

УДК 504.75:628.5(476)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПО ЖЕЛЕЗУ ОБЩЕМУ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОДОЗАБОРОВ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

¹Макаров Д.В., ¹Валеева Э.Р., ²Вострова Р.Н., ¹Кантор Е.А.¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,

Уфа, e-mail: dmitrij.makarov-1990@yandex.ru;

²УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, e-mail: vostrova@tut.by

Применены статистические методы анализа временных рядов и построения контрольных карт Шухарта ($\bar{X}$ - и R-карт) для мониторинга показателя железо общее в подземных водах двух инфильтрационных водозаборов (среднесенноманско-маастрихтского карбонатного и туронско-маастрихтского водоносных горизонтов) региона Беларуси. Установлено, что концентрация железа общего в скважинах водозаборов имеет тенденцию к увеличению за счет вымывания пород и минералов моренного и флювиогляциального комплекса ледниковых отложений, однако скорость прироста значений за последние восемь лет снизилась. Вероятно, это связано со стабилизацией работы грунтовых вод в результате долгосрочной эксплуатации водозаборов. Так же отмечена высокая эффективность процесса обезжелезивания (92–94%). Превышения ПДК для питьевой воды носят нерегулярный характер и не должны приводить к существенному увеличению рисков для здоровья. Результаты сезонной декомпозиции подземных и питьевых вод свидетельствуют о том, что значения случайной компоненты после процесса водоподготовки увеличиваются, а тренд-циклической – уменьшаются; сезонная компонента вносит незначительный вклад в формирование концентрации железа общего. Превалирование случайной компоненты, скорее всего обусловлено нестабильностью процессов обезжелезивания. Построением контрольных карт Шухарта ($\bar{X}$ - и R-карт) установлено, что количество скважин, железо общее в которых находится в статистически управляемом и статистически неуправляемом состоянии, изменяется, что, вероятно, связано с изменением интенсивности эксплуатации скважин. В целом использование методов математической статистики (в частности, построения контрольных карт $\bar{X}$ - и R-карт Шухарта) оказалось высокоинформативным для оценки эффективности подземных вод, по показателю железо общее.

Ключевые слова: подземные воды, железо общее, контрольные карты Шухарта, инфильтрационный водозабор, эффективность очистки

EVALUATION OF EFFICIENCY OF PURIFICATION ON THE IRON OF GENERAL UNDERGROUND WATER OF INFILTRAL WATER RESERVOIRS OF THE SOUTH-EAST OF BELARUS

¹Makarov D.V., ¹Valeeva E.R., ²Vostrova R.N., ¹Kantor E.A.¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: dmitrij.makarov-1990@yandex.ru;²Belarusian State University of Transport, Gomel, e-mail: vostrova@tut.by

Statistical methods for analyzing time series and constructing Shewhart control charts ($\bar{X}$ - and R maps) for monitoring iron total in underground waters of two infiltrational water intakes (middle-mesenean-maastrichtian carbonate and turonian-maastricht aquifers) of the region of Belarus are used. It has been established that the concentration of iron in the water wells common in wells tends to increase due to the washing out of rocks and minerals of the moraine and fluvio-glacial complex of glacial deposits, however, the rate of increase in values over the last eight years has decreased. This is probably due to the stabilization of groundwater operation as a result of long-term operation of water intakes. Also, the high efficiency of the deironing process was noted (92-94%). Excess of MPC for drinking water is irregular and should not lead to a significant increase in health risks. The results of the seasonal decomposition of groundwater and drinking water indicate that the values of the random component, after the water treatment process, increase, and the trend-cyclic decreases; the seasonal component makes an insignificant contribution to the formation of total iron concentration. The prevalence of the random component is most likely due to the instability of deironing processes. The construction of Shewhart's control charts ($\bar{X}$ - and R-charts) established that the number of iron wells in general is in a statistically controllable and statistically uncontrolled state that is likely to be associated with a change in the intensity of well operation. In general, the use of methods of mathematical statistics (in particular, the construction of control charts $\bar{X}$ - and R-cards of Shewhart) turned out to be highly informative for assessing the effectiveness of groundwater, iron is a common indicator.

Keywords: underground waters, general iron, control cards Shewhart, infiltration water intake, cleaning efficiency

Республика Беларусь обладает значительными запасами подземных вод, однако примерно на 70% скважинах отмечается превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) для питьевой воды по показателю железо общее, которое составляет 0,3 мг/дм³ [1]. Особенно актуальна эта

проблема для территории Полесья, где превышение наблюдается на 90% скважин [2].

Железо – это важнейший элемент, принимающий участие в кроветворении, дыхании, окислительно-восстановительных реакциях и иммунобиологических процессах. Чрезвычайно важная роль в организме

человека определяется тем, что железо входит в состав крови и более чем сотни ферментов [3, 4]. Ежедневная норма потребления железа составляет около 20–25 мг [5]. Однако избыток этого элемента негативно сказывается на здоровье человека и может стать причиной нарушения функции печени, зуда, шелушения и сухости кожи, болезней кровеностной системы, диабета, атеросклероза [6–8].

Железо общее – показатель качества воды, характеризующий суммарное содержание железа во всех его формах. Железо является самым распространенным из всех d-элементов в земной коре (четвертое место среди всех элементов), распространено во многих породах и встречается почти во всех типах почв, поверхностных и подземных водах [9]. В больших количествах присутствует в различных глинах, в осадочных породах встречается только в виде незначительных примесей. Известно около 300 минералов, содержащих этот металл.

Цель исследования: анализ изменения содержания железа общего в исходной и питьевой воде и оценка эффективности очистки исходной воды по этому показателю на инфильтрационных водозаборах (ИБ1, ИБ2) юго-восточной части Республики Беларусь.

Материалы и методы исследования

Исходными данными послужили ежеквартально определяемые концентрации железа общего в воде 52-х скважин до и после процесса водоподготовки, за периоды времени с 2001 по 2016 гг. и с 2004 по 2016 гг., для ИБ1 и ИБ2 соответственно [10].

Скважины на ИБ1 обеспечиваются водой преимущественно из среднесеноманско-маастрихтского карбонатного водоносного горизонта, а на ИБ2 – туронско-маастрихтского водоносного горизонта. В настоящее время на ИБ1 эксплуатируются 40 скважин, на ИБ2 – 12.

Нами сформированы временные ряды концентрации железа общего в воде из скважин до процесса водоподготовки на ИБ1 и ИБ2. Определены уравнения линейных трендов.

Эффективность очистки по железу общему определена по формуле

$$\Theta = \frac{C_{\text{исх.}} - C_{\text{пит.}}}{C_{\text{исх.}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх.}}$ – концентрация железа общего в исходной воде, мг/дм³,

$C_{\text{пит.}}$ – концентрация железа общего в питьевой воде, мг/дм³.

С целью обеспечения требуемого качества воды [8], на ИБ1 и ИБ2 предусмотрено обезжелезивание методом упрощенной аэрации на скорых фильтрах с загрузкой из кварцевого песка. Контролю подлежит качество воды на входе на скорые фильтры и в резервуарах чистой воды.

С целью определения вклада детерминированной и случайной компоненты временных рядов концентраций по железу общему в исходной и питьевой воде на ИБ1 и ИБ2, проведена сезонная декомпозиция. Декомпозиция выполнялась по аддитивной математической модели

$$F = T + S + E, \quad (2)$$

где T – тренд-циклическая компонента, S – сезонная компонента, E – случайная компонента.

Для оценки изменения концентрации железа на скважинах ИБ1 и ИБ2 были построены $\bar{X}$ и R-карты Шухарта. Для оценки тенденции изменения содержания железа временные ряды разбивались на три временных интервала (для ИБ1: 2001–2005, 2006–2010, 2010–2016 гг.; для ИБ2: 2004–2008, 2008–2012, 2012–2016 гг.). Построение контрольных карт (КК) проводилось в программе Statistica 10.0. Для построения $\bar{X}$ карт собирались однородные выборки с определенным количеством измерений. В качестве выборок были рассмотрены концентрации железа общего для скважин ИБ1 с 2001 по 2016 гг. (по 20 значений), а для скважин ИБ2 с 2004 по 2016 гг. (по 16 значений). Для каждой выборки определялись выборочные средние $\bar{X}$, которые наносились на карту. В последующем на карту наносились контрольные границы, на расстоянии три среднеквадратических отклонения выборочных средних значений генеральной совокупности σ . Для построения R-карты по каждой выборке вычислялись размах, равный разности максимального и минимального значения выборки. Результаты вычислений наносились на карту, определенными для нее контрольными границами. Непопадание точек в контрольные границы, свидетельствовало о том, что процесс находился в статистически неуправляемом состоянии.

Формулы определения контрольных пределов карт Шухарта представлены ниже. Верхний контрольный предел для $\bar{X}$ -карты:

$$B_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad (3)$$

где $\bar{\bar{X}}$ – среднее значение для всех выборок,

A_2 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Нижний контрольный предел для $\bar{X}$ -карты:

$$H_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad (4)$$

где $\bar{\bar{X}}$ – среднее значение для всех выборок, A_2 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Верхний контрольный предел для R-карты:

$$B_r = D_4 \cdot \bar{R}, \quad (5)$$

где D_4 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Нижний контрольный предел для R-карты:

$$H_r = D_3 \cdot \bar{R}, \quad (6)$$

где D_3 – коэффициент для вычисления контрольных границ (табл. 2) [11].

Результаты исследования и их обсуждение

За весь период наблюдения на ИВ 1 значения концентрации железа общего находятся в пределах от 3,1 до 18 ПДК (ПДК составляет 0,3 мг/дм³ [12] (рис. 1)). В воде из 70 % скважин среднее значение содержания железа общего за весь период наблюдения составляет менее 3 мг/дм³. Превышение ПДК с 2001 по 2016 гг. зафиксировано на 29 скважинах. Большинство показаний находятся в интервале от 1 мг/дм³ до 7 мг/дм³; 41 раз зафиксирована концентрация больше 6 мг/дм³, а 13 раз – больше 8 мг/дм³. Для оценки тенденции в изменении содержания железа общего в скважинной воде временной ряд разбит на 2 временных интервала: с 2001 г. по 2008 г. и с 2009 г. по 2016 г. Судя по изменению линии тренда, среднее значение концентрации по железу общему за первый и второй временной период в исходной воде увеличилось на 0,5 и 0,1 мг/дм³ соответственно.

Концентрация железа общего в исходной воде на ИВ 2 находится в пределах 9÷13 ПДК (ПДК составляет 0,3 мг/дм³ [12]) (рис. 1). Превышение ПДК наблюдается на всех скважинах. Наиболее часто концентрация железа общего находится в интервале 0,5÷5,5 мг/дм³; 18 раз концентрация превысила 5,5 мг/дм³, а 6 раз – 7 мг/дм³. Для оценки тенденции в изменении содержания данного показателя, временной ряд разбит на 2 интервала: 2004–2008 гг. и 2008–2016 гг. Судя по изменению линии тренда, среднее значение концентрации железа за первый временной интервал увеличилось на 0,9 мг/дм³,

а на втором временном интервале уменьшилось на 0,6 мг/дм³.

Таким образом, на первых временных интервалах (2001–2008 гг. для ИВ 1 и 2004–2008 гг. для ИВ 2) отмечается рост содержания железа общего, в то время как на вторых временных интервалах (2009–2016 гг. для ИВ 1 и 2009–2016 гг. для ИВ 2) концентрация железа общего изменяется незначительно. Вероятно, долгосрочная эксплуатация ИВ 1 и ИВ 2 привела к некоторой стабилизации скорости прироста концентрации железа общего в скважинной воде. То есть несмотря на то, что концентрация данного соединения в подземной воде остается на достаточно высоком уровне, дальнейшего значимого его увеличения не ожидается. В целом среднее значение концентрации железа на ИВ 2 на 29 % меньше, чем на ИВ 1 (2,5 мг/дм³ для ИВ 2 и 3,2 мг/дм³ для ИВ 1).

Среднее многолетнее значение содержания железа общего в воде до и после обезжелезивания на ИВ 1 на первом временном интервале составляет 2,8 мг/дм³ и 0,1 мг/дм³, на втором временном интервале – 3 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³ соответственно (рис. 2). Эффективность очистки с 2001 г. по 2008 г. составляет 81,2–100 % и в среднем – 94,0 %, с 2009 по 2016 г. составляет 78,5–97 % и в среднем – 92,8 %. Превышение ПДК по железу в питьевой воде ИВ 1 с 2001 по 2016 гг. отмечено 4 раза (один раз в 2011 г., три раза в 2014 г.).

Среднее многолетнее значение содержания железа общего в воде до и после обезжелезивания на ИВ 2 на первом временном интервале составляет 2,7 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³, на втором временном интервале – 3,5 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³ соответственно (рис. 2). Эффективность очистки с 2004 г. по 2008 г. составляет 75,9–97,2 % и в среднем – 92,6 %, с 2009 по 2016 г. составляет 90,1–97,1 % и в среднем – 93,6 %. Превышение ПДК за исследуемый период отмечается 2 раза (по одному разу в 2004 и 2013 гг.).

Таким образом, на ИВ 1 на первом временном интервале (2001–2008 гг.) по сравнению со вторым временным интервалом (2008–2016 гг.) наблюдается снижение средней эффективности на 1,2 %, а на ИВ 2 на втором временном интервале (2009–2016 гг.) по сравнению с первым временным интервалом (2004–2008 гг.) наблюдается увеличение средней эффективности на 1 %.

Для выявления вкладов тренд-циклической, сезонной и случайной компоненты в значения ряда содержания железа общего в исходной и питьевой воде на ИВ 1 и ИВ 2 проведена сезонная декомпозиция.

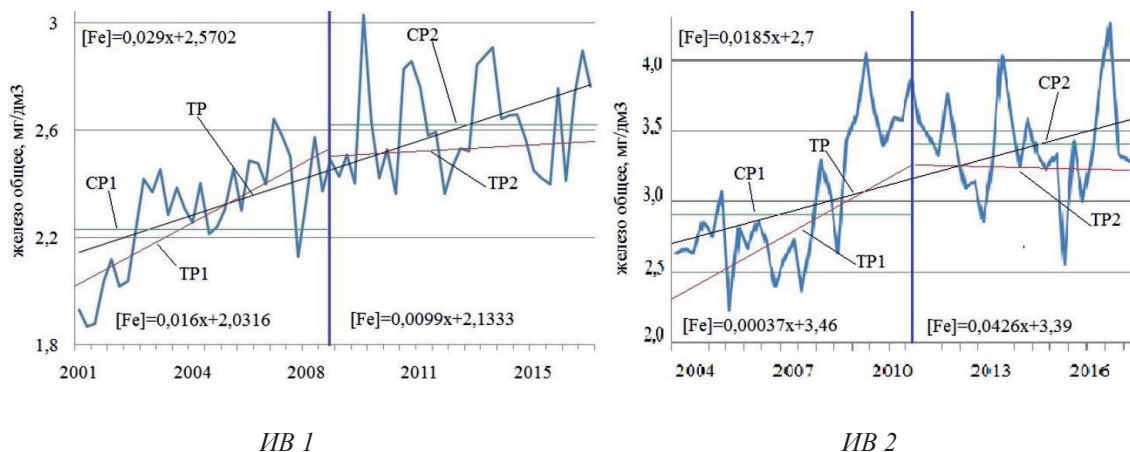


Рис. 1. Изменения содержания железа общего в воде до процесса обезжелезивания на ИВ 1 в 2001–2016 гг. и на ИВ 2 в 2004–2016 гг. Примечания: $[Fe]$ – концентрация железа общего, мг/дм³, x – номер измерения. CP1, CP2 – среднее значение содержания железа общего за первый, второй временной интервал соответственно, TP, TP1, TP2 – линии трендов всего временного ряда, первого и второго временного интервала

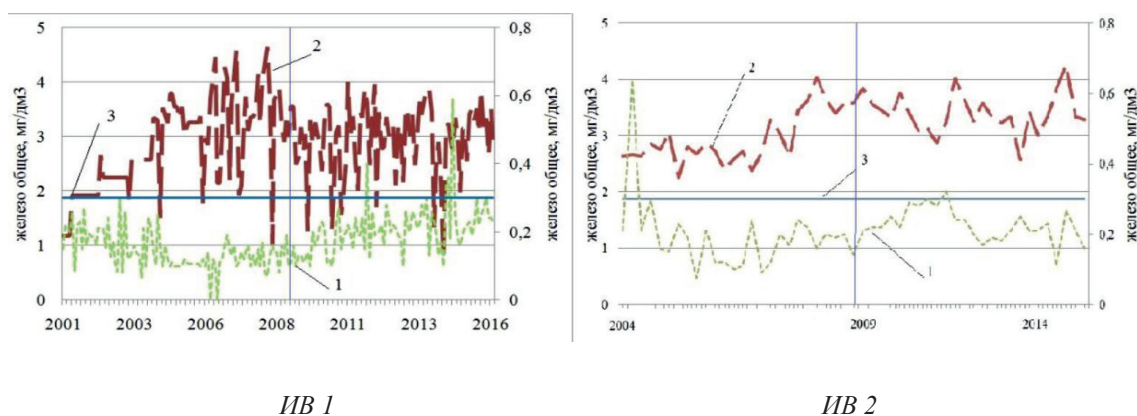


Рис. 2. Изменение концентрации железа общего на ИВ 1 в 2001–2016 гг. и на ИВ 2 в 2004–2016 гг. Примечания: 1 – изменение концентрации железа в питьевой воде ИВ 1, 2 – в исходной воде, 3 – величина ПДК [1]

Значение вклада компонент в изменение показаний по железу общему на ИВ 1 и ИВ 2

Железо общее	ИВ 1			ИВ 2		
	Вклад компоненты, %					
	Тенденция	Сезонная	Случайная	Тенденция	Сезонная	Случайная
В исходной воде	51,96	0,93	47,11	43,29	2,93	53,78
В питьевой воде	25,74	1,25	73,02	0,33	6,50	93,18

Значения случайной компоненты после процесса водоподготовки увеличиваются, а тренд-циклической уменьшаются; сезонная компонента вносит незначительный вклад в формирование концентрации железа общего (таблица). Фактор случайности вносит наибольший вклад в формирование

концентрации железа общего в очищенной воде, что, возможно, связано с нестабильностью процесса обезжелезивания.

С целью оценки изменения содержания железа общего в воде из скважин ИВ 1 и ИВ 2 были построены и проанализированы $\bar{X}$ и R-карты Шухарта (рис. 3). Пример

построения $\bar{X}$ и R-карты Шухарта на содержание железа общего в скважинах ИВ 1 за 2001–2006 гг. представлен на рис. 4.

В результате анализа изменения $\bar{X}$ и R-карт Шухарта выявлено отсутствие тенденций в разбросе концентрации железа общего в скважинной воде ИВ 1 (рис. 3). На 7 скважинах (№ 138, 139, 142, 147, 153, 154, 162) содержание по железу общему в течение всего периода наблюдения находится в статистически управляемом состоянии, на одной скважине (№ 166) – в статистически неуправляемом. На ИВ 2 наблюдается рост числа скважин, концентрация железа общего в воде которых находится в статистически управляемом состоянии (рис. 3). На 3 скважинах (№ 2, 5, 10) величина данного показателя в исходной воде находится в статистически управляемом состоянии. Учитывая тенденцию к увеличению концентрации железа общего в воде из скважин

на ИВ 2 и количества скважин находящихся в статистически управляемом состоянии, можно предположить увеличение вымывания пород и минералов моренного и флювиогляциального комплекса ледниковых отложений [12]. В целом количество скважин, концентрация железа общего в воде из которых находится в статистически управляемом и статистически неуправляемом состоянии, изменяется, что может быть связано с изменением интенсивности эксплуатации (дебита) скважин.

Выводы

1. Использование методов математической статистики, в частности метода анализа временных рядов и карт Шухарта, оказалось высокоинформативным для оценки эффективности очистки подземных вод по показателю железа общего на инфильтрационных водозаборах.

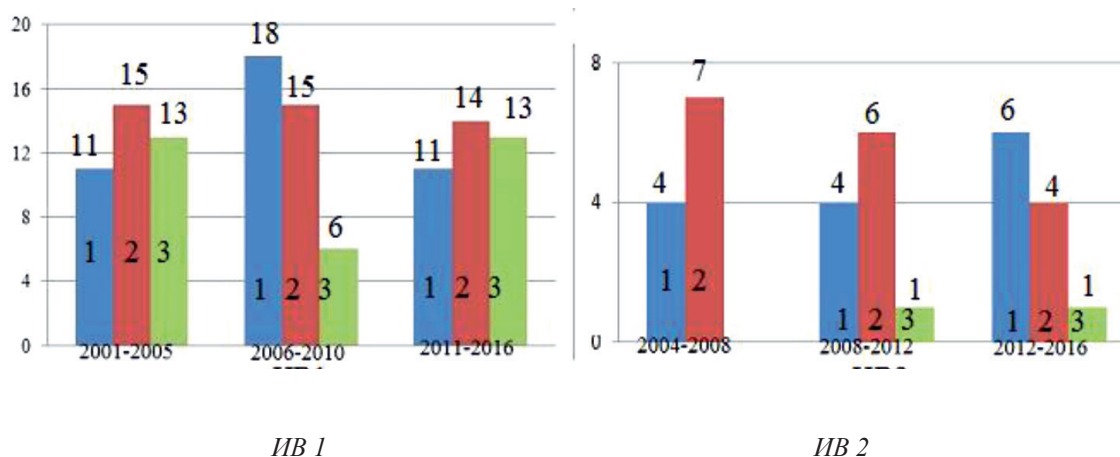


Рис. 3. Количество скважин, в воде которых концентрация железа общего находится в статистически управляемом и неуправляемом состоянии в различные периоды.

Примечания: 1 – в статистически управляемом состоянии, 2 – в статистически неуправляемом и в статистически неуправляемом, 3 – в статистически неуправляемом

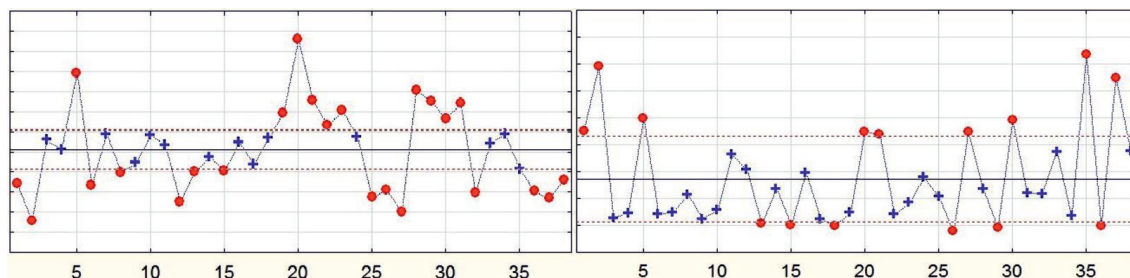


Рис. 4. Контрольные карты Шухарта ($\bar{X}$ - R карты) на содержание железа общего в скважинах ИВ 1 за 2001–2006 гг.

2. Выявлено, что, несмотря на то, что концентрация данного соединения в подземной воде обоих водозаборов достаточно высокая и имеет некоторую тенденцию к увеличению за счет вымывания подземных пород, скорость прироста значений концентраций при этом за последние восемь лет снизилась. Последнее обусловлено стабилизацией работы грунтов при долгосрочной эксплуатации рассматриваемых в работе водозаборов. Полученные выводы подтверждаются увеличением числа скважин, находящихся в статистически управляемом состоянии.

3. При декомпозиции временного ряда содержания железа общего в питьевой воде обоих водозаборов выявлено превалирование вклада случайной составляющей, что скорее всего обусловлено нестабильностью процесса обезжелезивания. Однако при этом эффективность очистки питьевой воды остается достаточно высокой на уровне 92–94% и превышения ПДК для питьевой воды носят эпизодический характер, что согласно [13] не должно приводить к существенному увеличению рисков для здоровья населения.

Список литературы

1. СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Минск: Минздрав РБ, 1999. – 48 с.
2. Карпук В.В. Состояние подземных вод и система мониторинга в Республике Беларусь // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: тезисы докл. межд. конф. (Минск, 12–13 окт. 2010 г.) – Минск, 2008. – С. 36.
3. Пудовкин Н.А. Обмен железа в организме поросят и пути его коррекции / Н.А. Пудовкин, Т.В. Гарипов, П.В. Смутнев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 49–53.
4. Клинская Е.О. Железо в источниках питьевых вод Еврейской автономной области как возможный фактор риска повышенной заболеваемости населения / Е.О. Клинская, А.А. Пьяников, Д.Г. Бондарева // Региональные проблемы. – 2009. – № 11. – С. 59–62.
5. Цветаева Н.В. Основы регуляции обмена железа / Н.В. Цветаева, А.А. Левина, Ю.И. Мамукова // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 278–283.
6. Семенова К.В. Ферросодержащие соединения в организме человека и их свойства / К.В. Семенова, А.В. Бердников // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: познание. – 2013. – Т. 17, № 2. – С. 13–16.
7. Прищик С.А. Влияние качества питьевой воды на здоровье человека // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: тезисы докл. Межд. конф. (Минск, 12–13 окт. 2010 г.) – Минск, 2008. – С. 216.
8. Григорьев Ю.И. Оценка риска загрязнения питьевой воды для здоровья детей Тульской области / Ю.И. Григорьев, Н.В. Ляпина // Гигиена и санитария. – № 3. – С. 36–38.
9. Галимова А.Р. Поступление, содержание и воздействие высоких концентраций металлов в питьевой воде на организм / А.Р. Галимова, Ю.А. Тунакова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 20. – С. 165–169.
10. СТБ 1188-99 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – Минск: Госстандарт, 2000. – 19 с.
11. ГОСТ Р 50779.42-99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 31 с.
12. Постановление об утверждении Санитарных норм и правил «Санитарно-эпидемиологические требования к охране подземных водных объектов, используемых в питьевом водоснабжении от загрязнений». – Минск: Госстандарт, 2015. – 16 с.
13. Кудельский А.В. Пресные подземные воды как основной источник питьевого водоснабжения в Республике Беларусь: ресурсы, качество, проблемы водопользования // Материалы 4-го Международного водного форума «Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем». – 2010. – С. 25.

References

1. SanPiN 10-124 RB 99 Pitevaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannyh sistem pitevogo vodospazbhenija. Kontrol kachestva. Minsk: Minzdrav RB, 1999. 48 p.
2. Karpuk V.V. Sostojanie podzemnyh vod i sistema monitoringa v Respublike Belarus // Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v reshenii vodno-jekologicheskikh problem: tezisy dokl. mezhd. konf. (Minsk, 12–13 okt. 2010g.) Minsk, 2008. pp. 36.
3. Pudovkin N.A. Obmen zheleza v organizme porosjat i puti ego korrekcii / N.A. Pudovkin, T.V. Garipov, P.V. Smutnev // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. no. 2. pp. 49–53.
4. Klinskaja E.O. Zhelezo v istochnikah pitevyh vod Evrejskoj avtonomnoj oblasti kak vozmozhnyj faktor riska povyshennoj zabolevaemosti naselenija / E.O. Klinskaja, A.A. Pjanikov, D.G. Bondareva // Regionalnye problemy. 2009. no. 11. pp. 59–62.
5. Cvetaeva N.V. Osnovy reguljacji obmena zheleza / N.V. Cvetaeva, A.A. Levina, Ju.I. Mamukova // Klinicheskaja onkogematologija. Fundamentalnye issledovaniya i klinicheskaja praktika. 2010. T. 3, no. 3. pp. 278–283.
6. Semenova K.V. Ferrosoderzhashhie soedineniya v organizme cheloveka i ih svojstva / K.V. Semenova, A.V. Berdnikov // Sovremennaja nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: poznanie. 2013. T. 17, no. 2. pp. 13–16.
7. Prishhik S.A. Vlijanie kachestva pitevoj vody na zdorove cheloveka // Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v reshenii vodno-jekologicheskikh problem: tezisy dokl. Mezhd. konf. (Minsk, 12–13 okt. 2010g.) Minsk, 2008. pp. 216.
8. Grigorev Ju.I. Ocenka riska zagraznenija pitevoj vody dlja zdorovja detej Tulskej oblasti / Ju.I. Grigorev, N.V. Ljapina // Gigiena i sanitarija. no. 3. pp. 36–38.
9. Galimova A.R. Postuplenie, sodержanie i vozdejstvie vysokih koncentracij metallov v pitevoj vode na organizm / A.R. Galimova, Ju.A. Tunakova // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2013. T. 16, no. 20. pp. 165–169.
10. STB 1188-99 Voda pitevaja. Obshhie trebovanija k organizacii i metodam kontrolja kachestva. Minsk: Gosstandart, 2000. 19 p.
11. GOST R 50779.42-99 Statisticheskie metody. Kontrolnye karty Shuharta. M.: Izd-vo standartov, 2004. 31 p.
12. Postanovlenie ob utverzhdenii Sanitarnyh norm i pravil «Sanitarно-jepidemiologicheskie trebovanija k ohrane podzemnyh vodnyh obektov, ispolzuemyh v pitevom vodospazbhenii ot zagraznenij». Minsk: Gosstandart, 2015. 16 p.
13. Kudelskij A.V. Presnye podzemnye vody kak osnovnoj istochnik pitevogo vodospazbhenija v Respublike Belarus: resursy, kachestvo, problemy vodopolzovaniya // Materialy 4-go Mezhdunarodnogo vodnogo foruma «Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo v reshenii vodno-jekologicheskikh problem». 2010. pp. 25.