкомицина и поэтому тест-штамм VKPM B-4177 является средством, позволяющим обнаруживать вещества, активные против ванкомицинорезистентных патогенов.

Вид *Aquipseudomonas alcaligenes*, который до 2024 г. причисляли к роду *Pseudomonas*, несколько раз изучался на предмет образования антимикробных веществ. Данный микроорганизм обладает генетическими особенностями, связанными с устойчивостью к окружающей среде, и метаболической гибкостью. *A. alcaligenes* демонстрирует широкую адаптивность к наземной и водной среде и участвует в таких экологических процессах, как разложение загрязняющих веществ, преобразуя токсичные соединения в менее вредные метаболиты с помощью специализированных ферментативных путей.

Был проведён анализ полного генома штамма *A. alcaligenes* 67P с помощью программы antiSMASH 7.1. Было выявлено, что в геноме содержится не менее 10 кластеров биосинтетических генов, которые важны для конкуренции микроорганизмов, адаптации к окружающей среде и потенциально могут иметь практическое значение. Среди них имеются RiPP-подобные BGC, что указывает на возможную противомикробную активность, поскольку RiPP часто кодируют бактериоцины и лантибиотики, которые подавляют конкурирующие микроорганизмы. Также в геноме присутствуют поликетидные кластеры, которые связаны с биосинтезом лейкомицина (3%) и фенгидина (20%), соединений с антибиотическими и противогрибковыми свойствами [6].

Лейкомицин — антибиотик класса макролидов. Спектр действия схож со спектром действия

эритромицина и олеандомицина. Лейкомицин (синоним китасомицин) активен в отношении грамположительных бактерий *S. aureus* 209P, *S. epidermidis*, *Diplococcus pneumoniae*, *Cornebacterium diphtheria*, *B. subtilis*, *B. anthracis* и грамотрицательных спорообразующих анаэробных бактерий *Neisseria gonorrhea*, *Bordetella pertussis*. Активности в отношении аэробных грамотрицательных микроорганизмов, включая бактерии рода *Pseudomonas*, не обнаружено. Активность штамма *A. alcaligenes* INA 01568 в отношении *P. aeruginosa* не описана в литературе для лейкомицина, кроме того совпадение последовательностей ДНК в кластере, кодирующей гены биосинтеза лейкомицина, составляет всего 3%, что повышает вероятность биосинтеза другого антибиотика [7].

Фенгидины (фенгидин, пипастатин, мальтатин) представляют собой декапептиды. Фенгидин действует преимущественно против многих видов грибов, но не подавляет бактерии [8, 9]. По результатам нашего исследования, штамм *A. alcaligenes* INA 01568 не проявляет антимикробную активность в отношении грибных тестов *S. cerevisiae* RIA 259 и *A. niger* INA 00760, но активен в отношении бактерий.

Также у *A. alcaligenes* был выявлен кластер генов, имеющий близкое сродство к нерибосомальным пептидам — сидерофорам амфибактинам E, H или I, что может способствовать усвоению железа. Сидерофоры — это хелатные соединения, вырабатываемые бактериями с целью высокоспецифичного поглощения железа. Считается, что они играют важную роль в поглощении железа бактериями в воде и влияют на биогеохимию железа в водной среде [10]. Сидерофоры не обладают антибиотической активностью, но могут использоваться в качестве «тройного коня», который образует комплекс с антибиотиками и доставляет

их в нужные места, особенно в случае с бактериями, устойчивыми к антибиотикам. Перспективным направлением является использование сидерофоров в сочетании с антибиотиками для борьбы с устойчивостью бактерий [11].

Из *A. alcaligenes* было выделено токсическое вещество (G154), которое представляет собой циклическую гидроксамовую кислоту со структурой 1-гидрокси-2(1H)-пиридинона, способную образовывать комплексы с металлами. *In vitro* G1549 и его комплексы меди и железа проявляли умеренную активность в отношении грамположительных бактерий, грибов и *Trichomonas vaginalis*. В ходе изучения было выявлено, что местное применение G1549 и его комплексов меди и железа защищало морских свинок от кожной инфекции *Microsporium canis*. Однако эти соединения обладали некоторой системной токсичностью для мышей [12].

Заключение

Таким образом, проявляемая штаммом *A. alcaligenes* INA 01568 активность к выше перечисленным трём тест-штаммам свидетельствует о его перспективности как продуцента. Анализ литературы по *A. alcaligenes* не позволяет идентифицировать на основании анализа генома и спектра антибиотической активности штамм INA 01568 как продуцента известного антибиотика, образуемого этим видом. Соответственно, целесообразно дальнейшее химическое изучение антимикробных соединений *A. alcaligenes* INA 01568.

Литература/References

1. WHO. Global antimicrobial resistance surveillance system (GLASS) report: early implementation 2020. Geneva: World Health Organization; 25 May 2020.
2. WHO Bacterial Priority Pathogens List, 2024: bacterial pathogens of public health importance to guide research, development and strategies to prevent and control antimicrobial resistance. Geneva: World Health Organization; 2024.
3. Кандыба А. Л., Храмцова Е. В., Васильева Б. Ф., Бойкова Ю. В., Глухова А. А., Ефименко Т. А., Ефременкова О. В. Антимикробная активность микроорганизмов, выделенных из почвы тропической пустыни Синайского полуострова. Антибиотики и химиотер. 2024; 69 (7–8): 9–16. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-7-8-9-16>. [Kandyba A. L., Khrantsova E. V., Vasilyeva B. F., Boykova Ju. V., Glukhova A. A., Efimenko T. A., Efremenkova O. V. Antimicrobial activity of microorganisms isolated from the soil of the tropical desert of the Sinai Peninsula. Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy. 2024; 69 (7–8): 9–16. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-7-8-9-16>. (in Russian)]
4. Sanya D. R. A. Onésim D., Vizzarro G., Jacquier N. Recent advances in therapeutic targets identification and development of treatment strategies towards *Pseudomonas aeruginosa* infections. BMC Microbiol. 2023; 23 (1): 86. doi: [10.1186/s12866-023-02832-x](https://doi.org/10.1186/s12866-023-02832-x).
5. Mlynarczyk-Bonikowska B., Kowalewski C., Krolak-Ulinska A., Marusza W. Molecular mechanisms of drug resistance in *Staphylococcus aureus*. Internat J Mol Sci. 2022; 23 (15): 8088. doi: [10.3390/ijms23158088](https://doi.org/10.3390/ijms23158088).
6. Ajmi N., Tasc G., Saticiogl I. B., Duman M. Pangenome analysis of *Aquipseudomonas alcaligenes* 67P: insights into ecological distribution, environmental adaptation, and metabolic versatility. Total Environment Microbiology. 2025; 100010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.temicr.2025.100010>.

Дополнительная информация

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А18-118011650006-5).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов. Маланичева И. А. — выделение микроорганизма, проведение ферментаций, анализ литературы, написание статьи; Храмцова Е. В. — видовая идентификация, анализ литературы, написание статьи; Макарова М. О. — определение антимикробного спектра продуцента, редактирование статьи; Ефременкова О. В. — постановка задачи, разработка схемы исследования, анализ данных, написание статьи.

Additional information

Acknowledgments. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. АААА-А18-118011650006-5).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Participation of the authors. Malanicheva I. A. — microorganism isolation, implementation of fermentations, analysis of literature, article writing; Khrantsova E. V. — species identification; analysis of literature, article writing; Makarova M. O. — determination of the antimicrobial spectrum of producer, article reduction; Efremenkova O. V. — setting the problem, developing a research scheme, data analysis, writing an article.

7. Iwata K., Akiba T. Studies on the *in vitro* antibacterial activity of leucomycin. J Antibiot. Series A. 1962; 15 (6): 258–265. doi: [10.2174/1874467213666200518094445](https://doi.org/10.2174/1874467213666200518094445).
8. Сидорова Т. М., Асатурова А. М., Аллахвердян В. В. Особенности антагонизма бактерий рода *Bacillus* по отношению к токсиногенным грибам *Fusarium* при защите растений от болезни и контаминации микотоксинами (обзор). Юг России: экология, развитие. 2021; 4 (61): 86–103. doi: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-86-103>. [Sidorova T. M., Asaturova A. M., Allahverdyan V. V. Osobennosti antagอนizma bakterij roda *Bacillus* po otnosheniyu k toksinogennym gribam *Fusarium* pri zashchite rastenij ot bolezni i kontaminacii mikotoksinami (obzor). Yug Rossii: Ekologiya, Razvitie. 2021; 4 (61): 86–103. doi: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-86-103>.
9. Vanittanakom N., Loeffler W., Koch U., Jung G. Fengycin-a novel antifungal lipopeptide antibiotic produced by *Bacillus subtilis* F-29-3. J Antibiot (Tokyo). 1986; 39 (7): 888–901. doi: [10.7164/antibiotics.39.888](https://doi.org/10.7164/antibiotics.39.888).
10. Mawji E., Gledhill M., Milton J. A., Tarran G. A., Ussher S., Thompson A., Wolff G. A., Worsfold P. J., Achterberg E. P. Hydroxamate siderophores: occurrence and importance in the Atlantic Ocean. Environ Sci Technol. 2008; 42 (23): 8675–8680. doi: [10.1021/es801884r](https://doi.org/10.1021/es801884r).
11. Prabhakar P. K. Bacterial siderophores and their potential applications: a review. Curr Mol Pharmacol. 2020; 13 (4): 295–305. doi: [10.11554/antibiotics.15.6_258](https://doi.org/10.11554/antibiotics.15.6_258).
12. Barker W. R., Callaghan C., Hill L., Noble D., Acred P., Harper P. B., Sowa M. A., Fletton R. A. G1549, a new cyclic hydroxamic acid antibiotic, isolated from culture broth of *Pseudomonas alcaligenes*. J Antibiot (Tokyo). 1979; 32 (11): 1096–1103. doi: [10.7164/antibiotics.32.1096](https://doi.org/10.7164/antibiotics.32.1096).

Поступила / Received 10.07.2025

Принята в печать / Accepted 25.07.2025

Информация об авторах

Маланичева Ирина Алексеевна — старший научный сотрудник, сектор поиска природных соединений, преодолевающих устойчивость бактерий, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе», Москва, Россия. ORCID ID: 0000-0002-7623-6146

Храмцова Екатерина Вадимовна — м. н. с., сектор поиска природных соединений, преодолевающих устойчивость бактерий, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе», Москва, Россия. ORCID ID: 0009-0005-1604-4352

Макарова Марина Олеговна — м. н. с., лаборатория мутагенеза и селекции продуцентов биологически активных продуцентов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе», Москва, Россия

Ефременкова Ольга Владимировна — к. б. н., зав. сектором, сектор поиска природных соединений, преодолевающих устойчивость бактерий, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе», Москва, Россия. ORCID ID: 0000-0003-3131-1031

About the authors

Irina A. Malanicheva — Senior Researcher worker, Sector for Searching for Natural Compounds that Overcome Bacterial Resistance, Gause Institute of New Antibiotics, Moscow, Russia. ORCID ID: 0000-0002-7623-6146

Ekaterina V. Khramtsova — Junior Researcher, Sector for Searching for Natural Compounds that Overcome Bacterial Resistance, Gause Institute of New Antibiotics, Moscow, Russia. ORCID ID: 0009-0005-1604-4352

Marina O. Makarova — Engineer, Laboratory of Mutagenesis and Selection of Biologically Active Substance Producers, Gause Institute of New Antibiotics, Moscow, Russia

Olga V. Efremenkova — Ph. D. in Biology, Head of the Sector, Sector for Searching for Natural Compounds that Overcome Bacterial Resistance, Gause Institute of New Antibiotics Moscow, Russia. ORCID ID: 0000-0003-3131-1031