

Читать  
онлайн  
Read  
online

Иванютин Н.М., Подовалова С.В., Джапарова А.М.

## Интегральная оценка питьевых вод из подземных источников бассейна реки Салгир

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295043, Симферополь, Россия

**Введение.** Большая часть степной зоны Крыма испытывает дефицит поверхностных водных ресурсов, поэтому для хозяйственно-питьевого водоснабжения используются подземные воды. В последние несколько десятилетий рост антропогенной деятельности привёл к их загрязнению. Ежедневное употребление воды, не соответствующей нормативным показателям, может оказать негативное воздействие на здоровье людей. Проблема удовлетворения потребности населения в воде соответствующего качества обуславливает необходимость проведения её регулярных исследований, оценки и определения риска для здоровья с целью разработки мер по доведению качественного состава подаваемой на водообеспечение воды до нормативного.

**Цель исследования** — оценка риска для здоровья населения от загрязнителей, содержащихся в питьевой воде подземных источников водоснабжения, расположенных в бассейне реки Салгир.

**Материалы и методы.** В данной работе приведены результаты исследования качества подземных вод, извлекаемых в бассейне реки Салгир, на основе принципов расчётов риска для здоровья, изложенных в Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» и МР 2.1.4.0032-11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности». Исходными данными служили результаты химического анализа подземных вод за 2018–2019 гг.

**Результаты.** В результате расчёта ольфакторно-рефлекторного и неканцерогенного рисков, а также интегрального показателя, характеризующих опасность воды для здоровья, по 178 источникам питьевого водоснабжения выявлено, что наиболее значимую роль в формировании органолептических эффектов оказывают жёсткость и запах воды, а неканцерогенных — нитраты и, в одном случае, бор.

**Ограничения исследования.** Во-первых, не проведена оценка канцерогенного риска, что связано с отсутствием данных о токсических компонентах (мышьяк, кадмий, свинец и др.) в воде. Во-вторых, не все населённые пункты, расположенные в бассейне р. Салгир, включены в исследование, что связано с отсутствием данных о качественном составе подземных вод по этим сёлам.

**Заключение.** Полученные расчётным путём величины интегральных показателей рисков дали возможность оценить качество воды каждого водозабора и установить наиболее существенные вредные эффекты поражения органов и систем человеческого организма. Используемый метод оценки безопасности питьевой воды даёт возможность разработать мероприятия по повышению эффективности её доочистки перед подачей потребителю.

**Ключевые слова:** оценка риска; питьевое водоснабжение; качество воды; безопасность питьевой воды; река Салгир; подземные воды; здоровье населения; жёсткость

**Соблюдение этических стандартов:** исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Иванютин Н.М., Подовалова С.В., Джапарова А.М. Интегральная оценка питьевых вод из подземных источников бассейна реки Салгир. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 493–502. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-493-502>

**Для корреспонденции:** Иванютин Николай Михайлович, мл. науч. сотр. отд. цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «НИИСХ Крыма», Симферополь, 295043. E-mail: redkolya@mail.ru

**Участие авторов:** Иванютин Н.М. — концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, сбор данных литературы, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Подовалова С.В. — сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Джапарова А.М. — сбор материала и обработка данных.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственной тематики Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, рег. номер: FNZW-2022-0002.

Поступила: 21.12.2021 / Принята к печати: 12.04.2022 / Опубликована: 31.05.2022

Nikolay M. Ivanyutin, Svetlana V. Podovalova, Ayshe M. Dzhaparova

## Integral assessment of drinking water from underground sources of the Salgir river basin

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, 295043, Russian Federation

**Introduction.** Most of the steppe zone of Crimea has a shortage of surface water resources. Therefore, groundwater is used for drinking water supply. Over the past few decades, the growth of anthropogenic activities has led to its widespread pollution. The daily use of water that doesn't meet the standards can have a negative impact on the health of local residents. The problem of satisfying the population with water that is harmless in its chemical composition makes it necessary to conduct studies to assess its quality and determine the risk to public health according to the regulatory documents in force to develop measures to bring their quality composition to the normative level.

**The purpose of the study** is to assess the risk to the health of the population from pollutants of underground water sources contained in drinking water located in the Salgir river basin.

**Materials and methods.** This work presents the results of the study of the groundwater quality. The samples were extracted in the Salgir river basin. The study was based on the testing of health risk calculations set forth in Р 2.1.10.1920-04 and МР 2.1.4.0032-11. The initial data were information on the results of chemical analyses of groundwater for 2018 and 2019.

**Results.** As a result of the calculation of olfactory-reflex and non-carcinogenic risks of one hundred seventy eight drinking water sources, as well as calculation of an integral indicator characterizing the dangerous impact of water on health, the most significant role in the formation of organoleptic effects was revealed to be provided by the smell of water and its stiffness, and non-carcinogenic — by nitrates and in one case by boron.

**Limitations.** Firstly, a carcinogenic risk assessment was not carried out due to the lack of data on toxic components (arsenic, cadmium, lead and others) in water. Secondly, not all settlements located in the Salgir river basin are included in the study, because of the lack of data on the quality of groundwater for these villages.

**Conclusion.** The calculated values of integral indicators, combining these risks, made it possible to assess the quality of water in each water intake and the most significant harmful effects of damage to the organs and systems of the human body. The method used to assess the safety of drinking water makes it possible to develop measures to increase the efficiency of its post-treatment before supplying it to the consumer.

**Keywords:** risk assessment; drinking water supply; water quality; safe drinking water; Salgir river; groundwater; public health; rigidity

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of an opinion of the biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Ivanyutin N.M., Podovalova S.V., Dzharparova A.M. Integral assessment of drinking water from underground sources of the Salgir river basin. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(5): 493-502. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-493-502> (In Russian)

**For correspondence:** Nikolay M. Ivanyutin, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, 295043, Russian Federation. E-mail: redkolya@mail.ru

**Information about the authors:**

Ivanyutin N.M., <https://orcid.org/0000-0001-8009-3857> Podovalova S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2823-797X> Dzharparova A.M., <https://orcid.org/0000-0002-2671-7021>

**Contribution:** *Ivanyutin N.M.* – the concept and design of the study; writing a text, collection of literature data, collection and processing of material, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article. *Podovalova S.V.* – collection and processing of material, writing a text, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article. *Dzharparova A.M.* – collection and processing of material.

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

**Acknowledgement.** The study was carried out within the framework of the state theme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, reg. number: FNZW-2022-0002. The study had no sponsorship.

Received: December 21, 2021 / Accepted: April 12, 2022 / Published: May 31, 2022

## Введение

Нагрузка на подземные водоносные горизонты, особенно в засушливых регионах, к которым относится и Республика Крым, с каждым годом возрастает (рис. 1). В Крыму подземные воды являются основным источником водоснабжения сельских территорий и зон, где отсутствуют поверхностные источники питьевого водоснабжения.

Зачастую качество подземных вод более высокое по сравнению с поверхностными источниками, что связано с их большей защищённостью, в том числе от микробиологического загрязнения. Однако часть подземных горизонтов слабо защищена от поверхностных источников загрязнения, и при длительной антропогенной нагрузке они могут быть загрязнены азотными соединениями, тяжёлыми металлами, бактериальными и другими поллютантами [1]. Использование для питьевых нужд загрязнённой воды несёт опасность для здоровья населения.

Так, учёные Китая и Индии оценивали риски для здоровья по содержанию фторидов [2, 3] и нитратов [4] в подземных водах и рекомендовали в обязательном порядке предусмотреть дополнительные меры по дефторированию питьевых вод [2], а в рекомендациях указали на необходимость рационального использования подземных вод с целью защиты здоровья населения [4]. Пакистанские учёные после комплексной оценки подземных вод г. Мардан (провинция Хайбер-Пахтунхва) пришли к выводу, что их ежедневное употребление может вызвать серьёзные проблемы со здоровьем, такие как дисфункция почек, мозга, печени, желудка и др. [5]. Исследователи из Нигерии провели оценку распределения тяжёлых металлов в подземных водах и последствий для здоровья при их употре-

блении и пришли к заключению, что использование этих вод несёт чрезвычайно высокий совокупный риск развития рака для различных возрастных групп [6]. В работе учёных из Бангладеш сделана попытка установления механизма попадания в подземные воды мышьяка и дана оценка риска для здоровья населения, использующего данные воды в питьевых целях [7], а также представлен опыт создания многопараметрических карт опасности подземных вод, основанных на оценке рисков [8].

Остановимся более подробно на исследованиях оценки влияния на организм человека употребления воды с повышенной жёсткостью и нитратами, так как именно эти показатели наиболее часто фиксируются в подземных питьевых водах Крыма.

В работе [9] авторы изучали подземные воды северного Китая, которые характеризовались повышенной жёсткостью, а также высоким содержанием нитратов и фтора. Результаты показали, что нитраты и фтор могут представлять опасность для здоровья детей, тогда как организм взрослого населения восприимчив только к нитратному загрязнению.

В работе словацких специалистов [10] описывается влияние ежедневного употребления вод с низким и высоким содержанием Са и Mg на сердечно-сосудистую систему жителей Словакии.

Результаты датских учёных [11], изучивших здоровье родившихся с 1991 по 2015 г. детей, дали подтверждение того, что воздействие нитратов, поступающих перорально с питьевой водой, ведёт к увеличению риска развития рака молочной железы у детей.

Американские учёные [12] выявили взаимосвязь загрязнения нитратами подземных питьевых вод с развитием у населения рака щитовидной железы.

В России исследования проводятся согласно Руководству Р 2.1.10.1920-04 и Методическим рекомендациям МР 2.1.4.0032-11. Используемая методология позволила выявить характерные для разных регионов страны поллютанты, поступающие с питьевой водой, воздействие которых вносит наибольший вклад в формирование риска для здоровья [13–20]. В работе [16] приводятся результаты оценки и анализ рисков для здоровья населения на территории промышленного центра (увеличение числа заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы). Кузьмина Е.А. [20] приводит данные о несоответствии питьевых вод даже после водоподготовки санитарно-гигиеническим требованиям по ряду канцерогенных веществ и указывает на наличие суммарного канцерогенного риска для здоровья населения.

В одной из первых работ по данному направлению [21] представлены результаты анализа заболеваемости населения Крыма, связанной с качеством питьевой воды, в сравнении с другими регионами Российской Федерации. Авторами

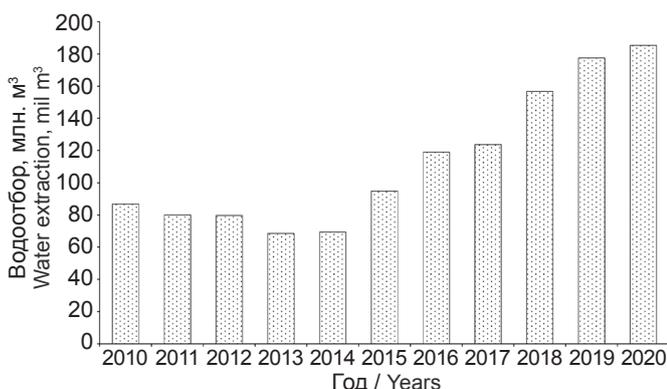


Рис. 1. Динамика забора подземных вод в Республике Крым.

Fig. 1. Dynamics of underground water intake in the Republic of Crimea.

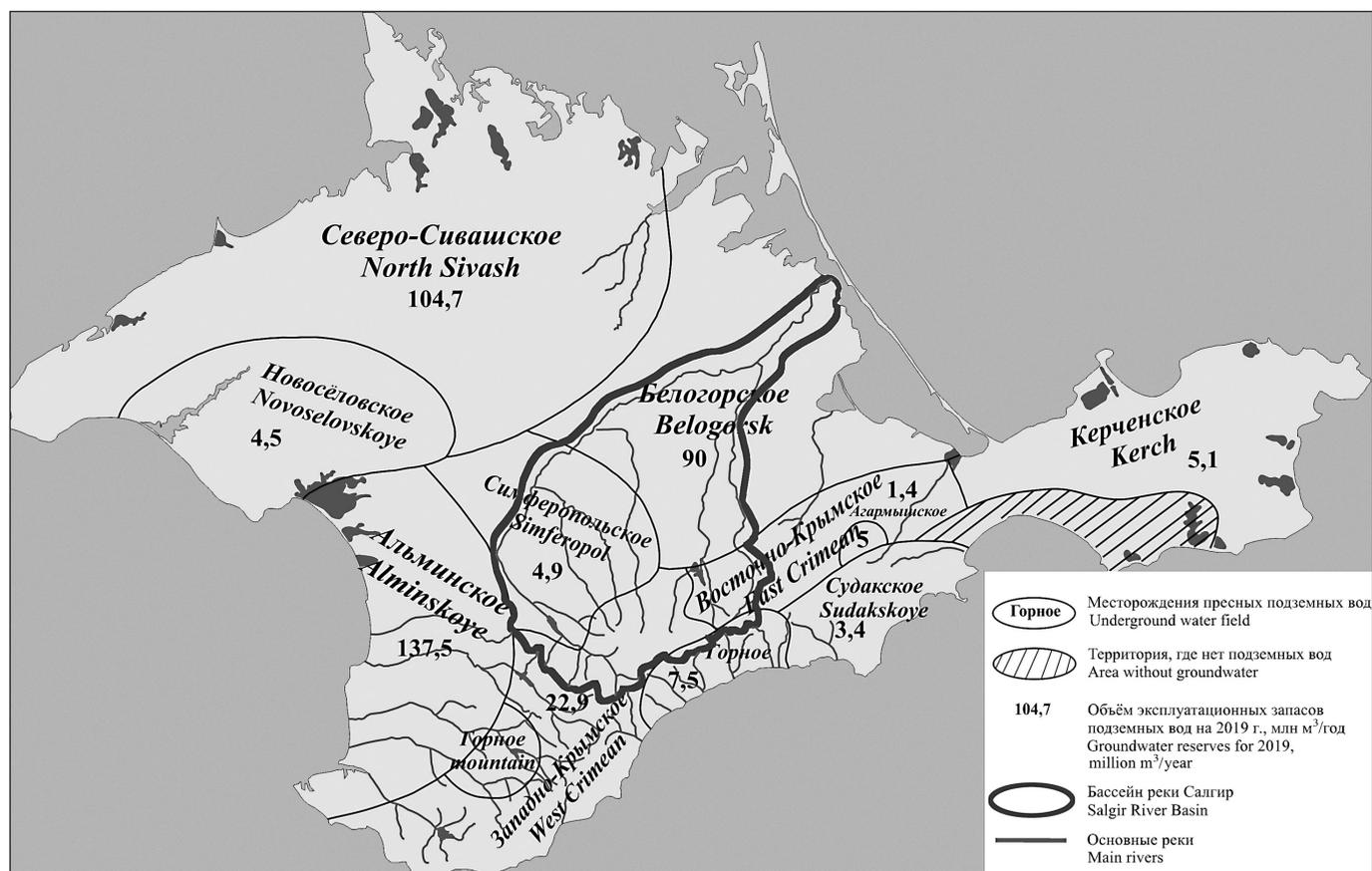


Рис. 2. Карта-схема распределения подземных и поверхностных водных ресурсов Крыма и район исследований [по 23, с дополнениями].

Fig. 2. Map-diagram of distribution of underground and surface water resources of Crimea and research area.

проведён эколого-гигиенический мониторинг водоисточников питьевой воды и анализ заболеваемости кариесом зубов у детей в трёх климатогеографических районах Крыма [22].

Экологические проблемы водообеспечения населения чаще всего рассматриваются для крупных населённых пунктов, обеспеченных централизованными системами водоснабжения и доводящими воду до нормативных требований системами водоподготовки. В населённые пункты, расположенные на удалении от крупных водоисточников, зачастую подают водные ресурсы из близлежащих скважин, качество воды в которых не всегда соответствует установленным нормативам. Например, водные ресурсы в Крыму (поверхностные и подземные) распределены по территории крайне неравномерно (рис. 2). Большая часть рек и крупных водохранилищ питьевого значения расположена в южной, юго-западной и частично центральной (р. Салгир) частях Крыма. В северной части полуострова постоянные водотоки практически отсутствуют, поэтому население, проживающее на данной территории, для питьевых целей использует подземные воды.

В качестве объекта исследования выбрана территория бассейна р. Салгир, что обусловлено следующими обстоятельствами:

- территория является наиболее крупной речной системой, которая вместе со своими притоками занимает около 14% площади полуострова. Бассейн р. Салгир располагается на территории пяти крупных административных районов Крыма: Симферопольского, Красногвардейского, Белогорского, Нижнегорского и Советского, с общей численностью населения около 380 тыс. человек;
- часть подземных водозаборов Крыма характеризуется повышенной минерализацией и жёсткостью воды, а также нитратным и бактериологическим загрязнением [24].

*Цель исследования* — оценить риск для здоровья населения от загрязнителей, содержащихся в питьевой воде подземных источников водоснабжения, расположенных в бассейне р. Салгир.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- выполнен сбор информации по качественному составу 178 источников водоснабжения, систематизация осуществлена путём создания базы данных;
- проведена количественная оценка рисков: ольфакторно-рефлекторного и беспорогового неканцерогенного;
- рассчитан интегральный показатель химической безвредности воды;
- построена карта-схема визуализации пространственного распределения водозаборов бассейна р. Салгир по интегральному показателю.

## Материалы и методы

Основным объектом исследования являлись подземные воды, используемые для питьевого водоснабжения. Для изучения качества подземных питьевых вод с точки зрения их химической безопасности проанализированы данные о составе 178 источников водоснабжения (скважины, родники, каптажи) за 2018–2019 гг. В качестве исходных данных были взяты результаты химических анализов подземных вод, полученные от организаций, отвечающих за водообеспечение населения и эксплуатацию водозаборов: ООО «Крымская водная компания», ГУП РК «Вода Крыма», Нижнегорское с/п, МУП «Вода Нижнегорья», ФБУ «ЦАС» Крымский, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Крым», ООО «Институт КрымГИИНТИЗ».

Выбор приоритетных показателей оценки риска для здоровья основан на частоте обнаружения загрязняющих веществ с превышением нормативных значений содержания. При проведении расчётов использовали ПДК по СанПиН 1.2.3685-21.

Оценку ольфакторно-рефлекторного риска проводили по показателям: запах, цветность, мутность, рН, жёсткость, минерализация, хлориды, сульфаты, железо. В качестве значения приемлемого риска использовали величину 0,1 (или 10%) (МР 2.1.4.0032-11).

Беспороговый неканцерогенный риск (БНР) питьевой воды рассчитывали по показателям: нитраты, нитриты, аммоний, бор и стронций. За приемлемую величину БНР принята величина  $\leq 0,05$ .

Заключительным этапом стала интегральная оценка воды по показателям химической безвредности, полученная путём суммирования рисков ольфакторно-рефлекторного и неканцерогенного. За окончательный результат оценки принят интегральный показатель (ИП), величина которого имеет пороговый уровень, равный 1.

На основе Р 2.1.10.1920-04 и СанПиН 2.1.4.1116-02 (приложение 2) установлены наиболее существенные вредные эффекты – поражение органов и систем человеческого организма при ежедневном поступлении выявленных загрязнителей с питьевой водой.

Статистическую обработку результатов анализа химического состава проб подземных вод за исследованный период проводили при помощи пакета Microsoft Office Excel.

Полученные результаты исследования позволили оценить химическую безвредность питьевой воды, эффективность водоподготовки и выявить населённые пункты, где качество воды не соответствует нормативным требованиям.

Для визуализации полученных результатов построена карта-схема пространственного распределения скважин бассейна р. Салгир по интегральному показателю химической безвредности воды.

## Результаты

На территории Крыма для хозяйственно-питьевого водоснабжения используются поверхностные и подземные водоисточники. Аккумулятивный в водохранилищах поверхностный сток в основном используется для удовлетворения нужд городов, а в малых населённых пунктах преимущественно используются подземные воды. В последние годы произошло увеличение изъятия поверхностных и подземных вод, в том числе в бассейне р. Салгир, что отражается на ухудшении их качественных характеристик [25, 26].

**Оценка ольфакторно-рефлекторного риска.** Определение ольфакторно-рефлекторных свойств воды, потребляемой ежедневно населением, является важным этапом её анализа на пригодность для питьевых целей.

В табл. 1 приведены результаты расчётов ольфакторно-рефлекторных рисков подземных вод для всех изученных водозаборов.

На высокие значения ОРР оказали влияние повышенные значения показателей жёсткости, запаха, минерализации и рН. Отклонения выявлены в 51 скважине (28,6 % от общего количества): 7 сельских поселений в Симферопольском районе, 8 – в Красногвардейском, 4 – в Белогорском и 3 – в Нижнегорском.

Жители сёл, использующие воду из данных скважин для питьевых целей (в данном случае это преимущественно воды с повышенной жёсткостью), подвергаются развитию рисков для здоровья: образованию камней в мочевыводящих путях, изменению водно-солевого и белково-липидного обмена, болезням сердечно-сосудистой системы [10]. Всего выявлено 30 скважин (17% от общего количества) с повышенной жёсткостью воды в 24 сёлах. Анализ статистической информации показал, что общее число жителей, употребляющих воду с повышенной жёсткостью, состав-

ляет около 26 тыс. человек, при этом наибольшее число (14,7 тыс.) приходится на Симферопольский район.

Из всех рассмотренных водозаборов высокая минерализация воды обнаружена в двух скважинах (с. Красная Зорька и с. Первомайское). Ежедневное употребление такой воды может привести к нарушению кислотно-щелочного равновесия в организме и развитию зависящих от её ионного состава различных функциональных сдвигов.

В 22 скважинах (14 сёл) выявлены отклонения показателей воды от нормативов ГОСТ Р 57164-2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности», связанные с запахом, что может служить косвенным признаком её загрязнения соединениями тяжёлых металлов, продуктами коррозии железа, солями щелочных и щёлочноземельных металлов, грибами и плесенью. Более 10,5 тыс. человек (в основном в Красногвардейском районе) употребляют воду с превышением нормативов по данному показателю, что может привести к неблагоприятным последствиям для здоровья населения.

В остальных населённых пунктах нет необходимости регулирования качества воды в связи с ольфакторно-рефлекторными рисками, поскольку значения не превышали приемлемых уровней по всем анализируемым показателям.

**Оценка неканцерогенного риска.** Выявленные при проведении исследований потенциально опасные вещества, обуславливающие риск хронической интоксикации, систематизированы в табл. 2.

Анализ неканцерогенного риска показал возможность развития хронической интоксикации организма при употреблении для питьевых целей подземных вод в 18 сельских населённых пунктах Симферопольского района и в трёх – Нижнегорского. Всего выявлено 37 скважин (20,8% от общего числа), где основным загрязняющим воду веществом являлись нитраты, которые могут попадать в подземные воды с хозяйственно-бытовыми сточными водами, а также в результате сельскохозяйственной деятельности. В Нижнегорском районе около 4,4 тыс. человек употребляют воду, загрязнённую нитратами, в Симферопольском – около 34,1 тыс. Жители этих населённых пунктов, употребляя воду, загрязнённую нитратами, на протяжении всей жизни, подвергаются риску для здоровья со стороны кровеносной и сердечно-сосудистой систем, опасности развития рака молочной и щитовидной железы, метгемоглобинемии [11, 12].

**Расчёт интегрального показателя химической безвредности воды.** В табл. 3 представлены расчёты интегрального показателя химической безвредности воды, на рис. 3 для визуализации полученных данных указано расположение водозаборов с цветовым выделением наиболее опасных из них.

Расчитанные величины интегральных показателей химической безвредности дали возможность выделить подземные водозаборы с наибольшим риском для здоровья населения, употребляющего воду из них.

Анализируя результаты исследований качественного состава подземных вод, используемых населением бассейна р. Салгир для питьевых целей, можно отметить, что наиболее обеспечены качественной водой жители Белогорского района (41 тыс. человек), из которых около 37 тыс. употребляют безвредную воду. Исключение составляют жители 5 сёл с общей численностью населения около 4 тыс. человек, которые используют воду с повышенной жёсткостью и значением ИП 1,133–9,978.

Практически все водозаборы подземных вод южной части Красногвардейского и Нижнегорского районов содержат отклонения в химическом составе, что влияет на общее значение ИП. В Красногвардейском районе выявлены 23 такие скважины в 16 сёлах, в Нижнегорском – 11 скважин в 10 сёлах.

Из общего числа водозаборов, расположенных в бассейне р. Салгир, величина ИП химической безвредности подземных вод выше приемлемого значения зафиксирована

Таблица 1 / Table 1

**Оценка ольфакторно-рефлекторных рисков (ОРР) для здоровья населения при ежедневном употреблении вод из скважин, расположенных в бассейне р. Салгир****Assessment of olfactory-reflex risks (ORR) for public health during daily consumption of water from wells located in the Salgir river basin**

Месторасположение водозабора Water intake location	Сельское поселение Rural settlement		Количество скважин всего/с ОРР > 0,1 Number of wells Total/ORR > 0.1	Приоритетный показатель Priority indicator	
Симферопольский район Simferopol district	Гвардейское	Gvardovskoye	11/6	Жёсткость / Hardness Минерализация / Mineralization	
	Донское	Donskoe	8/3	Запах / Smell Жёсткость / Hardness Железо / Iron	
	Мирновское	Mirnovskoye	7/2	Жёсткость / Hardness	
	Мазанское	Mazanskoye	6/1	Жёсткость / Hardness	
	Первомайское	Pervomaisky	5/2	Жёсткость / Hardness Минерализация / Mineralization	
	Трудовское	Trudovskoye	3/1	Жёсткость / Hardness	
	Молодёжненское	Molodezhnenskoye	2/1	Железо Iron	
	Урожайновское	Urozhainovskoye	4/0	—	
Итого по району / Total on the district			46/16	—	
Красногвардейский район Krasnogvardeisky district	Амурское	Amurskoye	4/1	Жёсткость / Hardness	
	Зерновское	Zernovskoye	3/3	Запах / Smell Жёсткость / Hardness	
	Колодезянское	Kolodezyanskoye	7/7	Запах / Smell	
	Новопокровское	Novopokrovskoye	5/4	Запах / Smell	
	Найденовское	Naydenovskoye	4/1	Жёсткость / Hardness	
	Пятихатское	Pyatikhatskoye	5/5	Запах / Smell	
	Полтавское	Poltavskoye	1/1	Запах / Smell	
	Ровновское	Rovnovskoye	3/2	Запах / Smell Жёсткость / Hardness	
	Октябрьское	Oktyabrskoye	9/0	—	
	Итого по району Total on the district			41/24	—
Нижнегорский район Nizhnegorsky district	Новогригорьевское	Novogrigoryevskoye	2/1	Жёсткость / Hardness	
	Садовое	Sadovoe	3/3		
	Косточковское	Kostochkovskoye	2/1		
	Желябовское	Zhelyabovskoye	3/0	—	
	Ивановское	Ivanovskoye	4/0	—	
	Лиственское	Listvenskoye	3/0	—	
	Уваровское	Uvarovskoye	5/0	—	
	Нижнегорский	Nizhnegorsky	4/0	—	
	Изобильненское	Izobilnenskoye	4/0	—	
	Дрофинское	Drofinskoye	3/0	—	
	Емельяновское	Emelyanovskoye	1/0	—	
	Жемчужненское	Zhemchuzhenskoye	3/0	—	
	Митрофановское	Mitrofanovskoye	3/0	—	
Чкаловское	Chkalovskoye	2/0	—		
Итого по району / Total on the district			42/5	—	
Белогорский район Belogorsky district	Богатовское	Bogatovskoye	4/2	Жёсткость / Hardness	
	Криниченское	Krinichenskoye	2/1	—	
	Мичуринское	Michurinsk	3/2	—	
	Русановское	Rusanovskoye	1/1	pH	
	Зуйское	Zuyskoye	4/0	—	
	Зеленогорское	Zelenogorskoye	4/0	—	
	Земляничненское	Zemlyanichnenskoye	2/0	—	
	Цветочненское	Tsvetochnenskoye	5/0	—	
	Зыбинское	Zybinskoye	4/0	—	
	Новожиловское	Novozhilovskoye	5/0	—	
	Муромское	Muromkoye	2/0	—	
	Васильевское	Vasilyevskoye	1/0	—	
	Курское	Kurskoye	2/0	—	
	Белогорск	Belogorsk	1/0	—	
	Вишенское	Vishenskoye	1/0	—	
	Мельничное	Melnichnoe	3/0	—	
	Ароматновское	Aromatnovskoye	3/0	—	
	Итого по району / Total on the district			47/6	—
	Советский район / Sovetsky district	Чернозёмненское	Chernozemnenskoye	2/0	—
Итого по району / Total on the district			178/51	—	

Таблица 2 / Table 2

Оценка риска проявления хронической интоксикации от присутствия загрязняющих веществ в подземных водах бассейна р. Салгир

Assessment of the risk of chronic intoxication from the presence of pollutants in groundwater, Salgir river basin

Месторасположение водозабора Water intake location	Сельское поселение Rural settlement		Количество скважин, всего / с величиной риска хронической интоксикации > 0,02 Number of wells, total/ with risk of chronic intoxication > 0,02	Диапазон значений величины риска хронической интоксикации Range of values of chronic intoxication value	Загрязняющее вещество Polluting substance
Симферопольский район Simferopol district	Гвардейское	Gvardovskoye	11/6	0.022–0.036	Нитраты / Nitrates
	Трудовское	Trudovskoye	3/1	0.042	Нитраты / Nitrates
	Урожайновское	Urozhainovskoye	4/4	0.028–0.035	Нитраты / Nitrates
	Мирновское	Mirnovskoye	7/7	0.022–0.04	Нитраты / Nitrates
	Молодёженское	Molodezhnenskoye	2/2	0.031–0.036	Нитраты / Nitrates
	Донское	Donskoe	8/4	0.027–0.037	Нитраты / Nitrates
	Первомайское	Pervomaisky	5/3	0.024–0.03	Нитраты / Nitrates
	Мазанское	Mazanskoye	6/5	0.023–0.042	Нитраты / Nitrates
Итого по району / Total on the district			46/32	–	–
Нижегородский район Nizhnegorsky district	Косточковское	Kostochkovskoye	2/1	0.024	Нитраты / Nitrates
	Садовое	Sadovoe	3/2	0.023–0.024	Нитраты / Nitrates
	Ивановское	Ivanovskoye	4/2	0.021–0.024	Нитраты, бор Nitrates, bor
	Новогригорьевское	Novogrigoryevskoye	2/0	< 0.02	–
	Желябовское	Zhelyabovskoye	3/0	< 0.02	–
	Лиственское	Listvenskoye	3/0	< 0.02	–
	Уваровское	Uvarovskoye	5/0	< 0.02	–
	Нижегородский	Nizhnegorsky	4/0	< 0.02	–
	Изобильненское	Izobilnenskoye	4/0	< 0.02	–
	Дрофинское	Drofinskoye	3/0	< 0.02	–
	Емельяновское	Emelyanovskoye	1/0	< 0.02	–
	Жемчужненское	Zhemchuzhenskoye	3/0	< 0.02	–
	Митрофановское	Mitrofanovskoye	3/0	< 0.02	–
Чкаловское	Chkalovskoye	2/0	< 0.02	–	
Итого по району / Total on the district			42/5	–	–
Красногвардейский район / Krasnogvardeisky district			41/0	< 0.02	–
Белогорский район / Belogorsky district			47/0	< 0.02	–
Советский район / Sovetsky district			2/0	< 0.02	–
Итого по бассейну / Total river basin			178/37	–	–

в 71 скважине (40% от общего количества), находящейся в 48 сёлах: 30 скважин – Симферопольский район, 23 – Красногвардейский, 11 – Нижегородский и 7 – Белогорский. Число жителей, которые пользуются некачественной водой (с ИП > 1), составляет около 60 тыс. человек: Симферопольский район – около 34 тыс., Красногвардейский – 11,3, Нижегородский – 10, Белогорский – 3,9.

## Обсуждение

Проведённая оценка рисков позволила выявить вероятность негативного воздействия на здоровье населения при использовании подземных вод для питьевых нужд. Население, употребляющее данные воды на протяжении всей жизни, подвергается риску для здоровья кровеносной, сердечно-сосудистой, мочеполовой систем, опасности развития рака молочной и щитовидной железы и других негативных последствий [10–12, 22].

Учёные из Словакии в своих исследованиях [10], основанных на измерениях артериальной жёсткости, включая

измерения скорости пульсовой волны аорты и расчёт артериального возраста жителей страны, подтвердили негативное влияние на сердечно-сосудистую систему ежедневного употребления вод с повышенной жёсткостью. У населения, употреблявшего более мягкую воду, разница между артериальным и фактическим возрастом составила почти 5 лет. Повышенную жёсткость питьевой воды отнесли к факторам риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. В Крыму повышенная жёсткость подземных вод наблюдается во многих скважинах, что требует принятия мер по её умягчению перед употреблением.

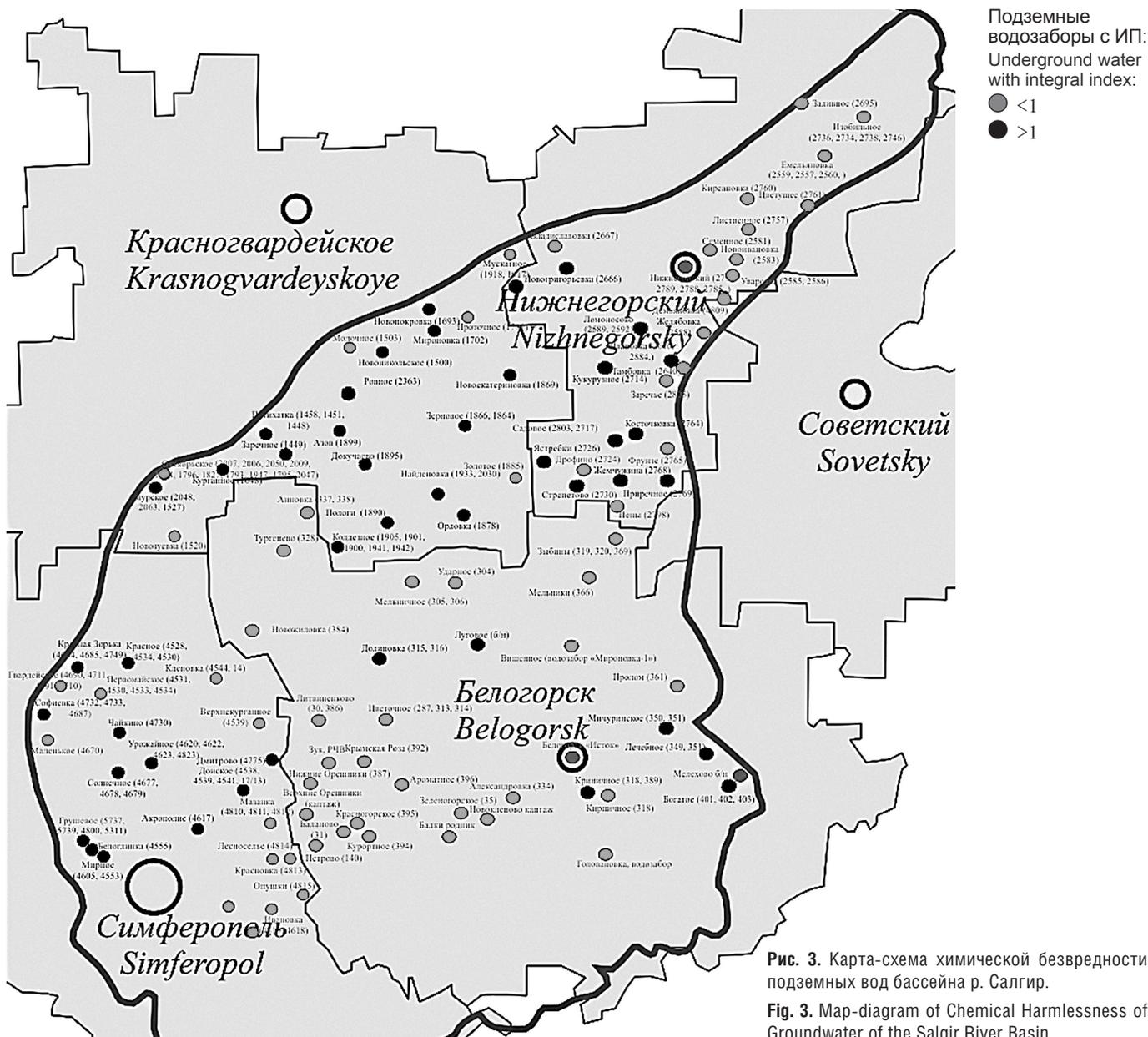
В работе российских учёных [22] также установлена связь употребления питьевой воды повышенной жёсткости с интенсивностью развития кариеса зубов у детского населения.

Результаты исследований, проведённых датскими специалистами [11], показали, что повышенная концентрация нитратов в питьевой воде может приводить к риску развития рака молочной железы у детей. Нашими исследованиями установлено, что в 37 скважинах (20,8% от общего числа) основным загрязняющим веществом являлись нитраты.

Таблица 3 / Table 3

**Значения интегрального показателя (ИП) химической безвредности подземных вод, извлекаемых в бассейне р. Салгир**  
**Values of the integral indicator (II) of chemical harmlessness of groundwater extracted in the Salgir river basin**

Расположение водозабора Water intake location	Сельское поселение Rural settlement		Численность населения, использующего воду из скважин Size of population using water from wells	Количество скважин, всего/с ИП > 1 Number of wells, total/ II > 1	Величина ИП / II value	
					средняя average	максимальная maximum
Симферопольский район Simferopol district	Мирновское	Mirnovskoye	11 369	7/6	1.56	2.632
	Молодёжненское	Molodezhnenskoye	1015	2/2	3.46	5.468
	Гвардейское	Gvardovskoye	20393	11/7	2.48	3.365
	Первомайское	Pervomaiskoye	4241	5/3	2.57	4.329
	Урожайновское	Urozhainovskoye	3350	4/4	1.37	1.587
	Донское	Donskoe	3823	8/4	2.58	4.415
	Мазанское	Mazanskoye	3738	6/3	1.79	3.060
	Трудовское	Trudovskoye	1364	3/1	2.34	2.34
Итого по району / Total on the district			49 293	46/30	–	–
Нижнегорский район Nizhnegorsky district	Дрофинское	Drofinskoye	1517	3/2	1.14	1.150
	Желябовское	Zhelyabovskoye	3146	3/2	1.09	1.121
	Жемчужненское	Zhemchuzhenskoye	1746	3/2	1.09	1.090
	Новогригорьевское	Novogrigoryevskoye	1819	2/1	1.146	1.146
	Садовое	Sadovoe	2915	3/3	2.21	2.520
	Косточковское	Kostochkovskoye	1490	2/1	2.279	2.279
	Ивановское	Ivanovskoye	1833	4/–	0.718	0.85
	Лиственское	Listvenskoye	1112	3/–	0.395	0.77
	Уваровское	Uvarovskoye	2352	5/–	0.506	0.77
	Нижнегорский	Nizhnegorsky	8468	4/–	0.245	0.36
	Изобильненское	Izobilnenskoye	952	4/–	0.088	0.13
	Емельяновское	Emelyanovskoye	1363	1/–	0.05	0.05
	Митрофановское	Mitrofanovskoye	2082	3/–	0.05	0.05
	Чкаловское	Chkalovskoye	114	2/–	0.23	0.25
Итого по району / Total on the district			30 909	42/11	–	–
Белогорский район Belogorsky district	Богатовское	Bogatovskoye	1047	4/2	1.57	1.654
	Криичненское	Krinichnenskoye	898	2/1	1.133	1.133
	Мичуринское	Michurinsk	1290	3/3	1.300	1.452
	Русаковское	Rusakovskoye	203	1/1	9.978	9.978
	Зуйское	Zuyskoye	2597	4/–	0.273	0.36
	Зеленогорское	Zelenogorskoye	3990	4/–	0.403	0.66
	Земляничненское	Zemlyanichnenskoye	1000	2/–	0.205	0.21
	Цветочненское	Tsvetochnenskoye	3361	5/–	0.458	0.67
	Зыбинское	Zybinskoye	1505	4/–	0.548	0.87
	Новожиловское	Novozhilovskoye	2289	5/–	0.282	0.60
	Муромское	Muromskoye	524	2/–	0.31	0.40
	Васильевское	Vasilyevskoye	177	1/–	0.19	0.19
	Курское	Kurskoye	1426	2/–	0.20	0.20
	Белогорск	Belogorsk	16 354	1/–	0.22	0.22
	Вишенское	Vishenskoye	245	1/–	0.20	0.20
	Мельничное	Melnichnoe	1036	3/–	0.487	0.53
	Ароматновское	Aromatnovskoye	3056	3/–	0.3	0.45
Итого по району / Total on the district			40 998	47/7	–	–
Красногвардейский район Krasnogvardeisky district	Амурское	Amurskoye	3139	4/1	1.967	1.967
	Зерновское	Zernovskoye	1232	3/3	1.87	1.935
	Колодезянское	Kolodezyanskoye	1561	7/6	1.93	1.973
	Найдёновское	Naydenovskoye	1404	4/1	1.510	1.510
	Новопокровское	Novopokrovskoye	2934	5/4	1.91	1.943
	Полтавское	Poltavskoye	34	1/1	1.697	1.697
	Пятихатское	Pyatikhatskoye	2640	5/5	1.92	1.990
	Ровновское	Rovnovskoye	2640	3/2	1.71	1.795
		Октябрьское	Oktyabrskoye	10 459	9/–	0.176
Итого по району / Total on the district			26 043	41/23	–	–
Советский район / Sovetsky district	Чернозёмненское	Chernozemnskoye	917	2/–	0.28	0.47
Итого по району / Total on the district			917	2/–	–	–
Итого по бассейну / Total river basin			148 160	178/71	–	–



**Рис. 3.** Карта-схема химической безвредности подземных вод бассейна р. Салгир.  
**Fig. 3.** Map-diagram of Chemical Harmlessness of Groundwater of the Salgir River Basin.

Сильное нитратное загрязнение подземных вод зафиксировано в Симферопольском и Нижнегорском районах.

Исследования американских учёных [12] выявили связь загрязнения подземных питьевых вод нитратами с развитием у населения рака щитовидной железы.

В сельскохозяйственных районах высокое содержание нитратов в водной среде является результатом использования азотных удобрений, которые при поливе или вследствие естественных осадков просачиваются в водоносные горизонты, загрязняя их [12, 27].

Полученные данные могут быть использованы для планирования и разработки мероприятий по защите здоровья населения, употребляющего воду изученных скважин, от неблагоприятных факторов: ольфакторно-рефлекторных (запах, жёсткость, минерализация) и неканцерогенных (нитраты).

Для улучшения жизни и здоровья людей, использующих воду, качество которой не соответствует установленным нормативам, необходимо разработать программу модернизации (создания) систем водоподготовки. Для улучшения качества воды возможно применение установок по очистке

на основе технологии обратного осмоса (снижает минерализацию, жёсткость, запах и содержание нитратов) с последующим доведением качества воды до нормативных требований с помощью солевых минеральных комплексов.

Для населения основными рекомендациями являются установка домашних мини-очистителей различных конструкций, обязательное кипячение воды и её отстаивание.

Систематизация полученных данных выявила, что организации, отвечающие за водообеспечение населения и эксплуатацию водозаборов, ведут мониторинг по разным перечням химических показателей, что является недопустимым, поскольку не соответствует нормативным требованиям и не позволяет выявить весь спектр загрязнителей, содержащихся в воде.

Одно из основных **ограничений** проведённого исследования — отсутствие оценки канцерогенного риска, поскольку организации, отвечающие за подачу воды населению, не проводят весь спектр химических анализов, необходимых для расчёта. Такие вещества, как мышьяк, кадмий, свинец и другие компоненты, обладающие кумулятивным, токсическим действием и являющиеся канцерогенами,

не определяются. Другое ограничение исследования связано с тем, что не все населённые пункты, расположенные в бассейне р. Салгир, были включены в работу из-за отсутствия данных о качественном составе используемых в них подземных вод.

## Заключение

Отклонения по интегральному показателю химической безвредности выявлены на 71 из 178 изученных водозаборов, что составляет 40% от общего числа. Численность населения, использующего воду, не соответствующую нормативным показателям качества, составляет около 60 тыс. человек.

В наибольшей степени обеспечены качественной водой жители Белогорского района, за исключением около 3,9 тыс. человек, использующих воду с повышенной жёсткостью (от 7 до 12 единиц) и значением ИП 1,133–9,978.

Всего выявлено 30 скважин (17% от общего количества) с повышенной жёсткостью воды. В 14 сёлах (22 скважины, или 12,4% от общего количества) выявлены отклонения, связанные с запахом воды. Более 26,1 тыс. человек употребляют воду с повышенной жёсткостью и около 10,5 тыс. — с превышением нормативов качества по запаху.

Анализ неканцерогенного риска показал возможность развития хронической интоксикации организма у населения в 21 селе Симферопольского и Нижнегорского районов. Всего выявлено 37 скважин (20,8% от общего числа), в водах которых основным загрязняющим веществом являлись нитраты. В Нижнегорском районе более 4,4 тыс. человек употребляют воду, загрязнённую нитратами, в Симферопольском — около 34 тыс.

Для снижения особо опасного нитратного загрязнения подземных вод необходимо канализование сёл, а также сокращение использования химических удобрений в сельском хозяйстве в пользу биологической защиты растений.

## Литература

(п.п. 2–12, см. References)

- Иванютин Н.М. Влияние антропогенной деятельности на подземные воды Крыма. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2016; (3): 25–31.
- Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Бакиров А.Б., Гимранова Г.Г., Даукаева Р.А., Аллаярлова Г.Р. и др. Эколого-гигиеническая оценка риска здоровью населения нефтеперерабатывающих территорий, связанного с употреблением питьевых вод. *Медицина труда и экология человека*. 2016; (2): 25–32.
- Артемьева А.А. Социально-экономические исследования. Оценка риска развития неканцерогенных эффектов для здоровья населения, связанного с загрязнением подземных вод в районах нефтедобычи. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2015; 25(1): 122–33.
- Кенесариев У.И., Досмухаметов А.Т., Амрин М.К., Ержанова А.Е., Баймухамедов А.А. Интегральная оценка риска здоровью при использовании питьевой воды, производимой опреснительным заводом «Каспий». *Анализ риска здоровью*. 2013; (1): 58–64.
- Трифонов Т.А., Ширкин Л.А. Оценка и сравнительный анализ риска для здоровья населения (на примере г. Владимир). Владимир: Рост; 2010.
- Богданова В.Д., Кичу П.Ф., Кислицына Л.В. Гигиеническая оценка риска развития подземных источников централизованных систем водоснабжения острова Русский. *Анализ риска здоровью*. 2020; (2): 28–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.2.03>
- Кичу П.Ф., Кислицына Л.В., Богданова В.Д., Сабирова К.М. Оценка риска санитарно-химических показателей воды для населения Хасанского района Приморского края. *Экология человека*. 2018; (6): 12–7. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-6-12-17>
- Тунакова Ю.А., Файзуллин Р.И., Валиев В.С., Галимова А.Р. Оценка риска здоровью детского населения при потреблении водопроводной воды с учетом ее вторичного загрязнения. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(8): 72–6.
- Кузьмина Е.А., Кузнецов Е.О., Кузнецов В.Н., Брусничина Л.А. Оценка канцерогенного риска здоровью, связанного с качеством питьевой воды, на примере крупного промышленного центра. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2015; (2): 62–4.
- Иванов С.В., Федорова Э.Л., Темиров Э.Э. Влияние качества воды на здоровье населения. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017; (3–2): 186–9.
- Михайлова Т.В., Михайлов В.В. Анализ влияния физико-химических свойств питьевой воды разных районов Крыма на заболеваемость кариесом зубов у детей. *Приоритетные научные направления: от теории к практике*. 2015; (18): 27–32.
- Хмара А.Я., Хлебников А.Н., Иванова В.Д. *Минеральные ресурсы Крыма и прилегающей акватории Черного и Азовского морей. Атлас*. Симферополь: Таврия-Плюс; 2011.
- Иванютин Н.М. Возможность использования слабоминерализованных поверхностных и подземных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения в Крыму. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2017; (2): 106–11.
- Иванютин Н.М., Подвалова С.В., Волкова Н.Е. Изучение пространственно-временной трансформации качественного состава вод реки Салгир. *Экология и промышленность России*. 2020; 24(3): 65–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-3-65-71>
- Волкова Н.Е., Захаров Р.Ю. Управление водохозяйственной деятельностью на малых водоаккумулирующих сооружениях в Республике Крым. *Вода и экология: Проблемы и решения*. 2019; (2): 68–81. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.2.68-81>
- Крайнов С.П., Закутин В.П. *Загрязнение подземных вод в сельскохозяйственных регионах*. М.: Геоинформмарк; 1993.

## References

- Ivanyutin N.M. Impact of anthropogenic activity on the groundwater of Crimea. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*. 2016; (3): 25–31. (in Russian)
- Adeyeye O.A., Xiao C., Zhang Z., Yawe A.S., Liang X. Groundwater fluoride chemistry and health risk assessment of multi-aquifers in Jilin Qianan, Northeastern China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021; 211: 111926. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111926>
- Adimalla N., Qian H., Nandan M.J. Groundwater chemistry integrating the pollution index of groundwater and evaluation of potential human health risk: A case study from hard rock terrain of south India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2020; 206: 111217. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111217>
- Wegahita N.K., Ma L., Liu J., Huang T., Luo Q., Qian J. Spatial assessment of groundwater quality and health risk of nitrogen pollution for shallow groundwater aquifer around Fuyang city, China. *Water (Switzerland)*. 2020; 12(12): 3341. <https://doi.org/10.3390/w12123341>
- Rashid A., Ayub M., Javed A., Khan S., Gao X., Li C., et al. Potentially harmful metals, and health risk evaluation in groundwater of Mardan, Pakistan: Application of geostatistical approach and geographic information system. *Geosci. Front.* 2021; 12(3): 101128. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.12.009>
- Adeyemi A.A., Ojekunle Z.O. Concentrations and health risk assessment of industrial heavy metals pollution in groundwater in Ogun state, Nigeria. *Sci. African*. 2021; 11: e00666.
- Saha N., Rahman M.S. Groundwater hydrogeochemistry and probabilistic health risk assessment through exposure to arsenic-contaminated groundwater of Meghna floodplain, central-east Bangladesh. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2020; 206: 111349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111349>
- Shamsudduha M., Joseph G., Haque S.S., Khan M.R., Zahid A., Ahmed K.M.U. Multi-hazard Groundwater Risks to Water Supply from Shallow Depths: Challenges to Achieving the Sustainable Development Goals in Bangladesh. *Expos. Health*. 2020; 12(4): 657–70.
- Yin S., Xiao Y., Han P., Men B., Huang L. Investigation of groundwater contamination and health implications in a typical semiarid basin of North China. *Water (Switzerland)*. 2020; 12(4): 1137.
- Rapant S., Cvečková V., Fajčíková K., Hajdúček I., Hiller E., Stehlíková B. Hard water, more elastic arteries: a case study from Krupina District, Slovakia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019; 16(9): 1521. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091521>
- Stayner L.T., Schullehner J., Semark B.D., Jensen A.S., Trabjerg B.B., Pedersen M., et al. Exposure to nitrate from drinking water and the risk of childhood cancer in Denmark. *Environ. Int.* 2021; 155: 106613. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106613>
- Tariqi A.Q., Naughton C.C. Water, health, and environmental justice in California: geospatial analysis of nitrate contamination and thyroid cancer. *Environ. Eng. Sci.* 2021; 38(5): 377–88. <https://doi.org/10.1089/ees.2020.0315>
- Valeev T.K., Suleymanov R.A., Bakirov A.B., Gimranova G.G., Daukaeva R.A., Allayarova G.R., et al. Ecological-hygienic assessment of human carcinogenic health risk of technogenic territories in the Republic of Bashkortostan. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2016; (2): 25–32. (in Russian)

14. Artemeva A.A. Socio-economic research. Assessment of the risk of non-carcinogenic effects on public health associated with groundwater pollution in oil production areas. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*. 2015; 25(1): 122–33. (in Russian)
15. Kenesariyev U.I., Dosmukhametov A.T., Amrin M.K., Erzhanova A.E., Baymukhamedov A.A. Assessment of integrated health risk while using drinking water produced by desalination plant “Caspian”. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (1): 58–64. (in Russian)
16. Trifonova T.A., Shirkin L.A. *Assessment and Comparative Analysis of Public Health Risks (Using the Example of Vladimir) [Otsenka i sravnitel'nyy analiz riskov dlya zdorov'ya naseleniya (na primere g. Vladimir)]*. Vladimir: Rost; 2010. (in Russian)
17. Bogdanova V.D., Kiku P.F., Kislitsyna L.V. Hygienic assessment of drinking water from underground water sources taken from centralized water supply systems on island Russkiy. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (2): 28–37. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.2.03> (in Russian)
18. Kiku P.F., Kislitsyna L.V., Bogdanova V.D., Sabirova K.M. Risk assessment sanitary-chemical indicators of water for the population of the Khasan District in Primorsky krai. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (6): 12–7. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-6-12-17> (in Russian)
19. Tunakova Yu.A., Fayzullin R.I., Valiev V.S., Galimova A.R. Health risk assessment of the child population in the consumption of tap water its secondary pollution. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(8): 72–6. (in Russian)
20. Kuzmina E.A., Kuznetsov E.O., Kuznetsov V.N., Brusnitsina L.A. Assessment of the carcinogenic risk to health associated with the drinking water quality in the context of large industrial center. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*. 2015; (2): 62–4. (in Russian)
21. Ivanov S.V., Fedorova E.L., Temirov E.E. Influence of water quality on population health. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2017; (3–2): 186–9. (in Russian)
22. Mikhaylova T.V., Mikhaylov V.V. Analysis of the effect of physical and chemical properties of drinking water in different regions of Crimea on the incidence of dental caries in children. *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike*. 2015; (18): 27–32. (in Russian)
23. Khmara A.Ya., Khlebnikov A.N., Ivanova V.D. *Mineral Resources of Crimea and the Adjacent Waters of the Black and Azov Seas. Atlas [Mineral'nye resursy Kryma i prilegayushchey akvatorii Chernogo i Azovskogo morey. Atlas]*. Simferopol': Tavriya-Plyus; 2011. (in Russian)
24. Ivanyutin N.M. Possibility of using weakly mineralized surface and groundwater for the purposes of drinking water supply and irrigation in Crimea. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2017; (2): 106–11. (in Russian)
25. Ivanyutin N.M., Podovalova S.V., Volkova N.E. Research of spatial-temporal transformation of the qualitative composition of the river Salgir waters. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2020; 24(3): 65–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-3-65-71> (in Russian)
26. Volkova N.E., Zakharov R.Yu. Water management in small water-accumulating facilities in the Republic of Crimea. *Voda i ekologiya: Problemy i resheniya*. 2019; (2): 68–81. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.2.68-81> (in Russian)
27. Kraynov S.P., Zakutin V.P. *Groundwater Pollution in Agricultural Regions [Zagryaznenie podzemnykh vod v sel'skokhozyaystvennykh regionakh]*. Moscow: Geoinformmark; 1993. (in Russian)