

УДК 616-07:061.62

Исследование условной вязкости термически активированной ВОДЫ

Игнатьев В.К., Шмаков Ф.М.

*Волгоградский государственный университет, Физико-технический институт,
кафедра радиофизики*

Адрес: 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100, тел.: (8442) 460-279

rf@volsu.ru

Резюме. Проведены исследования условной вязкости воды, подвергнутой термической активации в различных режимах, которые подтверждают, что при активации воды меняется её структура. Измерения вязкости проводятся с использованием фильтровальных мембран марки МФАС-Б с размером пор 0,05 мкм. Доказано, что термически активированная вода способна сохранять пониженную вязкость на сравнительно больших промежутках времени. Экспериментально показано, что на вязкость активированной воды влияют структурные изменения в строении самой воды, а не ее дегазация.

Ключевые слова. Биологически активная вода, кластер, водородные связи, термическая активация, условная вязкость, фильтровальная мембрана, условная температура.

Research of conditional viscosity of thermally activated water

Ignatjev V.K., Shmakov P.M.

Volgograd State University,

Physical-Technical Institute

The resume.

The investigations of conditional viscosity of the water subjected to thermal activation have been conducted in various regimens. It was confirmed that water structure changed at activation. Viscosity measurements were conducted using the filtering membranes MFAS-B with the size of a pores 0,05 microns. It was approved that thermally activated water is capable to keep the lowered viscosity on rather wide intervals of time. It was experimentally shown that

viscosity of the activated water was influenced by structural changes in a structure of the water, instead of degassing.

Keywords. Biologically active water, cluster, hydrogen bonds, thermal activation, conditional fluidity, a filtering membrane, conditional temperature.

Введение

Под свойствами воды понимают совокупность ее биохимических, физических, химических и других характеристик. Многие свойства воды аномальны, это вызвано особенностями ее структуры, обусловленными водородными связями [1]. Они легко разрушаются и быстро восстанавливаются, что делает структуру воды исключительно изменчивой, в отдельных микрообъемах непрерывно возникают своеобразные ассоциаты воды, её структурные элементы – кластеры [2]. Активация воды заключается в разрушении кластерных структур, при этом структурная сетка водородных связей разрушается, молекулы воды обретают дополнительные степени свободы [3].

Вода с измельченными кластерами лучше проникает через биологические мембраны, быстрее выводится из организма и эффективно используется в биохимических реакциях. Считается, что такая вода более активна по своим биофизическим и биологическим характеристикам. Эффективным методом активации воды является термическая активация, заключающаяся в нагреве воды до 90 ... 95 °С с последующим быстрым охлаждением до комнатной температуры. В литературе активированную таким способом воду часто называют дегазированной, а сам процесс термической активации – дегазацией [4].

В настоящее время отсутствует общепринятая точка зрения на связь концентрации растворенных в воде газов с ее физическими и биологическими свойствами. Утверждение, что биологическая активность воды обусловлена пониженным содержанием в ней газов, в частности кислорода [4], трудно считать обоснованным. В соответствии с законом Генри в контактирующей с атмосферой воде растворены главным образом так называемые постоянные газы (N_2 и O_2), растворимость которых составляет сотые доли молярных процентов, а молекулы являются неполярными [5].

В рамках модели переходного состояния [6] причиной влияния растворенных газов на скорость химических реакций может быть изменение внутреннего (когезионного) давления, однако оно оказывает заметное влияние на скорость реакции только в неполярных растворителях. В водных растворах изменение скорости гетеролитических реакций может быть связано с изменением полярности растворителя, под которой понимается его способность сольватировать находящиеся в растворе заряженные частицы. По правилам Хьюза – Ингольда такое влияние носит разнонаправленный характер – при уменьшении полярности растворителя увеличивается скорость реакций, в которых плотность заряда в активированном комплексе меньше, чем в исходной молекуле, и уменьшается скорость реакций, в которых плотность заряда в активированном комплексе больше, чем в исходной молекуле.

Следует отметить, модель переходного состояния не учитывает взаимодействие между молекулами растворителя. Кроме того, правила Хьюза – Ингольда базируются на допущении о статическом равновесном характере сольватации в переходном состоянии, то есть скорость релаксации молекул растворителя, связанная с их переориентацией, в процессе активации считается настолько высокой, что активированный комплекс находится в тепловом равновесии со своей сольватной оболочкой. Оба допущения могут не выполняться в таком высокоструктурированном растворителе, как вода [6]. Поэтому влияние неполярных молекул растворенных в воде постоянных газов на скорость биохимических реакций должно быть незначительно.

Более вероятным механизмом ускорения химических реакций в термически активированной воде может быть изменение структуры водородных связей. В ходе любой реакции, проходящей в растворе, в растворителе должны образовываться полости, в которых располагаются реагенты, активированный комплекс и продукты реакции. Легкость возникновения таких полостей, сопровождающегося разрывом межмолекулярных связей, оказывает влияние на скорость реакции [6]. Дегазация может сопровождаться изменением структуры воды и появлением дополнительных полостей из-за разрушения клатратов, то есть структур выпуклых многогранников, построенных из молекул воды и стабилизированных гостевой молекулой. Клатрат, стабилизированный молекулой газа, является газогидратом, типичный пример – газогидраты метана, формирующиеся во влажном газе. Газогидраты могут образовываться и в жидкости в виде нанопузырьков [7]. Однако существование газогидратов постоянных газов пока не подтверждено.

Следует отметить, что связь структуры воды, как с методами активации, так и с ее биологическими характеристиками исследуется, главным образом, качественно [3], методами, не удовлетворяющими требованиям единства измерений [8]. В качестве параметров модели активированной воды принимаются либо не измеряемые в смысле закона [8] величины (биологическая активность, структура и т.д.), либо не имеющие первичных эталонов и утвержденной государственной поверочной схемы (газосодержание). Поэтому используемые для таких исследований приборы являются не измерителями, а индикаторами, полученные же данные – не измерениями, а лишь оценками. Этот факт может служить объяснением часто отмечаемой плохой воспроизводимости результатов таких исследований [7] и недостаточной обоснованности сделанных из них выводов и утверждений.

В качестве измеряемой характеристики воды выбрана ее кинематическая вязкость, которая воспроизводится первичным эталоном ГЭТ 17-96 с погрешностью, не превышающей $2 \cdot 10^{-3}$ [9].

Связь кинематической вязкости воды с ее структурой подтверждается изотопным эффектом. Известно, что вязкость тяжелой воды D_2O на 24% больше, чем у легкой H_2O . Теплота испарения, температуры кипения и замерзания у тяжелой воды выше, а диэлектрическая проницаемость при большем дипольном моменте молекулы меньше, чем у легкой. Эти показатели свидетельствуют о большей плотности водородных связей и большей упорядоченности структуры в более вязкой тяжелой воде [6]. Растворимость $NaCl$ в тяжелой воде на 5% меньше, чем в легкой воде, что подтверждает пониженную химическую активность более вязкой тяжелой воды [6]. Экспериментально установлено, что легкая вода, то есть природная вода, освобожденная от примеси тяжелой воды, имеет большую биологическую активность [7].

В химической кинетике установлено, что скорость большинства биохимических реакций, происходящих между относительно большими органическими молекулами, определяется диффузионной стадией процесса и зависит от вязкости растворителя [10]. Строго говоря, применение диффузионного приближения к межмолекулярным реакциям не вполне корректно. На расстояниях, сравнимых с размерами молекулы, нельзя рассматривать растворитель как изотропный и бесструктурный континуум, шарообразная форма молекулы также не соответствует реальности.

С микроскопической точки зрения влияние растворителя на скорость химической реакции обусловлено тем, что координата реакции не является нормальной координатой

всей системы, поэтому ее эволюция сопровождается обменом энергией и импульсом со многими другими степенями свободы окружения. Это взаимодействие с окружающей средой, которая моделируется большим количеством осцилляторов, на временах, много больших среднего времени пробега, проявляется как обычное классическое трение [11]. Водородные связи в ассоциатах воды могут рассматриваться как осцилляторы, поэтому разрушение кластеров при активации воды приводит к уменьшению «микроскопического» трения.

С другой стороны, в рамках модели Дебая продольная релаксация в конденсированных средах обусловлена, главным образом, взаимодействием с вращательными степенями свободы структурных элементов [12]. У крупных кластеров момент инерции и вращательная энергия существенно больше, чем у мономера, поэтому разрыв водородных связей и дробление кластеров должно уменьшать кинематическую вязкость воды.

Влияние кинематической, то есть макроскопической, вязкости растворителя на скорость химических реакций теоретически обосновано и экспериментально подтверждено для фотоиндуцированного переноса электрона [13]. При этом короткий лазерный импульс, активизирующий молекулу-донор, может рассматриваться как строб, на дальнейшую кинетику реакции он не влияет. Поэтому можно считать, что непосредственно измеряемая кинематическая вязкость является, с одной стороны, количественным структурно чувствительным параметром растворителя, а с другой – определяет скорость протекающих в нем биохимических реакций, то есть его биологическую активность.

В биологическом отношении изменение вязкости существенно отражаются как на скорости чисто химических реакций, протекающих в системе, так и на ряде физических явлений, имеющих первостепенное значение для жизненных процессов в клетке. Так, с возрастанием вязкости уменьшается скорость диффузии, падает электропроводность, резко изменяется механическое сопротивление, испытываемое жидкостью при прохождении через узкие пространства (капилляры, межклеточные пространства) [14]. Зависимость этого сопротивления от вязкости часто принимается за основу для измерения вязкости [9]. Согласно закону Пуазейля при установившемся ламинарном движении вязкой несжимаемой жидкости сквозь цилиндрическую трубу круглого сечения секундный объёмный расход прямо пропорционален перепаду давления на единицу длины трубы и четвертой степени радиуса и обратно пропорционален вязкости жидкости [15].

Кинематическая вязкость дистиллированной воды при 20 °С равна $1,004 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [16] и близка к нижней границе, воспроизводимой Государственным первичным эталоном [9]. Она слишком мала для измерения входящими в поверочную схему [9] рабочими средствами измерений, например серийными вискозиметрами (ВПЖ-1м, ВПЖ-2м и т.п.) с минимальным диаметром капилляров 0,34 мм. Первичный эталон ГЭТ 17-96, как и рабочий эталон первого разряда, воспроизводящий кинематическую вязкость в диапазоне от $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ и представляющий собой стеклянный вискозиметр с висязим уровнем и длиной капилляра 550 мм, для лабораторного использования не предназначен. Вместе с тем Государственная поверочная схема [9] предусматривает использование в качестве рабочих эталонов второго разряда градуировочных жидкостей.

Дистиллированная вода используется в качестве градуировочной жидкости при измерении условной вязкости, которая выражается в градусах условной вязкости (°ВУ) как отношение времени истечения определенного объема (обычно 200 см³) продукта через калиброванное отверстие вискозиметра к постоянной вискозиметра, равной времени истечения такого же объема дистиллированной воды при 20 °С [17]. Так, вискозиметры марки ВУ с постоянной (51 ± 1) с [17] предназначены для исследования нефтепродуктов с условной вязкостью 5 ... 10 °ВУ, то есть время истечения порции продукта через вискозиметр составляет 250 ... 500 с.

Заметим, что закон Пуазейля применим для режима ламинарного молекулярного течения бесструктурной жидкости [18]. Если диаметр отверстия, через которое протекает жидкость, сравним с размерами структурных элементов жидкости, возможны значительные отклонения от закона Пуазейля, и измеренная условная вязкость жидкости будет зависеть от диаметра отверстия. Поскольку размеры пор в биологических мембранах и характерные расстояния, на которых проявляется эффект клетки в химических реакциях [19], сравнимы с размерами крупных водных кластеров, для измерения кинематической вязкости активированной воды и исследования возможной связи ее со структурой и биохимической активностью необходим вискозиметр специальной конструкции.

Цель исследования

Получение для активированной воды количественной характеристики как физической величины, измеряемой с высокой точностью в соответствии с утвержденной поверочной схемой, и для которой обоснована закономерная связь как со структурой, так и с биохимическими свойствами. Исследование влияния различных режимов термической активации на физические свойства воды, определение времени релаксации активированной воды к равновесному состоянию. Определение влияния структурных изменений и дегазации на условную вязкость термически активированной воды.

Материалы и методы

Условная вязкость активированной воды составляет 0,5 ... 0,7 °ВУ, поэтому для обеспечения необходимой точности измерений разработан вискозиметр специальной конструкции, в котором постоянная вискозиметра увеличена до 150 с, объем протекающей жидкости уменьшен до 1 см³, а калиброванное отверстие в резервуаре вискозиметра заменено мембраной.

В качестве резервуара вискозиметра используется цилиндрическая стеклянная колба от медицинского шприца диаметром 16 мм и длиной 110 мм. К дну колбы плотно прижата фильтровальная мембрана марки МФАС-Б (производитель ЗАО НТЦ «Владипор» г. Владимир, Россия), представляющая собой микропористый пленочный материал, изготовленный на основе смеси ацетатов целлюлозы с размером пор 0,05 мкм и общей пористостью 80 - 85%. В колбу заливается исследуемый образец воды объемом 10 см³, и поршнем шприца с дополнительной нагрузкой массой 500 г создается избыточное давление около 25 кПа, обеспечивающее необходимую постоянную вискозиметра.

Для автоматизации и повышения точности измерений вместо мерной колбы используются портативные электронные измерительные весы КД-100 (производитель ЗАО «Вессервис» (Невские весы), г. Санкт-Петербург, Россия) со стаканчиком, точность измерения массы 0,01 г, время протекания измеряется электронным секундомером. Каждый опыт проводится с новой мембраной, для соблюдения чистоты эксперимента. Измерения с активированной и градуировочной водой проводятся поочередно по 4 раза и вычисляются средние значения времени протекания t и t_0 , соответственно. Статистическая обработка проводится методом определения среднеквадратического отклонения от

средней величины в программе Microsoft Excell 2010. Относительное среднеквадратическое отклонение во всех сериях измерений не превышало 3%, что соответствует требованиям стандарта [17].

Вода, прошедшая любую обработку, в том числе и дистилляцию, является метастабильной структурой [7]. Поэтому для обеспечения воспроизводимости результатов измерений в качестве градуировочной жидкости используется свежеприготовленный бидистиллят, который сразу после приготовления замораживается. Необходимая для измерений порция бидистиллята растапливается в сосуде с притертой пробкой и доводится до рабочей температуры $20 \pm 0,1$ °С в жидкостном термостате ЛАБ-ТЖ-ТС-01/12-100 (ООО Компания «Химснабжение», Россия) непосредственно перед экспериментом. Температура контролируется ртутным термометром с ценой деления 0,1 °С. Поскольку скрытая теплота плавления воды намного больше разницы энергий возможных метастабильных состояний, а лед обладает полностью упорядоченной кристаллической структурой, можно считать, что талая вода имеет максимально упорядоченную структуру и минимальную при данной температуре энергию, то есть находится в стабильном состоянии.

В качестве исходного материала используется дистиллированная вода, приготовленная перегонкой в дистилляторе, все части которого выполнены из стекла. Также проведены измерения с питьевой водой из родника, расположенного в поселке Ерзовка, Волгоградская область, Россия [20]. До момента активации образцы воды хранятся в замороженном состоянии.

Термическая активация воды проводится в термостойкой круглодонной колбе объёмом 250 мл, горло которой плотно соединено с обратным холодильником. Выход из холодильника закрывается притёртой пробкой для исключения удаления газов из объёма активируемой воды. Колба выдерживается в жидкостном термостате при температуре 95 ... 100 °С, после чего погружается в сосуд объёмом 2 л, заполненный охлажденным до температуры -7 °С антифризом, температура воды в колбе в течение 1 ... 1,5 мин снижается до значения 18 ... 22 °С, после чего температура воды доводится до $20 \pm 0,1$ °С в жидкостном термостате.

Полученные образцы активированной воды хранятся в колбе с плотно притёртой пробкой. Восстановление структуры термически активированной воды производится замораживанием в морозильной камере холодильника в плотно закрытой стеклянной посуде.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В ходе всех экспериментов измерялась условная вязкость воды при одной и той же рабочей температуре $20 \pm 0,1$ °С, это связано с экспоненциальной зависимостью вязкости воды от температуры [16]. Зависимостью вязкости от изменения давления можно пренебречь, так как в процессе измерений используется груз, создающий избыточное давление, значительно превосходящее возможные флуктуации атмосферного.

На первом этапе исследований определялись метрологические характеристики разработанного вискозиметра, для чего в течение нескольких дней измерялись времена протекания через мембрану 1 см^3 различных образцов воды при постоянной температуре. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Вид воды	t, с (1 день)	t, с (2 день)	t, с (3 день)
Бидистиллированная	142 ± 4	169 ± 3	132 ± 4
Талая бидистиллированная	134 ± 3	133 ± 4	130 ± 3
Дистиллированная	202 ± 6	115 ± 4	124 ± 5
Талая дистиллированная	136 ± 3	134 ± 3	134 ± 2
Родниковая	87 ± 4	150 ± 4	122 ± 4
Талая родниковая	128 ± 3	132 ± 3	131 ± 3

Таблица 1 – Зависимость времени протекания воды от даты исследования

Из полученных результатов следует, что вязкость воды, находящейся не в замороженном состоянии, испытывает случайные изменения. Напротив, предварительно замороженные образцы воды после растапливания имеют с точностью до погрешности измерений одинаковое время протекания через мембрану. Следовательно, для проведения достоверных экспериментов по исследованию вязкости в качестве исходной следует использовать исключительно талую воду. В последующих экспериментах градуировочной жидкостью является талая бидистиллированная вода. При этом случайная погрешность измерений условной вязкости соответствует требованиям стандарта [17].

На втором этапе исследовалось влияние режима активации на условную вязкость термически активированной воды. Для определения оптимальной скорости охлаждения порция дистиллированной талой воды термически активировалась в течение 5 мин при температуре $90 \dots 95$ °С и затем делилась на 3 части. Первая часть охлаждается до температуры $17 \dots 18$ °С в течение $1 \dots 1,5$ мин в сосуде, заполненном охлажденным до температуры -7 °С антифризом, и доводится до рабочей температуры в водном термостате. Ее условная вязкость, измеренная с помощью вискозиметра непосредственно после активации, составляет $0,61 \pm 0,03$ °ВУ. Вторая часть остывает до комнатной температуры в открытой колбе в течение $3,5 \dots 4$ часов, затем также доводится до рабочей

температуры. Ее условная вязкость составляет $0,85 \pm 0,03$ °ВУ. Третья часть помещается в термос и остывает до рабочей температуры примерно за 24 часа, ее условная вязкость составляет $1,06 \pm 0,04$ °ВУ.

Из полученных данных следует, что именно быстрое охлаждение термически активированной воды со скоростью 1 °С в секунду позволяет получить наибольшее изменение вязкости.

Результаты исследования повторной термической активации талой родниковой воды приведены в таблице 2

n, раз	1	2	3	4	5	6	7
°ВУ	$0,70 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,03$	$0,50 \pm 0,02$	$0,48 \pm 0,03$	$0,49 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,02$

Таблица 2 – Влияние повторной термической активации на вязкость родниковой воды

Каждая термическая активация продолжалась 5 мин с последующим быстрым охлаждением воды. Из анализа полученных данных следует, что повторная активация родниковой воды приводит к значительным изменениям условной вязкости. Оптимальна четырехкратная активация, после которой условная вязкость выходит на постоянный уровень.

Исследованию времени восстановления структуры термически активированной воды посвящена третья серия экспериментов. Оказалось, что уже на второй день после активации условная вязкость активированной дистиллированной воды, находящейся в закрытой стеклянной колбе с плотно притёртой крышкой, изменилась от $0,60 \pm 0,02$ °ВУ до $0,89 \pm 0,04$ °ВУ, а для активированной родниковой воды от $0,78 \pm 0,03$ °ВУ до $1,29 \pm 0,04$ °ВУ. Таким образом, условная вязкость воды уже на следующий день после активации становится не контролируемой (случайной). Поэтому исследования проводились на меньшем временном интервале. Измерения условной вязкости термически активированной дистиллированной воды проводились с шагом в 20 минут в течение двух часов, результаты экспериментов приведены в таблице 3.

t, мин	0	20	40	60	80	100	120
°ВУ	$0,60 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,03$	$0,67 \pm 0,04$	$0,69 \pm 0,03$	$0,73 \pm 0,04$	$0,76 \pm 0,04$	$0,78 \pm 0,04$

Таблица 3 – Зависимость величины условной вязкости термически активированной дистиллированной воды от времени

Полученные результаты подтверждают метастабильный характер термически активированного состояния воды [7]. Ее условная вязкость остается постоянной в

пределах погрешности измерения в течение примерно 20 минут, после чего она плавно увеличивается. Предположение, что структура водородных связей в термически активированной воде начинает восстанавливаться примерно через 20 минут после быстрого охлаждения согласуется с тем, что минимальная условная вязкость достигается в результате четырех повторных пятиминутных активаций, после чего она выходит на постоянный уровень.

Последняя серия экспериментов посвящена исследованию влияния длительности процесса термической активации на условную вязкость родниковой воды. При активации в течение 5 минут условная вязкость равна $0,72 \pm 0,03$ °ВУ, при продолжительности активации 15 и 25 минут – $0,52 \pm 0,03$ °ВУ и $0,55 \pm 0,03$ °ВУ, соответственно. Наблюдается зависимость значения условной вязкости от длительности активации. Однако четыре повторные пятиминутные активации оказываются более эффективными, чем одна активация в течение двадцати пяти минут. Это явление также можно объяснить началом восстановления структуры водородных связей в воде через 20 минут после их разрушения в процессе термической активации.

Выводы

Считается, что в процессе термической активации на вязкость воды влияют как дегазация, так и разрушение структуры водородных связей в кластерах [4]. Вопрос, какой из факторов оказывает наибольшее влияние на физические свойства воды до сих пор оставался открытым. Поставленные эксперименты с термической активацией воды в герметично закрытой колбе, когда содержание газа не меняется, убедительно доказывают, что активация воды обусловлена именно разрушением структуры водородных связей, а не дегазацией, и сопровождается уменьшением ее вязкости.

Поскольку температурная зависимость вязкости воды хорошо изучена [16], активированной воде можно приписать эквивалентную (вязкостную) температуру, равную той, которую должна иметь талая вода, чтобы ее вязкость равнялась вязкости активированной воды. Так, условной вязкости родниковой воды после четырехкратной термической активации соответствует условная температура 60 °С. По правилу Ван Гоффа увеличение температуры реакционной среды на 10 °С сопровождается увеличением скорости реакции в 3 ... 4 раза [5]. Таким образом, можно ожидать ускорения биохимических реакций в термически активированной воде почти в 100 раз, что позволяет объяснить ее повышенную биологическую активность. Пониженная вязкость активированной воды сохраняется в течение примерно 30 минут, этого достаточно для

воздействия на физиологическое состояние человека при употреблении непосредственно после активации. Хранить активированную воду не следует.

Исследованный способ термической активации природной, например родниковой, воды обеспечивает сохранение ее солевого и газового состава и позволяет предположить, что употребление такой воды будет благоприятно влиять на организм и здоровье в целом человека и рекомендовать ее использование в медицине и фармакологии.

Литература

1. Зацепина Г.Н. Свойства и структура воды. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. — 168 с.
2. Айзенберг Д., Кауцман Д. Структура и свойства воды. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
3. Интернет ресурс, режим доступа: <http://andeg.com.ua/site/page26348.html>.
4. Зелепухин В.Л., Зелепухин И.Л., Красноголовец В.В. Механизм структурирования воды дегазированием. - К.: Ин-т физики АН УССР, 1989. — 54 с.
5. Курс физической химии. Т. 1. / Под ред. Я.И. Герасимова. — М.: Химия, 1964. — 624 с.
6. Райхардт К. Растворители и эффекты среды в органической химии. М.: Мир, 1991. — 763 с.
7. Лобышев В.И. Вода как сенсор слабых воздействий физической и химической природы. // Российский химический журнал. — 2007. — Т. LI. — № 1. — С.
8. Об обеспечении единства измерений: федер. закон Рос. Федерации от 26 июня. 2008 г. № 102 – ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июня. 2008 г. // Рос. газ. — 2008. — 26 июня.
9. ГОСТ 8.025–96 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерения вязкости жидкостей. Введен 01.01.1998. — М.: Изд-во стандартов, 1997. — 4 с.
10. Воробьев А.Х. Диффузионные задачи в химической кинетике. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. — 98 с.
11. Leggett A.J., Chakravarty S., Dorsey A.T., Fisher M.P.A., Garg A., Zwerger W. Dynamics of the dissipative two-state system. // Rev. Mod. Phys. — V. 59. — № 3. — 1987. — P. 1 – 85.
12. Молекулярные взаимодействия. / Под ред. Г. Ратайчик, У. Орвилл-Томас. — М.: Мир, 1984. — 598 с.

13. Burshtein A.I. Unifield theory of fotochemical carge separation // Advances in Chemical Physics. – V. 114. – 2000. – P. 419 – 587.
14. Елисеев А. Г. и др. Большая медицинская энциклопедия. – М.: ЭКСМО, 2005.
15. Козлов М.Г. Метрология и стандартизация: Учебник / М.Г. Козлов. – СПб.: Изд-во «Петербургский ин-т печати», 2001. – 372 с.
16. Кикоин И.К. Таблица физических величин. – М.: Атомиздат, 1976. – 1009 с.
17. ГОСТ 1532–81. Вискозиметры для определения условной вязкости. Технические условия. Введен 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 11 с.
18. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1982. – 432 с.
19. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. – М.: Высшая школа, 1984. – 463 с.
20. Интернет ресурс, режим доступа: <http://svyato.info/volgogradskaja-oblast/7603-rodniki-kljuchi-kolodcy-svjatye-istochniki.html>