

УДК 621.432

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-45-52>

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АРТЕЗИАНСКОЙ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА

Е. Н. МАКЕЕВА, К. А. АГУНОВИЧ

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Проведен анализ проб воды из артезианской скважины № 451/Д-15 в г. Турове (глубина скважины – 333,5 метров) и скважины из агрогородка Радуга Ветковского района Гомельской области (глубина скважины – 18 метров). Выявлена зависимость показателей качества воды от глубины водоносного пласта. Установлены наиболее важные показатели качества для сравнения экспериментальных проб с нормами СанПиН 2.1.4.12-23–2006 для употребления в пищу и с нормами ТЭЦ-1 для анализа возможного использования воды из скважин в качестве тела цикла. По полученным данным произведено сравнение показателей качества воды и по относительно превышающим параметрам выбрана оптимальная водоподготовительная установка для дальнейшего удовлетворительного использования скважины в качестве источника питьевой воды.

Ключевые слова: артезианская скважина, показатель качества, анализ воды, водоподготовительная установка, сравнительный анализ.

Для цитирования. Макеева, Е. Н. Анализ показателей качества артезианской воды в зависимости от глубины водоносного пласта / Е. Н. Макеева, К. А. Агунович // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 3 (98). – С. 45–52. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-45-52>

ANALYSIS OF ARTESIAN WATER QUALITY INDICATORS DEPENDING ON THE DEPTH OF THE AQUIFER

E. N. MAKEEVA, K. A. AGUNOVICH

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus*

The analysis of water samples from artesian well No. 451/D-15 in Turov town (well depth – 333.5 meters) and a well from the agrotown Raduga, Vetkovsky district, Gomel region (well depth – 18 meters) was carried out. The dependence of water quality indicators on the depth of the aquifer was detected. The most important quality indicators were established for comparison of experimental samples with the standards of SanPiN 2.1.4.12-23–2006 for consumption in food and with the standards of TPP-1 (thermal power plant) for analysis of possible use of water from wells as a body of the cycle. Based on the obtained data, a comparison of water quality indicators was made and an optimal water treatment plant was selected for further satisfactory use of the well as a source of drinking water, relative to the exceeding parameters.

Keywords: artesian well, quality indicator, water analysis, water treatment system, comparative analysis.

For citation. Makeeva E. N., Agunovich K. A. Analysis of artesian water quality indicators depending on the depth of the aquifer. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 3 (98), pp. 45–52 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-45-52>

Введение

Оптимальное рабочее тело в теплосиловых установках должно удовлетворять следующим критериям: давление насыщения при низшей температуре цикла не должно быть слишком низким; верхняя температура цикла должна обеспечиваться

при невысоком давлении пара; изобарная теплоемкость в жидком состоянии должна быть меньше, чем в паровом; коэффициент заполнения цикла должен быть как можно более высоким; оно не должно быть агрессивным по отношению к конструкционным материалам установки, токсичным, а также оно должно быть недорогим. Именно по этим причинам на всех ТЭЦ, конденсационных электростанциях и вообще в теплоэнергетике используют воду. Однако в природе дистиллированной воды не бывает, и хороших показателей качества на предприятиях добываются с помощью сложной и многоэтапной системы водоподготовки.

Одним из основных источников воды являются артезианские скважины. Воду из них, как правило, используют для хозяйственных нужд человека. Однако качество воды, полученной из данного источника, может значительно отличаться в зависимости от места расположения скважины и ее глубины.

Цель работы – установить показатели качества воды в зависимости от глубины водоносного пласта и места его залегания, оценить пригодность воды для питьевых нужд и для работы теплосилового цикла ТЭЦ-1 на разных этапах ее подготовки и определить оптимальную водоподготовительную установку для хозяйственных нужд человека.

Для достижения данной цели в работе были поставлены следующие задачи:

1) определить, какие показатели качества воды влияют на здоровье человека и на оптимальную работу оборудования ТЭЦ-1, и экспериментально установить значения каждого из показателей;

2) сравнить результаты экспериментов для нескольких скважин с разной глубиной залегания водоносного пласта с нормами СанПиН 2.1.4.12-23–2006 (требования к качеству воды нецентрализованных систем питьевого водоснабжения) и нормами качества воды для теплосилового цикла ТЭЦ-1;

3) произвести анализ наиболее эффективных и популярных водоподготовительных установок для хозяйственных нужд;

4) выбрать подходящую установку в зависимости от экспериментальных значений для дальнейшего удовлетворительного использования скважины.

Основная часть

Для исследования были выбраны пробы из артезианской скважины № 451/Д-15 в г. Турове (глубина скважины – 333,5 м) и скважины из агрогородка Радуга Ветковского района Гомельской области (глубина скважины – 18 м). Обозначим их как проба воды № 1 и 2 соответственно.

В зависимости от глубины залегания пласта различают почвенные, грунтовые, артезианские воды и верховодку (рис. 1). Они образуются из-за скапливания жидкости в земле между водоупорными пластами. Было выявлено, что средняя глубина расположения почвенных вод – от нескольких сантиметров до 1,5 м; верховодка может занимать пространство 0,4–1 м; грунтовые воды речных равнин не превышают 20 м, артезианский бассейн – 0,7–1,5 км. Таким образом, проба № 1 принадлежит к артезианскому бассейну, а проба № 2 – к грунтовому [2].

Главными органолептическими показателями для питьевой воды являются запах, привкус, цветность, мутность; химическими показателями – водородный показатель, общая жесткость, нитраты, общая минерализация (сухой остаток), окисляемость перманганатная, сульфаты, хлориды, железо общее; микробиологическими показателями – общие колиформные бактерии, общее микробное число, термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, коли-индекс [1].

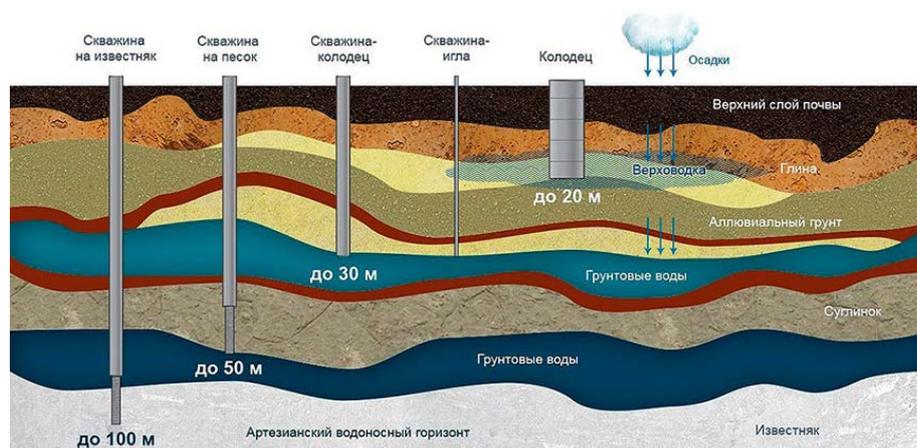


Рис. 1. Глубина залегания воды под землей

К основным показателям для теплосилового цикла ТЭЦ-1 относят рН, жесткость, щелочность, железо, хлориды, сульфаты, взвешенные вещества, сухой остаток, удельную электропроводность, окисляемость, кремнекислоту, азот аммонийный, нитраты, натрий.

В данной работе были исследованы только химические показатели, соответствующие сразу обеим группам для наглядности и упрощения сравнительного анализа.

Процесс исследования начался с определения водородного показателя (рН). В зависимости от его величины изменяется скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ. Он показывает интенсивность реакции, но не количество вещества. Определяли показатель двумя способами: с помощью кислотно-основной индикаторной бумаги и методом кислотно-основного титрования, добавляя к фиксированному объему фенолфталеина титрант.

Следующий критерий оценки – железо. В природе оно встречается в трех основных формах: истинно-растворенное, нерастворенное, коллоидное. Суммарную концентрацию всех форм называют «железо общее». Общее железо определяли, проводя визуальное колориметрирование пробы на белом фоне при достаточной освещенности.

Общей щелочностью воды называется выраженная в мг-экв/кг суммарная концентрация содержащихся в воде анионов OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{2-} , HSiO_3^- , SiO_3^{2-} и некоторых солей слабых органических кислот. Определение щелочности воды основано на титровании растворенных в воде щелочных соединений кислотой в присутствии индикаторов, меняющих свою окраску в зависимости от реакции среды.

Хлоридосодержание говорит о присутствии солей соляной кислоты. Все природные воды содержат в своем составе хлориды, чаще всего встречающиеся в виде натриевых, магниевых и кальциевых солей. Содержание хлоридов в воде определяли титриметрическим методом.

Солесодержание также является важным нормативом. Солесодержание – условный показатель, характеризующий общее содержание в воде всех растворенных веществ, способных проводить электрический ток, т. е. диссоциирующих на ионы; выражается в миллиграммах хлористого натрия в литре воды, эквивалентного измеренной величине электрической проводимости. Определяли параметр с помощью прибора серии ССТ-3300.

Завершающим опытом стало определение жесткости. Жесткость воды – мера содержания в воде растворенных солей кальция и магния. Источником их являются в основном известняки и доломиты. Различают постоянную, временную и общую

жесткость. Постоянная жесткость воды (некарбонатная) – часть общей жесткости воды, остающаяся после кипячения воды. Обуславливается содержанием сульфатов, хлоридов и других (кроме бикарбонатов) солей кальция и магния. При нагревании или кипячении воды они остаются в растворе. Временная жесткость воды (устраняемая, карбонатная) – часть общей жесткости, удаляющаяся кипячением воды. Она обуславливается содержанием бикарбонатов. При нагревании или кипячении воды бикарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты, при этом жесткая вода умягчается. Общая жесткость воды определяется как суммарное содержание в воде солей кальция и магния, выражается как сумма карбонатной и некарбонатной жесткости. Определяли жесткость методом, основанном на комплексонометрическом титровании исследуемой воды с применением реактива трилон Б (натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты) в присутствии индикатора хрома темно-синего [1].

В табл. 1 представлен сравнительный анализ полученных значений.

Таблица 1

Сравнение показателей проб из рассматриваемых скважин с нормами СанПиН

Показатели	Вода из артезианской скважины № 451/Д-15 в г. Турове (глубина скважины – 333,5 м)	Вода из скважины агрогородка Радуга Ветковского района Гомельской области (глубина скважины – 18 м)	СанПиН 2.1.4.12-23–2006 «Санитарная охрана и гигиенические требования к качеству воды источников нецентрализованного питьевого водоснабжения населения»
рН	7	7	6–9
Железо общее (мг/л)	0,1	0,2	0,3
Щелочность (мг-экв/л)	0,4	7,2	6,5
Содержание хлоридов (мг/л)	1	42,1	350
Общее солесодержание (мг/л)	1,241	128,64	1000–1500
Жесткость (ж)	0,1	9,6	7

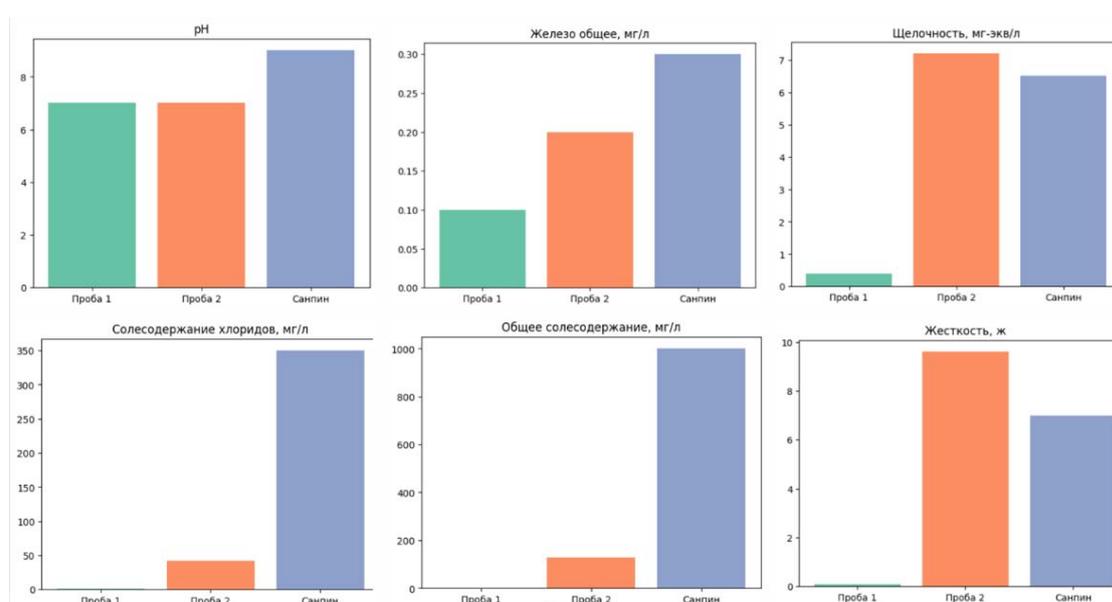


Рис. 2. Диаграммы сравнения показателей качества проб

Таблица 2

**Нормы качества показателей исходной и подготовленной воды
на ТЭЦ-1 и исходных проб**

Показатели	Проба 1	Проба 2	Единица измерения	Исходная вода	Фильтрат УУФ	Бак фильтра	Пермеат 1	Пермеат 2	Делют	Бак ХОВ
рН	7	7	–	7,0–9,4	7,0–9,4	7,0–8,5	7,0–9,5	5,5–6,5	5,5–7,7	5,5–6,7
Железо общее	0,1	0,2	мг/л	1	0,2	0,2	0,005	0,003	0,0005	0,0005
Щелочность	0,4	7,2	мг-экв/дм ³	–	–	–	–	–	–	–
Содержание хлоридов	1	42,1	мкг/дм ³	15	15	15	до 1,5	0,001–0,002	0,0002	0,0002
Удельная электропроводность	1,94	201	мкСм/см	500–650	500–650	500–650	15	3,5	0,2	не >1
Жесткость	0,1	9,6	мг-экв/дм ³	5500	5500	5500	35	н/о	н/о	н/о

Исходя из данных, приведенных в табл. 2, можно отметить, что проба № 1 обладает нейтральной средой, является ультрапресной по минерализации и очень мягкой по жесткости. Все остальные показатели значительно меньше норм СанПиНа, что говорит о высоком качестве. Вода из агрогородка Радуга также нейтральная, но по общему солесодержанию – солоноватая, а по жесткости – жесткая. Таким образом, единственным критерием, по которому есть отклонения, является жесткость. Поэтому для дальнейшего использования скважины в питьевых целях нужно использовать фильтр жесткости.

Наиболее распространенными, а также эффективными в борьбе против жесткости являются пять фильтров: половолоконный, электромагнитный, магнитный, ионообменный и система обратного осмоса. Половолоконный фильтр задерживает образования солей с размерами от 0,01 мкм с помощью специальной преграды. Задержанные в узких технологических протоках примеси удаляются промывкой. Электромагнитный фильтр с помощью своего поля превращает соли жесткости в мелкие кристаллы, которые не остаются в трубах и технике, а промываются потоком воды. Но этот умягчитель не изменяет химический состав, а лишь может повысить эксплуатационные сроки различных устройств. Например, его часто используют при установке теплых полов. Магнитный фильтр имеет сходный принцип работы, но предотвращает осаждение только при открытии крана и перемещении жидкости в трубах. Размещать его нужно достаточно близко к желаемой зоне, так как он имеет ограниченный радиус действия. Эти два фильтра нам не подходят, так как не изменяют самих показателей питьевой воды. Ионообменный фильтр уменьшает жесткость до 0,5 мг-экв/дм³ при помощи гранулированной синтетической смолы, насыщенной в исходном состоянии натриевыми ионами. Жидкость, проходя через эту систему, обменивает соли кальция и магния на ионы наполнителя, тем самым уменьшая уровень жесткости. Система обратного осмоса наиболее эффективна. Она не пропускает молекулы солей, поэтому применяется в качестве самой надежной преграды опасным загрязнениям, однако требует постоянной замены фильтров и является наиболее дорогой по себестоимости [3, 4].

Анализируя рынок данных фильтров, можно сделать вывод о том, что оптимальным вариантом является половолоконный фильтр. После установки данного фильтра значения показателей изменились и установились на уровне, не превышающем нормы. Изменения показателей можно увидеть в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Показатели качества воды до использования фильтра

Наименование компонента	Единица измерения	Норматив СанПиН 2.1.4.1074-01, не более	Результат анализа	Погрешность	МВИ
рН (водородный показатель)	ед. рН	6,0–9,0	7,2	±0,2	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
Цветность	град.	20	3	±1	ГОСТ 31868–2012
Мутность	ЕМФ	2,6	43	±17	ФР.1.31.2001.00350
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	5	1,43	±0,29	ГОСТ Р 55684–2013
Жесткость	мг-экв/дм ³	7,0	8,5	±1,3	ГОСТ 31954–2012
Щелочность	ммоль/дм ³	Не нормируется	6,4	±0,8	ГОСТ 31957–2012
Аммоний-ионы	мг/дм ³	2,0	1,3	±0,2	Свидетельство № 101-08*
Сульфат-ионы	мг/дм ³	500	76	±27	Свидетельство № 6-10*
Хлорид-ионы	мг/дм ³	350,0	73	±4	Свидетельство № 64-10*
Сероводород и сульфиды	мг/дм ³	Не нормируется	0,002	±0,001	НДП 10.1:2:3.70-00
Железо общее	мг/дм ³	0,3	2,9	±0,3	Свидетельство № 14-09*
Удельная электропроводность	мкСм/См	Не нормируется	834	±17	Паспорт DIST HI 98303
Запах (20 °С/60 °С)	балл	2	3/5	–	ГОСТ 3351–74
Сероводород	мг/дм ³	0,003	< 0,002	–	НДП 10.1:2:3.70-00

Таблица 4

Показатели качества воды после использования половолоконного фильтра

Наименование компонента	Единица измерения	Норматив СанПиН 2.1.4.1074-01, не более	Результат анализа
рН (водородный показатель)	ед. рН	6,0–9,0	8,0
Цветность	град.	20	2
Мутность	ЕМФ	2,6	< 1,0
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	5	0,61
Жесткость	мг-экв/дм ³	7,0	1,2
Щелочность	ммоль/дм ³	Не нормируется	6,6
Аммоний-ионы	мг/дм ³	2,0	0,23

Окончание табл. 4

Наименование компонента	Единица измерения	Норматив СанПиН 2.1.4.1074-01, не более	Результат анализа
Нитрат-ионы	мг/дм ³	45	< 1,5
Сульфат-ионы	мг/дм ³	500	84
Хлорид-ионы	мг/дм ³	350,0	69
Железо общее	мг/дм ³	0,3	0,05
Солесодержание	мг/дм ³	Не нормируется	421
Запах (20 °С/60 °С)	балл	2	1/1

Заключение

Определены наиболее важные показатели качества для сравнения экспериментальных проб с нормами СанПиН 2.1.4.12-23–2006 для употребления в пищу и с нормами ТЭЦ-1 для анализа возможного использования воды из скважин в качестве тела цикла. Выявлена зависимость показателей качества воды от глубины водоносного пласта: проба № 1 глубиной 333,5 м по всем параметрам значительно превосходит пробу № 2 глубиной 18 м. По выбранным показателям качества воды была выбрана оптимальная водоподготовительная установка для дальнейшего удовлетворительного использования скважины в качестве источника питьевой воды.

Литература

1. Показатели качества воды и их определение. Влияние на здоровье человека. – Режим доступа: <https://alminda.ru/about/4957/14283/14304/>. – Дата доступа: 29.03.2024.
2. Подземные воды – важнейший регулятор пресной воды. – Режим доступа: [https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13553/1/Sidorova_EOR_PV%20\(1\).pdf](https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13553/1/Sidorova_EOR_PV%20(1).pdf). – Дата доступа: 29.03.2024.
3. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.4. «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Санитарные правила и нормы СанПиН 10–124 РБ 99» : постановление глав. гос. санитар. врача Респ. Беларусь от 19 окт. 1999 г. № 46. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/ru/technical-acts-ru/view/sanitarnye-pravila-i-normy-214-laquopitjevaja-voda-i-vodosnabzhenie-naselennyx-mest-pitjevaja-voda-gigieni-4088/>. – Дата доступа: 29.03.2024.
4. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.4.12-23–2006 «Санитарная охрана и гигиенические требования к качеству воды источников нецентрализованного питьевого водоснабжения населения» : постановление глав. гос. санитар. врача Респ. Беларусь от 22 нояб. 2006 № 141. – Режим доступа: <https://ecoservisproekt.com/upload/iblock/660/6600708ffdeab1aec9087fbc7c00d085.pdf>. – Дата доступа: 29.03.2024.

References

1. Pokazateli kachestva vody i ih opredelenie. Vliyanie na zdorov'e cheloveka. Available at: <https://www.alminda.ru/about/4957/14283/14304/> (accessed 29 March 2024) (in Russian).
2. Podzemnye vody – vazhnejshij regul'yator presnoj vody. Available at: [https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13553/1/Sidorova_EOR_PV%20\(1\).pdf](https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13553/1/Sidorova_EOR_PV%20(1).pdf). (accessed 29 March 2024) (in Russian).
3. Sanitarnye pravila i normy. SanPiN 2.1.4 «Pit'evaya voda i vodosnabzhenie naseleennykh mest.. Sanitarnye pravila i normy SanPiN 10–124 RB 99», Postanovlenie glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha respubliky Belarus' ot 19 oktyabrya 1999 g. no 46.

Available at: <https://mshp.gov.by/ru/technical-acts-ru/view/sanitarnye-pravila-i-normy-214-laquopitjevaja-voda-i-vodosnabzhenie-naselennyx-mest-pitjevaja-voda-gigieni-4088/>. (accessed 29 March 2024) (in Russian).

4. Sanitarnye pravila i normy. SanPiN 2.1.4.12-23–2006 «Sanitarnaya ohrana i gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody istochnikov necentralizovannogo pit'evogo vodosnabzheniya naseleniya», postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Respubliki Belarus' ot 22 noyabrya 2006 no. 141. Available at: <https://ecoservis-proekt.com/upload/iblock/660/6600708ffdeab1aec9087> (accessed 29 March 2024) (in Russian).

Поступила 05.09.2024 г.