

Оригинальная статья / Original article
УДК 504.75: 628.5
DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-53-60

Мониторинг и оценка качества скважинных вод инфильтрационных водозаборов юго-востока Беларуси

Дмитрий В. Макаров, Евгений А. Кантор, Наталья А. Красулина , Зульфия З. Бережнова, Юлия Н. Савичева

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Контактное лицо

Наталья А. Красулина, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; 450062 Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов 6/1. Тел. +73472431956
Email fizkultura-ugntu@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5537-921X>

Формат цитирования

Макаров Д.В., Кантор Е.А., Красулина Н.А., Бережнова З.З., Савичева Ю.Н. Мониторинг и оценка качества скважинных вод инфильтрационных водозаборов юго-востока Беларуси // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N3. С.53-60. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-53-60

Получена 6 февраля 2019 г.
Прошла рецензирование 14 марта 2019 г.
Принята 25 марта 2019 г.

Резюме

Цель. Сравнение качества воды по 19 показателям: запаху при 20°C, запаху при 60°C, привкусу, цветности, мутности, железу общему, окисляемости перманганатной, сухому остатку, жесткости общей, нефтепродуктам, ПАВ, фенольному индексу, нитратам (NO_3^-), хлоридам (Cl^-), фторидам (F^-), сульфатам (SO_4^{2-}), цинку (Zn^{2+}), меди (Cu , суммарно), водородному показателю pH двух инфильтрационных водозаборов (ИВ) юго-восточного региона Республики Беларусь. Выявление и анализ линейных трендов, определение тенденций к динамике значений показателей.

Материал и методы. В качестве исходных данных использованы результаты ежеквартальных измерений значений показателей скважинных вод инфильтрационных водозаборов.


Результаты. Сравнением относительных концентраций среднесезонных значений исследуемых показателей качества для двух водозаборов выявлено, что приоритетными являются запах при 20°C, запах при 60°C, привкус, цветность, мутность, железо общее. Сравнением относительных концентраций по железу общему выявлено, что концентрация железа общего в скважинах ИВ 1 намного выше, чем в скважинах ИВ 2, что, вероятно, связано с присутствием пород и минералов моренного и флювиогляциального комплекса ледниковых отложений. По остальным показателям значения находятся, ориентировочно, на одном уровне.

Заключение. Построением матриц парной корреляции и географической близости по каждому из приоритетных показателей определены группы скважин, качество воды на которых взаимосвязано, которые в последующем были объединены в одну.

Ключевые слова

подземные воды, показатели качества воды, экологический мониторинг, коэффициент корреляции, железо общее.

Monitoring and assessment of well quality of water infiltration intakes in water reservoirs in the south-east of Belarus

Dmitriy V. Makarov, Evgeniy A. Kantor, Natalya A. Krasulina , Zulfiya Z. Berezhnova and Yuliya S. Savicheva
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Principal contact

Natalya A. Krasulina, Ufa State Petroleum Technological University; 6/1 Kosmonavtov St, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia 450062.

Tel. +73472431956

E-mail fizkultura-ugntu@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5537-921X>

How to cite this article

Makarov D.V., Kantor E.A., Krasulina N.A., Berezhnova Z.Z., Savicheva Yu.S. Monitoring and assessment of well quality of water infiltration intakes in water reservoirs in the south-east of Belarus. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 3, pp. 53-60. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-3-53-60

Received 6 February 2019

Revised 14 March 2019

Accepted 25 March 2019

Abstract

Aim. Comparison of water quality according to 19 indicators: odour at 20°C, odour at 60°C, taste, colour, turbidity, total iron, permanganate oxidation, dry residue, total hardness, oil products, surfactants, phenolic index, nitrates (NO_3^-), chlorides (Cl^-), fluorides (F^-), sulphates (SO_4^{2-}), zinc (Zn^{2+}), copper (Cu, total), pH value of two infiltration water intakes in the south-eastern region of the Republic of Belarus. Identification and analysis of linear trends, and determination of trends in the dynamics of indicator values.

Material and Methods. As initial data we used the results of quarterly measurements of the values of borehole water indicators of the infiltration water intakes.

Results. By comparing the relative concentrations of the mean annual values of the studied quality indicators for two water intakes, it was revealed that the priority indicators are odour at 20°C, odour at 60°C, taste, chromaticity, turbidity, and iron. By comparing the relative concentrations of total iron, it was found that the concentration in the wells of WI 1 is much higher than in the wells of WI 2, probably due to the presence of rocks and minerals from moraine and fluvio-glacial complexes of glacial deposits. For other indicators the values were approximately on the same level.

Conclusion. By constructing matrices of pair correlation and geographic proximity for each of the priority indicators, well groups were identified whose water quality is interrelated and which were subsequently aggregated as a single group.

Key Words

groundwater, water quality indicators, environmental monitoring, correlation coefficient, total iron.

ВВЕДЕНИЕ

Качество питьевой воды – один из важнейших факторов определяющих здоровье населения. Около 60% заболеваний вызваны употреблением воды не соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям [1].

Республика Беларусь обладает достаточными ресурсами возобновляемых пресных подземных вод для удовлетворения потребностей населения. Однако, основная проблема их использования связана с качеством воды. Около 70% скважин используемых для питьевого водоснабжения на территории Республики Беларусь, характеризуются повышенным содержанием железа общего. Наиболее ощутима эта проблема на территории Полесья, где доля таких скважин превышает 90% [2].

Формирование качества подземных вод происходит под влиянием следующих факторов [3-8]: выщелачивание горных пород и почв, концентрирование солей в подземных водах вследствие испарения, выпадение солей из природных растворов в результате изменения термодинамических условий, диффузия и микробиологические процессы, смешение вод различного происхождения.

Антропогенные факторы, помимо природных, являются причиной неудовлетворительного качества подземной воды [9-11]. Так, интенсивная хозяйственная деятельность на территории Республики Беларусь уже привела к серьезной деградации ее водного фонда [1; 2]. Почти повсеместно наблюдается тенденция ухудшения качества поверхностных и грунтовых вод, учащаются случаи техногенного загрязнения глубоких водоносных горизонтов.

Постоянный мониторинг подземных вод, используемых для водоснабжения, может позволить оперативно реагировать на возможные антропогенные изменения среды и снизить риски, связанные с использованием подземных вод [12].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются воды инфильтрационных водозаборов (ИБ 1 и ИБ 2) юго-восточной части Республики Беларусь. Измерение показателей на ИБ 1 проводилось ежеквартально с 2001 по 2016 гг., а на ИБ 2 с 2004 по 2016 гг.

Поскольку отбор вод на ИБ 1 производится с среднесеноманско-маастрихтского карбонатного горизонта, а на ИБ 2 с турон-маастрихтского отложений верхнего мела, целесообразно сравнить качество подземных вод.

На первом этапе проведен анализ качества скважинных вод ИБ 1 и ИБ 2 по запаху при 20°C, запаху при 60°C, привкусу, цветности, мутности, железу общему, окисляемости перманганатной, сухому остатку, жесткости общей, нефтепродуктам, ПАВ, фенольному индексу, нитратам (NO_3^-), хлоридам (Cl^-), фторидам (F^-), сульфатам (SO_4^{2-}), цинку (Zn^{2+}), меди (Cu^{2+}), водородному показателю pH. Определены и проанализированы уравнения линейных трендов и выявлены тенденции к снижению и увеличению значений показателей.

Для выявления приоритетных показателей проведено сравнение относительных концентраций среднесреднегодных значений исследуемых показателей.

Запах при 20°C, запах при 60°C, привкус, цветность, мутность, железо общее принимались в качестве приоритетных показателей, поскольку, по расчетам по ним отмечаются наибольшие значения относительных концентраций среднесреднегодных значений.

Для выявления групп скважин, концентрации по приоритетным показателям в которых взаимосвязаны, построены карты для каждого из показателей, которые в последующем были объединены в одну. Построение схем проводилось исходя из матриц парных корреляций и географического расположения.

Определение коэффициентов парной корреляции проводилось по формуле (1) [13]:

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ji} - C_j)(C_{ki} - C_k)}{(n-1)\sigma_j\sigma_k} \quad (1)$$

где: C_{ji} – содержание железа в j -й скважине, C_{ki} – содержание железа в k -й скважине, C_j – среднее арифметическое значение содержания железа в j -й скважине, C_k – среднее арифметическое значение содержания железа в k -й скважине, n – объем выборки, $n=64$, σ_j – среднее квадратичное отклонение одиночного наблюдения для j -й скважины, σ_k – среднее квадратичное отклонение одиночного наблюдения для k -й скважины.

Оценка достоверности коэффициентов корреляции проводилась исходя из стандартной ошибки коэффициентов корреляции [14]:

$$\sigma_r = \frac{(1-r^2)}{\sqrt{n-1}} \quad (2)$$

Для визуальной оценки возможности наличия связи между значениями по железу общему в скважинах ИБ, перед корреляционно-регрессионным анализом были построены диаграммы рассеяния [15]. Построение матриц парных корреляций производилось в Statistica 10.0.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам мониторинга за 2001~2016 гг. на ИБ 1 и за 2004~2016 гг. на ИБ 2, выявлено, что по запаху при 20°C, привкусу, мутности, фторидам (F^-), меди (Cu^{2+}), нефтепродуктам, фенольному индексу наблюдается тенденция к уменьшению значений показателей, а по запаху (при 60°C), сухому остатку, хлоридам (Cl^-), сульфатам (SO_4^{2-}), жесткости общей, железу общему – к увеличению значений показателей (табл. 1). По водородному показателю, окисляемости перманганатной, ПАВ тенденция в изменении показателей не наблюдается. По цветности отмечается тенденция к увеличению показаний на ИБ 1, а на ИБ 2 – к уменьшению. По цинку (Zn^{2+}) тенденция к снижению концентрации наблюдается на ИБ 1, а на ИБ 2 – к увеличению. По нитратам отмечается отсутствие тенденции к изменению показаний на ИБ 1, а на ИБ 2 – тенденция к уменьшению.

В отдельные промежутки времени наблюдается превышение ПДК на ИБ 1 и ИБ 2 по запаху при 20°C, запаху при 60°C, привкусу, цветности, мутности, железу общему.

В качестве приоритетных показателей качества выбраны запах при 20°C, запах при 60°C, привкус, цвет-

ность, мутность, железо общее, поскольку значения относительных концентраций по ним наибольшее, как на ИВ 1, так и на ИВ 2 (табл. 2). Известно, что около 70% подземных вод Республики Беларусь характеризуются повышенным содержанием железа [2], по которому и наблюдается наибольшее значение относительной

концентрации на обоих водозаборах.

В целом, на ИВ 1 и ИВ 2 относительные концентрации по приоритетным показателям схожи по значениям (табл. 3).

Таблица 1. Уравнения трендов показателей качества исходной воды на ИВ 1 и ИВ 2

Table 1. Equations of trends of initial water quality indicators for WI 1 and WI 2

Показатель качества Quality Indices	ИВ 1 / WI 1		ИВ 2 / WI 2	
	<i>k</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>b</i>
Запах при 20°C, баллы / Odour (at 20°C), points	-0,004	2	-0,006	2
Запах при 60°C, баллы / Odour (at 60°C), points	0,01	2	0,01	2
Привкус, баллы / Taste, points	0,0004	2	-0,0038	2
Цветность, градусы / Chromaticity, degrees	0,03	23	-0,07	23
Мутность, мг/дм ³ / Turbidity, mg/dm ³	-0,05	4,09	-0,06	4,58
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³ / Permanganate oxidization, mg/dm ³	-0,001	2,24	-0,0003	2,12
Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residue, mg/dm ³	0,73	278,1	1,82	408,7
Жесткость общая, моль/дм ³ / Total hardness, mol/dm ³	0,005	4,29	0,021	5,58
Нефтепродукты, мг/дм ³ / Oil products, mg/dm ³	-7E-05	0,023	-0,0001	0,022
ПАВ, мг/дм ³ / Surfactants, mg/dm ³	-1E-05	0,019	9E-05	0,021
Фенольный индекс, мг/дм ³ / Phenolic index, mg/dm ³	-1E-05	0,003	-7E-05	0,005
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/дм ³ / Nitrates (NO ₃ ⁻), mg/dm ³	0,0062	0,229	-0,0047	0,402
Железо общее, мг/дм ³ / Total iron, mg/dm ³	0,0099	2,14	0,0171	2,73
Хлориды, мг/дм ³ / Chlorides (Cl ⁻), mg/dm ³	0,0479	6,67	0,2955	32,13
Фториды, мг/дм ³ / Fluorides (F ⁻), mg/dm ³	-0,001	0,28	-0,0035	0,38
Сульфаты, мг/дм ³ / Sulphates (SO ₄ ²⁻), mg/dm ³	0,1165	17,14	0,5086	26,29
Цинк, мг/дм ³ / Zinc (Zn ²⁺), mg/dm ³	-0,0003	0,023	-0,0002	0,007
Медь, мг/дм ³ / Copper (Cu, total), mg/dm ³	-0,0002	0,014	-0,0002	0,011
Водородный показатель, ед. pH / Hydrogen ion concentration, pH	-0,0007	4,4	0,0002	7,4

Примечание: уравнения трендов описываются уравнениями типа $y=kx+b$

Note: the equations of trends are described as equations of the type $y=kx+b$

Таблица 2. Относительные концентрации показателей качества исходной воды на ИВ 1 и ИВ 2

Table 2. Relative concentrations of initial water quality indicators for WI 1 and WI 2

Показатель качества Quality indices	Среднее многолетнее значение		ПДК MPC	Относительная концентрация	
	Average multi-year value			Relative concentration	
	ИВ 1 / WI 1	ИВ 2 / WI 2		ИВ 1 / WI 1	ИВ 2 / WI 2
Запах при 20°C, баллы / Odour (at 20°C), points	2,05	1,77	2	1,02	0,89
Запах при 60°C, баллы / Odour (at 60°C), points	2,32	1,77	2	1,16	0,89
Привкус, баллы / Taste, points	2,06	1,77	2	1,03	0,89
Цветность, градусы / Chromaticity, degrees	22,78	20,97	20	1,14	1,05
Мутность, мг/дм ³ / Turbidity, mg/dm ³	2,47	3,40	1,5	1,65	2,27
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³ / Permanganate oxidation, mg/dm ³	2,21	1,82	5	0,44	0,36
Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residue, mg/dm ³	301,78	373,86	100 0	0,30	0,37
Жесткость общая моль/дм ³ / Total hardness, mol/dm ³	4,46	4,41	7	0,64	0,63
Нефтепродукты, мг/дм ³ / Oil products, mg/dm ³	0,02	0,03	0,1	0,19	0,26
ПАВ, мг/дм ³ / Surfactants, mg/dm ³	0,018	0,03	0,5	0,04	0,06

Фенольный индекс, мг/дм ³ Phenolic index, mg/dm ³	0,0017	0	0,25	0,01	0,01
Нитраты (NO ₃ ⁻), мг/дм ³ / Nitrates (NO ₃ ⁻), mg/dm ³	0,281	0,01	45	0,01	0,00
Железо общее, мг/дм ³ / Total iron, mg/dm ³	2,457	2,23	0,3	8,46	10,60
Хлориды (Cl ⁻), мг/дм ³ / Chlorides (Cl ⁻), mg/dm ³	8,23	18,11	350	0,02	0,05
Фториды (F ⁻), мг/дм ³ / Fluorides (F ⁻), mg/dm ³	0,251	0,30	1,5	0,17	0,20
Сульфаты (SO ₄ ²⁻), мг/дм ³ Sulphates (SO ₄ ²⁻), mg/dm ³	20,93	21,88	500	0,04	0,04
Цинк (Zn ²⁺), мг/дм ³ / Zinc (Zn ²⁺), mg/dm ³	0,014	0,04	5	0,00	0,01
Медь (Cu ²⁺), мг/дм ³ / Copper (Cu, total), mg/dm ³	0,008	0,04	1	0,01	0,04

Таблица 3. Относительные концентрации приоритетных показателей качества скважинных вод на ИВ 1 и ИВ 2
Table 3. Relative concentrations of priority initial water quality indicators for WI 1 and WI 2

Показатель качества Quality indices	Относительная концентрация Relative concentration			
	ИВ 1 / WI 1		ИВ 2 / WI 2	
	max	min	max	min
Запах при 20°C / Odour (at 20°C)	1,20	0,73	1,14	0,79
Запах при 60°C / Odour (at 60°C)	1,31	0,74	1,34	0,98
Привкус / Taste	1,19	0,73	1,19	0,82
Цветность / Chromaticity	1,55	0,84	1,40	0,73
Мутность / Turbidity	2,87	0,57	4,17	0,57
Железо общее / Total iron	16,54	4,00	16,14	3,27

Для выявления групп скважин ИВ 1 и ИВ 2, значения по приоритетным показателям в которых взаимосвязано, построены схемы взаимосвязи скважин по каждому из показателей (рис. 1). В последующем, происходило объединение схем в одну (рис. 2) по результатам корреляционно-регрессионного анализа для скважин по каждому из показателей и географической близости. Анализ матрицы парных корреляции концентрации по железу общему скважин ИВ 1 (табл. 4) свидетельствует

о том, что положительные корреляции отмечаются гораздо чаще, чем отрицательные (525 к 4). Наибольшее количество коэффициентов корреляции находилось в интервале 0,3-0,5 (умеренная связь по шкале Чеддока [5]). Высокая и весьма высокая связь (0,7-0,9 и 0,9-1, соответственно) отсутствует. Вероятно, это связано с тем, что на формирование качества скважинных вод влияет множество факторов. Стандартная ошибка коэффициентов корреляции в среднем составила 16%.

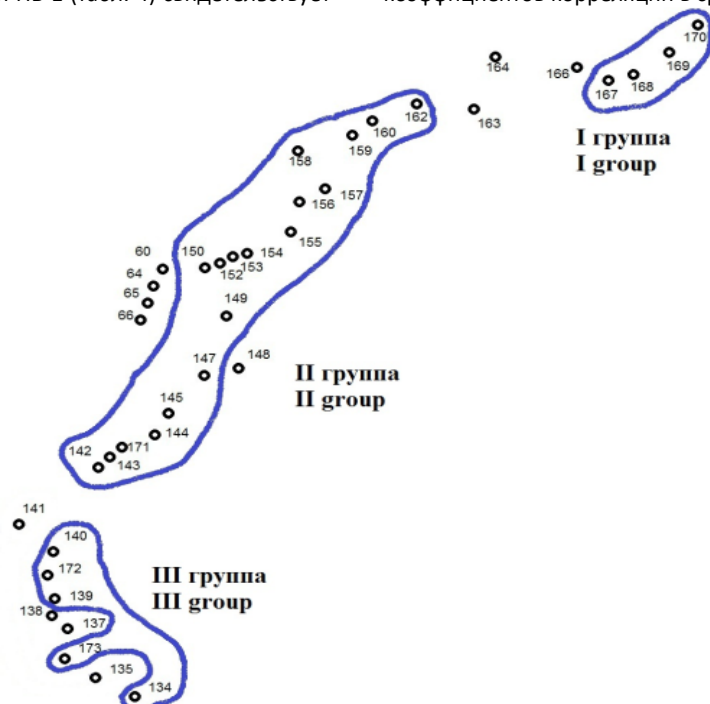


Рисунок 1. Группы скважин ИВ 1 взаимосвязанных по содержанию железа общего
Figure 1. Groups of wells of WI 1 interrelated by concentration of total iron

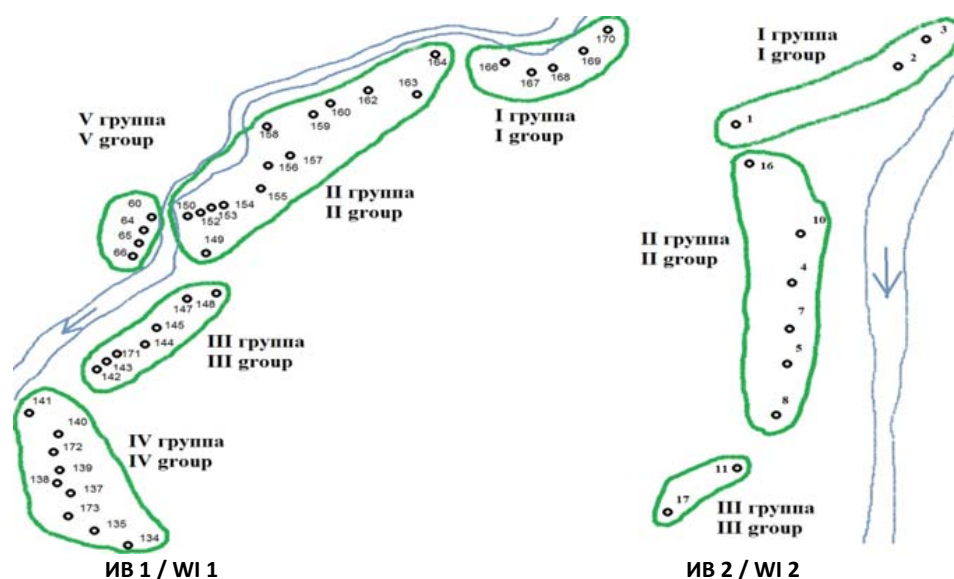


Рисунок 2. Группы скважин взаимосвязанных по приоритетным показателям

Figure 2. Groups of wells interconnected by priority indicators

Таблица 4. Фрагмент матрицы парных корреляций концентрации по железу общему скважин ИБ 1

Table 4. Fragment of matrix of pair correlation by total iron of wells of WI 1

№	Стд. Откл Standard deviation	Стд. Откл Standard deviation	$r(X,Y)$	r^2	t	p
134-156	-0,71	-0,31	-0,39	-0,41	-0,25	-0,4
134-157	-0,71	-0,24	-0,42	-0,44	-0,29	-0,44
134-158	-0,71	-0,29	-0,39	-0,41	-0,26	-0,4
134-159	-0,71	-0,34	-0,34	-0,37	-0,06	-0,39
134-160	-0,71	-0,34	-0,33	-0,36	-0,04	-0,38

Примечание: в таблице представлена следующая информация: стандартное отклонение, значение коэффициента корреляции r , значение коэффициента детерминации r^2 , t – критерий, p – уровень значимости.

Note: the table provides the following information: standard deviation, value of the correlation coefficient r , coefficient of determination r^2 , t – criterion, p – significance level.

Группы скважин ИБ 1, в которых прослеживается связь концентрации по железу общему, представлены на рисунке 2. В первой группе коэффициент корреляции для большинства связей находился в интервале $0,32 \div 0,52$, однако для связей между скважинами 169-168 и 169-170 составил 0,17 и 0,24, соответственно. Во второй группе большинство связей характеризуются коэффициентом корреляции находящимся в интервале $0,32 \div 0,69$. Из 153 коэффициентов корреляции скважин второй группы 67 раз отмечена слабая связь, 59 раз – умеренная, 27 раз – заметная. В третьей группе по 5 раз отмечена умеренная и заметная связи; коэффициент корреляции находился в интервале $0,35 \div 0,62$ и в среднем составил 0,48. По результатам корреляционного анализа на скважинах 135, 137, 66 прослеживается отрицательная связь практически со всеми скважинами, что может свидетельствовать об отличающихся от большинства скважин условий формирования показателя железо общее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки результатов изменения показателей качества подземных вод на ИБ 1 и ИБ 2 установлено, что по запаху при 20°C, привкусу, мутности, фто-

ридам (F), меди (Cu^{2+}), нефтепродуктам, фенольному индексу наблюдается тенденция к уменьшению значений показателей, а по запаху при 60°C, сухому остатку, хлоридам (Cl^-), сульфатам (SO_4^{2-}), жесткости общей, железу общему – к увеличению значений показателей. Тенденция в изменении показателей не отмечается по водородному показателю, окисляемости перманганатной, ПАВ. По цветности выявлена незначительная тенденция к увеличению показаний на ИБ 1, а на ИБ 2 – к уменьшению. По цинку (Zn^{2+}), отмечается тенденция к уменьшению показаний на ИБ 1, а на ИБ 2 – к увеличению. По нитратам (NO_3^-), отмечается отсутствие тенденции в изменении показаний на ИБ 1, а на ИБ 2 – тенденция к уменьшению.

В результате сравнения среднесезонных значений по показателям качества подземных вод установлено, что приоритетными показателями как для ИБ 1, так и для ИБ 2 являются: железо общее, запах при 20°C, запах при 60°C, мутность, привкус, цветность.

В результате расчетов матриц парных корреляций и выявления скважин, взаимосвязанных по каждому из приоритетных показателей, определены группы скважин, качество воды на которых взаимосвязано.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Благодарность: Издание осуществлено в рамках научно-исследовательской работы № 5.12863.2018/8.9 «Разработка системы идентификации и количественного анализа экологических рисков, возникающих при водоснабжении крупной городской агломерации».

ACKNOWLEDGMENT

The publication was carried out as part of the scientific research work No. 5.12863.2018/8.9 "Development of a System for the Identification and Quantitative Analysis of Environmental Risks Arising from the Water Supply of a Large Urban Agglomeration".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Музыкин В.П., Калинин М.Ю., Гамезо А.М., Судоргина З.В., Валькович А.А. Оценка экологического состояния подземных вод на территории г. Минска и в пределах его перспективной границы // Материалы 3-го Международного водного форума «Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем». Минск: Издательство: РУП «Минсктиппроект», 2008. 163 с.
- Карпук В.В. Состояние подземных вод и система мониторинга в Республике Беларусь // Материалы 3-го Международного водного форума «Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем». Минск: Издательство: РУП «Минсктиппроект», 2008. 36 с.
- Гусева Н.В., Отакулова Ю.А. Геохимия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна (Республики Узбекистан) // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 1. С. 127-136.
- Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979. 254 с.
- Смирнова А.Я., Новикова Н.Н. Экологическая оценка подземных вод в связи с водоснабжением поселка Верхний Мамон Воронежской области // Вестник Воронежского университета. Геология. 2004. № 2. С. 172-177.
- Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1987. 248 с.
- Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
- Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.
- Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2004. 496 с.
- Онищенко Г.Г. Санитарно-эпидемиологическая безопасность питьевого водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1999. № 4. 2 с.
- Вивенцова Е.А. Проблемы централизованного водоснабжения Санкт-Петербурга, связанные с использованием подземных вод // Евразийский союз ученых. 2015. Т. 14. № 5-7. С. 139.
- Скорнякова В.А., Эдельштейн К.К. Оценка ресурсов и качества поверхностных вод. М.: Изд-во МГУ, 1989. 197 с.
- Шмойлова Р.А. Общая теория статистики: Учебник. М.: Финансы и Статистика, 2002. 480 с.

14. Щеголева С.А. Корреляционный анализ в статистическом контроле качества: методические указания. URL: <https://docplayer.ru/36640891-Korrelyacionnyy-analiz-v-statisticheskom-kontrole-kachestva.html> (дата обращения 19.01.2019)

15. Якушев А.А., Горбатов С.А., Габдрахманова Н.Т. Многомерные статистические методы и нейросетевые модели в экономическом анализе. Уфа: Издательский центр «Башкирский территориальный институт профессиональных бухгалтеров», 2001. 266 с.

REFERENCES

- Muzykin V.P., Kalinin M.Yu., Gamezo A.M., Sudorgina Z.V., Val'kovich A.A. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya podzemnykh vod na territorii g. Minska i v predelakh yego perspektivnoy granitsy [Assessment of the ecological status of groundwater in the territory of Minsk and within its prospective boundary]. *Materialy 3-go Mezhdunarodnogo vodnogo foruma «Mezhdunarodnoye sotrudnichestvo v reshenii vodno-ekologicheskikh problem»*, Minsk, 5-6 oktyabrya 2008 [Materials of the 3rd International Water Forum "International cooperation in solving water and environmental problems", Minsk 5-6 October 2008]. Minsk, 2008, 163 p. (In Russian)
- Karpuk V.V. Sostoyaniye podzemnykh vod i sistema monitoringa v Respublike Belarus' [Groundwater status and monitoring system in the Republic of Belarus]. *Materialy 3-go Mezhdunarodnogo vodnogo foruma «Mezhdunarodnoye sotrudnichestvo v reshenii vodno-ekologicheskikh problem»*, Minsk, 5-6 oktyabrya 2008 [Materials of the 3rd International Water Forum "International cooperation in solving water and environmental problems", Minsk 5-6 October 2008]. Minsk, 2008, 36 p. (In Russian)
- Guseva N.V., Otakulova Yu.A. Geochemistry of underground waters of the Pritashkent artesian basin (Republic of Uzbekistan). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk Polytechnic University]. 2014, vol. 325, no. 1, pp. 127-136. (In Russian)
- Bochever F.M., Lapshin N.N., Oradovskaya A.E. *Zashchita podzemnykh vod ot zagryazneniya* [Protection of groundwater from pollution]. Moscow, Nedra Publ., 1979, 254 p. (In Russian)
- Smirnova A.Ya. Novikova N.N. Ecological estimation of underground waters for watersupply of Verhny Mamon, Voronezh oblast. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya* [Proceedings of Voronezh University. Geology]. 2004, no. 2, pp. 172-177. (In Russian)
- Goldberg V.M. *Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy* [The relationship of groundwater pollution and the environment]. Moscow, Gidrometsoizdat Publ., 1987. 248 p. (In Russian)
- Gol'dberg V.M., Gazda S. *Gidrogeologicheskiye osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya* [Hydrogeological basis for protection of groundwater from pollution]. Moscow, Nedra Publ., 1984, 262 p. (In Russian)
- Zektser I.S. *Podzemnyye vody kak komponent okruzhayushchey sredy* [Underground waters as a component of the environment]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2001, 328 p. (In Russian)
- Zhurba M.G., Sokolov L.I., Govorova Zh.M. *Vodosnabzheniye. Proyektirovaniye sistem i sooruzheniy* [Water supply. Designing systems and facilities]. Moscow, ASV Publ., 2004. 496 p. (In Russian)

10. Onishchenko G.G. Sanitary and epidemiological safety of drinking water supply. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 1999, no. 4, 2 p. (In Russian)
11. Vivencova E.A. Problems of centralized water supply in St. Petersburg, associated with the use of groundwater. *Evrasiiskii soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists]. 2015, vol. 14, no. 5-7, 139 p. (In Russian)
12. Skorniyakova V.A., Edel'shtejna K.K. *Otsenka resursov i kachestva poverkhnostnykh vod* [Resource and surface water quality assessment]. Moscow, MSU Publ., 1989, 197 p. (In Russian)
13. Shmoilova R.A. *Obshchaya teoriya statistiki* [General Theory of Statistics]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2002, 480 p. (In Russian)
14. Schegoleva S.A. *Korrelyatsionnyi analiz v statisticheskoy kontrolye kachestva: metodicheskie ukazaniya* [Correlation analysis in statistical quality control: methodological guidelines]. Available at: <https://docplayer.ru/36640891-Korrelyatsionnyy-analiz-v-statisticheskoy-kontrolye-kachestva.html> (accessed: 19.01.2019).
15. Yakushev A.A., Gorbakov S.A., Gabdrakhmanova N.T. *Mnogomernyye statisticheskiye metody i neyrosetevyye modeli v ekonomicheskoy analize* [Multidimensional statistical methods and neural network models in economic analysis]. Ufa, «Bashkirskiy territorialnyy institut professionalnykh bukhgalterov» Publ., 2001, 266 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Дмитрий В. Макаров разработал концепцию исследования, собрал материал, провел анализы и проанализировал данные и написал рукопись. Евгений А. Кантор разработал научный дизайн. Наталья А. Красулина корректировала рукопись до подачи в редакцию. Зульфия З. Бережнова отвечает за перевод статьи на английский язык. Юлия Н. Савичева отвечает за публикацию статьи. Все авторы несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Dmitriy V. Makarov developed the study concept, collected the material, conducted tests, analyzed data and wrote the text. Evgeniy A. Kantor developed the scientific design. Natalya A. Krasulina corrected the manuscript prior to submission to the Editor. Zulfiya Z. Berezhnova drafted the English translation. Yuliya N. Savicheva is responsible for the publication of the article. All authors are responsible for plagiarism and self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.