



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА


HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325

УДК 613/614-1

Научная статья / Research article

Оценка потенциальных рисков для здоровья населения Байкальского региона при употреблении продуктов, загрязненных антибиотиками

С.С. Тимофеева  , С.С. Тимофеев  , О.В. Тюкалова*Иркутский национальный исследовательский технический университет,**Иркутск, Российская Федерация* ssstimofeeva@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены современные экологические проблемы – загрязнение природной среды антибиотиками и устойчивость к противомикробным препаратам, когда микроорганизмы мутируют и теряют восприимчивость к антибиотикам. Причины этого опасного явления заключаются в постоянно растущем и неконтролируемом применении антибиотиков в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве. Большинство антибиотиков полностью не метаболизируются у людей и животных, значительная часть вводимых лекарств попадает в воду и почву через городские сточные воды, навоз животных и осадок сточных вод, транспортируемый на сельскохозяйственные поля в качестве удобрений, и создают экологические риски для здоровья человека. Оценка экологических рисков от накопления антибиотиков в природных водах и продуктах питания крайне важна для Байкальской природной территории. Это территория, которая включает озеро Байкал (объект всемирного наследия), водоохранную зону, прилегающую к озеру Байкал, его водосборный бассейн на территории Российской Федерации, природные зоны преимущественной охраны, прилегающие к озеру Байкал, а также территорию шириной около 200 км, прилегающую к озеру Байкал к западу и северо-западу от него. Она может подвергнуться потенциальному риску как в отношении эндемичных видов озера Байкал, так и для населения в случае хронического воздействия и накопления антибиотиков в объектах окружающей среды. Целью настоящей работы являлась

© Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Тюкалова О.В., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

прогнозная оценка экологического риска для здоровья населения при прямом пероральном потреблении воды, мяса и других продуктов, выращенных на территории, загрязненной антибиотиками. Исходными данными служили результаты мониторинга качества пищевых продуктов, поступающих в розничную сеть Иркутской области. Установлено, что в среднем ежедневно взрослый человек – житель региона получает 0,5718 мг/кг антибиотиков вместе с пищевыми продуктами. Ребенок в возрасте от 6 до 12 лет получает 1,3803 мг/кг антибиотика с пищей, а ребенок в возрасте от 2 до 6 лет – 2,6686 мг/кг вещества. У жителей Байкальского региона, взрослого населения и детей в возрасте от 2 до 12 лет, потенциальный экологический риск для здоровья в результате воздействия антибиотиков, поступающих с продуктами питания, на организм на порядок выше безопасного уровня и необходимо предпринимать действия, направленные на минимизацию таких рисков.

Ключевые слова: антибиотики, загрязнение, продукты питания, экологический риск, здоровье

Благодарности и финансирование: Работа выполнена при поддержке Ученого совета ИРНИТУ гранта № 18РАН_2020 «Техногенные риски Байкальского региона».

Вклад авторов: Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

История статьи: поступила в редакцию 01.03.2022; принята к публикации 04.05.2022.

Для цитирования: *Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Тюкалова О.В.* Оценка потенциальных рисков для здоровья населения Байкальского региона при употреблении продуктов, загрязненных антибиотиками // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2022. Т. 30. № 3. С. 312–325. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325>

Assessment of potential risks to the health of the population of the Baikal region when using products contaminated with antibiotics

Svetlana S. Timofeeva  , Semyen S. Timofeev , Olga V. Tyukalova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

 ssstimofeeva@mail.ru

Abstract. Modern ecological problems are considered – pollution of the natural environment with antibiotics and resistance to antimicrobial drugs, when microorganisms mutate and lose susceptibility to antibiotics. The reasons for this dangerous phenomenon are the ever-growing and uncontrolled use of antibiotics in medicine, veterinary medicine and agriculture. Most antibiotics are not completely metabolized in humans and animals, a significant part of the injected drugs enters the water and soil through urban wastewater, animal manure and sewage sludge transported to agricultural fields as fertilizers and pose environmental risks to human health. Assessment of environmental risks from the accumulation of antibiotics in natural waters and food is extremely important for the Baikal natural territory. This is an area that includes Lake Baikal (a World Heritage site), a water protection zone adjacent to Lake Baikal, its catchment basin on the territory of the Russian Federation, natural zones of primary protection adjacent to Lake Baikal, as well as an area about 200 km wide

adjacent to Lake Baikal to the west and northwest of it. It may be at potential risk both for endemic species of Lake Baikal and for the population in case of chronic exposure and accumulation of antibiotics in environmental objects. The purpose of this work was a predictive assessment of the environmental risk to public health with direct oral consumption of water, meat and other products grown in an area contaminated with antibiotics. The initial data were the results of monitoring the quality of food products entering the retail network of the Irkutsk region. It was found that on average, an adult resident of the region receives 0.5718 mg/kg of antibiotics daily with food. A child aged 6 to 12 years receives 1.3803 mg/kg of antibiotic daily with food, and a child aged 2 to 6 years receives 2.6686 mg/kg of the substance. Residents of the Baikal region, adults and children aged 2 to 12 years, have a potential environmental health risk as a result of exposure to antibiotics coming with food on the body an order of magnitude higher than the safe level and it is necessary to take actions aimed at minimizing such risks.

Keywords: antibiotics, pollution, food, environmental risk, health

Acknowledgements and Funding: The work was carried out with the support of the Scientific Council of IRNTU grant No. 18RAN_2020 “Technogenic risks of the Baikal region”.

Authors’ contributions: All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 01.03.2022; accepted 04.05.2022.

For citation: Timofeeva SS, Timofeev SS, Tyukalova OV. Assessment of potential risks to the health of the population of the Baikal region when using products contaminated with antibiotics. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):312–325. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325>

Широкое применение антибиотиков в современном мире и их накопление в экосистемах привело к глобальной проблеме устойчивости к противомикробным препаратам, когда микроорганизмы мутируют и теряют восприимчивость к антибиотикам, которые ранее успешно применялись для лечения инфекций. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включила бактериальную резистентность в список десяти наиболее значимых рисков для человечества [1]. Практически ежегодно из-за антибиотикоустойчивости в мире умирают до 700 тысяч человек. По оценкам экспертов, к 2050 г. число смертей, вызванных устойчивостью к антибиотикам, может увеличиться до 10 миллионов, причем 2,4 миллиона из них – в странах с высоким уровнем развития [2].

Ежегодно в России регистрируется до 2,3 миллиона случаев внутрибольничных инфекций [3; 4]. При лечении таких инфекций на первый план выходит проблема бактериальной резистентности. Среди наиболее распространенных: внутрибольничная пневмония, внутрибрюшные инфекции, инфекции мочевыводящих путей. Расходы на противомикробную терапию составляют более 30 % бюджетных средств медицинских организаций. Около 50 % пациентов в отделениях интенсивной терапии страдают инфекциями, половина из которых приобретена в больнице. Инфекции повышают риск смерти в отделениях интенсивной терапии в 2,5 раза.

Причиной высокой устойчивости к антибиотикам является не только применение антибиотиков в медицине, но и растущее и плохо контролируемое их применение в ветеринарии и сельском хозяйстве. Длительный период практически бесконтрольного применения антибиотиков в здравоохранении, ветеринарии и сельском хозяйстве привел к распространению генетически модифицированных форм инфекционных агентов, устойчивых к противомикробным препаратам, и вызвал глобальные экологические проблемы, в первую очередь загрязнение антибиотиками объектов окружающей среды: атмосферы, воды, почвы, продуктов питания, как животного, так и неживотного происхождения, и, следовательно, экологические риски для населения [5–7].

Лекарственные препараты после выполнения терапевтических функций выводятся из организма человека и животных в результате естественного выведения. Поскольку большинство антибиотиков полностью не метаболизируется у людей и животных, значительная часть вводимых лекарств попадает в воду и почву через городские сточные воды, навоз животных и осадок сточных вод, транспортируемый на сельскохозяйственные поля в качестве удобрений. Установлено, что от 30 до 90 % перорально принимаемых лекарственных средств попадают во внешнюю среду с мочой в виде активных метаболитов (в среднем от 64 до 27 %), с калом (в среднем от 35 до 26 %). В биологических очистных сооружениях антибиотики, как правило, не разрушаются, транзитом проходят через них и представляют потенциальную экологическую угрозу для здоровья населения [8–10].

При оценке экологических рисков для водохранилища Циншитань, расположенного выше по течению реки Гантанг и снабжающего питьевой водой город Гуйлинь, Гуанси, с использованием метода коэффициента риска (RQ) установлено, что потенциальный риск остатков антибиотиков в водных экосистемах средний [11]. В провинции Аньхой на юго-востоке Китая, в бассейнах рек Янцзы, Хуай и Синьань, экологические риски от таких антибиотиков, как ципрофлоксацин, эритромицин, офлоксацин, энрофлоксацин и тетрациклин, варьируются в диапазоне от среднего до высокого уровня [12].

Основным источником неконтролируемого поступления антибиотиков в организм человека являются продукты питания, в первую очередь животного происхождения [13; 14], такие как мясо, мясные продукты, птица, рыба, яйца, молоко, сметана, йогурты и другие молочные продукты. Присутствие в молочных продуктах антибиотиков обусловлено неконтролируемым применением стрептомицина, пенициллина и др. антибиотиков для лечения животных, а также использования их в качестве кормовых добавок для ускорения роста животных и предотвращения инфекций. Загрязненные антибиотиками продукты питания являются источниками потенциального экологического риска для здоровья человека.

В соответствии с установленным регламентом проводится мониторинг содержания антибиотиков в продуктах питания испытательными лабораториями Роспотребнадзора и Россельхознадзора, ежегодно исследуется не менее

20 тысяч проб. Анализы показывают, что наиболее часто фиксируется наличие антибиотиков в молочных продуктах, их содержание достигает 1,1%, наименьшее – в продуктах детского питания (менее 0,1 %).

Высокий уровень антибиотикостойчивости, большие экономические потери при лечении инфекционных заболеваний и интенсивное загрязнение объектов окружающей среды требуют принятия незамедлительных организационных мер как по оценке экологических рисков для здоровья населения, так и разработке эффективных мер технологий ревитализации загрязненных территорий.

Оценка экологических рисков от накопления антибиотиков в природных водах и продуктах питания крайне важна для Байкальской природной территории, включающей озеро Байкал (объект всемирного наследия), водоохранную зону, прилегающую к озеру Байкал, его водосборный бассейн на территории Российской Федерации, а также территорию шириной около 200 км, прилегающую к озеру Байкал к западу и северо-западу от него. Она может подвергнуться потенциальному риску как в отношении эндемичных видов озера Байкал, так и для населения в случае хронического воздействия и накопления антибиотиков в объектах окружающей среды.

В ИРНТУ в течение многих лет реализуется проект «Техногенные риски Байкальского региона» составлен реестр рисков и установлено, что одним из малоизученных являются риски, обусловленные неконтролируемым оборотом антибиотиков в регионе. Учеными ИРНТУ обобщены накопленные знания о судьбе антибиотиков в экосистемах, методы распознавания и идентификации антибиотиков в воде, почве, продуктах питания и других объектах [15; 16], разработана методология прогнозирования потенциальных рисков для населения региона.

Целью настоящей работы являлась прогнозная оценка экологического риска для здоровья населения при прямом пероральном потреблении воды, мяса и других продуктов, выращенных на территории, загрязненной антибиотиками.

Объекты и методы исследования

Потенциальные экологические риски направлены на население Байкальского региона, получающее избыточные неконтролируемые дозы антибиотиков с продуктами питания и водой.

Исходными данными служили результаты мониторинга качества пищевых продуктов, поступающих в розничную сеть Иркутской области.

Согласно данным ветеринарной лаборатории, в пробах пищевых продуктов обнаруживаются антибиотики тетрациклиновой и пенициллиновой групп (табл. 1). Максимальная концентрация данных групп антибиотиков обнаружена в субпродуктах убойных животных охлажденных и замороженных, а минимальная концентрация обнаружена в мясе птицы всех видов.

**Содержание антибиотиков в пищевых продуктах,
потребляемых населением Байкальского региона**

№	Объект исследования	Вещество	Содержание, мг/кг
1	Блоки из мяса	Окситетрациклин	22,5
2	Колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия с использованием мяса птицы	Доксициклин	8,5
3	Колбасные изделия, продукты из мяса всех видов убойных животных, кулинарные изделия из мяса	Доксициклин Окситетрациклин Тетрациклин	23,82 17,53 4,05
5	Мед и продукты пчеловодства	Доксициклин	54
6	Молоко сырое	Окситетрациклин Тетрациклин	5 23,72
7	Молочная продукция	Доксициклин Окситетрациклин Тетрациклин	9,35 2,9 1,78
8	Мясо замороженное	Бензилпенициллин Доксициклин Окситетрациклин Тетрациклин	1,6 16 45,25 6,35
9	Мясо птицы	Доксициклин Окситетрациклин	22 18,22
10	Мясо птицы всех видов	Доксициклин	1,3
11	Полуфабрикаты бескостные	Окситетрациклин Доксициклин	52,44 11,70
12	Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные	Окситетрациклин Доксициклин	23 8
13	Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные рубленные	Окситетрациклин Тетрациклин Доксициклин	22,97 4,37 11
14	Полуфабрикаты из птицы рубленные (охлажденные, подмороженные, замороженные)	Окситетрациклин	4
15	Продукты переработки растительных масел и животных жиров	Окситетрациклин	12
16	Субпродукты убойных животных охлажденные и замороженные	Окситетрациклин	239,45
17	Хлебобулочные изделия	Доксициклин	4,3
18	Яйцо, меланж, порошок яичный, яйцопродукция	Окситетрациклин	3,38

Table 1

The content of antibiotics in food consumed by the population of the Baikal region

№	Object of study	Substance	Content, mg/kg
1	Meat Blocks	Oxytetracycline	22.5
2	Sausages, smoked meats, culinary products using poultry mea	Doxycycline	8.5
3	Sausage products, products from meat of all types of slaughter animals, culinary products from meat	Doxycycline Oxytetracycline Tetracycline	23.82 17.53 4.05
5	Honey and bee products	Doxycycline	54
6	Raw milk	Oxytetracycline Tetracycline	5 23.72
7	Dairy products	Doxycycline Oxytetracycline Tetracycline	9.35 2.9 1.78
8	Frozen meat	Benzylpenicillin Doxycycline Oxytetracycline Tetracycline	1.6 16 45.25 6.35
9	Poultry meat	Doxycycline Oxytetracycline	22 18.22
10	Poultry meat of all kinds	Doxycycline	1.3
11	Semi-finished boneless products	Oxytetracycline Doxycycline	52.44 11.70

Table 1, ending

№	Object of study	Substance	Content, mg/kg
12	Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen	Oxytetracycline Doxycycline	23 8
13	Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen chopped	Oxytetracycline Tetracycline Doxycycline	22.97 4.37 11
14	Semi-finished products from poultry, chopped (chilled, slightly frozen, frozen)	Oxytetracycline	4
15	Processed products of vegetable oils and animal fats	Oxytetracycline	12
16	Offal of slaughter animals, chilled and frozen	Oxytetracycline	239.45
17	Bakery products	Doxycycline	4.3
18	Egg, melange, egg powder, egg products	Oxytetracycline	3.38

Оценку потенциального экологического риска для здоровья населения проводили по методике оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04) [17].

Оценка риска для здоровья человека представляет собой процедуру количественной и/или качественной характеристики вредных эффектов, развивающихся в результате воздействия факторов среды обитания человека на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции [18]. Принято различать вещества канцерогенного и неканцерогенного действия, и каждая группа веществ оценивается по определенным показателям. Химические канцерогены оказывают генотоксическое действие, могут возникать при любой дозе. Для неканцерогенных веществ существуют пороговые уровни, ниже которых вредные эффекты не возникают. Поскольку канцерогенность антибиотиков не доказана, то для них оценивается неканцерогенный риск.

Неканцерогенный риск для отдельных веществ определяется коэффициентом опасности воздействия вещества:

$$HQ = C/RfC, \quad (1)$$

где HQ – коэффициент опасности; C – средняя концентрация, мг/м³; RfC – референтная (безопасная) концентрация, мг/м³.

Установлены следующие критерии: риск несущественный, допустимый, если коэффициент опасности (HQ) вещества менее единицы; риск значимый, опасный, если HQ больше 1. Вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ .

Комбинированный риск развития неканцерогенных эффектов оценивается индексом опасности (HI), который для условий одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем (например, ингаляционным или пероральным) рассчитывается по формуле

$$HI = \sum i = \ln HQ_i, \quad (2)$$

где HQ_i – коэффициент опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ. Если значения коэффициента опасности не превышают единицы, вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни несущественна, и такое

воздействие также характеризуется как допустимое. При коэффициенте опасности выше единицы вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ_i , однако точно указать величину этой вероятности невозможно.

Вычисление количества токсиканта, поступившего в организм, ведется по эмпирическим формулам.

Для общего случая количество вещества, поступившего в организм человека оральным путем, определяется по формуле

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (3)$$

где I – поступление вещества в организм за день определяют в миллиграммах на килограмм веса тела, мг/кг·день; C – концентрация токсичного вещества в точке воздействия, мг/кг – для пищи, мг/дм³ для воды; CR – количество смеси, поступившей в организм за день, кг/день – для пищи, дм³/день – для воды; EF – частота поступления или контакта в течение года, дней/год; ED – продолжительность воздействия или экспозиции, лет; BW – вес тела, кг; AT – продолжительность воздействия токсиканта на организм, дней.

Таблица 2

Стандартные параметры для расчета доз и поступления токсичных веществ в организм человека

Параметр	Взрослые	Дети от 6 до 12 лет	Дети от 2 до 6 лет
BW – вес тела, кг	70	29	16
S – площадь кожного покрова, см ²	18150	10470	6980
CR – количество вещества поступающего в организм:			
поступление воды – дм ³ /день	2	2	1
поступление пищи – кг/день	1	1	0,5
поступление воздуха – м ³ /ч	0,83	0,46	0,25
поступление пыли – мг/день	100	100	200
EF – частота поступления или контакта в течение года (дней/год) для постоянно проживающих	365	365	365

Table 2

Standard parameters for calculating doses and intake of toxic substances in the human body

Parameter	Adults	Children from 6 to 12 years old	Children from 2 to 6 years old
BW – body weight, kg	70	29	16
S – area of the skin, cm ²	18150	10470	6980
CR – the amount of substance entering the body:			
Water inflow – dm ³ /day	2	2	1
Food intake – kg/day	1	1	0.5
Air intake – m ³ /h	0.83	0.46	0.25
Dust intake – mg/day	100	100	200
EF – frequency of receipt or contract during the year (days/year) for permanent residents	365	365	365

Количество антибиотиков, потребляемых с мясными и другими продуктами, рассчитывали для взрослого человека, детей в возрасте от 2 до 6 лет, и от 6 до 12 лет, используя данные табл. 2.

Результаты и их обсуждение

В табл. 3 приведены данные расчета количеств загрязнителей, потенциально могущих поступить в организм жителя региона с продуктами питания.

Установлено, что в среднем ежедневно взрослый человек получает 0,5718 мг/кг антибиотиков вместе с пищевыми продуктами. Ребенок в возрасте от 6 до 12 лет получает 1,3803 мг/кг антибиотика ежедневно с пищей, а ребенок в возрасте от 2 до 6 лет получает 2,6686 мг/кг вещества.

Прогнозный индивидуальный риск жителя Байкальского региона от поступления в организм антибиотиков разными путями представлен в табл. 4.

Таблица 3

Количество поступающих в организм человека антибиотиков с продуктами питания

Пищевая продукция	Содержание антибиотика, мг/кг	I	I	I
		Для взрослого	Для детей от 6 до 12 лет	Для детей от 2 до 6 лет
Блоки из мяса	22,5	0,3214	0,7759	1,5000
Колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия с использованием мяса птицы	8,5	0,1214	0,2931	0,5667
Колбасные изделия, продукты из мяса всех видов убойных животных, кулинарные изделия из мяса	45,4	0,6486	1,5655	3,0267
Мед и продукты пчеловодства	54	0,7714	1,8621	3,6000
Молоко сырое	28,72	0,4103	0,9903	1,9147
Молочная продукция	14,03	0,2004	0,4838	0,9353
Мясо замороженное	69,2	0,9886	2,3862	4,6133
Мясо птицы	40,22	0,5746	1,3869	2,6813
Мясо птицы всех видов	1,3	0,0186	0,0448	0,0867
Полуфабрикаты бескостные	64,14	0,9163	2,2117	4,2760
Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные	31	0,4429	1,0689	2,0667
Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные рубленые	38,34	0,5477	1,3221	2,556
Полуфабрикаты из птицы рубленые (охлажденные, подмороженные, замороженные)	4	0,0571	0,1379	0,2667
Продукты переработки растительных масел и животных жиров	12	0,1714	0,4138	0,8000
Субпродукты убойных животных охлажденные и замороженные	239,45	3,4207	8,2569	15,9633
Хлебобулочные изделия	4,3	0,0614	0,1483	0,2867
Яйцо, меланж, порошок яичный, яйцопродукция	3,38	0,0483	0,1166	0,2253

Table 3

The number of antibiotics entering the human body with food

Food products	Antibiotic content, mg/kg	I	I	I
		For an adult	For children from 6 to 12 years old	For children from 2 to 6 years old
Meat Blocks	22.5	0.3214	0.7759	1.5000
Sausages, smoked meats, culinary products using poultry meat	8.5	0.1214	0.2931	0.5667
Sausage products, products from meat of all types of slaughter animals, culinary products from meat	45.4	0.6486	1.5655	3.0267
Honey and bee products	54	0.7714	1.8621	3.6000
Raw milk	28.72	0.4103	0.9903	1.9147
Dairy products	14.03	0.2004	0.4838	0.9353
Frozen meat	69.2	0.9886	2.3862	4.6133
Poultry meat	40.22	0.5746	1.3869	2.6813
Poultry meat of all kinds	1.3	0.0186	0.0448	0.0867
Semi-finished boneless products	64.14	0.9163	2.2117	4.2760
Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen	31	0.4429	1.0689	2.0667
Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen chopped	38.34	0.5477	1.3221	2.556
Semi-finished products from poultry, chopped (chilled, slightly frozen, frozen)	4	0.0571	0.1379	0.2667
Processed products of vegetable oils and animal fats	12	0.1714	0.4138	0.8000
Offal of slaughter animals, chilled and frozen	239.45	3.4207	8.2569	15.9633
Bakery products	4.3	0.0614	0.1483	0.2867
Egg, melange, egg powder, egg products	3.38	0.0483	0.1166	0.2253

Таблица 4

Индивидуальный неканцерогенный риск различных категорий населения Байкальского региона

Факторы, способствующие попаданию антибиотика в организм человека	Категории населения		
	Взрослые	Дети от 6 до 12 лет	Дети от 2 до 6 лет
С пищевыми продуктами	5,718	13,803	26,686
С молоком	1,030	2,476	4,787
С питьевой водой	0,457	1,103	2,133
С почвой	0,292	0,421	0,562
Результирующий индивидуальный риск	7,497	17,803	34,168

Table 4

Individual non-carcinogenic risk of various categories of the population of the Baikal region

Factors contributing to the entry of antibiotics into the human body	Population categories		
	Adults	Children from 6 to 12 years old	Children from 2 to 6 years old
With food products	5.718	13.803	26.686
With milk	1.030	2.476	4.787
With drinking water	0.457	1.103	2.133
With soil	0.292	0.421	0.562
Resulting individual risk	7.497	17.803	34.168

Как следует из расчетов, потенциальный неканцерогенный риск от антибиотиков, получаемых неучтенным, неконтролируемым способом с продуктами питания достаточно высокий, на порядок превосходит рекомендованный. Национальными организациями здравоохранения разных стран рекомендовано принимать уровень неканцерогенных рисков от 2×10^{-2} год⁻¹ до 5×10^{-2} год⁻¹, риск заболевания раком для населения не выше 10^{-6} год⁻¹, для профессиональных воздействий не выше 10^{-4} год⁻¹ [19].

Заключение

Таким образом, у жителей Байкальского региона, взрослого населения и детей в возрасте от 2 до 12 лет, потенциальный экологический риск для здоровья в результате воздействия антибиотиков, поступающих с продуктами питания, на организм выше безопасного уровня и необходимо предпринимать действия, направленные на минимизацию таких рисков. В частности, это могут быть следующие меры:

1) запрет на использование антибиотиков в кормовых добавках на законодательном уровне. В частности, в декабре 2021 г. подписан федеральный закон № 463-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации “О ветеринарии” и Федеральный закон “Об обращении лекарственных средств”». Изменения строго регламентируют обращение антибиотиков в сельском хозяйстве. Закон вступает в силу с 1 января 2023 г.

2) регламентирование обращения с отходами животноводства и их использования в качестве удобрений;

3) применение зеленых технологий ремедиации загрязненных территорий;

4) внедрение эффективных технологий очистки сточных вод от антибиотиков и создание локальных очистных сооружений для больничных сточных вод, сельскохозяйственных стоков;

5) активизация исследований по профилактике антибиотикоустойчивости.

Список литературы

- [1] Намазова-Баранова Л.С., Баранов А.А. Антибиотикорезистентность в современном мире // Педиатрическая фармакология. 2017. № 14 (5). С. 341–354. <https://doi.org/10.15690/pf.v14i5.1782>
- [2] Глобальный план действий по борьбе с устойчивостью к противомикробным препаратам. URL: <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/global-action-plan/ru/> (дата обращения: 02.04.2022).
- [3] Яковлев С.В., Суворова М.П., Белобородов В.Б. Распространенность и клиническое значение нозокомиальных инфекций в лечебных учреждениях России. Исследование ЭРГИНИ // Антибиотики и Химиотерапия. 2016. Т. 61 (5–6). С. 32–42.
- [4] Сидоренко С.В., Яковлев С.В., Стичак Т.В. Стратегия и тактика рационального применения антимикробных средств в амбулаторной практике. Евразийские клинические рекомендации // Педиатрия (Приложение к журналу Consilium Medicum). 2017. № 1. С. 17–25.

- [5] *Polomé P., Perrodin Y.* Ecotoxicological risk assessment of micropollutants from treated urban wastewater effluents for watercourses at a territorial scale: Application and comparison of two approaches // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020. Vol. 224. P. 113437. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113437>
- [6] *Ahmad F., Zhu, D. & Sun J.* Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives // *Environmental Science Europe*. 2021. Vol. 33. P. 64. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00505-y>
- [7] *Mo W.Y., Chen, Z., Leung, H.M.* Application of veterinary antibiotics in China's aquaculture industry and their potential human health risks // *Environmental Science and Pollution Research* 2017. Vol. 24. P. 8978–8989. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5607-z>
- [8] *Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С.* Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15. № 3 (4). С. 1196–1199.
- [9] *Прожерина Ю.А.* Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема // *Редиум*. 2017. № 11. С. 14–19. <http://dx.doi.org/10.21518/1561-5936-2017-11-14-19>
- [10] *Wang R., Feng F., Chai Y.* Screening and quantitation of residual antibiotics in two different swine wastewater treatment systems during warm and cold seasons // *The Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 660. P. 1542–1554.
- [11] *Xian Zhou, Jian Wang, Chao Lu, Qihang Liao, Fredrick Owino Gudda, Wanting Ling.* Antibiotics in animal manure and manure-based fertilizers: Occurrence and ecological risk assessment // *Chemosphere*. 2020. Vol. 225. P. 12700. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127006>
- [12] *Yaru Hu, Lei Jiang, Xiaoyan Sun, Jianqiang Wu, Lei Ma, Yanbo Zhou, Kuangfei Lin, Yi Luo, Changzheng Cui.* Risk assessment of antibiotic resistance genes in the drinking water system // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 800. 15 December 2021. 149650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149650>
- [13] *Татарникова Н.А., Мауль О.Г.* Антибиотики в пищевых продуктах. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibiotiki-v-pischevyh-produktah> (дата обращения: 02.04.2022).
- [14] *Батаева Д.С., Зайко Е.В.* Риски, связанные с наличием в мясе и в продуктах убоя животных остаточных количеств антимикробных препаратов // *Теория и практика переработки мяса*. 2016. № 1 (3). С. 4–10.
- [15] *Тимофеева С.С., Шуплецова И.Д.* Прогнозирование экологических рисков микрополлютантов в Байкальском регионе // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2020. № 5(3). С. 269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283>
- [16] *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>
- [17] *Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004).
- [18] *Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / [Г.Г. Онищенко и др.]; под ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой.* Российская акад. наук, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Москва: [б. и.]; Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. 737 с.

- [19] Шокина Ю.И., Москвичева В.В., Тасейкова О.В., Бельская Е.Н. Определение нормативов качества окружающей среды на основе риск-ориентированного подхода // Вестник российской академии наук. 2020. Т. 90. № 12. С. 1146–1155.

References

- [1] Namazova-Baranova LS, Baranov AA. Antibiotic Resistance in Modern World. *Pediatricskaya farmakologiya. Pediatric pharmacology*. 2017;14(5):41–354. <https://doi.org/10.15690/pf.v14i5.1782> (In Russ.).
- [2] Global Action Plan to Combat Antimicrobial Resistance. Available from: <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/global-action-plan/ru/> (accessed: 02.04.2022). (In Russ.).
- [3] Yakovlev SV, Suvorova MP, Beloborodov VB. Prevalence and clinical significance of nosocomial infections in medical institutions of Russia. ERGINI research. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2016;61(5–6):32–42. (In Russ.).
- [4] Sidorenko SV, Yakovlev SV, Spichak TV. Strategy and tactics of rational use of antimicrobial agents in outpatient practice. *Eurasian Clinical guidelines. Pediatrics (Appendix to the journal Consilium Medicum)*. 2017;1:17–25. (In Russ.).
- [5] Gosset A, Polomé P, Perrodin Y. Ecotoxicological risk assessment of micropollutants from treated urban wastewater effluents for watercourses at a territorial scale: Application and comparison of two approaches. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020;224:113437. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113437>
- [6] Ahmad F, Zhu D, Sun J. Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives. *Environmental Sciences Europe*. 2021;33:64. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00505-y>
- [7] Mo WY, Chen Z, Leung HM. Application of veterinary antibiotics in China's aquaculture industry and their potential human health risks. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:8978–8989. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5607-z>
- [8] Akimenko YuV, Kazeev KSh, Kolesnikov SI, Mazanko MS. Ecological consequences of soil contamination with antibiotics. *Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3):1196–1199. (In Russ.).
- [9] Prozherina YuA. Pharmaceutical waste as a new environmental problem. *Redium*. 2017;(11):14–19. <http://dx.doi.org/10.21518/1561-5936-2017-11-14-19> (In Russ.).
- [10] Wang R, Feng F, Chai Y. Screening and quantitation of residual antibiotics in two different swine wastewater treatment systems during warm and cold seasons. *The Science of the Total Environment*. 2019;660:1542–1554.
- [11] Zhou X, Wang J, Lu Ch, Liao Q, Gudda FO, Ling W. Antibiotics in animal manure and manure-based fertilizers: Occurrence and ecological risk assessment. *Chemosphere*. 2020;225:12700. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127006>
- [12] Hu Y, Jiang L, Sun X, Wu J, Ma L, Zhou Y, Lin K, Luo Y, Cui Ch. Risk assessment of antibiotic resistance genes in the drinking water system. *Science of The Total Environment*. 2021 December 15;800:149650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149650>
- [13] Tatarnikova NA, Maul OG. Antibiotics in food products. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibiotiki-v-pischevyh-produktah> (accessed: 02.04.2022). (In Russ.).
- [14] Bataeva DS, Zaiko EV. Risks associated with the presence of residual amounts of antimicrobial drugs in meat and animal slaughter products. *Theory and practice of meat processing*. 2016;1(3):4–10. (In Russ.).
- [15] Timofeeva SS, Shupletsova ID. Forecasting environmental risks of micro-pollutants in the Baikal region. XXI century. *Technosphere safety*. 2020;5(3):269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283> (In Russ.).

- [16] Timofeeva SS, Gudilova OS. Antibiotics in the environment: state and problems. XXI century. *Technosphere safety*. 2021;6(3):251–265. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265> (In Russ.).
- [17] Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemicals that pollute the environment. P 2.1.10.1920-04 (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 05.03.2004). (In Russ.).
- [18] Health risk analysis in the strategy of state socio-economic development monograph / [GG. Onishchenko et al.]; GG Onishchenko, NV Zaitseva (eds.); Russian Academy of Sciences, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Federal Budgetary Institution of Science “Federal Scientific Center for Medical-preventive technologies of public health risk management”. Moscow: [B. I.]; Perm: Publishing House of Perm National Polytechnic University, 2014. 737 p. (In Russ.).
- [19] Shokina YuI, Moskvicheva VV, Taseikova OV, Belskaya EN. Definition of environmental quality standards based on a risk-based approach. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2020;90(12):1146–1155. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Тимофеева Светлана Семеновна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0001-8427-3732; eLIBRARY SPIN-код: 8427-9622. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Тимофеев Семён Сергеевич, старший преподаватель кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0001-7085-9468; eLIBRARY SPIN-код: 2694-7070. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Тюкалова Ольга Васильевна, кандидат химических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. eLIBRARY SPIN-код: 6806-7565. E-mail: olgaburlak1@yandex.ru

Bio notes:

Svetlana S. Timofeeva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8427-3732; eLIBRARY SPIN-code: 8427-9622. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Semyon S. Timofeev, Senior Lecturer of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7085-9468; eLIBRARY SPIN-code: 2694-70. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Olga V. Tyukalova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6806-7565. E-mail: olgaburlak1@yandex.ru