



## ЭКОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 32.15:577.18:502.3

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265>**Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы****Светлана Семеновна Тимофеева<sup>1✉</sup>, Ольга Сергеевна Гудилова<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия<sup>1</sup>[timofeeva@istu.edu](mailto:timofeeva@istu.edu)<sup>2</sup>[gudilova79@gmail.com](mailto:gudilova79@gmail.com)

**Аннотация.** Над проблемой загрязнения объектов окружающей среды антибиотиками, влекущей за собой серьезные последствия для здоровья человека, работают ученые всего мира. Цель исследования – обзор отечественных и зарубежных литературных данных по распространению антибиотиков в объектах окружающей среды и источниках их образования. Отмечено негативное влияние на человека вследствие неконтролируемого поступления антибиотиков в окружающую среду. В мире, ещё до возникновения пандемии коронавируса COVID-19, существовала крайне серьезная проблема в виде антибиотикорезистентности микроорганизмов. Проведенный анализ показал, что существует множество источников поступления антибиотиков в окружающую среду: они широко применяются не только в медицине, но и в ветеринарии и сельском хозяйстве. Сделан вывод о том, что для изменения ситуации в сторону повышения безопасности необходимы современные технологии экологической реабилитации загрязненных территорий и изменение законодательства.

**Ключевые слова:** антибиотики, загрязнение, источники, окружающая среда

**Благодарности:** Работа выполнена по гранту ИРНТУ 18РАН/2020 «Техногенные риски Байкальского региона».

**Для цитирования:** Тимофеева С. С., Гудилова О. С. Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. № 3. С. 251–265. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265>.

## ECOLOGY

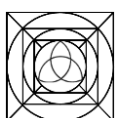
Review article

**Antibiotics in the environment: status and problems****Svetlana S. Timofeeva<sup>1✉</sup>, Olga S. Gudilova<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia<sup>1</sup>[timofeeva@istu.edu](mailto:timofeeva@istu.edu)<sup>2</sup>[gudilova79@gmail.com](mailto:gudilova79@gmail.com)

**Abstract.** Scientists all over the world are working on the problem of pollution of environmental objects with antibiotics, which entails serious consequences for human health. The aim of the study is to review domestic and foreign literature data on the distribution of antibiotics in environmental objects and the sources of their formation. A negative impact on humans was noted due to the uncontrolled intake of antibiotics into the environment. In the world, even before the outbreak of the COVID-19 coronavirus pandemic, there was an extremely serious problem in the form of antibiotic resistance of microorganisms. The analysis showed that there are many sources of antibiotics entering the environment: they are widely used not only in medicine, but also in veterinary medicine and agriculture. It is concluded that modern technologies for the ecological rehabilitation of contaminated areas and a change in legislation are needed to change the situation towards improving safety.

**Key words:** antibiotics, pollution, sources, environment

**Acknowledgments:** The study was conducted as part of the grant IRNITU 18РАН/2020 "Technogenic risks of the Baikal region".





**For citation:** Timofeeva S. S., Gudilova O. S. Antibiotics in the Environment: Status and Problems. XXI vek. *Tekhnosfernayabezopasnost' = XXI century. Technosphere Safety*. 2021;6(3):251–265. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265>.

## ВВЕДЕНИЕ

Пандемия коронавируса Covid-19 – жесткий эксперимент, устроенный человечеству миром микроорганизмов – показала, насколько скудны наши знания о нем.

Вирусы обитают во всех средах: на дне океана, в арктической мерзлоте и в космосе. Есть микроорганизмы, выживающие фактически в любых условиях. Учеными изучено примерно 6 тыс. из 100 млн вирусов и 13% от всех бактерий. Постоянно мы узнаем о новых болезнях, всегда являющихся угрозой для человечества. Это – птичий грипп, SARS или ТОРС, МЕРС или ближневосточный респираторный синдром, лихорадка Эбола, а теперь и Covid-19.

На первом этапе, когда врачи не знали, как лечить Covid-19, стали применять азитромицин – антибиотик группы макролидов, обладающий широким спектром противомикробного действия. Однако здесь возникла глобальная проблема XXI в. – антибиотикорезистентность микроорганизмов.

Установлено, что в мире ежегодно погибает 700 тыс. человек в результате лекарственной резистентности, только от туберкулеза умирает 230 тыс. человек. Медики испытывают затруднения при лечении инфекционных заболеваний, передаваемых половым путем, болезней дыхательных и мочевыводящих путей. Прогнозная оценка показывает, что если сохранится наблюдаемая тенденция, то из-за резистентности к противомикробным препаратам к 2030 г. может погибнуть 2,4 млн чел. в странах с высоким уровнем дохода [1]. Из-за антибиотикорезистентности бактерий инфицированные больные вынуждены значительно большее время находиться на стационарном лечении, высока вероятность смертельного исхода и развития

побочных эффектов, поэтому экономические издержки системы здравоохранения весьма существенны.

Причиной высокой устойчивости к антибиотикам является не только применение антибиотиков в медицине, но и все возрастающее плохо контролируемое применение их в ветеринарии и сельском хозяйстве. Статистика показывает, что потребление антибиотиков в ветеринарии в два раза больше, чем в медицине. Учет расходования антибиотиков в ветеринарии ведется не во всех странах мира. Поэтому неучтенная экологическая нагрузка на окружающую среду от сельскохозяйственных предприятий создает серьезную экологическую проблему в современном мире. Над проблемой загрязнения окружающей среды антибиотиками работают ученые всего мира.

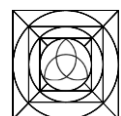
Цель исследования – обзор отечественных и зарубежных литературных данных по распространению антибиотиков в объектах окружающей среды и источниках их образования.

## МЕТОДЫ

Авторы проанализировали научные публикации российских и зарубежных исследователей в области оценки содержания антибиотиков в объектах окружающей среды и источников их поступления за последние 10 лет. Репрезентативность выборки позволила осуществить аналитический обзор.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Жизнь современного человека немислима без антибиотиков. Благодаря открытию, совершенному в 1928 г. английским врачом Александром Флемингом, удалось справиться с такими смертельными для человека инфекциями как





пневмония, туберкулез, гангрена и другие. Как это часто бывает в жизни, открытия совершаются случайно. В чашку, где выращивались колонии бактерий, случайно попала спора гриба и стала расти. При этом рост грибов затормозил размножение бактерий, что позволило предположить, что грибы выделяют в питательную среду вещество, препятствующее их росту. Первооткрывателями антибактериального вещества были Флори и Чейн, выделившие пенициллин из гриба-продуцента рода пенициллов. Флеминг, Флори и Чейн в 1945 г. были удостоены Нобелевской премии. За пенициллином последовали открытия других антибактериальных веществ [2].

Название «антибиотик» (в переводе с греческого – «против жизни») предложил в 1942 г. американский микробиолог Зельман Абрахам Ваксман. Он также открыл стрептомицин, нашедший широкое применение при лечении туберкулеза [3].

Антибиотики производят почвенные микроорганизмы – грибы и актиномицеты, а также другие организмы, которые синтезируют более 30 000 антибиотиков природного происхождения [3]. Совсем недавно стало известно о выделении антибиотиков, продуцируемых организмами обитающими в оз. Байкал<sup>1</sup>.

В настоящее время разработаны биотехнологии получения антибиотиков как непосредственно продуцируемых живыми организмами, так и полусинтетических веществ, способные убивать бактерии, грибы, вирусы, обычные и опухолевые клетки или подавлять их рост [4].

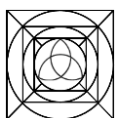
Интенсивное производство и применение антибиотиков в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве привело к

загрязнению различных компонентов окружающей среды: поверхностных и грунтовых вод, питьевой воды, городских сточных вод, почвы, овощей, ила и т.д. И это создало экологические проблемы для человечества. Кроме того, использование антибиотиков обогащает устойчивые к антибиотикам бактерии или гены устойчивости, которые могут передаваться из окружающей среды человеку. Предполагается, что повышенное потребление антибиотиков может привести к неэффективности лечения человека, инфекциям, вызванным устойчивыми к антибиотикам бактериями, увеличению продолжительности болезни, заболеваемости и смертности [5].

Отчеты Евросоюза (ЕС) показывают, что в его странах ежегодно умирают 33 тыс. чел. из-за инфекций, вызываемых устойчивыми к антибиотикам бактериями. Причем в 39% случаев смерть связана с инфекциями, вызванными бактериями, устойчивыми к антибиотикам последней линии, таким как карбапенемы и колистин. Похожая ситуация наблюдается и в США, где ежегодно 2,8 млн чел. заболевают устойчивой к антибиотикам инфекцией и более 35 тыс. человек умирают<sup>2</sup>. К сожалению, инфекции, устойчивые к антибиотикам, дорого обходятся экономике и системе здравоохранения. Увеличение стоимости связано с тем, что эти инфекции требуют лечения антибиотиками последней линии, которые намного дороже, чем терапия антибиотиками первой и второй линии. Кроме того, продолжительность госпитализации пациента с устойчивыми к антибиотикам инфекциями может быть увеличена на 6,4–12,7 дней. Экономиче-

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет ведет исследования по получению антибиотиков с участием организмов, обитающих в оз. Байкал [Электронный ресурс] // Новости ИГУ. URL: <https://isu.ru/ru/news/2021/details/news-id2021-00146/> (20.03.2021 г.).

<sup>2</sup>Устойчивость к противомикробным препаратам [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance> (20.03.2021 г.).





ское бремя, вызываемое инфекциями, устойчивыми к антибиотикам бактериями, оценивается в ЕС в 1,5 млрд евро в год в виде затрат на здравоохранение и снижение производительности и в 55 млрд долл. в США [7].

Антибиотики широко используются в качестве стимуляторов роста в животноводстве при выращивании крупного рогатого скота, свиней, птицы, а также для повышения эффективности кормления, хотя и запрещены в ЕС с 2006 г., но все еще применяются в Индии и Китае, особенно в сельском хозяйстве и животноводстве, а после оказываются в объектах окружающей среды и создают экологические проблемы [5].

Источником антибиотиков в первую очередь является экскреция человека и (или) животных, так как почти 80–90% потребляемых антибиотиков выделяются в неизменной форме. Загрязнение антимикробными препаратами распространяется через очистные сооружения, стоки с сельскохозяйственных полей, антропогенные сточные воды, животноводческие помещения, бойни и стоки со свалок [6].

Неуправляемое удаление неиспользованных антибиотиков с заводов, больниц и жилых домов в значительной степени способствует распространению противомикробных препаратов по канализации. Антибиотики, используемые в качестве удобрений или пестицидов, а также утилизированные на свалки, могут загрязнять почву, а впоследствии поверхностные и подземные воды из-за стока, инфильтрации или просачивания после дождя [6].

Сточные воды, содержащие остатки антибиотиков, образуются в жилых районах и больницах, на промышленных предприятиях, скотобойнях, животноводческих помещениях и молочных фермах и, наконец, попадают на очистные сооружения. Шлам, образующийся на очистных сооружениях, также содер-

жит остатки антибиотиков и вывозится на свалки или используется на сельскохозяйственных землях [7].

В целом, загрязнение антибиотиками в окружающей среде происходит по замкнутому циклу, который включает маршруты пищевой цепи, биоаккумуляцию и биомагнификацию за счет орошения сельскохозяйственных культур сточными водами очистных сооружений или загрязненной почвой, трофическими уровнями и средой обитания аквакультуры (рыба и крабы) [6].

На рис. 1 приведена схема круговорота антибиотиков в среде обитания, включая почвы, природные воды и технологические циклы очистки сточных вод, выращивания сельскохозяйственной продукции. В итоге образуется замкнутый цикл оборота антибиотиков [8].

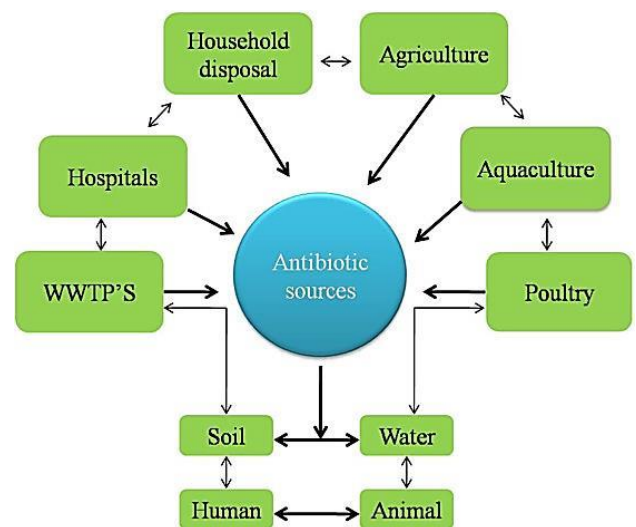
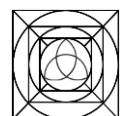


Рис. 1. Пути поступления и круговорота антибиотиков в среде обитания [8]

Fig. 1. Routes of entry and circulation of antibiotics in the environment [8]

Избыточное накопление остаточных количеств антибиотиков в продуктах питания, водах и почвах привело к нарушению экологического баланса в экосфере и сказалось негативно на здоровье населения. Появилась новая проблема устойчивости к противомикробным препаратам. В результате посте-





пенной мутации бактерии, вирусы грибки и паразиты стали терять восприимчивость к лекарственным препаратам, вследствие чего затрудняется лечение инфекций и повышается риск тяжелого лечения болезней и летального исхода. Более того, остатки антибиотиков могут абсорбироваться растениями, вмешиваться в физиологические процессы и вызывать потенциальные экотоксикологические эффекты. Накопление антибиотиков в сельскохозяйственных почвах приводит к замедлению прорастания семян и снижению биомассы и урожайности сельскохозяйственных растений [9, 10].

Заметным источником поступления антибиотиков в окружающую среду являются сточные воды, поступающие в водоприемники после прохождения циклов очистки на очистных сооружениях, поскольку антибиотики не подвергаются метаболитическим превращениям и транзитом проходят через сооружения [10].

В работе [11] представлена информация по оценке содержания антибиотиков в сточных водах больниц, транзитных сточных водах с очистных сооружений и иловых осадках, поверхностных и грунтовых водах, а также питьевой воде. В частности, в сточных водах больниц найдены ципрофлоксацин в концентрации 0,7–124,5 мкг/л, ампициллин в диапазоне содержания 20–80 мкг/л [12, 13].

Почвы загрязняются антибиотиками при внесении навоза, ила и сточных вод [14], но некоторые антибиотики применяются непосредственно на сельскохозяйственных угодьях для борьбы с патогенами [15]. Тетрациклин (ТЕТ) был обнаружен в почве в концентрации 0,2 г/кг и отложениях.

Европейская комиссия признала, что «загрязнение почвы и воды фармацевтическими препаратами является серьезной проблемой для здоровья населения и важной «экологической проблемой» [16].

Антибиотики как узкого, так и широко-

го спектра действия, были обнаружены во всем мире в различных образцах окружающей среды [17–19]. Например, сульфаметоксазол и триметоприм обнаружили даже в морской воде бельгийских гаваней, фторхинолон идентифицировали в образцах о. Хайлинг, офлоксацин – в заливе Лайчжоу, а тетрациклин и сульфаниламиды – в сточных водах очистных сооружений [8].

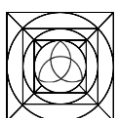
Фторхинолоны, макролиды, сульфаметоксазол, сульфаниламиды, триметоприм, линкомицин и бета-лактамы часто обнаруживаются в сточных водах больниц развивающихся стран в концентрациях до 35 500 нг/л [8].

Общая концентрация антибиотиков в сточных водах больниц колебалась от  $21,2 \pm 0,13$  до  $4886 \pm 3,80$  нг/л летом и от  $497 \pm 3,66$  до  $322,735 \pm 4,58$  нг/л зимой. Азитромицин, кларитромицин и ципрофлоксацин были обнаружены в самых высоких концентрациях среди исследованных антибиотиков. Общая антибактериальная нагрузка на приток воды из больниц составила 3,46 г/сут летом и 303,2 г/сут зимой [20, 21].

Окситетрациклин, флорфеникол, премикс, сарафлоксацин, сульфонамиды эритромицина широко используются в аквакультуре, поэтому их можно обнаружить в пробах воды. В Китае эти пять соединений были найдены в образцах воды с концентрацией 65–7722 нг/л [22]. При изучении закономерностей деструкции антибиотиков, используемых на рыбопроизводных заводах в дельте реки Миконг, установлено, что период их полураспада варьировался в диапазоне от 1 до 44 сут. в зависимости от солнечной инсоляции и наличия осадков. Наиболее стойким оказался триметоприм.

Остаточное содержание сульфаметоксазола, сульфадиазина, триметоприма и энрофлоксацина в питьевой воде составляло (нг/л) 21; 4; 17 и 12 соответственно [23].

Таким образом, обзор зарубежных





изданий позволил сделать вывод о том, что в настоящее время существует серьезная экологическая проблема загрязнения объектов окружающей среды антибиотиками – среди наиболее часто обнаруживаемых антибиотиков выделяются тетрациклины и пенициллины.

Сегодня во всем мире тетрациклины относятся к числу наиболее производимым и широко потребляемым антибиотикам из-за низкой стоимости и широкого спектра действия. Помимо использования у людей, тетрациклины используются в терапии животных для лечения инфекций и стимулирования роста. Окситетрациклин и хлортетрациклин разрешены к использованию в США в качестве стимуляторов роста крупного рогатого скота [24].

Первый тетрациклин был открыт Бенджамином Дуггаром в 1945 г. как продукт естественной ферментации почвенных бактерий *Streptomyces aureofaciens*, который назвали ауреомицин (хлортетрациклин). Через два года был выделен второй изолированный тетрациклин, получивший название тетрарамицин (окситетрациклин), его продуцировали бактерии *Streptomyces rimosus*. В 1953 г. путем сочетания биологического и химического процессов была получена молекула тетрациклина, имеющая простейшую структуру из этого семейства антибиотиков, сохраняющая свои функции. Установлено, что основная структура двух антибиотиков – ауреомицина и тетрарамицина одинакова. Было предложено общее название – тетрациклин. После этого многие исследователи начали поиск новых тетрациклинов<sup>3</sup>.

Три тетрациклиновых антибиотика (тетрациклин, окситетрациклин и хлортетрациклин) стали основой для синте-

за новых производных и были получены демеклоциклин, ролитетрациклин и метациклин – тетрациклины первого поколения. Недостатком этих антибиотиков было короткое время, в течение которого они могли сохраняться в организме, и это было преодолено тетрациклином второго поколения – доксициклином и миноциклином [25]. Таким образом, за двадцать лет удалось создать линейку тетрациклинов в виде натуральных или полусинтетических продуктов. Их широко использовали в США и других странах [25, 26].

Все тетрациклины обладают одинаковым спектром и механизмом действия, побочными эффектами и аналогичной переносимостью устойчивых организмов [27].

Фармакокинетика большинства тетрациклинов обычно пероральная или парентеральная: они всасываются в желудке и верхних отделах тонкой кишки. Тетрациклины обладают низкой скоростью метаболизма, менее 20% введенной дозы, т.е. более 80% выводятся в основном в неизмененном виде через кишечник [28].

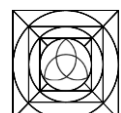
Антибиотики тетрациклинового ряда, имея одинаковый механизм действия, отличаются между собой периодом полураспада в организме, в частности период полураспада составляет: доксициклина и миноциклина более 15 часов, демеклоциклина - 12 часов, а хлортетрациклина, окситетрациклина и тетрациклина – от 6 до 9 ч [28].

В плазме крови тетрациклины переносятся в виде комплекса кальция, который, попав внутрь клеток бактерий, образует комплекс с магнием, который связывается с рибосомой [29].

Эффективность антибактериального действия тетрациклинов зависит от pH среды. Обычно тетрациклины ведут себя положительно ( $pH < 3,3$ ), нейтрально ( $3,3 < pH < 7,68$ ) или отрицательно ( $pH > 7,68$ ) [30].

Механизм действия тетрациклинов основан на ингибировании синтеза бел-

<sup>3</sup>World Economic Forum [Электронный ресурс] // Global Risks Report 2013. URL: <https://www.weforum.org/> (20.03.2021).





ка за счет связывания с фракцией 30 S бактериальной хромосомы, предотвращении прикрепления т РНК, препятствующей поставке и соединению аминокислот, образующих белки [31].

Установлено, что тетрациклин способен проникать через клеточную мембрану как за счет пассивной диффузии, так и посредством активного транспорта из-за его хорошей диффузии внутри клеток [32].

Тетрациклины рекомендованы для использования против инфекций, возбудителями которых являются риккетсии, хламидии, микоплазмы и боррелии, кампилобактер, легионеллы. Их применяют при орнитозе, венерической лимфогрануле, вызванной хламидиозом; при атипичных пневмониях бруцеллезе, туляремии, бартонеллезе, актиномикозе, рецидивирующих лихорадках, холере, гонорее. Их можно использовать при инфекциях, вызванных стрептококками

группы А, стафилококками, пневмококками, грамположительными и грамотрицательными, а также эспирокетозами, а также малярии, амебиаза, пептических язв, в том числе сибирской язвы. Есть упоминания об использовании тетрациклина при лечении неинфекционных заболеваний, таких как ревматоидный артрит и рак [32].

Исследователи представили несколько результатов лечения таких заболеваний как остеоартрит, ревматоидный артрит, системная красная волчанка, язвенный колит и болезнь Крона [33]. Препарат проявляет синергическое действие при лечении опухолей [34].

Мировое потребление антибиотиков, в том числе и тетрациклинов растет в геометрической прогрессии. Для примера приведена информация по их потреблению в странах Латинской Америки (рис. 2) [35].

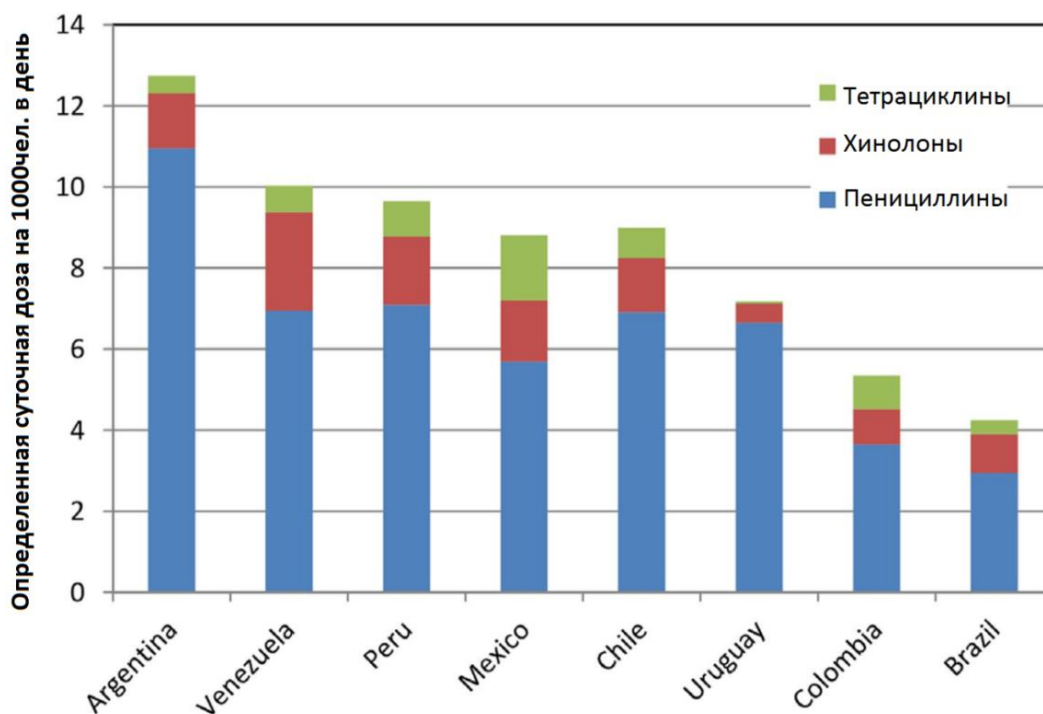
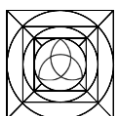


Рис.2. Использование антибиотиков в восьми странах Латинской Америки в разбивке по терапевтическим классам в 2017 г. (адаптировано из Wirtzet al., 2010) [35]

Fig. 2. Application of antibiotics in eight Latin American countries by the therapeutic class in 2017 (adapted from Wirtz et al., 2010) [35]





В основу оценки взята информация о продажах антибиотиков в розничной торговле (прямые продажи в частных аптеках и косвенные продажи в частных клиниках и больницах), без предоставления информации об антибиотиках, закупленных государственным сектором (государственные подрядчики). Установлено, что наиболее часто используются пенициллины, хинолоны и тетрациклины. Ежедневное потребление тетрациклина только в Бразилии для медицинских целей достигает 23 кг, а для животноводства страны Европейского сообщества потребляют около 4,6 млн кг антибиотиков [35].

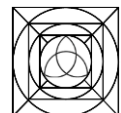
В Танзании с 2010 по 2017 гг. было потреблено в общем 12 147 491 кг антибиотиков, из них 8 090 798 кг тетрациклинов (66,6%), при этом основным потребителем этих лекарств являлась ветеринарная медицина, так как страна занимает лидирующие позиции в Южной Африке по производству продукции [36]. На основе анализа данных по продаже препаратов для систем выращивания кур, крупного рогатого скота и свиней в 41 стране мира в 2017 г. авторы [37] спрогнозировали глобальное потребление противомикробных препаратов с 2017 по 2030 гг. Установлено, что продажи с 93 309 вырастут на 11,5% и составят 104 079 т. При этом наибольший прогнозируемый прирост потребления антибиотиков обеспечит свиноводство. В среднем на выращивание 1 свиньи используется 193 мг/шт. Крупный рогатый скот потребляет 42 мг/шт, а куры – 68 мг/шт противомикробных препаратов. Основным потребителем антибиотиков в мире является Китай. На его долю приходится 45% от общемирового потребления. В топ-10 потребителей ветеринарных противомикробных препаратов в 2017 г. вошли: Китай (45%), Бразилия (7,9%), Соединенные Штаты (7,0%), Таиланд (4,2%), Индия (2,2%), Иран (1,9%), Испания (1,9%), Россия (1,8%), Мексика

(1,7%) и Аргентина (1,5%). Ожидается, что в 2030 г. эти 10 ведущих стран будут использовать 72% от общего объема противомикробных препаратов, потребляемых во всем мире, при этом уровни индивидуального потребления оцениваются в 43% в Китае, 7,9% – в Бразилии, 6,5% – в Соединенных Штатах, 4,0% – в Таиланде, 2,1% – в Индии, 1,9% – в Испании, 1,9% – в России, 1,8% – в Мексике, 1,5% – в Иране и 1,5% – в Аргентине.

Значимым потребителем антибиотиков в мире является интенсивно развивающаяся аквакультура, на долю которой приходится 8% потребления животного белка в рационе человека. Авторами работы [38] выполнен прогноз потребления антибиотиков в мире до 2030 г. Установлено, что глобальное потребление антибиотиков в аквакультуре составляло в 2017 г. 10 259 т, увеличится к 2030 г. на 33% и достигнет 13 600 т. Основную долю в мировом потреблении занимает Азиатско-Тихоокеанский регион (93,8%), при этом на Китай приходится 57,9% мирового потребления антибиотиков.

Интенсивность потребления антимикробных препаратов в каждой группе видов аквакультур составляла (мг/кг): сом – 157; форель – 103; тилапия – 59; креветки – 46; лосось – 27 и объединенная группа видов – 208. На рис. 3 приведены результаты прогнозной оценки потребления антибиотиков в медицинских целях для человека; и в ветеринарии – для животных и аквакультур.

Все возрастающее потребление антибиотиков, отсутствие эффективных методов их удаления из сточных вод, осадков и почв будет увеличивать антибиотиковую нагрузку на окружающую среду и проблемы загрязнения среды обитания и устойчивости к антибиотикам приобретают все большее значение [39, 40]. В качестве примера в таблице приведены данные по содержанию антибиотиков тетрациклинового ряда в объектах окружающей среды,





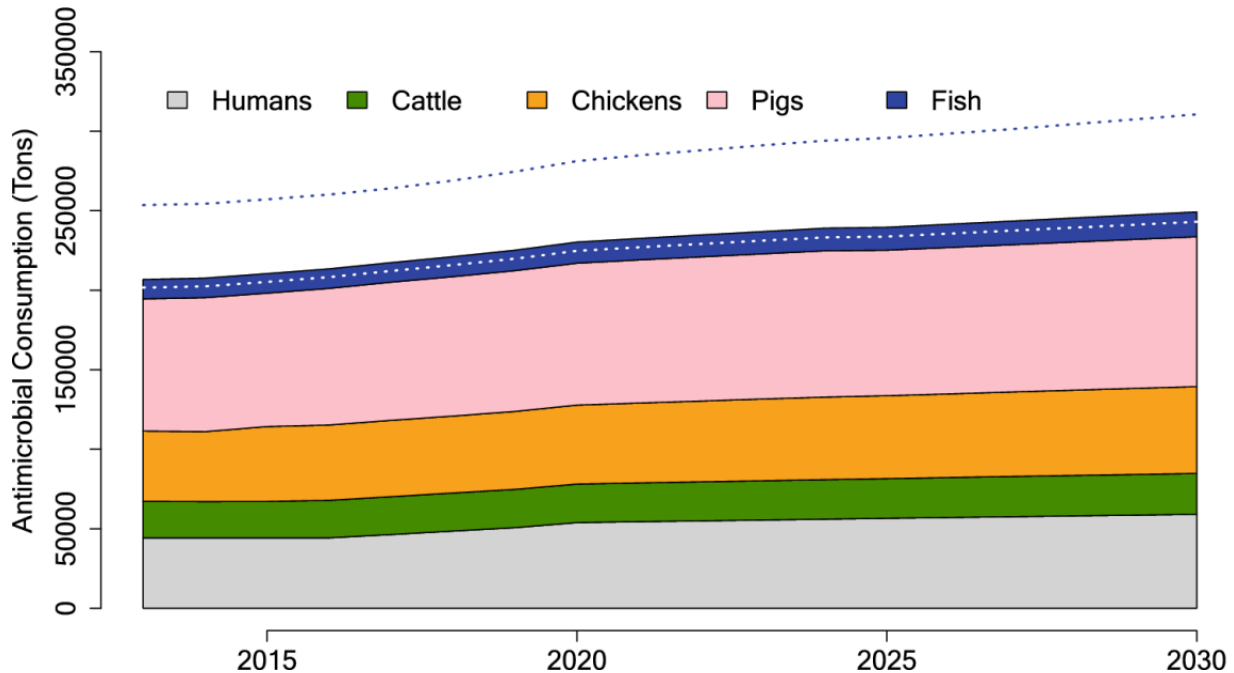


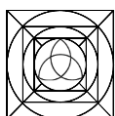
Рис. 3. Прогнозная оценка потребления антибиотиков в мире до 2030 г. (по работе D. Schar, E.Y. Klein, R. Laxminarayan, et al [38])

Fig. 3. Forecast estimate of the consumption of antibiotics in the world until 2030 (according to D. Schar, E.Y. Klein, R. Laxminarayan, et al [38])

Концентрация антибиотиков семейства тетрациклинов в окружающей среде [24]

The concentration of tetracycline in the environment [24]

Антибиотик	Средняя концентрация (мкг/л)	Матрица	Страна
Хлортетрациклин	0,15 <sup>(1)</sup>	Поверхность воды	США
	0,42 <sup>(2)</sup>	Природная вода	США
	до 0,69 <sup>(3)</sup>	Поверхность воды	Соединенное Королевство
	0,9 <sup>(4)</sup>	Воды	Соединенное Королевство
	4,6–7,3 (мкг/кг) <sup>(1)</sup>	Почва (0–30 см)	Северная Германия
	41,8 (мкг/кг) <sup>(4)</sup>	Почва	Соединенное Королевство
	до 46 (мг/кг) <sup>(1)</sup>	Свиной навоз	Австрия
Окситетрациклин	0,07–1,34 <sup>(1)</sup>	Поверхность воды	США
	0,34 <sup>(2)</sup>	Природная вода	США
	до 0,34 <sup>(3)</sup>	Поверхность воды	Соединенное Королевство
	0,5 <sup>(4)</sup>	Воды	Соединенное Королевство
	71,7 <sup>(1)</sup>	Сток	Англия
	8,6 (мкг/кг) <sup>(4)</sup>	Почва	Соединенное Королевство
	27 (мкг/кг) <sup>(1)</sup>	Почва	Северная Германия
Тетрациклин	до 29 (мг/кг) <sup>(1)</sup>	Свиной навоз	Австрия
	0,11 <sup>(2)</sup>	Природная вода	США
	до 0,11 <sup>(3)</sup>	Поверхность воды	Соединенное Королевство
	0,1 <sup>(4)</sup>	Воды	Соединенное Королевство
	1,2 а 4,2 <sup>(2)</sup>	Поверхность воды	Германия





при этом доказано, что они сорбируются на минералах глинистых почв и сохраняются в почвах длительное время, оказывая токсичное действие, в том числе и на почвенные микроорганизмы.

Антибиотики, прежде всего тетрациклинового ряда, становятся серьезной угрозой для окружающей среды из-за неучтенного использования в субтерапевтическом стимулировании роста животных и лечении человека. Низкие скорости деградации этих веществ в окружающей среде, отсутствие эффективных способов очистки сточных вод и почв приведут к нарушению экологического равновесия и глобальной проблеме устойчивости к противомикробным препаратам (УПП). Эту проблему Всемирная организация здравоохранения назвала одной из 10 стоящих перед человечеством глобальных угроз здоровью населения. Основными причинами возникновения устойчивости к противомикробным препаратам являются неправильное и чрезмерное применение противомикробных препаратов и накопление их в объектах окружающей среды; отсутствие доступа людей, а также животных к чистой воде, низкий уровень осведомленности и знаний; отсутствие контроля над соблюдением законодательства и т.д.

Проблема УПП является комплексной и требует коллективного решения в разных сферах деятельности. Необходимо проводить ограничительные и просветительские мероприятия среди населения, разрабатывать и реализовывать национальный и региональный планы действий, совершенствовать законодательную базу, в сельскохозяйственном секторе усилить ветеринарный надзор при введении антибиотиков животным, отказаться от их использования для стимулирования роста и профилактики болезней у здоровых животных, вакцинировать животных с целью сокращения потребностей в антибиотиках и использовать альтернативные варианты, повы-

шать биобезопасность на фермах и предотвращать инфекции, внедряя инновационные технологии содержания животных, разрабатывать и внедрять локальные технологии очистки и обезвреживания сточных вод от лечебных учреждений, сельхозпредприятий, увеличивать объемы научных исследований в области оценки фармацевтического мусора в регионах.

Иркутский национальный исследовательский технический университет озабочен проблемой антибиотиков в Байкальском регионе. Решением Ученого Совета университета выделены средства на реализацию совместного с СО РАН проекта по оценке техногенных рисков Байкальского региона.

Задачи проекта:

– идентификация источников фармацевтического мусора на территории Байкальского региона;

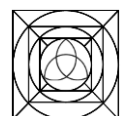
– прогнозирование и оценка экологических рисков для населения Иркутской области по антибиотикам тетрациклиновой группы и медицинской технологии их идентификации;

– разработка условий ревитализации загрязненной территории на основе природоподобных технологий.

В реализации проекта принимают участие студенты университета: бакалавры, магистры и аспиранты. Студенты ведут просветительскую деятельность среди населения, анализируют источники поступления антибиотиков в окружающую среду, разрабатывают гибридные технологии утилизации антибиотиков и т.д.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ научных публикаций российских и зарубежных авторов показал, что антибиотики стали одним из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды, обнаруживаемых в почвах, природных водах, продуктах питания. Они перераспределяются в объектах окружающей среды, возвращаются к челове-



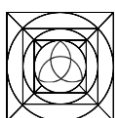


ку и создают трудности в лечении при заболеваниях, обусловленных патогенной микрофлорой. Необходимо разрабатывать технологии экологической реабилитации. Кроме того, необходимы организационные меры, направленные на

снижение «антибиотиковой нагрузки» на окружающую среду путем совершенствования законодательства в области обращения с антибиотиками и запрета их использования в качестве кормовых добавок в сельском хозяйстве.

### Список литературы

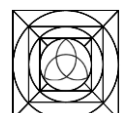
1. Роль животноводства в устойчивом развитии сельского хозяйства в интересах продовольственной безопасности и питания: докл. группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности. Рим: ГЭВУ, 2016. С. 87–115.
2. Данилов А. И., Литвинов А. В. Начало эры антимикробной химиотерапии // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2010. Т. 12. № 2. С. 163–169.
3. Росихин В. В. Биотехнология. Введение в науку будущего. Харьков: Колорит, 2005. С. 117–136.
4. Ефременкова О. Антибиотики: жизнь продолжается // Наука и жизнь. 2006. no. 8. С. 15–21.
5. Cowieson A., Klünter A. M. Contribution of exogenous enzymes to potentiate the removal of antibiotic growth promoters in poultry production // Animal Feed Science and Technology. 2019. no. 250. P. 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.026>.
6. Manyi-Loh C., Mamphweli S., Meyer E., Okoh A. Antibiotic Use in Agriculture and Its Consequential Resistance in Environmental Sources: Potential Public Health Implications // Molecules. 2018. Vol. 23. no. 4. P. 795. <https://doi.org/10.3390/molecules23040795>.
7. Zhixia Zhangab, Bin Wang, Honglin Yuan, Ruixue Ma. Discharge inventory of pharmaceuticals and personal care products in Beijing // Emerging contaminants. 2016. no. 2. P. 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.07.001>.
8. Lockwood S., Said N. Options for a strategic approach to pharmaceuticals in the environment. Final Report. Luxembourg: Publ. Office of the European Union, 2019. 289 p. <https://doi.org/10.2779/87838>.
9. Kumar M., Shweta J., Sodhi K.K., Shree P., Singh D.K., Pawan K.A. Antibiotics bioremediation: Perspectives on its eco-toxicity and resistance // Environ Int. 2019. no. 124. P. 448–461. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.065>.
10. Spielmeier A., Petri M.S., Höper H., Hamscher G. Long-term monitoring of sulfonamides and tetracyclines in manure amended soils and leachate samples - A follow-up study // Heliyon. 2020. Vol. 6, no. 8. e04656. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04656>.
11. Barancheshme F., Munir M. Strategies to Combat Antibiotic Re-sistance in the Wastewater Treatment Plants // Front Microbiol. 2018. no. 8. P. 2603. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02603>
12. Quanshi Zhang, Song-Chun Zhu. Visual Interpretability for Deep Learning: a Survey. Arxiv.org. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1802.00614.pdf> [Accessed 17th May 2021].
13. Kümmerer K. Significance of antibiotics in the environment // J Antimicrob Chemother. 2003. Vol. 52, no. 1. P. 5–7. <https://doi.org/10.1093/jac/dkg293>.
14. Dalkmann P., Broszat M., Siebe C., Willaschek E., Sakinc T., Huebner J., et al. Accumulation of pharmaceuticals, enterococci and resistance genes in soils irrigated with sewage for zero to 100 years in the central Mexico // PLoS ONE. 2018, no. 5. P. 56. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045397>.
15. Shade A., Klimowicz A. K., Spear R. N., Lincke M., Donato J. J., Hogan C. S., et al. Streptomycin Application Has No Detectable Effect on Bacterial Community Structure in Apple Orchard Soil // Applied and Environmental Microbiology. 2013. Vol. 79, no. 21. P. 6617–6625. <https://doi.org/10.1128/AEM.02017-13>.
16. Keenries G., Gold A. K., Worthington J. J., Nirenberg A. A. Drug Disposal Practices: Improving Patient and Clinician Education on Safe Methods // Journal of International Medical Research. 2018. Vol. 46, no. 3. P. 927–939.
17. Ho Y. B., Zakaria M. P., Latif P. A., Saari N. Decomposition of veterinary antibiotics and hormones during composting of broiler manure // Bioresource Technology. 2013. no. 131. P. 476–484. <https://doi.org/10.1016/j.bio-rtech.2012.12.194>.
18. Ishikawa N. F., Chikaraishi Y., Takano Y., Sasaki Y., Takizawa Y., Tsuchiya M. A new analytical method for determination of the nitrogen isotopic composition of methionine: Its application to aquatic ecosystems with mixed resources // Limnology and Oceanography: Methods. 2018. Vol. 16, no. 9. P. 607–620.
19. Murray B. I. Challenges of pest management in the Twenty First Century: new tools and strategies to combat old and new foes alike // Front. Agron. 2019. № 1:2. <https://doi.org/10.3389/fagro.2019.00002>.
20. Aydin S., Aydin M. E., Ulvi A., Kilic H. Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment





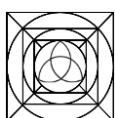
- plant, and environmental risk assessment // *Environ Sci Pollut Res.* 2019. Vol. 26. P. 544–558. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3563-0>.
21. Ekwanzala M. D., Lehutso R., Kasonga T. K., Dewar J. B., Momba M. N. B. Environmental Dissemination of Selected Antibiotics from Hospital Wastewater to the Aquatic Environment // *Antibiotics.* 2020. Vol. 9. P. 431. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9070431>.
22. Qiao Min, Ying Guang-Guo, Singer AC, Zhu Yong-Guan. Review of antibiotic resistance in China and its environment // *Environment International.* 2018. Vol. 110. P. 160–172. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.016>.
23. Giang C. N. D., Sebesvari Z., Renaud F., Rosendahl I., Minh Q.H., Amelung W. Occurrence and Dissipation of the Antibiotics Sulfamethoxazole, Sulfadiazine, Trimethoprim, and Enrofloxacin in the Mekong Delta, Vietnam // *PLoS One.* 2015. Vol. 10, no. 7. P. e0131855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131855>.
24. Cheng Gu, Karthikeyan KG. Interaction of Tetracycline with Aluminum and Iron Hydrous Oxides // *Environmental Science and Technology.* 2005. Vol. 39, no. 8. P. 2660–2667. <https://doi.org/10.1021/es048603o>.
25. Walsh C. Antibiotics: actions, origins, resistance. Washington, DC: ASM Press, 2003. 345 p.
26. Lesch J. E. The first miracle drugs: how the sulfa drugs transformed medicine. New York: Oxford University Press, 2007. 364 p.
27. Haruki H., Pedersen M. G., Gorska K. I., Pøjer F., Johnsson K. Tetrahydrobiopterin Biosynthesis as an Off-Target of Sulfa Drugs // *Science.* 2013. P. 987–991. <https://doi.org/10.1126/science.1232972>.
28. Pereira-Maia E. C., Pereira-Silva P., Almeida W. B., Santos H. F., Marcial B. L., Ruggiero R., et al. Tetracyclines and glycolcyclines: An overview // *Química Nova.* 2010. Vol. 33, no. 3. P. 700–706.
29. Petrova M., Gorlenko Z., Mindlin S. Molecular structure and translocation of a multiple anti-biotic resistance region of a *Psychrobacter Psychrophilus* Permafrost Strain // *FEMS Microbiol. Lett.* 2009. Vol. 296, no. 2. P. 190–197. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01635.x>.
30. Pignatello J. J., Oliveros E., Mackay A. Advanced oxidation process for organic contaminant destruction based on the fenton reaction and related chemistry // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* 2006. Vol. 36, no. 1. P. 1–84. <https://doi.org/10.1080/10643380500326564>.
31. Rivas J., Encinas Á., Beltrán F., Graham N. Application of advanced oxidation processes to doxycycline and norfloxacin removal from water // *Journal of Environmental Science and Health, Part A.* 2011. Vol. 46, no. 9. P. 944–951. <https://doi.org/10.1080/10934529.2011.586249>.
32. Rocha D. P., Pinto G. F., Ruggiero R., Oliveira C. A., Guerra W., Fontes A. P. S., et al. Coordenação De Metais A Antibióticos Como Uma Estratégia De Combate À Resistência Bacteriana // *Química Nova.* 2011. Vol. 34, no. 1. P. 111–118. (In Spain). <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000100022>.
33. Sarmah A. K., Meyer M. T., Boxall A. B. A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (vas) in the environment // *Chemosphere.* 2006. Vol. 65, no. 5. P. 725–759. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>.
34. Sassman S. A., Lee L. S. Sorption of three tetracyclines by several soils: assessing the role of ph and cation exchange // *Environ. Sci. Technol.* 2005. Vol. 39, no. 19. P. 7452–7459. <https://doi.org/10.1021/es0480217>.
35. Wirtz V. J., Dreser A., Gonzales R. Trends in antibiotic utilization in eight Latin American Countries, 1997–2007 // *Rev Panam Salud Publica.* 2010. Vol. 27, no. 3. P. 219–25.
36. Sangeda R. Z., Baha A., Erick A., Mkumbwa S., Bitegeko A., Hiiti B., Sillo H. B., et al. Consumption Trends of Antibiotic for Veterinary Use in Tanzania: A Longitudinal Retrospective Survey From 2010–2017 // *Front. Trop.* 2021. <https://doi.org/10.3389/fitd.2021.694082>.
37. Tiseo K., Huber L., Gilbert M., Robinson T. P., Van Boeckel Th. P. Global Trends in Antimicrobial Use in Food Animals from 2017 to 2030 // *Antibiotics.* 2020;9(12):918. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9120918>.
38. Schar D., Klein E. Y., Laxminarayan R., Gilbert M., Van Boeckel T. P. Global trends in antimicrobial use in aquaculture // *Scientific Reports.* 2020;10:21878. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78849-3>.
39. Watkinson A. J., Murby E. J., Kolpine D. W., Costanzo S. D. The occurrence of antibiotics in an urban watershed: from wastewater to drinking water // *Sci. Total Environ.* 2009. Vol. 407, no. 8. P. 2711–2723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.059>.
40. Тимофеева С. С., Щуплецова И. Д. Прогнозирование экологических рисков микрополлютантов в Байкальском регионе // *XXI век. Техносферная безопасность.* 2020. Т. 5. № 3. P. 269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283>.

## References





1. Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock? A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome: HLPE; 2016.
2. Danilov A. I., Litvinov A. V. The start of the era of antimicrobial chemotherapy. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya = Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy*. 2010;12(2):163-169. (In Russ.).
3. Rossikhin V. V. Biotechnology. Introduction to the Science of the Future. Kharkiv: Kolorit; 2005. p. 117-136. (In Russ.).
4. Efremenkova O. Antibiotics: life goes on. *Nauka i zhizn'*. 2006;8:15-21. (In Russ.).
5. Cowieson A., Kluentner A. M. Contribution of exogenous enzymes to potentiate the removal of antibiotic growth promoters in poultry production. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;250:81-92. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.026>.
6. Manyi-Loh C., Mamphweli S., Meyer E., Okoh A. Antibiotic Use in Agriculture and Its Consequential Resistance in Environmental Sources: Potential Public Health Implications. *Molecules*. 2018;23(4):795. <https://doi.org/10.3390/molecules23040795>.
7. Zhixia Zhangab, Bin Wang, Honglin Yuan, Ruixue Ma. Discharge inventory of pharmaceuticals and personal care products in Beijing. *Emerging contaminants*. 2016;2:148-156. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.07.001>.
8. Lockwood S., Said N. Options for a strategic approach to pharmaceuticals in the environment. Final Report. Luxembourg: Publ. Office of the European Union; 2019. 289 p. <https://doi.org/10.2779/87838>.
9. Kumar M., Shweta J., Sodhi K. K., Shree P., Singh D.K., Pawan K.A. Antibiotics bioremediation: Perspectives on its eco-toxicity and resistance. *Environ Int*. 2019;124:448-461. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.065>.
10. Spielmeyer A., Petri M. S., Höper H., Hamscher G. Long-term monitoring of sulfonamides and tetracyclines in manure amended soils and leachate samples - A follow-up study. *Heliyon*. 2020;6(8):e04656. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04656>.
11. Barancheshme F., Munir M. Strategies to Combat Antibiotic Re-sistance in the Wastewater Treatment Plants. *Front Microbiol*. 2018;8:2603. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02603>.
12. Quanshi Zhang , Song-Chun Zhu. Visual Interpretability for Deep Learning: a Survey. *Arxiv.org*. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1802.00614.pdf> [Accessed 17th May 2021].
13. Kümmerer K. Significance of antibiotics in the environment. *J Antimicrob Chemother*. 2003;52(1):5-7. <https://doi.org/10.1093/jac/dkg293>.
14. Dalkmann P., Broszat M., Siebe C., Wilaschek E., Sakinc T., Huebner J., et al. Accumulation of pharmaceuticals, enterococci and resistance genes in soils irrigated with sewage for zero to 100 years in the central Mexico. *PLoS ONE*. 2018;5:56. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045397>.
15. Shade A., Klimowicz A. K., Spear R. N., Lincke M., Donato J. J., Hogan C. S., et al. Streptomycin Application Has No Detectable Effect on Bacterial Community Structure in Apple Orchard Soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 2013;79(21):6617-6625. <https://doi.org/10.1128/AEM.02017-13>.
16. Keenries G., Gold A. K., Worthington J. J., Nirenberg A. A. Drug Disposal Practices: Improving Patient and Clinician Education on Safe Methods. *Journal of International Medical Research*. 2018;46(3):927-939.
17. Ho Y. B., Zakaria M. P., Latif P. A., Saari N. Decomposition of veterinary antibiotics and hormones during composting of broiler manure. *Bioresource Technology*. 2013;131:476-484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.194>.
18. Ishikawa N. F., Chikaraishi Y., Takano Y., Sasaki Y., Takizawa Y., Tsuchiya M. A new analytical method for determination of the nitrogen isotopic composition of methionine: Its application to aquatic ecosystems with mixed resources. *Limnology and Oceanography: Methods*. 2018;16(9):607-620.
19. Murray B. I. Challenges of pest management in the Twenty First Century: new tools and strategies to combat old and new foes alike. *Front. Agron*. 2019;1:2. <https://doi.org/10.3389/fagro.2019.00002>.
20. Aydin S., Aydin M. E., Ulvi A., Kilic H. Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26:544-558. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3563-0>.
21. Ekwanzala M. D., Lehutso R., Kasonga T. K., Dewar J. B., Momba M. N. B. Environmental Dissemination of Selected Antibiotics from Hospital Wastewater to the Aquatic Environment. *Antibiotics*. 2020;9:431. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9070431>.
22. Qiao Min, Ying Guang-Guo, Singer AC, Zhu Yong-Guan. Review of antibiotic resistance in China and its environment. *Environment International*. 2018;110:160-172. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.016>.
23. Giang C. N. D., Sebesvari Z., Renaud F., Rosendahl I., Minh Q. H., Amelung W. Occurrence and Dissipation of the Antibiotics Sulfamethoxazole, Sulfadiazine, Trimethoprim, and Enrofloxacin in the Mekong Delta, Vietnam. *PLoS One*. 2015;10(7):e0131855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131855>.
24. Cheng Gu, Karthikeyan KG. Interaction of Tetracycline with Aluminum and Iron Hydrous Oxides. *Envi-*





- ronmental Science and Technology*. 2005;39(8):2660-2667. <https://doi.org/10.1021/es048603o>.
25. Walsh C. Antibiotics: actions, origins, resistance. Washington, DC: ASM Press; 2003. 345 p.
26. Lesch J. E. The first miracle drugs: how the sulfa drugs transformed medicine. New York: Oxford University Press; 2007. 364 p.
27. Haruki H., Pedersen M.G., Gorska K.I., Pojer F., Johnsson K. Tetrahydrobiopterin Biosynthesis as an Off-Target of Sulfa Drugs. *Science*. 2013;987-991. <https://doi.org/10.1126/science.1232972>.
28. Pereira-Maia E. C., Pereira-Silva P., Almeida W. B., Santos H. F., Marcial B. L., Ruggiero R., et al. Tetracyclines and glycolcyclines: An overview. *Química Nova*. 2010;33(3):700-706.
29. Petrova M., Gorlenko Z., Mindlin S. Molecular structure and translocation of a multiple anti-biotic resistance region of a *Psychrobacter Psychrophilus* Permafrost Strain. *FEMS Microbiol. Lett*. 2009;296(2):190-197. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01635.x>.
30. Pignatello J. J., Oliveros E., Mackay A. Advanced oxidation process for organic contaminant destruction based on the fenton reaction and related chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2006;36(1):1-84. <https://doi.org/10.1080/10643380500326564>.
31. Rivas J., Encinas Á., Beltrán F., Graham N. Application of advanced oxidation processes to doxycycline and norfloxacin removal from water. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 2011;46(9):944-951. <https://doi.org/10.1080/10934529.2011.586249>.
32. Rocha D. P., Pinto G. F., Ruggiero R., Oliveira C. A., Guerra W., Fontes A. P. S., et al. Coordenação De Metais A Antibióticos Como Uma Estratégia De Combate À Resistência Bacteriana. *Química Nova*. 2011;34:111-118. (In Spain). <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000100022>.
33. Sarmah A. K., Meyer M. T., Boxall A. B. A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (vas) in the environment. *Chemosphere*. 2006;65(5):725-759. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>.
34. Sassman S. A., Lee L. S. Sorption of three tetracyclines by several soils: assessing the role of ph and cation exchange. *Environ. Sci. Technol*. 2005;39(19):7452-7459. <https://doi.org/10.1021/es0480217>.
35. Wirtz V. J., Dreser A., Gonzales R. Trends in antibiotic utilization in eight Latin American Countries, 1997–2007. *Rev Panam Salud Publica*. 2010;27(3):219-25.
36. Sangeda R. Z., Baha A., Erick A., Mkumbwa S., Bitegeko A., Hiiti B., Sillo H. B., et al. Consumption Trends of Antibiotic for Veterinary Use in Tanzania: A Longitudinal Retrospective Survey From 2010–2017. *Front. Trop*. 2021. <https://doi.org/10.3389/fitd.021.694082>.
37. Tiseo K., Huber L., Gilbert M., Robinson T. P., Van Boeckel Th. P. Global Trends in Antimicrobial Use in Food Animals from 2017 to 2030. *Antibiotics*. 2020;9(12):918. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9120918>.
38. Schar D., Klein E. Y., Laxminarayan R., Gilbert M., Van Boeckel T. P. Global trends in antimicrobial use in aquaculture. *Scientific Reports*. 2020;10:21878. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78849-3>.
39. Watkinson A. J., Murbyd E.J., Kolpine D. W., Costanzo S. D. The Occurrence Of Antibiotics In An Urban Watershed: From Wastewater To Drinking Water. *Sci. Total Environ*. 2009;407(8):2711–2723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.059>.
40. Timofeeva S. S., Shupletsova I. D. Prediction of environmental danger of micropollutants in theBaikal region. *XXI vek. Tekhnosfernayabezopasnost' = XXI century. Technosphere security*. 2020;5(3):269-283. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283>.

#### Сведения об авторах

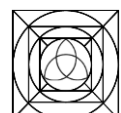
##### С. С. Тимофеева,

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой промышленной  
экологии и безопасности жизнедеятельности,  
Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
✉ e-mail: timofeeva@istu.edu  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8427-3732>

#### Information about the authors

##### Svetlana S. Timofeeva,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Head of the Department  
of industrial ecology and life safety,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8427-3732>  
✉ e-mail: timofeeva@istu.edu





**О. С. Гудилова**

магистрант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,

**Olga S. Gudilova**

Master's degree student,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,

**Заявленный вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the author's**

The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*All authors have read and approved the final manuscript.*

*Поступила в редакцию 17.03.2021.  
Одобрена после рецензирования 26.07.2021.  
Принята к публикации 31.08.2021.*

*The article was submitted 17.03.2021.  
Approved after reviewing 26.07.2021.  
Accepted for publication 31.08.2021.*

