

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАЩИХСЯ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ (СА И МG) НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Писарев М.О.

г. Задонск, МБОУ СОШ №1, 10 «А» класс

Научный руководитель: Карасёва З.А., МБОУ СОШ №1

Вода – самое важное и уникальное вещество на нашей планете. Вода составляет 89–90% массы растений и 75% массы животных. В составе человеческого тела 65% воды. Вода служит постоянным участником интенсивных биохимических процессов, происходящих в человеческом организме. Ни один жизненный процесс не совершается без нее. Качество питьевой воды напрямую влияет на организм человека. Среди химических показателей качества воды рассматривается ее жесткость. Чрезмерно жесткая вода опасна для здоровья людей и их быта.

Целью настоящего исследования является определение степени жесткости питьевой воды одного из микрорайонов города Задонска Липецкой области, а также выявление самых эффективных и безопасных методов улучшения качества водопроводной воды.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить литературу по данному вопросу.
2. Освоить методику отбора проб питьевой воды.
3. Освоить титриметрический метод анализа.
4. Определить жесткость воды восточного микрорайона города Задонска.
5. Сделать выводы, предложить рекомендации по улучшению качества питьевой воды.

Методы исследования: обзор литературы по выбранной теме, эксперимент – метод титриметрии, анализ полученных данных.

Так как для Липецкой области характерна повышенная жесткость питьевой воды, весьма актуальным является оценить количество солей жесткости (Са и Мg) в водопроводной воде города Задонска.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что оценка жесткости питьевой воды позволит жителям исследуемого микрорайона города Задонска применить необходимые меры по улучшению качества воды, в целях укрепления своего здоровья и продления времени эксплуатации имеющихся бытовых приборов и систем отопления.

Обзор литературы

Жесткая вода. Виды жесткости

В связи с тем, что вода является хорошим растворителем можно сказать, что в природе нет совершенно чистой воды, хотя бы потому, что она растворяет на своем пути многие соединения и вещества, становясь сразу же смесью многих растворенных веществ. Образовавшаяся смесь содержит многие ионы, в частности двухвалентные ионы – кальция, магния, железа, марганца, а также трехвалентные ионы алюминия и железа, которые обуславливают жесткость воды.

На практике железо и марганец оказывают на жесткость столь небольшое влияние, что ими, как правило, пренебрегают. Алюминий (Al^{3+}) и трехвалентное железо (Fe^{3+}) также влияют на жесткость, но при уровнях рН, встречающихся в природных водах, их растворимость и, соответственно, «вклад» в жесткость ничтожны малы [1].

Различают следующие виды жесткости:

1. Карбонатная жесткость (временная или устранимая). Обусловлена наличием в воде гидрокарбонатов и карбонатов кальция и магния ($CaCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $MgCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$). Данный тип жесткости почти полностью устраняется при кипячении воды и поэтому называется временной жесткостью. При нагреве воды гидрокарбонаты распадаются с образованием угольной кислоты и выпадением в осадок карбоната кальция: $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O$

2. Некарбонатная жесткость (постоянная). Обусловлена присутствием в воде кальциевых и магниевых солей сильных кислот ($CaSO_4$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$) и при кипячении не устраняется.

3. Общая жесткость. Определяется суммарной концентрацией ионов кальция и магния. Представляет собой сумму карбонатной (временной) и некарбонатной (постоянной) жесткости [2].

Ионы кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+} , а также других щелочноземельных металлов, обуславливающих жесткость воды, присутствуют во всех минерализованных водах. Их источником являются природные залежи известняков, гипса и доломитов

$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Ионы кальция и магния поступают в воду в результате взаимодействия растворенного диоксида углерода с минералами и при других процессах растворения и химического выветривания горных пород.



В нашей стране жесткость воды выражается в миллиграммах-эквивалентах на литр (мг-экв/л) или ммоль/л. Классификация воды по степени жесткости приведена в табл. 1 (приложение 3). Допустимый предел жесткости воды для централизованного водоснабжения – 7 мг-экв/л (7 ммоль/л) [3].

Жесткость – это особые свойства воды, во многом определяющие её потребительские качества и потому имеющие важное хозяйственное значение. Для тушения пожаров, полива огорода, уборки улиц и тротуаров жесткость воды не имеет принципиального значения. Но в ряде случаев жесткость воды может создать проблемы. При принятии ванны, мытье посуды, стирке, мытье машины жесткая вода гораздо менее эффективна, чем мягкая.

Жесткая вода образует накипь на стенках нагревательных котлов, батареях, чем существенно ухудшает их теплотехнические характеристики. Накипь является причиной 90% отказов водонагревательного оборудования.

Жесткая вода мало пригодна для стирки. Накипь на нагревателях стиральных машин выводит их из строя, она ухудшает еще и моющие свойства мыла. Катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} реагируют с жирными кислотами мыла, образуя малорастворимые соли, которые создают плёнки и осадки, в итоге снижая качество стирки и повышая расход моющего средства. А при стирке тканей жесткой водой образующиеся нерастворимые соединения осаждаются на поверхности нитей и постепенно разрушают волокна [4].

Влияние структурных элементов, определяющих жесткость воды, на организм человека

Рассмотрим влияние, содержащихся в питьевой воде, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , а также их солей, на здоровье человека. Установлено, что чем больше в воде содержится солей кальция и магния, то есть чем жестче является вода, тем хуже она оказывает влияние на организм человека.

Влияние на кожу. Жесткость воды неблагоприятно влияет на кожу, обуславливая ее преждевременное старение. При взаимодействии солей жесткости с моющими веществами происходит образование осадков в виде пены, которая после высыхания остается в виде микроскопической корки

на человеческой коже и волосах. Главным отрицательным воздействием этих осадков на человека является то, что они разрушают естественную жировую пленку (защищающую кожу от старения и неблагоприятных климатических воздействий), которой всегда покрыта нормальная кожа. Из-за этого забиваются поры, появляются сухость, шелушение, перхоть. Кожа не только рано стареет, но становится аллергичной и чувствительной к раздражениям.

Влияние на пищеварительную систему. Высокая жесткость водопроводной воды оказывает отрицательное действие на органы пищеварения. Соли кальция и магния, соединяясь с животными белками, находящимися в нашей пище, оседают на стенках пищевода, желудка, кишечника, мешая перистальтике, вызывая дисбактериоз, нарушая работу ферментов и отравляя организм. Постоянное употребление внутрь воды с повышенной жесткостью приводит к снижению моторики желудка, к накоплению солей в организме [5].

Влияние на сердечно-сосудистую систему. Жесткая вода пагубно влияет и на сердечно-сосудистую систему человека. В нормальной концентрации ионы кальция и магния способствуют релаксации сердечной мышцы. Однако в жесткой воде наблюдается недостаток ионов и переизбыток солей. Поэтому влияние жесткой воды на организм человека может выражаться в серьезных осложнениях работы сердца, вплоть до возникновения устойчивой хронической аритмии.

Влияние на соединительные ткани. Постоянное употребление питьевой воды с повышенной жесткостью приводит к заболеванию суставов (артриты, полиартриты). В человеческом теле можно выделить семь основных типов соединения костей, обеспечивающих различную степень их подвижности. Между соединяемыми элементами находится прозрачно-желтая жидкость, называемая в медицине синовиальной. Она играет роль смазки, позволяя костям легко поворачиваться относительно друг друга в месте соединения. Если же вместо такой жидкости там оказываются неорганические минералы, поступившие с питьевой водой, и ядовитые кристаллы, то каждое такое перемещение будет даваться человеку с трудом, вызывая при этом болезненные ощущения [6].

Влияние на почки. Отметим, что не так давно ученым удалось разрушить один из мифов о влиянии жесткой воды на организм человека. Долгое время считалось, что именно повышенная жесткость провоцировала образование камней в почках. Однако

сегодня доказано, что главная причина возникновения камней – недостаток кальция в пище. Стремясь компенсировать нехватку кальция, организм начинает выщелачивать его из костей, но при этом большая часть высвобожденного вещества не усваивается и откладывается в организме в виде камней. Мягкая вода, т.е. вода с концентрацией ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} от 1,5–4,0 ммоль/л (табл. 1), используется в основном для медицинских или исследовательских целей в различных лечебно-оздоровительных программах и процедурах для вывода из организма шлаков. Частое употребление мягкой воды может привести к тому, что из организма начнут вымываться полезные микроэлементы. Прежде всего, это опасно для костей. В тех регионах, где вода отличается мягкостью, т.е. пониженным содержанием солей кальция и магния, наблюдается рост числа сердечно-сосудистых заболеваний [7]. Также установлено, что в связи с низким уровнем минерализации мягкая вода обладает неудовлетворительными органолептическими свойствами и оказывает неблагоприятное воздействие на водно-солевой обмен и функциональное состояние гипофиз-адреналиновой системы, регулирующей основные обменные процессы в организме человека.

Методы устранения жесткости воды

В большинстве регионов нашей страны вода обладает повышенной жесткостью. Это свойство воды, как отмечено выше, отрицательно влияет на организм человека. Однако существует множество способов устранения повышенной жесткости воды [8].

1. Бытовые:

а) кипячение и вымораживание. Кипячением можно устранить лишь временную (карбонатную) жесткость воды, удалив из нее гидрокарбонаты кальция и магния. Методика простая: нагрев воды до температуры кипения – выдержка на огне порядка $\frac{3}{4}$ часа – охлаждение и отстаивание в пределах 4 – 6 часов. Кипяченая вода должна храниться в закрытом сосуде, чтобы избежать попадания пыли и болезнетворных микроорганизмов. Так как в кипяченой воде очень быстро развиваются микробы, хранить её долго не следует.

Снижение концентрации солей кальция и магния в питьевой воде можно провести с помощью ее частичного замораживания. Следует отметить, что вначале происходит замерзание более чистой и пресной воды, затем кристаллизуется вода, содержащая различные примеси и соли. Для проведения такой операции берется отстоянная вода, которую наливают в емкость и ставят в мо-

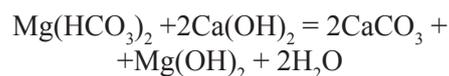
розильную камеру. Очень важно так рассчитать время, чтобы вода замерзла примерно наполовину, именно замерзшая часть впоследствии используется для питья и приготовления пищи. Вымораживание снижает общую жесткость на 70–80%.

б) фильтрование. Фильтрование снижает общую жесткость воды до 80%. Фильтры для умягчения воды – это современный способ снижения её жесткости. В настоящее время существует множество различных фильтров для смягчения жесткой воды. Внутри картриджа фильтра содержится смесь из активированного угля и катионообменника. Уголь адсорбирует вредные органические вещества и хлориды. Катионообменник снижает общую жесткость.

2. Промышленные:

а) добавление гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Если вода обладает только временной жесткостью, то для ее устранения применяют известковый способ, т.е. обрабатывают воду известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



Таким образом, при взаимодействии извести с гидрокарбонатами кальция и магния образуются осадки CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. При этом способе недопустим избыток извести, который может привести к повышению жесткости. Поэтому количество вводимой извести должно точно соответствовать результатам анализа воды на жесткость [9].

б) добавление кальцинированной соды Na_2CO_3 . Для устранения как временной, так и постоянной жесткости воды нередко применяют известково-содовый способ устранения жесткости. Известь осаждает гидрокарбонаты кальция и магния, как указано выше, а сода – хлориды и сульфаты по реакции: MgCO_3 также переосаждается в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Заключение

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

Изучив литературу по данному вопросу, установили, что жесткость воды может быть временной и постоянной. Жесткая вода одинаково вредна как организму человека, так и бытовым приборам. Смягчить жесткую воду для употребления в домашних условиях можно методом кипячения, вымораживания или с помощью различных фильтров для воды.

Успешно освоили методику отбора проб питьевой воды (приложение 1) согласно ГОСТ 31861–2012.

В ходе проведения эксперимента был отработан титриметрический метод анализа (приложение 2).

Используя комплексометрическое титрование, определили общую жесткость 5 проб питьевой воды, отобранных в восточном микрорайоне города Задонска (приложение 4). Среднее значение общей жесткости воды для данного района составило 6,5 ммоль/л. Водопроводная вода имеет среднюю жесткость.

Полученные результаты по общей жесткости питьевой воды восточного микрорайона города Задонска позволяют дать практические рекомендации жителям данного района для снижения жесткости воды:

- а) наиболее эффективным методом является применение бытовых фильтров, например фильтров типа «Барьер», «Аквафор», «Гейзер»;
- б) в качестве альтернативного и более бюджетного способа устранения жесткости воды может быть предложено вымораживание;
- в) кипячение воды поможет устранить лишь временную жесткость, при этом снижая общую жесткость незначительно.

Список литературы

1. Жесткость воды и ее влияние на живые организмы // Молодежный научный форум: Естественные и медицинские науки: электронный сборник статей по материалам VIII студ. международной заочной научно-практической конференции – М.: «МЦНО». – 2014 — № 1(8).
2. Химия. Неорганическая химия. Органическая химия. 9 класс: Учебник / Рудзитис Г.Е., Фельдман Ф.Г. 13-е изд. – М.: 2009. – 191 с.
3. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПин 2.1.4.1074-01. – М., 2002.
4. Бердонос С.С. Химия. Новейший справочник / С.С. Бердонос, Е.А. Менделеева. – М.: Махаон, 2006. – 368 с.
5. Биологическая химия: учеб. пособие / Ю.К. Василенко. – М.: МЕДпресс-информ, 2011. – 432 с.
6. Орлов Д.С. Микроэлементы в почвах и живых организмах // Соревский образовательный журнал. – №1, 1998. – С. 61–68.
7. Северин Е.С., Алейникова Т.Л., Осипов Е.В., Силаева С.А. Биологическая химия. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2008. – 364 с.
8. Ахманов М. Вода, которую мы пьем. Качество питьевой воды и ее очистка с помощью бытовых фильтров. СПб.: «Невский проспект», 2002.
9. Ходаков Ю.В., Эпштейн Д.А. Неорганическая химия / Ю.В. Ходаков, Д.А. Эпштейн. – М.: Просвещение, 2002.
10. ГОСТ 31861–2012. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2013.
11. Химия воды. Учебное пособие/сост.: Л.В. Петрова, Е.Н. Калокова – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 48 с.

Приложения

Приложение 1

Методика отбора проб питьевой воды

Для отбора проб питьевой воды применялись пластмассовые прозрачные бутылки емкостью 1,5 л.

Бутылки и крышки предварительно тщательно промывали, ополаскивали не менее 3 раз отбираемой для анализа водой.

Отбор проб питьевой воды проводился после свободного спуска воды при полном открытии крана в течение 10 минут.

Струя отбираемой воды была толщиной не менее 0,5 см. Бутылки заполняли до верха и закрывали крышкой во избежание попадания воздуха.

Отобранные пробы воды сопровождалась этикеткой на бутылке, где указывалось: наименование пробы, место отбора пробы, дата и время отбора.

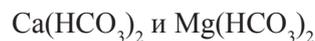
Анализ питьевой воды проводили на следующий день после отбора проб. Хранились исследуемые пробы в холодильнике [10].

Приложение 2

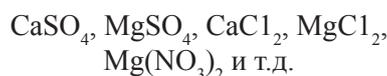
Методика определения общей жесткости воды

Теоретическая часть

Жесткость воды бывает двух видов: временная жесткость и постоянная жесткость. Временная или карбонатная жесткость воды (J_K) обусловлена содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния:



Постоянная или некарбонатная жесткость воды (J_{HK}) обуславливается присутствием в воде сульфатов, хлоридов, нитратов и других растворимых солей кальция и магния:



Общая жесткость воды (J_O) равна сумме карбонатной и некарбонатной жесткости.

$$J_O = J_K + J_{HK}$$

Количественно жесткость воды определяется суммой молярных концентраций эквивалентов ионов кальция и магния, выраженных в миллимоль на литр (ммоль/л).

$$J = \left[\frac{v \left(\frac{1}{z^*} Ca^{2+} \right)}{V(H_2O)} + \frac{v \left(\frac{1}{z^*} Mg^{2+} \right)}{V(H_2O)} \right] 10^3 \text{ (ммоль/л);}$$

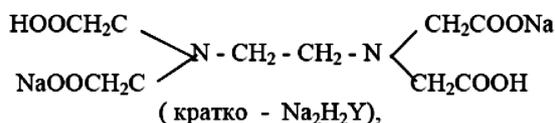
$$Ж = \frac{v\left(\frac{1}{z^*}X\right)}{V(\text{H}_2\text{O})} 10^3 = \frac{m(X)}{M\left(\frac{1}{z^*}X\right)V(\text{H}_2\text{O})} 10^3 \text{ (ммоль/л)},$$

где $v(1/z^*X)$ – количество вещества эквивалента ионов кальция (Ca^{2+}) или магния (Mg^{2+}) (или их солей), моль; $m(X)$ – масса ионов кальция или магния (или их солей), г; $M(1/z^*X)$ – молярная масса эквивалента ионов кальция или магния (или их солей), г/моль; $V(\text{H}_2\text{O})$ – объем воды, л.

Для определения общей жесткости воды используют метод комплексонометрии. В основе этого метода лежит титрование воды в присутствии аммиачного буферного раствора (рН=10) и индикатора раствором комплексона III до перехода розовой окраски в голубую.

При анализе применяют один из индикаторов: кислотный хром синий К или эриохром черный Т. В присутствии ионов жесткости Ca^{2+} и Mg^{2+} эти индикаторы окрашиваются в розовый цвет, в отсутствии – в голубой.

Комплексон III (трилон Б) – двузамещенная натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА):



При титровании жесткой воды раствором комплексона III образуется внутрикомплексное соединение, т.е. связываются ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} :

Поэтому в конце титрования индикатор изменяет окраску, а раствор при этом становится голубым.

Связывание ионов кальция и магния в комплексное соединение с трилоном Б происходит в щелочной среде (рН \approx 10), поэтому при выполнении работы используют буферный раствор. Буферными называют растворы, содержащие слабую кислоту и ее соль ($\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaCH}_3\text{COO}$) или слабое основание и его соль ($\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$). Такие растворы сохраняют постоянную концентрацию ионов водорода, или рН раствора, как при разбавлении, так и при добавлении небольших количеств сильных кислот и или щелочей, т.е. оказывают буферное действие.

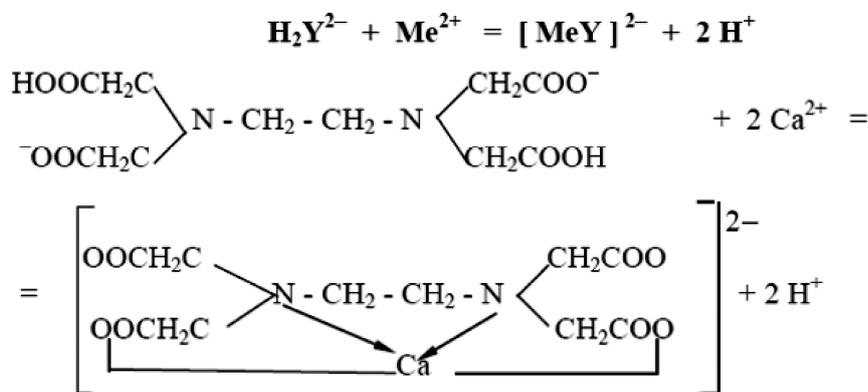
Экспериментальная часть

Реактивы:

1. Стандартный раствор ЭДТА, (Трилон Б), 0.05 М титрованный раствор;
2. Аммиачный буферный раствор с рН=10;
3. Металлоиндикатор – эриохромовый черный Т или хромтемносиний;

Лабораторная посуда:

1. Конические колбы на 250 мл.
2. Мерные пипетки на 100 мл.
3. Мерный цилиндр на 10 мл.
4. Бюретка на 25 мл.
5. Штатив.
6. Воронка



Ход работы:

В коническую колбу приливают 100 мл анализируемой воды, отмеренной с помощью мерной пипетки. Затем добавляют к исследуемой воде 5 мл аммиачного буферного раствора (мерным цилиндром), поддерживающего pH ≈ 10 и 3–5 капель индикатора кислотного хромтемносинего или несколько кристалликов (на кончике шпателя) эриохромчерного и перемешивают.

Бюретку заполняют раствором титранта – трилоном Б, предварительно ее промывают этим же раствором. Оттитровывают анализируемую пробу воды раствором трилона Б до перехода розовой или винно-красной окраски раствора в сине-сиреневый цвет.

Измеряют объем титранта – трилона Б, пошедший на титрование данной пробы воды, результат титрования вносят в таблицу. Каждую пробу воды оттитровывают не менее 5 раз. По закону эквивалентов ($C_1 V_1 = C_2 V_2$) рассчитывают общую жесткость воды (ммоль/л):

$$Ж_о = \frac{V_2 C_2}{V_1} 10^3 \text{ (моль/л),}$$

где V_1 – объем анализируемой воды, мл; V_2 – средний объем раствора трилона Б, пошедший на титрование, мл; C_2 – молярная концентрация эквивалента раствора трилона Б, моль/л; 10^3 – коэффициент перевода моль/л в ммоль/л [11].

Приложение 3

Классификация воды по степени жесткости

Таблица 1

Классификация воды по степени жесткости

Число ммоль/л ионов Mg ²⁺ и Ca ²⁺ (Ж _о)	Характеристика жесткости воды
до 1,5	очень мягкая
1,5–4	мягкая
4–8	средней жесткости
8–12	жесткая
свыше 12	очень жесткая

Приложение 4

Результаты определения общей жесткости воды

Таблица 2

Результаты определения общей жесткости воды по ул. Весенняя г. Задонска, Липецкой области (проба воды №1)

Номер опыта	Объем раствора трилона Б, V ₂ , мл	Молярная концентрация эквивалента раствора трилона Б, C ₂ , моль/л	Объем анализируемой воды, V ₁ , мл	Общая жесткость воды, Ж _о , ммоль/л
1	13,0	0,05	100	6,5
2	13,0			6,5
3	13,1			6,6
4	13,1			6,6
5	13,1			6,6
Среднее значение:				6,6

Таблица 3

Результаты определения общей жесткости воды по ул. 9 Мая г. Задонска, Липецкой области (проба воды №2)

Номер опыта	Объем раствора трилона Б, V ₂ , мл	Молярная концентрация эквивалента раствора трилона Б, C ₂ , моль/л	Объем анализируемой воды, V ₁ , мл	Общая жесткость воды, Ж _о , ммоль/л
1	13,0	0,05	100	6,5
2	13,1			6,6
3	13,2			6,6
4	13,1			6,6
5	13,2			6,6
Среднее значение:				6,6

Таблица 4

Результаты определения общей жесткости воды по ул. Верхняя г. Задонска, Липецкой области (проба воды №3)

Номер опыта	Объем раствора трилона Б, V_2 , мл	Молярная концентрация эквивалента раствора трилона Б, C_2 , моль/л	Объем анализируемой воды, V_1 , мл	Общая жесткость воды, J_o , ммоль/л
1	12,4	0,05	100	6,2
2	12,5			6,3
3	12,5			6,3
4	12,6			6,3
5	12,5			6,3
Среднее значение:				6,3

Таблица 5

Результаты определения общей жесткости воды по ул. Липецкая г. Задонска, Липецкой области (проба воды №4)

Номер опыта	Объем раствора трилона Б, V_2 , мл	Молярная концентрация эквивалента раствора трилона Б, C_2 , моль/л	Объем анализируемой воды, V_1 , мл	Общая жесткость воды, J_o , ммоль/л
1	12,8	0,05	100	6,4
2	12,8			6,4
3	12,9			6,5
4	12,8			6,4
5	12,7			6,4
Среднее значение:				6,4

Таблица 6

Результаты определения общей жесткости воды по ул. Студенческая г. Задонска, Липецкой области (проба воды №5)

Номер опыта	Объем раствора трилона Б, V_2 , мл	Молярная концентрация эквивалента раствора трилона Б, C_2 , моль/л	Объем анализируемой воды, V_1 , мл	Общая жесткость воды, J_o , ммоль/л
1	13,0	0,05	100	6,5
2	13,1			6,6
3	13,2			6,6
4	13,1			6,6
5	13,2			6,6
Среднее значение:				6,6

Таблица 7

Результаты определения общей жесткости воды для восточного микрорайона г. Задонска, Липецкой области

Название улицы восточного микрорайона г. Задонска	Среднее значение жесткости воды для данной улицы, J_o , ммоль/л	Среднее значение жесткости воды для исследуемого микрорайона города, J_o , ммоль/л
Весенняя	6,6	6,5
9 Мая	6,6	
Верхняя	6,3	
Липецкая	6,4	
Студенческая	6,6	