

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

# Метод количественной оценки микробиологического риска для населения, ассоциированного с питьевой водой

Е.В. Байдакова<sup>1, 2</sup>, Т.Н. Унгуряну<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Управление Роспотребнадзора по Архангельской области, Архангельск, Россия;

<sup>2</sup> Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

## АННОТАЦИЯ

Метод оценки риска применяется с целью изучения вероятности возникновения негативных для здоровья населения последствий при использовании загрязнённой питьевой воды, в числе которых самыми распространёнными являются острые кишечные инфекции. Количественная оценка микробиологического риска представляет собой математическую систему расчёта вероятности развития инфекционных заболеваний, вызываемых патогенными микроорганизмами, присутствующими в питьевой воде. Метод оценки микробиологического риска объединяет данные эпидемиологического и социально-гигиенического мониторинга для вычисления риска возникновения водно-ассоциированных болезней. Этот метод направлен на выявление и снижение риска возникновения водных вспышек инфекционных заболеваний и снижение уровня спорадической (фоновой) заболеваемости инфекциями, возбудители которых передаются через воду. Благодаря описываемому методу и имеющимся онлайн-калькуляторам расчёт вероятности и риска возникновения инфекционных заболеваний при использовании питьевой воды низкого качества становится доступным инструментом для исследователей в данной области. В настоящем обзоре представлены этапы количественной оценки микробиологического риска с описанием методов расчёта, описаны источники данных, необходимые для оценки риска, представлены формулы для расчёта вероятности в зависимости от типа возбудителя инфекционных болезней и даны ссылки на онлайн-калькулятор, позволяющий быстро производить вычисления.

**Ключевые слова:** количественная оценка микробиологического риска; питьевая вода; острые кишечные инфекции.

## Как цитировать:

Байдакова Е.В., Унгуряну Т.Н. Метод количественной оценки микробиологического риска для населения, ассоциированного с питьевой водой // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 352–365. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

# Quantitative microbial risk assessment for drinking water-associated population

Elena V. Baydakova<sup>1,2</sup>, Tatiana N. Unguryanu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Agency of Consumer Protection, Arkhangelsk, Russia;

<sup>2</sup> Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

## ABSTRACT

The risk assessment method is used to study the probability of adverse public health outcomes when using contaminated drinking water, with acute intestinal infections representing a predominant concern. A quantitative microbial risk assessment is a mathematical system designed to calculate the probability of the development of the infectious diseases caused by the pathogenic microorganisms present in drinking water. The microbial risk assessment method integrates epidemiological and sanitary-hygienic monitoring data to calculate the risk of water-associated diseases. This method aims to identify and mitigate the risk of the waterborne outbreaks of infectious diseases and reducing the prevalence sporadic (background) infections caused by water-transmitted pathogens. As a result of the aforementioned method and the availability of online calculators, researchers now can utilize a tool for calculating the probability and risk of occurrence of infectious diseases when using low microbial quality drinking water. This review presents the stages of the microbial risk quantitative assessment with a description of the calculation methods, describes the sources of the data necessary to assess the risk, presents the formulas for calculating the probability depending on the type of infectious pathogen, and provides the links to online calculators allowing for quick calculations.

**Keywords:** quantitative assessment of microbiological risk; drinking water; acute intestinal infections.

## To cite this article:

Baydakova EV, Unguryanu TN. Quantitative microbial risk assessment for drinking water-associated population. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):352–365. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

Received: 23.08.2024

Accepted: 14.11.2024

Published online: 04.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

# 基于饮用水的居民微生物风险定量评估方法

Elena V. Baydakova<sup>1,2</sup>, Tatiana N. Unguryanu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal Agency of Consumer Protection, Arkhangelsk, Russia;

<sup>2</sup> Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

## 摘要

风险评估方法用于研究使用受污染饮用水对居民健康产生不良后果的可能性，其中最常见的是急性肠道感染。微生物风险定量评估是一种通过数学模型计算饮用水中存在的致病微生物引发传染病概率的系统方法。结合流行病学和社会卫生监测数据，微生物风险定量评估用于识别和降低因水传播引发传染病爆发的风险，并减少零星（背景）水传播感染性疾病的发病率。本文详细介绍了微生物风险定量评估的步骤，包括计算方法、风险评估所需数据来源的描述以及基于病原体类型计算概率的公式。同时提供了在线计算器的链接，以便快速完成评估和计算。通过该方法和现有的在线计算工具，研究者可以方便地计算使用低质量饮用水引发传染病的概率和风险。

**关键词：**微生物风险定量评估；饮用水；急性肠道感染。

## 引用本文：

Baydakova EV, Unguryanu TN. 基于饮用水的居民微生物风险定量评估方法. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):352–365. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

收到: 23.08.2024

接受: 14.11.2024

发布日期: 04.12.2024

## ОБОСНОВАНИЕ

При эпидемиологическом расследовании водных вспышек инфекционных заболеваний применяют научно-практические подходы, направленные на установление причинно-следственной связи между ухудшением микробиологического качества питьевой воды и развитием инфекционных болезней. Прямая корреляционная зависимость выявлена между микробным загрязнением питьевой воды и ростом заболеваемости дизентерией среди населения городов Ростовской области [1], заболеваемости вирусным гепатитом, ротавирусной инфекцией, лямблиозом населения Вологодской области [2]. В некоторых случаях возбудители острых кишечных инфекций (ОКИ) с водным фактором передачи остаются неустановленными в результате невозможности обнаружения прямой зависимости между загрязнением питьевой воды и ростом заболеваемости [3]. Эксперты Всемирной организации здравоохранения отмечают, что обнаружение и исследование уровня фекальных индикаторных бактерий в питьевой воде не всегда способно выявить микробиологическую опасность для населения, так как жизнеспособность вирусов и способы их попадания в питьевую воду отличаются от бактерий [4]. Кроме того, массовые случаи возникновения ОКИ, связанные с аварийными ситуациями на водопроводах, происходят даже при соответствии питьевой воды показателям микробиологического качества и безопасности, так как индикаторным микроорганизмам необходимо время для роста и размножения [5–7].

С целью изучения вероятности возникновения негативных для населения последствий при использовании загрязнённой воды применяют методы оценки риска. Оценка риска представляет собой математическую систему расчёта инфекционного риска опасных для человека патогенов, которая может помочь в выявлении и регулировании рисков, связанных с передаваемыми через воду микроорганизмами, особенно в случае спорадических заболеваний. В нашей стране разработаны, внедрены и используются в практической деятельности специалистов Роспотребнадзора методические рекомендации МР 2.1.10.0067-12 «Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки» [8] и МР 2.1.10.0031-11 «Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем» [9]. В МР 2.1.10.0067-12 описаны методы и критерии оценки микробиологического риска, связанного с пищевыми продуктами, данные рекомендации можно использовать для оценки риска, связанного с качеством бутилированной воды. Методические рекомендации МР 2.1.10.0031-11 описывают применение двух методов оценки: это балльный метод и метод с применением математических моделей для расчёта по пяти основным направлениям

водопользования. Каждое направление воздействия имеет свои показатели оценки, в зависимости от их значения присваивается балл или весовой коэффициент с дальнейшим расчётом, что позволяет оценить вклад того или иного фактора в общую структуру микробиологического риска, обусловленного качеством питьевой воды.

Количественная оценка микробиологического риска, связанного с питьевой водой, получила широкое распространение в зарубежных исследованиях. С помощью метода количественной оценки риска Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) оценивали эффективность разных методов водоочистки [10], выбора водоисточника для целей питьевого водоснабжения [11], надёжность канализационно-очистных сооружений [12], риск развития полиомиелита в результате нарушения контейнента в одной из европейских лабораторий по производству полиовакцин [13]. Метод количественной оценки позволяет рассчитать вероятность развития инфекционных заболеваний, вызванных патогенами, и включает в себя четыре этапа: идентификация опасности; оценка экспозиции; оценка зависимости «доза–ответ»; характеристика риска.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ

Оценка микробиологического качества питьевой воды отражает актуальность водного пути передачи возбудителей инфекционных заболеваний. Возбудители инфекционных болезней, включаемые в оценку микробиологического риска, связанного с питьевой водой, должны быть выбраны с учётом распространённости заболеваний среди населения.

Критериями выбора инфекционных заболеваний для оценки микробиологического риска являются уровень спорадической (фоновой) заболеваемости среди населения исследуемой территории, этиология зарегистрированных на территории водных вспышек, данные об обнаружении возбудителя в питьевой воде.

Оценка эпидемиологической значимости заболеваний с водным путём передачи возможна с помощью показателей соотношения числа случаев ОКИ (ротавирусная инфекция, норовирусная инфекция, энтеровирусная инфекция, гепатит А, сальмонеллёз, дизентерия) и/или анализа многолетней динамики заболеваемости (абсолютный прирост, темп роста, темп прироста и коэффициент опережения). Источниками сведений о групповой и спорадической заболеваемости могут служить формы федерального и отраслевого статистического наблюдения (форма № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях»; форма № 23 «Сведения о вспышках инфекционных заболеваний»), данные персонифицированного учёта случаев инфекционных заболеваний Единой информационно-аналитической системы Роспотребнадзора. Показатель заболеваемости ОКИ рассчитывается на 100 тыс. населения.

Период наблюдения за динамикой заболеваемости ОКИ не должен быть менее года, наиболее оптимальными для анализа являются данные за несколько лет наблюдения, к примеру за 10–15 лет.

Оценка концентрации патогенов или индикаторных показателей в питьевой воде должна основываться на систематическом наблюдении за системой водоснабжения и рекреационного водопользования, включая события, которые могут привести к изменению концентрации (аварийные ситуации, сброс неочищенных сточных вод в поверхностные водоёмы, контроль за результатами гиперхлорирования воды). Оценка микробиологического качества питьевой воды проводится за период, аналогичный анализу многолетней динамики заболеваемости ОКИ.

В качестве данных о показателях микробиологического загрязнения могут быть использованы результаты лабораторных исследований питьевой воды при социально-гигиеническом мониторинге учреждениями Роспотребнадзора, производственном контроле, контрольно-надзорных мероприятиях, также может быть организовано полевое исследование микробиологического качества питьевой воды на изучаемой территории.

Если оценка риска производится для систем централизованного питьевого водоснабжения, то к точкам обязательного контроля относятся вода водосточника (на станции 1-го подъёма для поверхностных источников, из скважины — для подземных), непосредственно после водоподготовки (точка перед подачей в распределительную сеть), транспортировка воды (водопроводная наружная распределительная сеть), водопроводная внутренняя сеть (кран потребителя).

Микробиологический анализ питьевой воды основан на выявлении бактериальных или бактериофаговых индикаторов фекального загрязнения, таких как колиформные бактерии, *Escherichia coli* (*E. coli*), энтерококки и колифаги.

Колиформные бактерии относят к группе бактерий кишечной палочки и используют в качестве индикаторного показателя микробного загрязнения воды, так как они присутствуют в кишечнике теплокровных животных и почве, способны длительно выживать в воде и устойчивы к обеззараживающим веществам [14]. *E. coli* аналогично колиформам относят к группе индикаторных микроорганизмов для оценки загрязнения питьевой воды, при этом её наличие свидетельствует о свежем фекальном антропогенном загрязнении питьевой воды, так как *E. coli* чаще встречается в фекалиях человека [3]. Энтерококки входят в состав нормальной микрофлоры кишечника человека и теплокровных животных и при попадании в питьевую воду способны длительно сохранять жизнеспособность и размножаться, свидетельствуя о давнем или длительно присутствующем микробном загрязнении воды. В отличие от колиформ, энтерококки устойчивы к высыханию и хлорированию, а распространение антибиотико-устойчивых штаммов энтерококков может вызывать тяжёлые

инфекции [15, 16]. Эти свойства энтерококков способствовали включению данной группы бактерий в перечень показателей микробиологического качества питьевой воды.

В качестве индикаторного показателя возможного вирусного загрязнения воды питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения используют колифаги, которые являются вирусами кишечной палочки (*Escherichia coli*). Колифаги более устойчивы к окружающей среде, чем их бактерии-хозяева, что обуславливает способность колифагов служить индикатором давнего фекального загрязнения. Исследователями доказана зависимость между содержанием колифагов в воде и опасными для человека энтеровирусами [12, 17]. На этапе идентификации необходимо исследовать количественное содержание индикаторного показателя в питьевой воде.

При статистическом анализе для описания содержания индикаторных показателей в воде могут быть использованы среднее значение, верхняя граница экспозиции на уровне 95-го перцентиля, максимальное значение показателя за анализируемый период.

Количественные данные о концентрации патогенов должны быть сопоставимы с единицами, используемыми при оценке «доза–ответ»: расчёт дозы осуществляется на 1000 мл, если объём исследуемой пробы не превышает 100 см<sup>3</sup> (100 мл), значение количества патогена в 100 мл пробы необходимо пересчитать на 1 л воды.

**Пример.** Для количественной оценки микробиологического риска, связанного с питьевой водой городских систем централизованного водоснабжения, необходимо выбрать группы ОКИ, наиболее распространённых среди населения, и проанализировать качество питьевой воды по микробиологическим показателям (общая микробная численность, общие колиформные бактерии, колифаги).

Анализ многолетней динамики заболеваемости ОКИ с возможным водным путём передачи возбудителя (табл. 1) показывает, что эпидемический процесс ОКИ вирусной этиологии в городах Архангельской области (за исключением Северодвинска) имеет тенденцию к росту (средний темп прироста — 9,4–42,3%). Наибольшая интенсивность эпидпроцесса вирусных кишечных инфекций отмечается среди населения Архангельска и Коряжмы (средний абсолютный прирост 15,5<sup>0</sup>/<sub>0000</sub> и 61,9<sup>0</sup>/<sub>0000</sub> соответственно). Заболеваемость ОКИ бактериальной этиологии снижается среди совокупного населения всех описываемых городов (средний темп убыли — от –19,2% до –5,0%).

В структуре ОКИ вирусной этиологии (табл. 2) среди населения исследуемых городов первое место занимает ротавирусная инфекция (79,6–99,3% случаев), второе место отводится норовирусным гастроэнтеритам (0,2–10,0%), третье — энтеровирусной инфекции (0,2–8,8%).

Таким образом, наибольшее распространение среди совокупного населения пяти городов Архангельской

**Таблица 1.** Показатели динамики заболеваемости совокупного населения городов Архангельской области за 14-летний период наблюдения

**Table 1.** Indicators of the dynamics of morbidity in the total population of cities in the Arkhangelsk region over a 14-year observation period

Территория Area	Средний темп роста, % Average growth rate (%)	Средний темп прироста, % Average growth rate (%)	Средний абсолютный прирост, $\frac{0}{0000}$ Average absolute growth ( $\frac{0}{0000}$ )	Темп роста Growth rate
<b>Острые кишечные инфекции установленной вирусной этиологии</b> Acute intestinal infections of established viral etiology				
Архангельск Arkhangelsk	109,4	9,4	15,5	2,5
Новодвинск Novodvinsk	102,7	2,7	4,0	1,3
Котлас Kotlas	103,9	3,9	11,6	1,5
Коряжма Koryazhma	142,3	42,3	61,9	34,0
Северодвинск Severodvinsk	95,5	-4,5	-3,9	0,6
<b>Острые кишечные инфекции установленной бактериальной этиологии</b> Acute intestinal infections of established bacterial etiology				
Архангельск Arkhangelsk	95,0	-5,0	-2,8	0,6
Новодвинск Novodvinsk	88,6	-11,4	-8,7	0,3
Котлас Kotlas	91,3	-8,7	-2,4	0,4
Коряжма Koryazhma	89,1	-10,9	-7,2	0,3
Северодвинск Severodvinsk	80,8	-19,2	-9,3	0,1

**Таблица 2.** Структура острых кишечных инфекций, зарегистрированных среди населения городов Архангельской области за 14-летний период наблюдения

**Table 2.** Structure of acute intestinal infections registered among the populations of cities in the Arkhangelsk region over a 14-year observation period

Острые кишечные инфекции Acute intestinal infections	Архангельск Arkhangelsk	Северодвинск Severodvinsk	Новодвинск Novodvinsk	Котлас Kotlas	Коряжма Koryazhma
Ротавирусная Rotavirus	79,6%	84,4%	89,5%	99,3%	80,8%
Норовирусная Norovirus	9,2%	10,0%	4,9%	0,2%	16,0%
Энтеровирусная Enterovirus	8,8%	0,7%	4,9%	0,2%	0,3%
Гепатит А Hepatitis A	2,4%	4,8%	0,7%	0,3%	2,9%

области получили ОКИ рота-, норо- и энтеровирусной этиологии.

По данным социально-гигиенического мониторинга за качеством питьевого водоснабжения установлено, что в питьевой воде водопроводной сети Архангельска

и Коряжмы регистрировались случаи обнаружения колифагов (табл. 3). Полученные данные позволяют произвести дальнейший расчёт вероятности возникновения ОКИ для населения этих двух городов при употреблении загрязнённой питьевой воды водопроводной сети.

**Таблица 3.** Качество питьевой воды централизованного питьевого водоснабжения за 14-летний период наблюдения по содержанию колифагов в сети (2-й подъём и сеть)

**Table 3.** Quality of drinking water from centralized drinking water supply over a 14-year observation period based on the content of coliphages in the water supply (after water treatment and water supply)

Год Year	Количество дней в году с обнаружением колифагов The number of days per year with the detection of coliphages	Среднее значение колифагов в 1 пробе, БОЕ* The average value of coliphages in 1 sample (*PFU)
<b>Архангельск   Arkhangelsk</b>		
2006	23	3,6
2007	20	2,5
2008	11	3,1
2009	29	4,0
2010	7	3,6
2012	2	2,2
2013	2	1,4
2014	1	1,1
2015	4	1,4
2016	13	2,6
2019	1	1,4
<b>Коряжма   Koryazhma</b>		
2011	7	9,0
2012	2	2,7
2015	2	3,7

\* БОЕ — бляшкообразующие единицы.

\* PFU — plaque-forming units.

### ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ

Оценка экспозиции — это расчёт дозы патогена, которую человек получает пероральным, ингаляционным или перкутаным путём. Доза патогена используется в математических моделях «доза–ответ» для расчёта вероятности заражения и вычисляется по формуле 1:

$$dose=C \times V, \tag{1}$$

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в объёме употребляемой воды), *C* — концентрация возбудителя в 1 л потребляемой воды, *V* — объём водопотребления, л/сут.

Обычно для расчёта дозы используют среднее значение количества воды, необходимое для человека, которое составляет около 2 л/сут (по данным ВОЗ). Вместе с тем необходимо учитывать, что в этот объём включается использование, не только водопроводной,

но и бутилированной воды и воды из других источников. Потребность в воде увеличивается с возрастом (табл. 4). Если оценку микробиологического риска осуществляют не от систем централизованного водоснабжения, а от других условий водопользования, то необходимо знать объём загрязнённой воды, оказывающей воздействие на человека, например, количество воды, проглатываемое при купании в водоёме, занятии водными видами спорта и др.

**Пример.** На основании сведений об объёме потребления питьевой воды из городских водопроводов населением всех возрастов произведён расчёт дозы вирусного патогена в сети централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения Архангельска и Коряжмы за 2015 г. Для расчёта использовали среднее содержание колифагов в одной пробе питьевой воды водопроводной сети в 2015 г.

Расчёт дозы для Архангельска:  $1,4 \text{ БОЕ} \times 1,193 \text{ л} = 1,67$  вирусных единиц в сутки.

Расчёт дозы для Коряжмы:  $3,7 \text{ БОЕ} \times 1,193 \text{ л} = 4,41$  вирусных единиц в сутки.

### ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ «ДОЗА–ОТВЕТ»

Цель данного этапа — описать взаимосвязь между воздействием и вероятностью инфицирования или болезни для отдельных возбудителей инфекционных болезней и оценить риск ответа (инфекции, болезни или смерти) с учётом известной дозы патогена. Наиболее часто применяемые модели основаны на теории однократного попадания: предполагается, что каждая попавшая в организм частица патогена действует независимо и с индивидуальной вероятностью может вызвать инфекцию.

Существуют две модели, которые используют для расчёта зависимости «доза–ответ» при оценке микробиологического риска.

#### Экспоненциальная модель

Условия применения для расчётов:

- пуассоновское распределение микроорганизмов в рассчитанной дозе;
- даже одна единица возбудителя способна вызвать инфекцию;
- организмы имеют независимую и одинаковую вероятность (*k*) выживания, чтобы заразить человека.

Расчёт вероятности осуществляется по формуле (2):

$$P_{\text{вероятность заражения}} = 1 - \exp(-dose \times k), \tag{2}$$

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в литре), *k* — вероятность выживания микроорганизма в воде, чтобы заразить человека, рассчитанная для каждого микроорганизма (см. табл. 4).

**Таблица 4.** Средний объём потребления воды из водопроводной сети для приготовления пищи, питья, случайном проглатывании (мл/день)\*

**Table 4.** Average consumption of water from the water supply network for cooking, drinking, accidental ingestion (ml/day)\*

Возраст Age	Среднее значение Mean
До 1 года Up to 1 year	302
От 1 года до 10 лет From 1 year to 10 years	736
От 11 до 19 лет From 11 to 19 years old	965
От 20 до 64 лет From 20 to 64 years old	1366
От 65 лет и старше 65 years and older	1459
Все возрасты All ages	1193

\* По данным Руководства по факторам экспозиции Агентства по охране окружающей среды США [18].

\* According to the U.S. Environmental Protection Agency's Exposure Factors Guide (according to U.S. EPA. Exposure Factors Handbook) [18].

### Бета-пуассоновская модель

Условия применения для расчётов:

- пуассоновское распределение микроорганизмов в рассчитанной дозе;
- даже одна единица возбудителя способна вызвать инфекцию;
- непостоянная выживаемость возбудителя в воде и вероятность заражения человека;
- вероятность выживания возбудителя задаётся бета-распределением.

Расчёт вероятности осуществляется по формуле (3):

$$P_{\text{вероятность заражения}} = 1 - \left[ 1 + \frac{dose^{2^{1/\alpha} - 1}}{N_{50}} \right]^{-\alpha}, \quad (3)$$

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в литре),  $\alpha$  и  $N_{50}$  — параметры бета-распределения Пуассона, рассчитанные для каждого микроорганизма (см. табл. 4).

Бета-пуассоновская модель с использованием вырожденной гипергеометрической функции (применима для норовирусной инфекции) по формуле (4):

$$P_{\text{вероятность заражения}} = 1 - {}_1F_1(\alpha; \alpha + \beta; -dose), \quad (4)$$

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в литре),  $\alpha$  и  $\beta$  — параметры бета-распределения Пуассона, рассчитанные для каждого микроорганизма (см. табл. 4)

Для выбора оптимальной модели и необходимых для расчёта коэффициентов можно воспользоваться рекомендуемыми моделями и параметрами для расчёта вероятности заражения, полученными из литературных данных в табл. 5.

Модель «доза–ответ» оценивает вероятность инфекции, связанной с однократным случаем употребления питьевой воды, содержащей возбудителя инфекционных болезней. Чтобы рассмотреть несколько событий за более длительный период времени, необходимо объединить индивидуальную вероятность с количеством инцидентов, когда наблюдалось ухудшение микробиологического качества питьевой воды с использованием следующей формулы (5):

$$P_{\text{inf}} = 1 - (1 - P_{\text{вероятность заражения}})^n, \quad (5)$$

где  $P_{\text{inf}}$  — это вероятность одного или нескольких заражений в течение *n* событий воздействия, *n* — инцидентность или количество случаев обнаружения возбудителя в воде

**Таблица 5.** Рекомендуемые модели и параметры для расчёта вероятности заражения

**Table 5.** Recommended models and parameters for calculating the probability of infection

Инфекционный агент Infectious agent	Оптимальная модель «доза–ответ» The optimal dose–response model	Параметры Parameters	Источник информации Source of information
Ротавирус Rotavirus	Бета-пуассоновская Beta-Poisson	$\alpha=0,253$ $N_{50}=6,17$	Ward et al. [19]
Энтеровирус Enterovirus	Экспоненциальная Exponential	$k=0,00374$	Clover [20]
Шигелла Флекснера Flexner's Shigella	Бета-пуассоновская Beta-Poisson	$\alpha=0,265$ $N_{50} = 1480$	DuPont et al. [21]
<i>Escherichia coli</i>	Бета-пуассоновская Beta-Poisson	$\alpha=0,155$ $N_{50}=2\ 110\ 000$	DuPont et al. [22]
Норовирус Norovirus	Бета-пуассоновская с использованием функции гипергеометрического распределения Beta-Poisson using the hypergeometric distribution function	$\alpha=0,04$ $\beta=0,055$	Teunis et al. [23]

за весь период наблюдения,  $P_{\text{вероятность заражения}}$  — вероятность заражения, связанная с однократным случаем употребления питьевой воды, содержащей возбудителя инфекционных болезней.

Под коэффициентом  $n$  в исследованиях за год чаще всего понимают количество календарных дней в году (365). Однако использование столь высокого коэффициента считается нецелесообразным, так как аварийные ситуации, способные привести к возникновению инфекционных болезней, являются единичными. С учётом этого под коэффициентом  $n$  возможно использование количества нестандартных проб, зарегистрированных за весь период исследования.

Расчёт дозы, вероятности заражения и риска, сопряжённого с этой вероятностью, можно осуществлять вручную или с помощью онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска», разработанного ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России и ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора.

Калькулятор «Количественная оценка микробного риска» позволяет осуществить расчёт дозы, вероятности возникновения инфекционного заболевания и риска, сопряжённого с этой вероятностью, с применением экспоненциальной модели и бета-пуассоновской модели в зависимости от инфекционного агента, его концентрации и заданного объёма употребляемой в сутки питьевой воды из водопроводной сети. Ссылки для скачивания калькулятора «Количественная оценка микробного риска» представлены на рис. 1 (для ОС Linux) и рис. 2 (для ОС Windows).

Помимо онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска», возможно использование и других электронных ресурсов, к примеру электронного калькулятора ресурса [qtgawiki.org](http://qtgawiki.org), который позволят произвести расчёт количественного риска от других известных патогенов, передаваемых с питьевой водой.

## ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКА

Цель данного этапа — определить уровень риска исходя из полученных расчётов вероятности возникновения заболевания при воздействии загрязнённой питьевой воды и разработать мероприятия, направленные на снижение риска.

Характеристика риска объединяет результаты расчёта вероятности заражения при употреблении загрязнённой питьевой воды с частотой возникновения ситуаций такого загрязнения, выражается в количественной переменной  $R_{\text{inf}}$ .

Чтобы перевести рассчитанное значение риска  $R_{\text{inf}}$  в качественную характеристику для определения эпидемической опасности возникновения кишечных инфекций, связанных с водопотреблением, предлагается использовать 3 диапазона значения переменной  $R_{\text{inf}}$ : от 0,0 до 0,2 — низкий риск, от 0,2 до 0,4 — средний риск;



Рис. 1. Ссылка для ОС Linux.

Fig. 1. Link for Linux OS.



Рис. 2. Ссылка для ОС Windows.

Fig. 2. Link for Windows OS.

от 0,4 до 1,0 — высокий риск.

В зависимости от уровней риска разрабатывается комплекс мероприятий санитарно-гигиенического и противоэпидемического характера, направленных на снижение риска. Введение мероприятий может быть организовано самостоятельно хозяйствующими субъектами, осуществляющими работу по водоподготовке и обеспечению населения питьевой водой, а также органами местного самоуправления для защиты населения.

**Пример.** Расчёт вероятности и риска был произведён с использованием онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска» (рис. 3). Количественная оценка микробиологического риска возникновения ОКИ, связанного с водой централизованного питьевого водоснабжения, указывает на высокий и средний риск возникновения ротавирусной и норовирусной инфекций в Архангельске в 2006–2010 гг., в 2012–2016 гг. и в 2019 г., средний риск возникновения энтеровирусной инфекции — в 2006 и 2009 гг. (табл. 6). В Коряжме зарегистрирован высокий риск развития норовирусной и ротавирусной инфекций и средний риск энтеровирусной и ротавирусной инфекций в отдельные годы наблюдения.

Выберите инфекционный агент

- Ротавирус
- Энтеровирус
- Шигелла Флекснера
- Escherichia coli
- Норовирус

Доза патогена = 1,4 л<sup>-1</sup> × 1,193 л

n = 4

Рассчитать

**Высокий риск (0,80)**  
 Доза = 1,67  
 Вероятность = 0,33  
 Расчет вероятности осуществляется с помощью Бета-Пуассоновской модели (α = 0,253, N<sub>90</sub> = 6,17)

Рис. 3. Пример расчёта дозы, вероятности возникновения и коэффициента риска с помощью онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска».

Fig. 3. An example of a dose calculation, probability of occurrence and risk coefficient using the online calculator “Quantitative microbiological risk assessment”.

**Таблица 6.** Количественная оценка микробиологического риска, связанного с питьевой водой в городах Архангельской области за 2006–2019 гг.**Table 6.** Quantitative assessment of microbiological risk associated with drinking water in the cities of the Arkhangelsk region for 2006–2019

Годы Years	Доза Dose	Ротавирусная инфекция Rotavirus infection	Норовирусная инфекция Norovirus infection	Энтеровирусная инфекция Enterovirus infection
<b>Архангельск   Arkhangelsk</b>				
2006	4,29	Высокий   High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=1,00$	Высокий   High $P_{вз}=0,45$ $R_{inf}=1,00$	Средний   Average $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,31$
2007	2,98	Высокий   High $P_{вз}=0,41$ $R_{inf}=1,00$	Высокий   High $P_{вз}=0,43$ $R_{inf}=1,00$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,2$
2008	3,70	Высокий   High $P_{вз}=0,44$ $R_{inf}=1,00$	Высокий   High $P_{вз}=0,44$ $R_{inf}=1,00$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,14$
2009	4,77	Высокий   High $P_{вз}=0,47$ $R_{inf}=1,00$	Высокий   High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=1,00$	Средний   Average $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,40$
2010	4,29	Высокий   High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=0,99$	Высокий   High $P_{вз}=0,45$ $R_{inf}=0,99$	Низкий   Low $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,11$
2012	2,62	Средний   Average $P_{вз}=0,39$ $R_{inf}=0,63$	Средний   Average $P_{вз}=0,41$ $R_{inf}=0,66$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,02$
2013	1,67	Средний   Average $P_{вз}=0,33$ $R_{inf}=0,55$	Средний   Average $P_{вз}=0,36$ $R_{inf}=0,58$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,014$
2014	1,23	Низкий   Low $P_{вз}=0,29$ $R_{inf}=0,29$	Низкий   Low $P_{вз}=0,31$ $R_{inf}=0,31$	Низкий   Low $P_{вз}=0,00$ $R_{inf}=0,00$
2015	1,67	Высокий   High $P_{вз}=0,33$ $R_{inf}=0,80$	Высокий   High $P_{вз}=0,36$ $R_{inf}=0,83$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,02$
2016	3,10	Высокий   High $P_{вз}=0,41$ $R_{inf}=1,00$	Высокий   High $P_{вз}=0,43$ $R_{inf}=1,00$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,14$
2019	1,67	Средний   Average $P_{вз}=0,33$ $R_{inf}=0,33$	Средний   Average $P_{вз}=0,36$ $R_{inf}=0,36$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,01$
<b>Коряжма   Koryazhma</b>				
2011	10,74	Высокий   High $P_{вз}=0,56$ $R_{inf}=1,00$	Высокий   High $P_{вз}=0,48$ $R_{inf}=1,00$	Средний   Average $P_{вз}=0,04$ $R_{inf}=0,25$
2012	3,22	Средний   Average $P_{вз}=0,42$ $R_{inf}=0,66$	Высокий   High $P_{вз}=0,43$ $R_{inf}=0,68$	Низкий   Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,02$
2015	4,41	Высокий   High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=0,71$	Высокий   High $P_{вз}=0,45$ $R_{inf}=0,70$	Низкий   Low $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,03$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количественная оценка микробиологического риска направлена на выявление вероятности развития инфекционных заболеваний при непосредственном употреблении загрязнённой питьевой воды. В отличие от метода комплексной оценки риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путём, количественная оценка микробиологического риска не позволяет проанализировать вклад конкретных условий водопользования в общий риск возникновения ОКИ, так как подразумевает оценку воздействия от уже загрязнённой воды. Комплексная оценка направлена на многолетнее систематическое наблюдение за состоянием условий водоснабжения и включает в себя условия централизованного и нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения на всех этапах водоподготовки и транспортировки воды по распределительной сети, состояние воды водоисточника, зон рекреационного водопользования, коммунального благоустройства территории. Сбор данных на этапе идентификации опасности позволяет объединить результаты эпидемиологического и гигиенического мониторинга для объективного анализа санитарно-эпидемиологической ситуации на исследуемой территории. Расширение объёма используемых для оценки риска данных о качестве питьевого водоснабжения, совершенствование методов обнаружения патогенов в питьевой воде и методов количественного определения возбудителей в пробах питьевой воды позволит устранить допускаемые неопределённости в методе количественной оценки риска.

Благодаря оценке риска возможно своевременное принятие противоэпидемических и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на снижение риска возникновения ОКИ, передаваемых через воду [24–26].

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Благодарности.** Авторы выражают признательность сотрудникам ФБУН «Московский научно-исследовательский институт

эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора: лаборанту-исследователю С.О. Высочанской, руководителю лаборатории эпиднадзора за дифтерией и коклюшем А.А. Басову, главному научному сотруднику А.М. Затевалову за помощь в разработке онлайн-калькулятора для проведения количественной оценки микробиологического риска.

**Вклад авторов.** Е.В. Байдакова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Т.Н. Унгурияну — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста, редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Acknowledgments.** We thank the to the scientists of the G.N. Gabrichevsky Research Institute of Epidemiology and Microbiology laboratory assistant S.O. Vysochanskaya, head of the laboratory of the epidemiological surveillance for diphtheria and pertussis A.A. Basov, Chief Researcher A.M. Zatevalov for the development of an online calculator for a quantitative microbiological risk assessment.

**Authors' contribution.** E.V. Baydakova — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; T.N. Unguryanu — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text and editing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьёв М.Ю., Конченко А.В., Курашвили О.М., Михеева И.В. Влияние качества питьевой воды на состояние здоровья населения городов Ростовской области // Здоровье населения и среда обитания. 2009. № 3. С. 44–46. EDN: MUSDZL
2. Фигурина Т.И., Шадрина С.Ю., Карлова Т.В., Родина А.О. Оценка риска хозяйственно-питьевого водоснабжения Вологодской области. Пути и механизмы управления // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. 2009. № 2. С. 70–73. EDN: NSJXPB
3. Grandjean D., Jorand F., Yañez C., et al. Influence of lepidocrocite ( $\gamma$ -FeOOH) on Escherichia Coli cultivability in drinking water // Environmental Technology. 2005. Vol. 26, N 2. P. 211–217. doi: 10.1080/09593332608618577
4. Quantitative Microbial Risk Assessment, QMRA: Application for Water Safety Management. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565370> Дата обращения: 01.06.2024.
5. Ahmed W., Hamilton K., Toze S., et al. A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health risks and mitigation strategies // Science of the Total Environment journal. 2019. Vol. 692. P. 1304–1321. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.055
6. Ashbolt N.J. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems // Current Environmental Health Reports. 2015. Vol. 2, N 1. P. 95–106. doi: 10.1007/s40572-014-0037-5

7. Ramírez-Castillo F.Y., Loera-Muro A., Jacques M., et al. Waterborne pathogens: detection methods and challenges // *Pathogens*. 2015. Vol. 4, N 2. P. 307–334. doi: 10.3390/pathogens4020307
8. Методические рекомендации МР 2.1.10.0067-12 «Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70118360> Дата обращения: 01.10.2024.
9. МР 2.1.10.0031-11. «Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем. Методические рекомендации». Режим доступа: <http://base.garant.ru/70105056> Дата обращения: 01.10.2024.
10. Dalahmeh S.S., Lalander C., Pell M., et al. Quality of greywater treated in biochar filter and risk assessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation // *Journal of Applied Microbiology*. 2016. Vol. 121, N 5. P. 1427–1443. doi: 10.1111/jam.13273
11. Anastasopoulou A., Kolios A., Somorin T., et al. Conceptual environmental impact assessment of a novel self-sustained sanitation system incorporating a quantitative microbial risk assessment approach // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 639. P. 657–672. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.062
12. Petterson SR. Application of a QMRA Framework to Inform Selection of Drinking Water Interventions in the Developing Context // *Risk Anal*. 2016. Vol. 36, N 2. P. 203–214. doi: 10.1111/risa.12452
13. Duizer E., Rutjes S., de Roda Husman A.M., Schijven J. Risk assessment, risk management and risk-based monitoring following a reported accidental release of poliovirus in Belgium, September to November 2014 // *Euro Surveill*. 2016. Vol. 21, N 11. P. 30169 doi: 10.2807/1560-7917.ES.2016.21.11.30169
14. Загайнова А.В., Трухина Г.М., Рахманин Ю.А., и др. Обоснование введения индикаторных показателей «обобщённые колиформные бактерии» и «*Escherichia coli*» в систему санитарно-эпидемиологического контроля безопасности питьевой воды // *Гигиена и санитария*. 2020. Т. 99, № 12. С. 1353–1359. EDN: HWXNYA doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359
15. Gavini F., Leclerc H., Mossel D.A. Enterobacteriaceae of the “coliform group” in drinking water: Identification and worldwide distribution // *Systematic and Applied Microbiology*. 1985. Vol. 6. P. 312–318.
16. Vyappanahalli M.N., Nevers M.B., Korajkic A. Enterococci in the environment // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2012. Vol. 76, N 4. P. 685–706. doi: 10.1128/mbr.00023-12
17. Rodrigues C., Cunha M.Â. Assessment of the microbiological quality of recreational waters: indicators and methods // *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2017. Vol. 2. P. 25. doi: 10.1007/s41207-017-0035-8
18. EPA’s Exposure Factors Handbook (EFH). Режим доступа: <https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook> Дата обращения: 01.06.2024.
19. Ward R.L., Bernstein D.I., Young E.C., et al. Human rotavirus studies in volunteers: determination of infectious dose and serological response to infection // *Journal of Infectious Diseases*. 1986. Vol. 154, N 5. P. 871–880. doi: 10.1093/infdis/154.5.871
20. Cliver D.O. Experimental infection by waterborne enteroviruses // *Journal of Food Protection*. 1981. Vol. 44, N 11. P. 861–865. doi: 10.4315/0362-028X-44.11.861
21. DuPont H.L., Hornick R.B., Snyder M.J., et al. Immunity in shigellosis. I. Response of man to attenuated strains of *Shigella* // *Journal of Infectious Diseases*. 1972. Vol. 125, N 1. P. 5–11. doi: 10.1093/infdis/125.1.5
22. Dupont H.L., Formal S.B., Hornick R.B., et al. Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea // *The New England Journal of Medicine*. 1971. Vol. 285, N 1. P. 1–9. doi: 10.1056/NEJM197107012850101
23. Teunis P.F., Moe C.L., Liu P., et al. Norwalk virus: How infectious is it? // *Journal of Medical Virology*. 2008. Vol. 80, N 8. P. 1468–1476. doi: 10.1002/jmv.21237
24. СанПиН 2.1.3.684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы». Режим доступа: <https://base.garant.ru/400289764> Дата обращения: 01.11.2022.
25. СанПиН 3.3.686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы». Режим доступа: <https://base.garant.ru/400342149> Дата обращения: 01.11.2021.
26. Профилактика инфекционных болезней. Организация работы в очагах инфекционных и паразитарных болезней: Методические указания МУ 3.1.3.3114/1-13. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013.

## REFERENCES

1. Soloviev MYu, Konchenko AV, Kurashvili OM, Mikheeva IV. Influence of drinking water quality on the health status of the population of the cities of the Rostov region. *Public Health and Life Environment*. 2009;(3):44–46. (In Russ.) EDN: MUSDZL
2. Figurina TI, Shadrina SU, Karlova TV, Rodina AO. Evaluation of risk of household-drinking water supply of Vologda region population. *Herald of the Mechnikov Saint-Petersburg State Medical Academy*. 2009;(2):70–73. EDN: NSJXPB
3. Grandjean D, Jorand F, Yañez C, et al. Influence of lepidocrocite ( $\gamma$ -FeOOH) on *Escherichia Coli* cultivability in drinking water. *Environmental Technology*. 2005;26(2):211–217. doi: 10.1080/09593332608618577
4. Quantitative Microbial Risk Assessment, QMRA: Application for Water Safety Management [cited 2024 Jun 01]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565370>
5. Ahmed W, Hamilton K, Toze S, et al. A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health

- risks and mitigation strategies. *Science of the Total Environment Journal*. 2020;692:1304–1321.  
doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.055
6. Ashbolt NJ. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Current Environmental Health Reports*. 2015;2(1):95–106.  
doi: 10.1007/s40572-014-0037-5
  7. Ramírez-Castillo FY, Loera-Muro A, Jacques M, et al. Waterborne pathogens: detection methods and challenges. *Pathogens*. 2015;4(2):307–334. doi: 10.3390/pathogens4020307
  8. Methodological recommendations MP 2.1.10.0067-12 “Assessment of the risk to public health when exposed to microbial factors contained in food products. Methodological foundations, principles and evaluation criteria” [cited 2024 Oct 01]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70118360> (In Russ.)
  9. Methodological recommendations of MP 2.1.10.0031-11. “Comprehensive assessment of the risk of bacterial intestinal infections transmitted by water. Methodological recommendations” [cited 2024 Oct 01]. Available from: <http://base.garant.ru/70105056> (In Russ.)
  10. Dalahmeh SS, Lalander C, Pell M, et al. Quality of greywater treated in biochar filter and risk assessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation. *Journal of Applied Microbiology*. 2016;121(5):1427–1443.  
doi: 10.1111/jam.13273
  11. Anastasopoulou A, Kolios A, Somorin T, et al. Conceptual environmental impact assessment of a novel self-sustained sanitation system incorporating a quantitative microbial risk assessment approach. *Science of the Total Environment*. 2018;639:657–672. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.062
  12. Petterson SR. Application of a QMRA Framework to Inform Selection of Drinking Water Interventions in the Developing Context. *Risk Anal*. 2016;36(2):203–214. doi: 10.1111/risa.12452
  13. Duizer E, Rutjes S, de Roda Husman AM, Schijven J. Risk assessment, risk management and risk-based monitoring following a reported accidental release of poliovirus in Belgium, September to November 2014. *Euro Surveill*. 2016;21(11):30169. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2016.21.11.30169
  14. Zagainova AV, Trukhina GM, Rakhmanin YuA, et al. The rationale for introducing the indices “generalized coliform bacteria” and “*Escherichia coli*” into the scheme of sanitary and microbiological control of water quality as indices of fecal contamination. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1353–1359. EDN: HWXNYA  
doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359
  15. Gavini F, Leclerc H, Mossel DA. Enterobacteriaceae of the “coliform group” in drinking water: Identification and worldwide distribution. *Systematic and Applied Microbiology*. 1985;6: 312–318.
  16. Byappanahalli MN, Nevers MB, Korajkic A. Enterococci in the environment. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2012;76(4):685–706. doi: 10.1128/mmbr.00023-12
  17. Rodrigues C, Cunha MÂ. Assessment of the microbiological quality of recreational waters: indicators and methods. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2017;2:25. doi: 10.1007/s41207-017-0035-8
  18. EPA’s Exposure Factors Handbook (EFH) [cited 2024 Jun 01] Available from: <https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook>
  19. Ward RL, Bernstein DI, Young EC, et al. Human rotavirus studies in volunteers: determination of infectious dose and serological response to infection. *Journal of Infectious Diseases*. 1986;154(5):871–880. doi: 10.1093/infdis/154.5.871
  20. Cliver DO. Experimental infection by waterborne enteroviruses. *Journal of Food Protection*. 1981;44(11):861–865.  
doi: 10.4315/0362-028X-44.11.861
  21. DuPont HL, Hornick RB, Snyder MJ, et al. Immunity in shigellosis. I. Response of man to attenuated strains of *Shigella*. *Journal of Infectious Diseases*. 1972;125(1):5–11. doi: 10.1093/infdis/125.1.5
  22. Dupont HL, Formal SB, Hornick RB, et al. Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea. *The New England Journal of Medicine*. 1971;285(1):1–9. doi: 10.1056/NEJM197107012850101
  23. Teunis PF, Moe CL, Liu P, et al. Norwalk virus: How infectious is it? *Journal of Medical Virology*. 2008;80(8):1468–1476.  
doi: 10.1002/jmv.21237
  24. SanPiN 2.1.3684-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial and public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures. Sanitary and epidemiological rules and regulations” [cited 2022 Nov 01]. Available from: <https://base.garant.ru/400289764> (In Russ.)
  25. SanPiN 3.3686-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases. Sanitary and epidemiological rules and regulations” [cited 2021 Nov 01]. Available from: <https://base.garant.ru/400342149> (In Russ.)
  26. Prevention of infectious diseases. Organization of work in foci of infectious and parasitic diseases: Methodological guidelines of MU 3.1.3114/1-13. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2013. (In Russ.)

## ОБ АВТОРАХ

**\*Байдакова Елена Валерьевна;**

адрес: Россия, 163061, Архангельск, ул. Гайдара, д. 24;

ORCID: 0000-0002-1570-6589;

eLibrary SPIN: 3398-3669;

e-mail: elenabaydakova@yandex.ru

**Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, профессор;**

ORCID: 0000-0001-8936-7324;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

e-mail: unguryanu\_tn@mail.ru

## AUTHORS' INFO

**\*Elena V. Baydakova;**

address: 24 Gaidar str., Arkhangelsk, Russia, 163061;

ORCID: 0000-0002-1570-6589;

eLibrary SPIN: 3398-3669;

e-mail: elenabaydakova@yandex.ru

**Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;**

ORCID: 0000-0001-8936-7324;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

e-mail: unguryanu\_tn@mail.ru

\*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author