



Научная статья  
УДК 578.7:616-092.11  
DOI: 10.37482/2687-1491-Z200

## Изучение активности гетероциклических производных теллура в отношении условно-патогенных бактерий

Ашура Исмаиловна Исрапилова\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6318-595X>  
Айна Ахмедовна Адиева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8868-4782>  
Альбина Мехьядиновна Джафарова\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7744-859X>  
Гасан Магомедович Абакаров\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9225-9321>

\*Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального  
исследовательского центра Российской академии наук  
(Махачкала, Россия)

\*\*Дагестанский государственный университет  
(Махачкала, Россия)

\*\*\*Дагестанский государственный технический университет  
(Махачкала, Россия)

**Аннотация.** Серьезной проблемой для медицины и общества в целом является способность микроорганизмов к формированию устойчивости к препаратам. Среди бактерий, которые представляют наибольшую угрозу для здоровья человека вследствие их растущей устойчивости к антибиотикам, можно выделить золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), кишечную палочку (*Escherichia coli*) и сальмонеллу (*Salmonella* spp.). Основные причины возникновения данной проблемы – неправильное использование антибиотиков и недостаточное количество новых противомикробных препаратов, создание которых затруднено из-за сложности механизмов микробных инфекций и ограниченности их уязвимых мест. Более того, процесс разработки новых препаратов требует значительных временных и финансовых ресурсов. **Целью** статьи является исследование антибактериальных свойств трех производных теллура в отношении инфекций, вызванных *E. coli*, *S. aureus* и *Salmonella* spp. **Материалы и методы.** В ходе эксперимента изучены на противомикробную активность в отношении данных бактерий следующие теллуруорганические соединения оригинального синтеза, не описанные ранее в литературе: диоксисироцикло-[4-метилфенил]-теллурухлорид, 3-хлорметилдиоксисироциклофенилтеллурухлорид, этилтеллурубензаль-[2-метокси-3,5-дихлор]анилин. В качестве критерия чувствительности микроорганизма к теллуруорганическим соединениям учитывались значения диаметров зон подавления роста. В работе использовались метод последовательных разведений и диско-диффузионный метод. **Результаты.** Изучение 3 гетероциклических производных теллура в различных концентрациях позволило выявить значительный антибактериаль-

© Исрапилова А. И., Адиева А. А., Джафарова А. М., Абакаров Г. М., 2024

**Ответственный за переписку:** Ашура Исмаиловна Исрапилова, адрес: 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45; e-mail: ms.israpilova98@bk.ru

ный эффект у диоксисироцикло-[4-метилфенил]теллурихлорида, для которого удалось определить минимальную подавляющую и минимальную ингибирующую концентрации в отношении изученных бактерий. Применительно к *E. coli* и *S. aureus* минимальные ингибирующие концентрации составили 18,60 и 1,35 мкг/мл соответственно. Использование диско-диффузионного метода показало, что зона подавления роста микроорганизмов варьирует от 3 до 6 мм. Особенно чувствительными к данному соединению оказались штаммы *E. coli* и *S. aureus*. Этилтеллурибензаль-[2-метокси-3,5-дихлор]анилин в отношении *E. coli*, *S. aureus*, и *Salmonella* spp. во всех изученных схемах не дал положительного эффекта, 3-хлорметилдиоксисироциклофенилтеллурихлорид обладал умеренной противомикробной активностью при относительно низкой бактериальной нагрузке.

**Ключевые слова:** теллуриорганические соединения, антибактериальные свойства, минимальная ингибирующая концентрация, минимальная подавляющая концентрация, золотистый стафилококк, кишечная палочка, сальмонелла

**Для цитирования:** Изучение активности гетероциклических производных теллура в отношении условно-патогенных бактерий / А. И. Исрапилова, А. А. Адиева, А. М. Джафарова, Г. М. Абакаров // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 301-310. – DOI 10.37482/2687-1491-Z200.

Original article

## Activity of Heterocyclic Tellurium Derivatives Against Opportunistic Bacteria

Ashura I. Israpilova\* ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6318-595X>

Aina A. Adieva\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8868-4782>

Albina M. Dzhafarova\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7744-859X>

Gasam M. Abakarov\*\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9225-9321>

\*Precaspian Institute of Biological Resources of the Dagestan Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences  
(Makhachkala, Russia)

\*\*Dagestan State University  
(Makhachkala, Russia)

\*\*\*Dagestan State Technical University  
(Makhachkala, Russia)

**Abstract.** Antimicrobial resistance is a serious challenge for medicine and society as a whole. Among the bacteria that pose the greatest threat to human health due to their growing antibiotic resistance are *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. The main reasons behind this problem are the misuse of antibiotics and lack of new antimicrobials, which are difficult to develop due to the complexity of the mechanisms of microbial infections and their limited weak points. Moreover, the process of developing new drugs requires significant time and financial resources. The **purpose** of this article was to analyse the antibacterial

**Corresponding author:** Ashura Israpilova, address: ul. M. Gadzhieva 45, Makhachkala, 367000, Russia; e-mail: ms.israpilova98@bk.ru

properties of three tellurium derivatives against infections caused by *E. coli*, *S. aureus* and *Salmonella* spp. **Materials and methods.** During the experiment, we studied the antimicrobial activity against the abovementioned bacteria of the following organotellurium compounds of original synthesis that have not been previously described in literature: dioxyrocyclo-[4-methylphenyl] tellurochloride, 3-chloromethyl-dioxisinrocyclophenyl tellurochloride, and ethyltellurobenzal-[2-methoxy-3,5-dichloro] aniline. As a criterion for the microorganism's sensitivity to organotellurium compounds, inhibition zone diameter was used. The paper applied the serial dilution method and the disk diffusion method. **Results.** The study of the three heterocyclic tellurium derivatives in various concentrations revealed a significant antibacterial effect of dioxyrocyclo-[4-methylphenyl] tellurochloride, whose minimum suppressive and minimum inhibitory concentrations against the bacteria in question we were able to determine. Minimum inhibitory concentrations for *E. coli* and *S. aureus* were 18.60 and 1.35 µg/ml, respectively. Disk diffusion showed that the inhibition zones range between 3 and 6 mm. *E. coli* and *S. aureus* strains were particularly sensitive to this compound. Ethyltellurobenzal-[2-methoxy-3,5-dichloro] aniline failed to produce a positive effect against *E. coli*, *S. aureus* and *Salmonella* spp. at any regimen, while 3-chloromethyl-dioxisinrocyclophenyl tellurochloride demonstrated moderate antimicrobial activity at a relatively low bacterial load.

**Keywords:** organotellurium compounds, antibacterial properties, minimum inhibitory concentration, minimum suppressive concentration, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella*

**For citation:** Israpilova A.I., Adieva A.A., Dzhafarova A.M., Abakarov G.M. Activity of Heterocyclic Tellurium Derivatives Against Opportunistic Bacteria. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.37482/2687-1491-Z200

Теллуторганические соединения (ТОС) – это органические соединения, содержащие атом теллура в качестве атома металла. Они имеют широкий спектр биологических свойств и могут использоваться в различных областях, включая медицину, химию, биологию и др. Изучение биологических эффектов теллура и некоторых его неорганических и органических производных привело к интересным и многообещающим результатам. В качестве примеров можно выделить использование теллуридов и теллуридов щелочных металлов в микробиологии, применение антиоксидантного действия органотеллуридов и диорганодителлуридов и иммуномодулирующего действия нетоксичного неорганического теллурана в медицине [1–6].

Наиболее известные ТОС являются теллуридами и теллуритами.

Теллуриды, в частности теллур-2,4-дипиридин (Теллур-ДТР), используются для борьбы с некоторыми бактериями, такими как золотистый стафилококк и кишечная палочка. Теллуриды имеют высокую антимикробную активность, которая может быть связана с их

способностью образовывать комплексы с металлом, например с железом, в клеточных мембранах бактерий [7].

Теллуриды, такие как натрия теллурид ( $\text{Na}_2\text{TeO}_3$ ), применяются в медицине для борьбы с инфекциями, вызываемыми бактериями и вирусами, в частности с туберкулезом и гриппом. Теллуриды обладают способностью убивать бактерии, связываясь с их ДНК и ингибируя их рост, а также могут воздействовать на вирусные белки, подавляя их активность [8].

Таким образом, ТОС представляют собой перспективный материал для разработки новых лекарственных препаратов против бактерий и вирусов. Однако необходимо провести дополнительные исследования, чтобы определить оптимальные дозы и методы применения этих соединений для достижения максимальной эффективности и минимизации побочных эффектов.

Цель настоящей работы – изучить антибактериальные свойства трех производных теллура в отношении инфекций, вызванных золотистым стафилококком (*Staphylococcus*

*aureus*), кишечной палочкой (*Escherichia coli*) и сальмонеллой (*Salmonella* spp.).

**Материалы и методы.** В работе использовались чистые культуры бактерий *E. coli* (АТСС 25922), *S. aureus* (АТТС 6538р) и *Salmonella* spp. (А-225), полученные из Государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур. Инокулят изготавливался методом прямого суспендирования, после чего производились посев на питательную среду и инкубирование при 37 °С в течение 48 ч.

Путем оригинального синтеза были получены ТОС, которые относились к одному классу соединений, но отличались строением и расположением радикальной группировки: диоксисироцикло-[4-метилфенил]теллурихлорид (вещество 1), 3-хлорметилдиоксисироциклофенилтеллурихлорид (вещество 2), этилтеллурибензаль-[2-метокси-3,5-дихлор]-анилин (вещество 3).

Все они исследовались на предмет проявления антимикробных свойств. В качестве критерия при определении чувствительности микроорганизма к приведенным концентрациям ТОС учитывались значения диаметров зон подавления роста. В работе использовался метод последовательных разведений. В ходе эксперимента получены 4 разведения каждого штамма бактерий:  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ . Для определения минимальной подавляющей концентрации (МПК) различные концентрации соединений были внесены в количестве 100 мкл на питательную среду, которую затем засеивали культурой одного из вышеуказанных микроорганизмов. Далее проводилась 24-часовая инкубация в термостате при 37 °С, после которой оценивалось наличие или отсутствие видимого бактериального роста. Параллельно использовался диско-диффузионный метод, который является одним из старейших и наиболее часто используемых для оценки чувствительности микроорганизмов к антибиотикам в обычных бактериологических лабораториях.

Вначале было определено количество жидкости, которое способен впитать диск. Для этого сухие диски взвешивались, а затем вы-

держивались 5 мин в 1 мл воды, после чего проводилось повторное взвешивание. Сухой диск весил 0,0018 г; влажный – 0,0161 г. Разница составила 0,0143 г, т. е. диск впитывал 0,0143 мл воды за 5 мин. Далее рассчитывалась навеска на этот объем, чтобы на диске было, например, 135 мкг/мл конкретного вещества. Для этого 0,0472 г вещества разводили в 5 мл фосфатного буфера и получали исходную концентрацию. Разведение всех веществ проводилось аналогичным способом в 5 концентрациях с учетом их цитотоксичности. В зависимости от значений острой цитотоксичности для культуры клеток использовались концентрации веществ в вариациях – в меньшую или большую стороны. Цитотоксичность для данных соединений определялась в предварительных опытах на перевиваемой линии клеток зеленой мартышки (Vero) на 1-е сутки (острая цитотоксичность –  $ОЦД_{50}$ ) после обработки монослоя клеток различными концентрациями исследуемых веществ на базе лаборатории клеточной инженерии Национального исследовательского центра эпидемиологии и микробиологии имени Н.Ф. Гамалеи.

Исходя из проведенных расчетов, для эксперимента были подготовлены диски, на которые были нанесены следующие концентрации исследуемых веществ:

вещество 1 – 13,5 мкг/мл ( $ОЦД_{50}$ ); 135 мкг/мл (в 10 раз больше  $ОЦД_{50}$ ); 27 мкг/мл (в 2 раза больше  $ОЦД_{50}$ ); 6,75 мкг/мл (в 2 раза меньше  $ОЦД_{50}$ ); 1,35 мкг/мл (в 10 раз меньше  $ОЦД_{50}$ );

вещество 2 – 1,2 мкг/мл ( $ОЦД_{50}$ ); 12 мкг/мл (в 10 раз больше  $ОЦД_{50}$ ); 2,4 мкг/мл (в 2 раза больше  $ОЦД_{50}$ ); 0,6 мкг/мл (в 2 раза меньше  $ОЦД_{50}$ ); 0,12 мкг/мл (в 10 раз меньше  $ОЦД_{50}$ );

вещество 3 – 2 мкг/мл ( $ОЦД_{50}$ ); 20 мкг/мл (в 10 раз больше  $ОЦД_{50}$ ); 4 мкг/мл (в 2 раза больше  $ОЦД_{50}$ ); 1 мкг/мл (в 2 раза меньше  $ОЦД_{50}$ ); 0,2 мкг/мл (в 10 раз меньше  $ОЦД_{50}$ ).

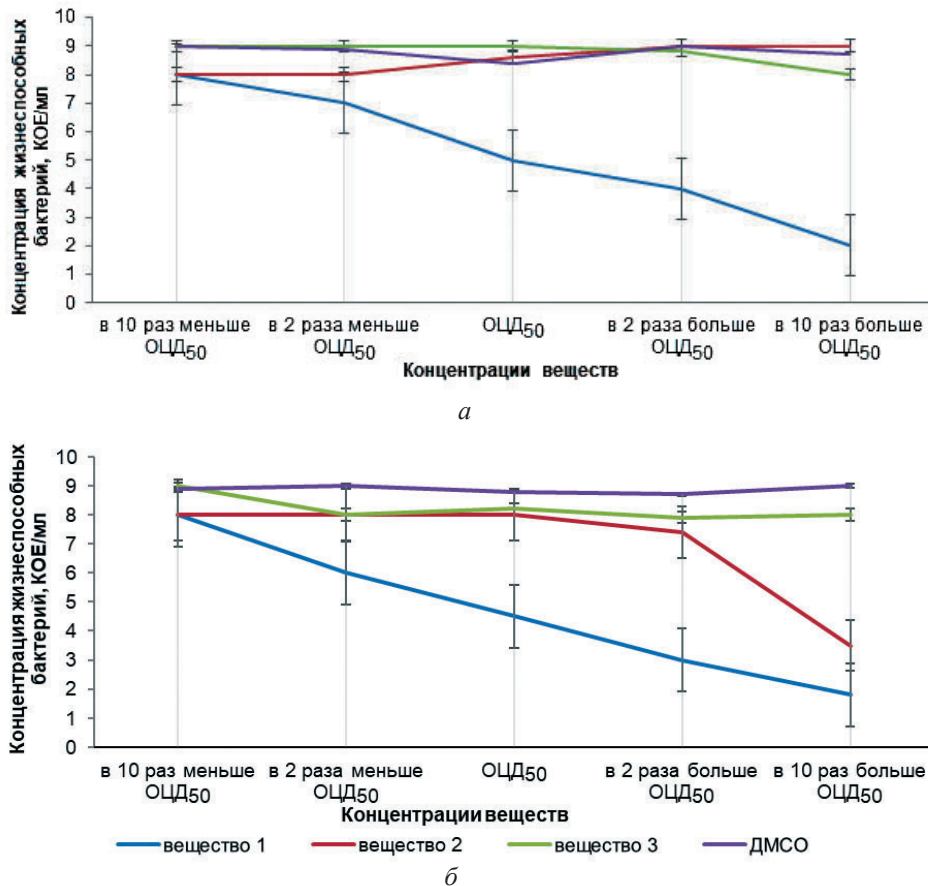
Диски с антибиотиками в количестве не более 5 шт. (для предотвращения перекрытия зон подавления роста, а также взаимодействия между антибиотиками) наносили на поверхность питательной среды с одной из культур.

В качестве отрицательного контроля использовали диски, содержащие диметилсульфоксид (ДМСО) (поскольку исследуемые вещества нерастворимы в воде, ДМСО применялся как растворитель), а в качестве положительного – коммерческие диски с амоксиклавом, линкамицином и цефтриаксоном.

Обработка данных производилась с помощью пакета Microsoft Excel. Для оценки степени взаимосвязи использовался корреляционный анализ Пирсона. Данные, приведенные в таблице, в скобках, и на рисунках, содержат стандартное отклонение, показывающее разброс значений в выборке относительно среднего.

**Результаты.** Ранее нами были синтезированы и описаны некоторые производные теллура [9]. Исследуемые соединения отличаются тем, что в них введены новые группировки. Все ТОС прошли проверку биологических свойств на системе PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances). Строение синтезированных соединений доказано данными элементного анализа и исследований, проводимых методом ядерного магнитного резонанса [10].

При изучении антибактериальных свойств в отношении *S. aureus* в различных концентрациях (рис. 1) показано, что наибольший эффект проявляет вещество 1. Эффект определялся дозой вещества. При высокой бактериальной на-



**Рис. 1.** Чувствительность *Staphylococcus aureus* к производным теллура при бактериальной нагрузке  $1,5 \cdot 10^9$  КОЕ/мл (а) и  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл (б) (инкубация в течение 24 ч)

**Fig. 1.** Sensitivity of *Staphylococcus aureus* to tellurium derivatives at a bacterial load of  $1.5 \cdot 10^9$  CFU/ml (a) and  $1.5 \cdot 10^8$  CFU/ml (b) (24-hour incubation)

грузке вещество эффективно подавляло рост бактерий только в максимальной изученной концентрации (135 мкг/мл), при более низких концентрациях проявлялся дозозависимый эффект, что позволило рассчитать МПК, которая составила 13,5 мкг/мл при бактериальной нагрузке  $1,5 \cdot 10^9$  КОЕ/мл и 10,12 мкг/мл при бактериальной нагрузке  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл. Минимальная ингибирующая концентрация ( $MIC_{50}$ ) была определена по степени ингибирования роста видимых колониеобразующих единиц на 50 % через 24 ч при инкубации при 37 °С. Для данного вещества она составила 1,35 мкг/мл.

Вещество 2 оказывало антибактериальное действие только при концентрации *S. aureus*  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл, вещество 3 антибактериального эффекта не имело.  $MIC_{50}$  для вещества 2 составила 11 мкг/мл. Эффект ДМСО был на уровне вещества 3 (0-1), а действие цефтриаксона было сравнимым с таковым для вещества 1.

Исследование антибактериальных свойств в отношении *E. coli* (рис. 2) и *Salmonella* spp. (рис. 3) также показало, что наибольшим эффектом обладает вещество 1.

Действие веществ изучалось при различной бактериальной нагрузке, но видимый эффект

был выявлен только при бактериальной нагрузке  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл, что приблизительно соответствует 0,5 по стандарту Макфарланда и меньше.

Вещество 1 подавляло количество колоний на 80 %, а вещество 2 – на 40 %. При этом надо отметить, что размеры колоний также были относительно маленькими по сравнению с колониями в контрольной чашке. Вещество 3 антибактериального эффекта в отношении данного микроба не имело.  $MIC_{50}$  для вещества 1 составила 18,6 мкг/мл.

В отношении *Salmonella* spp. все вещества проявили невысокую активность (процент подавления колоний варьировал от 10 до 40 %), максимальной она была у вещества 3, которое в отношении *S. aureus* и *E. coli* не показало антибактериального действия. Рассчитать  $MIC_{50}$  в данной серии экспериментов не удалось. МПК была определена для всех веществ в диапазоне концентраций, в 2 раза превышающих  $OC_{D50}$ .

Серия экспериментов была посвящена определению чувствительности ТОС диско-диффузионным методом. Результаты представлены в таблице.

Зона подавления роста микроорганизмов веществом 1 варьировала от 2 до 6 мм. Особен-

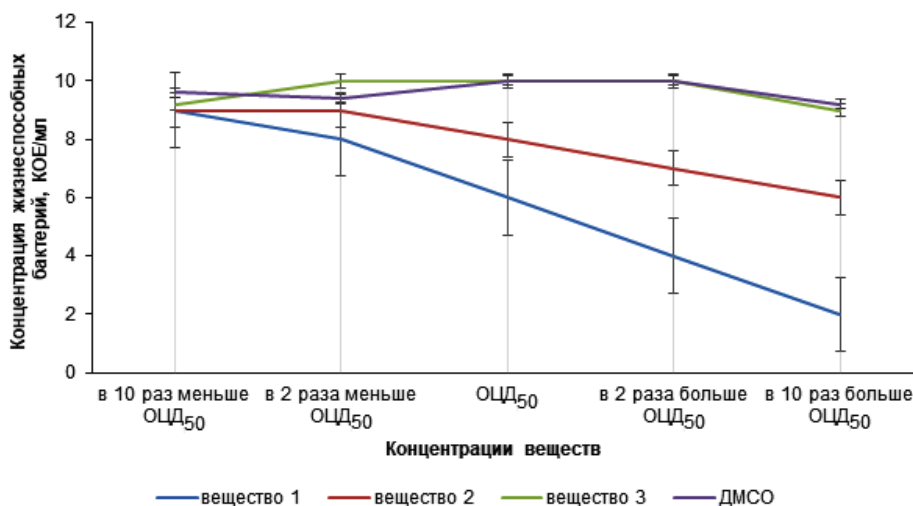


Рис. 2. Чувствительность *Escherichia coli* к производным теллура при бактериальной нагрузке  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл (инкубация в течение 24 ч)

Fig. 2. Sensitivity of *Escherichia coli* to tellurium derivatives at a bacterial load of  $1.5 \cdot 10^8$  CFU/ml (24-hour incubation)

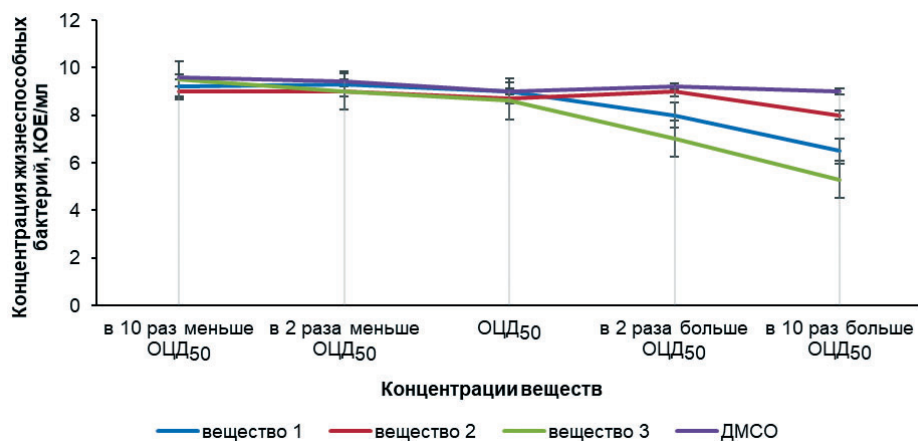


Рис. 3. Чувствительность *Salmonella* spp. к производным теллура при бактериальной нагрузке  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл (инкубация в течение 24 ч)

Рис. 3. Sensitivity of *Salmonella* spp. to tellurium derivatives at a bacterial load of  $1.5 \cdot 10^8$  CFU/ml (24-hour incubation)

#### Чувствительность условно-патогенных бактерий к производным теллура по данным метода дисковой диффузии

##### Sensitivity of opportunistic bacteria to tellurium derivatives according to disk diffusion results

Вещество	Зона подавления роста, мм (SD, %)		
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella</i> spp.
1	5,80 (0,80)	4,27 (0,72)	1,40 (0,30)
2	3,60 (0,20)	3,83 (0,55)	0,40 (0,10)
3	1,13 (0,35)	2,60 (0,41)	2,07 (0,39)

но чувствительными к данному веществу оказались штаммы *S. aureus* и *E. coli*. К веществу 3 микроорганизмы были малочувствительны, зона подавления роста составила от 1 до 3 мм.

**Обсуждение.** Использование производных теллура в биологии млекопитающих и медицине было ограничено до недавних пор. Однако на сегодняшний день данные соединения обнаружены в различных биологических жидкостях животных, а также выявлены их антиоксидантные, антибактериальные, противовирусные и иммуномодулирующие свойства [1, 2, 8].

Изучение антибактериальных свойств трех производных теллура показало, что наибольшую

антибактериальную активность по отношению ко всем исследуемым штаммам бактерий имеет диоксисироцикло-[4-метилфенил]теллурхлорид. В отношении *S. aureus* при высокой бактериальной нагрузке он эффективно подавлял рост бактерий только в максимальной изученной концентрации, при более низких концентрациях проявился дозозависимый эффект.  $MIC_{50}$  для данного вещества составила 1,35 мкг/мл. По отношению к *E. coli*  $MIC_{50}$  равнялась 18,6 мкг/мл. В отношении *Salmonella* spp. диоксисироцикло-[4-метилфенил]теллурхлорид имел невысокую активность, процент подавления колоний варьировал от 10 до 40 %.

3-Хлорметилдиоксинроциклофенилтеллурхлорид по отношению к *S. aureus* демонстрировал умеренный антибактериальный эффект и только при концентрации колонии  $1,5 \cdot 10^8$  КОЕ/мл МІС<sub>50</sub> составила 11 мкг/мл. Колонии *E. coli* данное вещество подавляло на 40 % от исходного значения в контрольной чашке, а в отношении *Salmonella* spp. не обнаружилось выраженного противомикробного эффекта.

Этилтеллуробензаль-[2-метокси-3,5-дихлор]анилин не проявлял выраженной антибактериальной активности в отношении *S. aureus* и *E. coli*, однако в отношении *Salmonella* spp. она была максимальной. При этом МІС<sub>50</sub> в 2 раза превышала ОЦД<sub>50</sub> и составляла 2,4 мкг/мл.

Биологический эффект каждого вещества зависел от радикала, присоединенного к теллуру [9].

При сравнении противомикробной активности ТОС, ДМСО и коммерческих препаратов было показано, что эффект от ДМСО находился на уровне этилтеллуробензаль-[2-метокси-3,5-дихлора] (0-1), от амоксицилина и линкомицина – в два раза превышал действие изученных

веществ, а действие цефтриаксона было сравнимо с таковым для диоксисироцикло-[4-метилфенил]теллурхлорида.

Таким образом, этилтеллуробензаль-[2-метокси-3,5-дихлор]анилин в отношении *S. aureus*, *E. coli* и *Salmonella* spp. во всех изученных схемах не дал положительного эффекта. Диоксисироцикло-[4-метилфенил]теллурхлорид проявил выраженный антибактериальный эффект в отношении *S. aureus* и *E. coli*, 3-хлорметилдиоксинроциклофенилтеллурхлорид обладал умеренной противомикробной активностью. Действие ТОС в относительно низких концентрациях указывает на возможности их применения в медицине. Ранее нами была показана противовирусная активность производных теллура в отношении простого герпеса. В этом исследовании действующие вещества также относились к данному классу соединений, но имели другие радикалы – метокси- и этоксиэтен [10]. Это позволяет говорить о перспективности дальнейшего изучения биологических свойств ТОС, которые меняются в зависимости от присутствующей группировки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Вклад авторов:** Исрапилова А.И. – сбор данных по противомикробной активности гетероциклов *in vitro*, статистическая обработка данных по цитотоксичности гетероциклов; Адиева А.А. – дизайн исследования, сбор и анализ данных по цитотоксичности гетероциклических соединений теллура, написание рукописи; Джафарова А.М. – сбор характеристических данных по строению веществ, анализ и статистическая обработка данных по цитотоксичности; Абакаров Г.М. – синтез производных теллура двумя разными методами.

**Authors' contributions:** A.I. Israpilova collected data on the antimicrobial activity of heterocyclic compounds *in vitro* and performed statistical processing of data on the cytotoxicity of heterocyclic compounds; A.A. Adieva designed the study, collected and analysed data on the cytotoxicity of heterocyclic tellurium compounds as well as wrote the manuscript; A.M. Dzhaifarova collected characteristic data on the structure of substances, analysed and performed statistical processing of cytotoxicity data; G.M. Abakarov synthesized tellurium derivatives using two different methods.



## Список литературы

1. Vávrová S., Struhárňanská E., Turňa J., Stuchlík S. Tellurium: A Rare Element with Influence on Prokaryotic and Eukaryotic Biological Systems // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, № 11. Art. № 5924. <https://doi.org/10.3390/ijms22115924>
2. Burkholz T., Jacob C. Tellurium in Nature // *Encyclopedia of Metalloproteins* / ed. by R.H. Kretsinger, V.N. Uversky, E.A. Permyakov. N. Y.: Springer, 2013. P. 2163–2174.
3. Jeje O., Ewunkem A.J., Jeffers-Francis L.K., Joseph L.G. Jr. Serving Two Masters: Effect of *Escherichia coli* Dual Resistance on Antibiotic Susceptibility // *Antibiotics (Basel)*. 2023. Vol. 12, № 3. Art. № 603. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030603>
4. Liu G., Liu A., Yang C., Zhou C., Zhou Q., Li H., Yang H., Mo J., Zhang Z., Li G., Si H., Ou C. *Portulaca oleracea* L. Organic Acid Extract Inhibits Persistent Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* *in vitro* and *in vivo* // *Front. Microbiol.* 2023. Vol. 13. Art. № 1076154. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1076154>
5. Guo Y., Yu X., Wang J., Hua D., You Y., Wu Q., Ji Q., Zhang J., Li L., Hu Y., Wu Z., Wei X., Jin L., Meng F., Yang Y., Hu X., Long L., Hu S., Qi H., Ma J., Bei W., Yan X., Wang H., He Z. A Food Poisoning Caused by ST7 *Staphylococcal aureus* Harboring *Sea* Gene in Hainan Province, China // *Front. Microbiol.* 2023. Vol. 14. Art. № 1110720. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1110720>
6. Bamunusinghage N.P.D., Neelawala R.G., Magedara H.P., Ekanayaka N.W., Kalupahana R.S., Silva-Fletcher A., Kottawatta S.A. Antimicrobial Resistance Patterns of Fecal *Escherichia coli* in Wildlife, Urban Wildlife, and Livestock in the Eastern Region of Sri Lanka, and Differences Between Carnivores, Omnivores, and Herbivores // *J. Wildl. Dis.* 2022. Vol. 58, № 2. P. 380–383. <https://doi.org/10.7589/jwd-d-21-00048>
7. Carneiro Aguiar R.A., Ferreira F.A., Dias R.S., Nero L.A., Miotto M., Verruck S., De Marco I., De Dea Lindner J. Graduate Student Literature Review: Enterotoxigenic Potential and Antimicrobial Resistance of Staphylococci from Brazilian Artisanal Raw Milk Cheeses // *J. Dairy Sci.* 2022. Vol. 105, № 7. P. 5685–5699. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21634>
8. Abudawood M., Alnuaim L., Tabassum H., Ghneim H.K., Alfihli M.A., Alanazi S.T., Alenzi N.D., Alsobaie S. An Insight into the Impact of Serum Tellurium, Thallium, Osmium and Antimony on the Antioxidant/Redox Status of PCOS Patients: A Comprehensive Study // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. Vol. 24, № 3. Art. № 2596. <https://doi.org/10.3390/ijms24032596>
9. Адиева А.А., Климова Р.Р., Абакаров Г.М., Меджидова М.Г., Джамалова С.А., Омарова Д.К., Меджидов М.А. Изучение биологических свойств теллурсодержащих гетероциклических соединений // *Международ. журн. приклад. и фундам. исслед.* 2021. № 10. С. 7–11.
10. Исрапилова А.И., Адиева А.А., Джафарова А.М., Абакаров Г.М., Амирханова И.В. Антибактериальные свойства теллурурганических соединений // *Вопр. биол., мед. и фармацевт. химии.* 2024. Т. 27, № 2. С. 35–42. <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-02-0>
11. Адиева А.А., Климова Р.Р., Абакаров Г.М., Бекшоков К.С., Федорова Н.Е., Омарова Д.К., Куц А.А., Джамалова С.А., Халимбекова А.М., Гусейнова А.Р. Цитотоксичность и противовирусная активность производных теллура в клетках, инфицированных вирусом простого герпеса и цитомегаловирусом *in vitro* // *Юг России: экология, развитие.* 2021. Т. 16, № 3. С. 108–118. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-108-118>

## References

1. Vávrová S., Struhárňanská E., Turňa J., Stuchlík S. Tellurium: A Rare Element with Influence on Prokaryotic and Eukaryotic Biological Systems. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 11. Art. no. 5924. <https://doi.org/10.3390/ijms22115924>
2. Burkholz T., Jacob C. Tellurium in Nature. Kretsinger R.H., Uversky V.N., Permyakov E.A. (eds.). *Encyclopedia of Metalloproteins*. New York, 2013, pp. 2163–2174.
3. Jeje O., Ewunkem A.J., Jeffers-Francis L.K., Joseph L.G. Jr. Serving Two Masters: Effect of *Escherichia coli* Dual Resistance on Antibiotic Susceptibility. *Antibiotics (Basel)*, 2023, vol. 12, no. 3. Art. no. 603. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030603>

4. Liu G., Liu A., Yang C., Zhou C., Zhou Q., Li H., Yang H., Mo J., Zhang Z., Li G., Si H., Ou C. *Portulaca oleracea* L. Organic Acid Extract Inhibits Persistent Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* *in vitro* and *in vivo*. *Front. Microbiol.*, 2023, vol. 13. Art. no. 1076154. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1076154>

5. Guo Y., Yu X., Wang J., Hua D., You Y., Wu Q., Ji Q., Zhang J., Li L., Hu Y., Wu Z., Wei X., Jin L., Meng F., Yang Y., Hu X., Long L., Hu S., Qi H., Ma J., Bei W., Yan X., Wang H., He Z. A Food Poisoning Caused by ST7 *Staphylococcal aureus* Harboring *Sea* Gene in Hainan Province, China. *Front. Microbiol.*, 2023, vol. 14. Art. no. 1110720. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1110720>

6. Bamanusinghage N.P.D., Neelawala R.G., Magedara H.P., Ekanayaka N.W., Kalupahana R.S., Silva-Fletcher A., Kottawatta S.A. Antimicrobial Resistance Patterns of Fecal *Escherichia coli* in Wildlife, Urban Wildlife, and Livestock in the Eastern Region of Sri Lanka, and Differences Between Carnivores, Omnivores, and Herbivores. *J. Wildl. Dis.*, 2022, vol. 58, no. 2, pp. 380–383. <https://doi.org/10.7589/jwd-d-21-00048>

7. Carneiro Aguiar R.A., Ferreira F.A., Dias R.S., Nero L.A., Miotto M., Verruck S., De Marco I., De Dea Lindner J. Graduate Student Literature Review: Enterotoxigenic Potential and Antimicrobial Resistance of Staphylococci from Brazilian Artisanal Raw Milk Cheeses. *J. Dairy Sci.*, 2022, vol. 105, no. 7, pp. 5685–5699. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21634>

8. Abudawood M., Alnuaim L., Tabassum H., Ghneim H.K., Alfhili M.A., Alanazi S.T., Alenzi N.D., Alsobaie S. An Insight into the Impact of Serum Tellurium, Thallium, Osmium and Antimony on the Antioxidant/Redox Status of PCOS Patients: A Comprehensive Study. *Int. J. Mol. Sci.*, 2023, vol. 24, no. 3. Art. no. 2596. <https://doi.org/10.3390/ijms24032596>

9. Adieva A.A., Klimova R.R., Abakarov G.M., Medzhidova M.G., Dzhamaalova S.A., Omarova D.K., Medzhidov M.A. Izuchenie biologicheskikh svoystv tellurosoderzhashchikh geterotsiklicheskikh soedineniy [Biological Properties of Tellurium-Containing Heterocyclic Compounds]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2021, no. 10, pp. 7–11.

10. Israpilova A.I., Adieva A.A., Dzhafarova A.M., Abakarov G.M., Amirkhanova I.V. Antibakterial'nye svoystva tellurorganicheskikh soedineniy [Antibacterial Properties of Organotellurium Compounds]. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2024, vol. 27, no. 2, pp. 35–42. <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-02-04>

11. Adieva A.A., Klimova R.R., Abakarov G.M., Bekshokov K.S., Fedorova N.E., Omarova D.K., Kushch A.A., Dzhamaalova S.A., Khalimbekova A.M., Guseynova A.R. Cytotoxicity and Antiviral Activity of Tellurium Derivatives in Cells Infected with Herpes Simplex Virus and Cytomegalovirus *in vitro*. *South Russ. Ecol. Dev.*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 108–118 (in Russ.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-108-118>

Поступила в редакцию 13.09.2023 / Одобрена после рецензирования 14.12.2023 / Принята к публикации 19.12.2023.

Submitted 13 September 2023 / Approved after reviewing 14 December 2023 / Accepted for publication 19 December 2023.