

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КЛЮЧЕВОЙ ВОДЫ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ТВЕРЬ

А.А. Артамонова, М.И. Скобин, М.А. Феофанова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

Образцы воды из ключевых источников были исследованы на содержание калия, натрия, кальция, магния, железа (III), хлорид-ионов, окисляемость, кислотность, жесткость. У всех образцов показатели соответствуют ГОСТ для питьевой воды. Стоит отметить образец под номером 5, который имеет аномально низкие величины по исследуемым показателям, что вероятно связано с его преимущественно грунтовым типом питания.

Ключевые слова: природные источники, анализ воды, гидрохимические показатели, титрование, pH-метрия, спектрофотометрия.

Введение

Качество воды играет важную роль в жизни человека. Она необходима для поддержания здоровья и нормального функционирования организма. Непригодная для употребления вода снижает качество продолжительность жизни. Именно поэтому важно следить за качеством употребляемой воды. С древних времен люди ценили воду не только как источник жизни, но и использовали ее в медицинских целях. Давно известно, что вода имеет артезианское происхождение, обогащена разнообразными металлами, соединениями и газами. В течение многих лет изучаются и используются в лечебных целях уникальные составы подземных минеральных вод, благоприятно воздействующих на здоровье человека [1].

Многочисленные научные эксперименты доказали, что качество воды напрямую оказывает влияние на жизнь человека. Питьевая вода должна отвечать всем санитарным нормам, обладать хорошими органолептическими свойствами, такими как вкус, цвет и запах.

Часто в воде находят большое количество железа. Такая вода может плохо сказаться на желудочно-кишечном тракте человека. Высокая жесткость воды оказывает вредное влияние на организм человека. Способствует росту мочевых камней, сушит кожу. Однако и мягкая вода наносит вред организму. Вымывает кальций из костей, служит возникновению гастрита, язв, а также вызывает развитие ракита у детей.

Сегодня как никогда нашему организму очень важно получать чистую питьевую воду со сбалансированным минеральным составом. Чистая питьевая вода повышает защиту организма от стресса, обеспечивает работу внутренних органов. Вода необходима для поддержания всех обменных процессов, она принимает участие в усвоении питательных веществ. При таком большом значении воды для человека, вода должна быть соответствующего качества [2,3].

Данные источники являются самыми популярными для забора воды жителями Твери, однако анализы на качество этой воды не было проведено.

В этой связи целью данной работы было исследовать ключевую воду из источников пригородной зоны города Тверь. Было исследовано пять источников: 1 - ш.56.736801, д.35.906267; 2 - ш.56.792642, д.36.030758; 3 - ш.56.940117, д.35.745784; 4 - ш.56.830525, д.36.097137; 5 - ш.56.803708, д.36.173081.

Экспериментальная часть

В данной работе для изучения химических показателей воды использовались следующие материалы, аппаратура и растворы.

1. Посуда мерная, стеклянная, лабораторная, вместимостью: пипетки 100, 50, 10, и 5 см³ без деления; пипетка 1 см³ с делением через 0,01 см³, бюретка 25 см³.
2. Колбы, вместимостью 50, 100, 250, 500, 1000 см³.
3. Колбы конические, вместимостью 250 см³, воронка стеклянная.
4. Стаканы с вместимостью: 50 см³, 100 см³
5. Кварцевые кюветы: толщина слоя 1 см, 3 см.
6. Спектрофотометр ПЭ-5400В
7. Фотометр пламенный
8. Ионномер И-160МП, укомплектованный измерительным комбинированным электродом ЭСК-10601/7 К80.7

Для титrimетрического метода использовали следующие реагенты:

Серебро азотнокислое («х.ч.», ООО «Компания Химко», Россия) было приготовлено в колбе на 250 см³. Взвесили 0,625 грамм нитрата серебра растворили в дистиллированной в воде и довели до метки.

Натрий хлористый («х.ч.», АО «ЛенРеактив», Россия) приготовили в колбе на 500 см³. Взяли 0,4122 грамма хлорида натрия и довели дистиллированной водой до метки.

Калий хромовокислый («х.ч.», ООО «Русхим», Россия) 5% раствор приготовили в колбе на 100 см³. Взвесили 5 грамм вещества и доводим дистиллированной водой до метки.

Аммиак водный (х.ч.) 25% раствор.

Трилон Б («х.ч.», ООО «Русхим», Россия) 0,05 Н, приготовленный из фиксанала в колбе на 500 см³.

Ацетатный буфер (рН = 9-10).

Индикаторы: эриохром, фенолфталеин, метиловый оранжевый.

HCl («х.ч.», АО «База №1 Химреактивов», Россия) 0,2 Н., приготовленная из фиксанала.

Перманганат калия («х.ч.», ООО «Лекарь», Россия) 0,01 Н. На аналитических весах взвешиваем 7,9 грамма KMnO₄. Растворяют в колбе на 1000 см³. В колбу вносят по 10 см³ щавелевой и соляной кислот. Нагревают до 80°C. Затем титруем перманганатом калия до малинового цвета. В результате титрования получим, что концентрация перманганата калия составляет 0,049 Н. Берем 102 см³ и доводим дистиллированной водой до метки в колбе на 500 см³. Получим раствор перманганата калия с концентрацией 0,01 Н.

Щавелевая кислота («х.ч.», ООО «МХим», Россия) 0,01 Н. Раствор щавелевой кислоты приготовили из фиксанала 0,1 н. в колбе на 1000 см³. Затем берем 50 мл данного раствора и доводим до метки дистиллированной водой в колбе на 500 см³. Получаем раствор щавелевой кислоты с концентрацией 0,01 н.

Для спектрофотометрического метода приготовили следующие растворы:

Хлорид железа трехвалентного (FeCl₃ · 6H₂O) («х.ч.», ООО «АКВАХИМ», Россия). На аналитических весах отмерили 4,0216 грамм вещества. Раствор приготовили в колбе на 100 см³.

Роданид натрия («х.ч.», «ХИМПЭК», Россия). Взвесили 0,08088 грамм и растворили в колбе на 100 см³.

Химические показатели воды определяли различными методами. С помощью титриметрического метода были определены такие показатели как общая и карбонатная жесткость, содержание ионов кальция и магния, хлорид-ионов, а также окисляемость воды. Потенциометрическим методом определили кислотность анализируемой воды. Методом спектрофотометрии определили содержание железа в воде. Пламенно-фотометрическим определением нашли содержание ионов калия и натрия в воде.

Результаты и их обсуждение

Существенную роль в формировании гидрохимического режима данных источников является климат, грунтовые воды, почвенный покров, наземная растительность и др [4].

Таблица 1

Химические показатели воды

Вода	Образец					ГОСТ
	№1	№2	№3	№4	№5	
Общая жесткость, ммоль·экв/л	6 ± 0,1	4,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	3,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1	<7 ммоль·экв/л
Карбонатная жесткость, ммоль·экв/л	4,4 ± 0,1	4 ± 0,08	5,4 ± 0,1	3 ± 0,06	0,8 ± 0,01	<7 ммоль·экв/л
Окисляемость, мг/л	2,56 ± 0,05	2,08 ± 0,04	1,6 ± 0,03	3,52 ± 0,07	2,4 ± 0,05	2-5 мг/л
Кислотность раствора	7,598 ± 0,01	7,633 ± 0,01	7,437 ± 0,01	7,608 ± 0,01	6,917 ± 0,01	6,5-8,5
[Mg ²⁺] · 10 ⁻³ , г/л	1,08 ± 0,021	0,84 ± 0,02	0,96 ± 0,02	0,48 ± 0,01	0,24 ± 0,04	< 0,065 г/л
[Ca ²⁺] · 10 ⁻³ , г/л	4,2 ± 0,08	3,4 ± 0,07	4,8 ± 0,09	2,8 ± 0,05	1 ± 0,02	< 0,13 г/л
[Cl ⁻] · 10 ⁻⁴ , мг/л	5,6 ± 0,01	4,7 ± 0,01	2,8 ± 0,01	7,6 ± 0,01	0,846 ± 0,01	< 250, мг/л

В результате исследования было выявлено, что данные образцы содержат низкое содержание хлорид-ионов, что соответствует ГОСТу 4245-72. Образец №5 содержит на порядок меньше хлоридов в своем составе, чем другие образцы.

Главным источником хлор-ионов в воде является магнетические породы с минералами, такие как хлорапатит, галит и др. Из этого можно сделать вывод, что данные источники не содержат подобных минералов или же имеют их в небольшом количестве [6].

Общая жесткость воды в пределах нормы, что соответствует ГОСТ 31954-2012. Образец №5 имеет низкую жесткость, что говорит о небольшом содержании солей кальция и магния. Данная вода больше подойдет для промышленных целей. Например, в производстве напитков

или фармацевтике требуется вода с низким уровнем жесткости. Остальные образцы имеют среднюю жесткость. В промышленности образцы №2, №4 больше подойдут для производства текстиля. Образцы №1, №3 хотя и относятся к умеренной жесткости, однако могут образовывать накипь на бытовых приборах. Такая вода может быть полезна для полива определенных видов растений.

Содержание кальция и магния в воде также соответствует ГОСТу 23268.5-78. Концентрация кальция магния в образце №5 очень низкое, что подтверждает предыдущие исследования.

Карбонатная жесткость является временной жесткостью воды. Она вызвана наличием в воде карбонатов и гидрокарбонатов. В данных образцах карбонатов не обнаружено. Содержание гидрокарбонатов определили данным методом. Результаты исследования соответствуют нормам СанПиН 1.2.3685-21 [7].

Окисляемость воды не должна превышать 5 мг/л. Чем выше окисляемость, тем больше в ней находится продуктов разложения живой и неживой природы. В чистом виде и не представляют угрозы для жизни человека, но их сочетание, например, с железом, может плохо сказаться на организме человека. Так как они образуют побочные продукты, которые не поддаются фильтрации. Данная вода соответствует нормам ГОСТ 23268.12-78, и является пригодной для питья. Если же сравнивать образцы между собой, можно заметить, что образец №3 имеет окисляемость ниже, чем другие. Это может быть связано с меньшим попаданием в грунтовые воды, данного источника, органических и бытовых отходов.

pH исследуемых образцов находится в пределах нормы и соответствует ГОСТу Р 70152-2022. У всех образцов водородный показатель находится в нейтральной области. Образец №5 имеет pH ниже, чем у остальных образцов. Это может быть связано с низким содержанием щелочных примесей в воде.

Для снижения скорости коррозии pH поддерживают в пределах 8-8,5. Из этого можно сделать вывод, что данные источники обладают интенсивной скоростью коррозийных процессов [8].

После обработки результатов получили следующие спектры, представленные на рисунке 1. Спектр входит в доверительный интервал от 0,2 до 0,8. Уже по рисунку видно, что в образце №4 концентрация железа выше, чем в других образцах, а в образец №5 самая низкая.

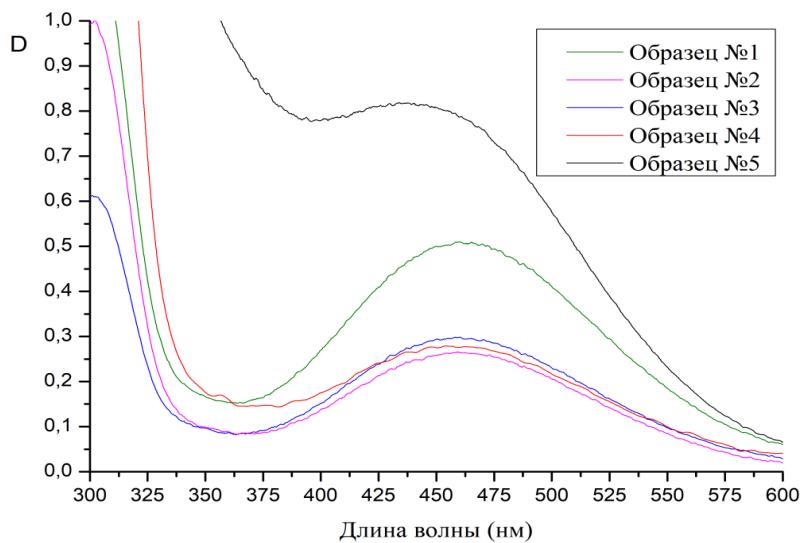


Рис.1. Спектры образцов

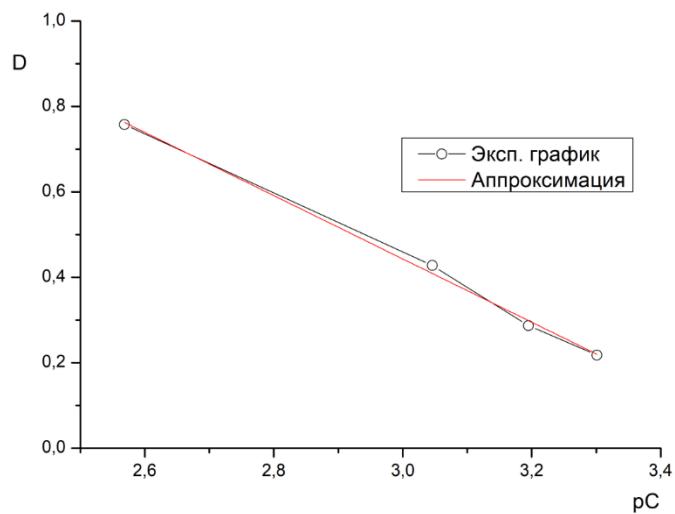


Рис. 2. Калибровочный график для образцов №1, №2, №3, №4; $y = 2,66612 - 0,74098 \cdot x$ – уравнение, описывающее график

По рисунку 2 можно заметить, что калибровочный график имеет практически прямую, что добавляет достоверности к результатам исследования

Были выведены аналитические уравнения, описывающие зависимость оптической плотности от массовой концентрации ионов Fe^{3+} . Для образцов №1, №2, №3, №4 уравнение графика функции имеет вид, представленный на рисунке 2. Для образца №5 возникла необходимость изменить методику измерения, и вести расчет по другому уравнению ($y = 2,809 - 0,4758 \cdot x$), что связано с очень низкой концентрацией ионов железа в образце.

Таблица 2
Содержание железа

Образец	$pC(\text{Fe}^{3+})$	$C(\text{Fe}^{3+}) \cdot 10^{-7}$, г/мл	ГОСТ
1	2,91	2000	$< 0,3$ г/мл
2	3,24	935	
3	3,19	1035	
4	2,50	5200	
5	5,77	2,74	

Концентрация железа в воде соответствует норме ГОСТ 4011-72. Образцы №4 и №5 были взяты из одной реки Орши, но в разных местах. Расстояние между ними составляет 8 км, однако в образце №5 концентрация железа на несколько порядков меньше, чем образец №4.

Это может быть связано с высоким содержанием трехвалентного железа, которое сразу же оседает на дно, что снижает концентрацию железа в самой воде. Также отличие в количестве железа может быть связано с разным составом почвы, течением и наличием микроорганизмов [3].

Ионы калия и натрия необходимы для здоровья человека. Их баланс очень важен. Избыточное или недостаточное содержание этих ионов может привести к различным проблемам со здоровьем. Поэтому важно следить за их количеством. С помощью данного метода было определено содержание ионов калия и натрия в исследуемой воде.

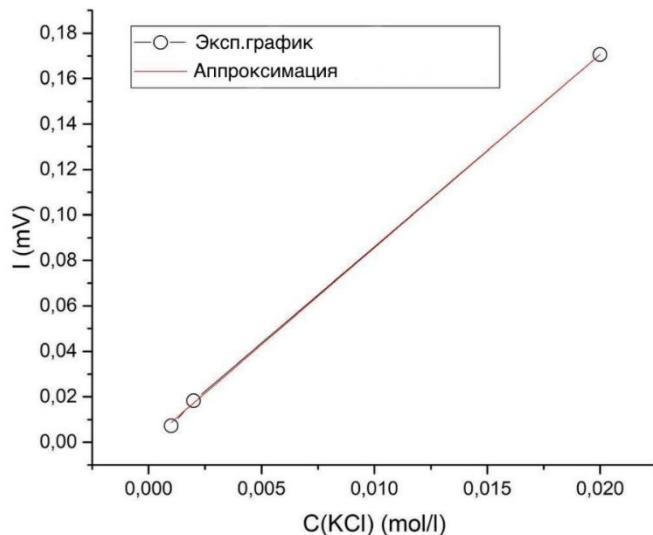


Рис. 3. Прямолинейный участок калибровочного графика для K^+

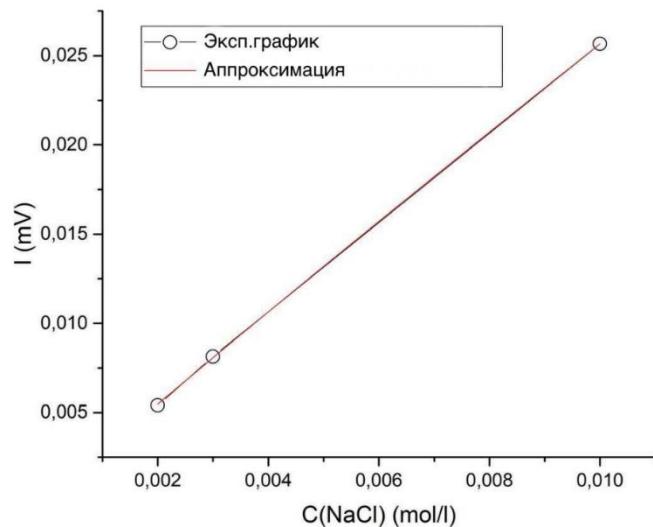


Рис. 4. Прямолинейный участок калибровочного графика для Na^+

По рисункам 3 и 4 видно, что калибровочный графики имеют прямолинейные участки в исследуемой области концентраций, что добавляет достоверности к результатам.

Для данной воды нет ГОСТа, поэтому для лучшего восприятия результатов представлен ГОСТ для речной воды

Таблица 3
Содержание ионов K^+ и Na^+

Вода	Образец					
	№1	№2	№3	№5	№4	ГОСТ
Концентрация ионов K^+ , г/мл	8,2 ± 0,01	10 ± 0,01	25 ± 0,01	37 ± 0,01	8,1 ± 0,01	< 20 г/мл
Концентрация ионов Na^+ , г/мл	содержание ионов натрия ниже измеряющей способности прибора (10^{-4})				12 ±0,01	< 200 г/мл

Концентрация ионов калия в образцах №3 и №5 больше, чем в других. Образцы №1, №2, №4 содержат оптимальное количество ионов калия, что соответствует ГОСТу 23368.7-78. А содержание ионов натрия можно обнаружить только в образце №4. Данная концентрация также соответствует ГОСТу 31870-2012. Образцы №1–№3, №5 содержат ионы натрия, но их контракция меньше определяющей способности прибора.

Подземные источники часто имеют низкую концентрацию ионов натрия по сравнению с поверхностными водами. Это может быть обусловлено различными процессами: геологическими, гидрогеологическими и геохимическими.

Содержание ионов калия в подземных водах зависит от нескольких факторов. Основным из них являются минералы. Именно от их содержания зависит концентрация калия в воде. Калий может высвобождаться из таких минералов, как полевой шпат или слюда [9].

Заключение

Образцы воды из ключевых источников были исследованы на содержание калия, натрия, кальция, магния, железе (III), хлорид-ионов, окисляемость, кислотность, жесткость. У всех образцов показатели соответствуют ГОСТ для питьевой воды. Стоит отметить образец под номером 5, который имеет аномально низкие величины по исследуемым показателям, что вероятно связано с его преимущественно грунтовым типом питания.

Список литературы:

1. Физико-химический анализ воды: учебное пособие / И.Г. Ушакова, Г.А. Горелкина, А.А. Кадысева [и др.]. – М.: Омск: Омский государственный университет, 2016. – 64 с.
2. Разумеев, М.С. Влияние экологии на здоровье человека / М.С. Разумеев, Т.В. Нерушева // Научный журнал молодых ученых. – 2024. – №3. – С. 38.
3. Конев, М.Д. Влияние избыточного содержания железа на организм человека // М.Д. Конев // Журнал аллея науки. – 2018. – №5. – С. 45.
4. Verizhenk, A.Y. Wastewater analysis / A.Y. Verizhenk, A.S. Zolotushkina, T.I. Tikhomirova // AZO Materials. Britannia. – 2019. – №1. – С. 13.
5. Липунов, И.Н. Аналитическое определение качества природных и сточных вод: учебное пособие / И.Н. Липунов, И.Г. Первова, Т.И. Маслакова. – М.: Уральский государственный лесотехнический университет, 2018. – 119 с.
6. Гизатулина, Ю.А. Содержание хлоридов в подземных водах / Ю.А. Гизатулина, С.С. Шарикова. – М.: Уральская государственная академия, 2015. – 118 с.
7. Асадова, Т.А. Титриметрический анализ: учебно-методическое пособие / Т.А. Асадова Н.А. Зайцева. – М.: Екатеренбург: УГТУ, 2023. – 53 с.
8. Муравьева, И.В. Методы контроля и анализа веществ: потенциометрический метод аналитического контроля: учебное пособие / И. В. Муравьева. — Москва: МИСИС, 2013. – 44 с.
9. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 756 с.

Об авторах:

АРТАМОНОВА Анастасия Александровна – бакалавр химико-технологического факультета, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: Artamonovan47@yandex.ru

СКОБИН Михаил Игоревич кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: Skobin.MI@tversu.ru

ФЕОФАНОВА Мариана Александровна – кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: Feofanova.MA@tversu.ru

**CHEMICAL ANALYSIS OF SPRING WATER IN THE SUBURBAN
AREA OF TVER**

A.A. Artamonova, M.I. Skobin, M.A. Feofanova

Tver State University, Tver

Water samples from key sources were examined for the content of potassium, sodium, calcium, magnesium, iron (III), chloride ions, oxidizability, acidity, hardness. In all samples, the indicators correspond to the accepted standards for drinking water. It is worth noting the sample number 5, which has abnormally low values for the studied parameters, which is probably due to its predominantly ground-based type of nutrition.

Keywords: *natural sources, water analysis, hydrochemical parameters, titration, pH-metric, spectrophotometry.*

Дата поступления в редакцию: 16.10.2025.

Дата принятия в печать: 23.10.2025.