

УДК 613.31: 577.2

Д.О. Ластков, О.В. Елизарова

## ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького»  
Минздрава России, Донецк, Россия

### Аннотация

Цель работы состояла в обосновании выбора метода гигиенической оценки биологической ценности питьевой воды. Исследовано поверхностное натяжение природной и свежетапой воды, а также сыворотки крови здоровых добровольцев методом межфазной тензиометрии для оценки качества воды. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования данного экспресс-метода для оценки биологической ценности употребляемой питьевой воды.

**Ключевые слова:** питьевая вода, биологическая ценность, межфазная тензиометрия

**Введение.** Население ДНР в настоящее время на безальтернативной основе потребляет только фасованную (бутилированную) питьевую воду. Для производства бутилированных питьевых вод и напитков на их основе может использоваться как природная, так и водопроводная (с дополнительной обработкой для улучшения качества) вода. Именно с их размежевания начинается определение воды как продукта в Codex Alimentarius — главном пищевом «стандарте» ООН, которого должны придерживаться все страны-члены ВТО [1].

После включения фасованной воды в перечень пищевых продуктов питьевая вода повторяет все этапы оценки продовольствия. На первом этапе определяющим является безвредность (доброкачественность) продукта — основное внимание уделяется эпидемической и токсической безопасности. На втором этапе потребителя интересует пищевая ценность продукта, обязательной становится этикетка с указанием содержания основных нутриентов (применительно к воде — общей минерализации, содержания отдельных солей, анионов и катионов). На третьем этапе потребитель требует информацию о биологической ценности продукта: ему уже недостаточно знать, например, содержание жиров — требуются сведения о жирах растительного и животного происхождения, насыщенных, ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислотах. Однако показатель комплексной оценки биологической ценности питьевой воды до сих пор не разработан.

В последние годы в качестве такой характеристики воды используют окислительно-восстановительный потенциал — ОВП (англ. Redox — Reduction/Oxydation) [2–3]. Клетки человеческого организма имеют отрицательный ОВП — (- 100) до (- 200) мВ. ОВП обычной питьевой воды (водопроводной, бутилированной и др.) всегда больше нуля и находится в пределах от +250 до +450 мВ. Минимальный

ОВП, т.е. более высокие восстановительные свойства, наблюдается у природных вод, свежих соков из фруктов и овощей.

Однако, на наш взгляд, необходимо изучать значимость не только отдельных параметров воды для организма, но и протекающих в водной среде процессов, их роль для нормальной жизнедеятельности человека [3–5]. Ранее в трех сериях эксперимента было изучено функциональное состояние организма 27 практически здоровых студентов [6]. Перед началом эксперимента путем анкетирования было выявлено, что все испытуемые использовали в питьевых целях и для приготовления пищи преимущественно или только водопроводную воду. В течение месяца испытуемые в том же объеме, что и ранее, употребляли природную фасованную воду «А.» (рН=7,61; минерализация=300 мг/л; ОВП=190 мВ) либо свежетапую воду, приготовленную из водопроводной методом «вымораживания (рН=6,91; минерализация = 190 мг/л; ОВП = 149 мВ). Учитывая возможное влияние сезонных и других колебаний функционального состояния, у испытуемых изучены те же показатели через месяц возвращения к прежнему питьевому режиму. Показано, что потребление обоих видов воды приводит к улучшению функционального состояния организма, что, в частности, проявляется достоверным улучшением показателей адаптивного иммунитета — как клеточного, так и гуморального, повышением работоспособности, нормализацией самочувствия и артериального давления.

**Материалы и методы.** Использование методов межфазной тензиометрии позволило установить, что поверхностное натяжение природной и свежетапой воды достоверно ниже, чем в контрольных пробах воды [6–7], а этот показатель рассматривается как один из физических критериев наличия структурной упорядоченности питьевой воды [4, 7]. Следует также учитывать, что к важным региональ-

ным особенностям питьевых вод промышленных регионов, в т.ч. Донбасса, относится высокое содержание хлорорганических соединений, образующихся вследствие применения хлорирования как основного метода обеззараживания воды [8].

В связи с этим перспективно применение метода исследования реологических характеристик биологических жидкостей методом осциллирующей капли [9]. Изменения площади межфазной поверхности (например, поверхности капли биологической жидкости или раствора сурфактанта) нарушают адсорбционное равновесие и инициируют процессы, которые ведут к восстановлению равновесного состояния системы. Такими восстановительными процессами являются: диффузионный перенос вещества из объема к поверхности капли, процессы адсорбции/десорбции сурфактанта, конформационные изменения или агрегация адсорбированных молекул, химические реакции в поверхностном слое и т.д. Если изменение площади поверхности капли происходит по гармоническому закону (синусоидальные деформации) и относительно невелико (менее 10%), то связь между изменением площади поверхности и ответом системы на это возмущение (изменением поверхностного натяжения) может быть выражена через дилатационный модуль, который учитывает все релаксационные процессы, влияющие на поверхностное натяжение. Дилатационный модуль (модуль вязкоупругости)  $E$  характеризует вязкоупругие свойства поверхностных (межфазных) слоев и определяется как отношение изменения поверхностного натяжения раствора  $\gamma$  к относительному изменению площади поверхности  $A$ :

$$E = \frac{d\gamma}{dh A} \quad (1)$$

Дилатационный модуль  $E$  является комплексным показателем, который включает в себя реальную и мнимую компоненты:

$$E = E_r + iE_i, \quad (2)$$

где реальная часть  $E_r$  — это модуль упругости (отражает накопление энергии в поверхностном слое), равный дилатационной упругости;  $E_i$  — это мнимая часть или модуль потерь (отражает потери энергии в релаксационных процессах), являющийся дилатационной вязкостью.

Экспериментальные исследования дилатационного модуля растворов сурфактантов или биологических жидкостей человека в Цен-

тральной научно-исследовательской лаборатории ДонГМУ проведены с использованием тензиореометра PAT-2 (SINTERFACE, Германия).

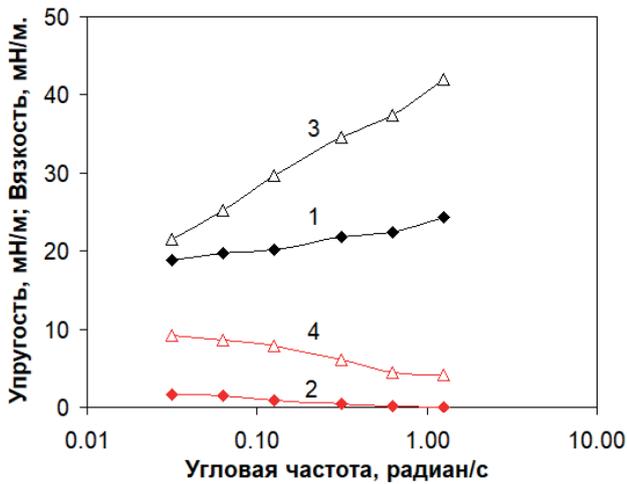
До начала эксперимента и по его окончании у тех же 27 испытуемых определяли показатели межфазной тензиометрии сыворотки [6, 9]. Для оценки реологических свойств сыворотки крови обследуемых использовались следующие показатели:  $\sigma_4$  — равновесное поверхностное натяжение (предельное поверхностное натяжение в зависимости от  $t-1/2$ ),  $\lambda_2$  — угол наклона тензиограммы в координатах  $t-1/2$ ,  $E$  — модуль вязкоупругости в стрессовом эксперименте,  $\tau$  — время релаксации в стрессовом эксперименте.

Обработку данных проводили методами вариационной статистики. Достоверность отличий исследуемых параметров оценивали при помощи критерия Стьюдента (при нормальном распределении) и критерия Вилкоксона (при отклонении от нормального закона распределения). Обработку данных осуществляли при помощи лицензионных статистических пакетов «MedStat» и «STATISTICA 6.0».

**Результаты и обсуждение.** Эксперименты по дилатационной реологии охватывают диапазон частот гармонических осцилляций поверхности капли от 0.005 до 0.2 Гц (или от 0.031 до 1.25 радиан/с). На рис. 1 показаны зависимости реальной (упругость, кривая 1) и мнимой (вязкость, кривая 2) составляющих комплексной дилатационной упругости раствора сывороточного альбумина человека (концентрация 0.1 г/л) от частоты гармонических осцилляций поверхности капли с амплитудой  $\pm 7\%$ .

Показано, что зависимости, представляемые кривыми 1 и 2, являются практически линейными функциями логарифма частоты. Значения реальной и мнимой составляющих модуля вязкоупругости сывороточного альбумина человека чрезвычайно чувствительны к добавкам сурфактантов. На этом же рисунке кривыми 3 и 4 показаны соответственно упругость и вязкость раствора альбумина той же концентрации, что и для кривых 1 и 2, но при добавлении 1.0 мг/л неионного оксиэтилированного сурфактанта C14E08. Четко видно, что добавление всего 1% сурфактанта (от массы альбумина) кардинальным образом влияет на дилатационную реологию раствора альбумина. Этот результат указывает на очень высокую чувствительность данного метода исследования биологических жидкостей человека. На рис. 2 показаны аналогичные зависимости для реального образца сыворотки крови.

Как и для модельных растворов на предыдущем рисунке, зависимости упругости и вяз-

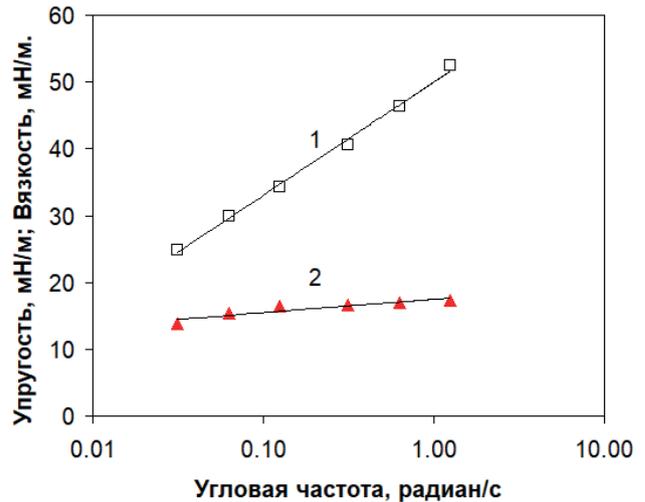


**Рис.1.** Зависимость дилатационной упругости раствора альбумина от частоты осцилляций

кости сыворотки крови от логарифма угловой частоты  $\omega=2\pi f$  (где  $f$  частота осцилляций, Гц) хорошо описываются линейными зависимостями:

$$E_r = a_1 + b_1 \lg \omega, \quad E_i = a_2 + b_2 \lg \omega \quad (3)$$

При этом максимальная экспериментальная частота  $f=0.2$  Гц равна угловой частоте 1.256 радиан/с, то есть, свободные члены  $a_i$  в линейных уравнениях (3), соответствующие  $\omega=1$  радиан/с, будут примерно равны значениям упругости и приведенной вязкости при максимальной экспериментальной частоте. Коэффициенты  $b_i$  в уравнениях (3) выражают углы наклона прямых на зависимостях вязкости и упругости от логарифма угловой частоты, т.е., изменение упругости и вязкости в диапазоне изменения частоты от 0.1 до 1.0 радиан/с. Таким образом, экспериментальные зависимости на рис. 2 описываются следующими четырьмя параметрами:  $a_1=50.0$  мН/м,



**Рис.2.** Зависимость дилатационной упругости сыворотки крови от частоты осцилляций

$b_1=16.9$  мН/м,  $a_2=17.5$  мН/м,  $b_2=1.97$  мН/м. Видно, что для упругости (прямая 1) параметр  $a_1$  точно соответствует частоте, равной 1 радиан/с. Аналогично и для вязкости (прямая 2) параметр  $a_2$  соответствует частоте 1 радиан/с. Прямые 1 и 2 сильно отличаются по углам наклона, что соответствует большой разнице параметров  $b_i$ : для упругости этот параметр примерно в 10 раз больше, чем для вязкости.

Среднесуточный объем потребляемой жидкости составлял 1,0–2,5 л у 85% студентов, причем 1,0–1,5 л — у 44%. С современных позиций объем потребляемой студентами воды следует признать недостаточным [7]. При изучении тензиометрических кривых сыворотки крови обследуемых испытуемых была установлена следующая динамика изучаемых показателей (см табл.).

Как следует из полученных данных (см. табл.) при употреблении природной фасованной воды поверхностное натяжение сы-

**Таблица.** Динамика реологических показателей сыворотки крови обследованных добровольцев при употреблении природной фасованной питьевой воды (Me, 25%, 75%)

Показатель	Период исследования		
	до употребления	один месяц употребления	после прекращения употребления через месяц
E	16,9 (12,45;20,2)	16,5 (13,65;23,4)	23,35 (16,5;29,4)
$\tau$	108,2 (6,9;130,7)	105,7 (101,8;133,8)	126,1 (110,5;133,6)
$\sigma_4$	41,5 (39,25;43,5)	43,75 (42,95;45,1)*	42,5 (41,7;43,2)
$\lambda_2$	155,4 (101,3;177,2)	106,75 (66,45;140,85)*	170,0 (145,6;184,4)*
Упругость			
$a_1$	42,5 (39,5;45,6)	44,0 (40,75;53,45)*	42,6 (37,6;46,2)
$b_1$	19,75 (18,7;20,5)	19,6 (19,2;21,6)	17,1 (15,5;19,6)
Вязкость, $a_2$	14,55 (13,9;15,95)		15,25 (13,5;16,3)
$b_2$	0,5 (-1,05;1,9)	-0,25 (-0,45;0,2)	1,4 (1,0;1,9)

Примечание: \* — отличия достоверны по сравнению с исследованиями до начала употребления природной воды,  $p<0,05$ .

воротки крови ( $\sigma_4$ ) обследуемых достоверно повысилось по сравнению с показателями до начала употребления. После прекращения употребления природной фасованной воды значение показателя вновь снизилось. При этом угол наклона тензиограммы ( $\lambda_2$ ) значимо уменьшился в 1,45 раза при употреблении фасованной воды, после же прекращения употребления природной воды через месяц значение показателя вновь достоверно повысилось. Такая же тенденция отмечается в отношении  $E$ ,  $\tau$ ,  $v_2$ . При изучении показателей упругости было установлено, что поверхностная упругость ( $a_1$ ) сыворотки крови обследуемых при употреблении природной фасованной воды значимо возросла в 1,03 раза, при этом после прекращения исследования через месяц значение показателя практически равнялось исходному значению до употребления природной питьевой воды. Обратные тенденции наблюдались при изучении угла наклона поверхностной упругости ( $v_1$ ): при употреблении природной воды значение показателя снизилось, после прекращения — понизилось даже ниже исходного уровня. Аналогичная динамика наблюдалась и в группе обследуемых при употреблении свежеталой воды. Установленные закономерности свидетельствуют о лучшем проникновении употребляемой питьевой воды внутрь клеток организма обследуемых, что говорит о высокой биологической ценности изучаемых видов воды, которые по принципу заместительной терапии вытеснили в кровеносное русло «отработанную» неструктурированную воду.

**Выводы.** Полученные данные подтверждают высокое качество природной и свежеталой воды, чем обусловлено их благоприятное влияние на функциональное состояние организма студентов.

Оценка реологических свойств питьевой воды и сыворотки крови может использоваться для оценки биологической ценности употребляемой питьевой воды, что свиде-

тельствует о перспективности применения экспресс-методов межфазной тензиометрии в данной области исследований.

*D.O. Lastkov, O.V. Yelizarova*

#### HYGIENIC SIGNIFICANCE OF THE BIOLOGICAL VALUE OF PORTABLE WATER

**Abstract.** *The aim of research was consisted to substantiate the choice of hygienic assessment method of the biological value of portable water. The surface tension of natural and fresh water, and blood serum of healthy volunteers were investigated by the method of interfacial tensiometry to assess water quality. The obtained data indicate the prospects of using this express-method to assess the biological value of the consumed portable water.*

**Key words:** *potable water, biological value, interfacial tensiometry*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Что такое Кодекс Алиментариус: Пер. с англ. – М.: Весь Мир, 2006. – 44 с.
2. Стрикаленко Т.В. Гигиенические задачи производства бутилированных питьевых вод: вчера, сегодня, завтра // Вода і водоочисні технології. – 2009. – № 8–9. – С. 52–56.
3. Ластков Д.О. Экотоксикологические аспекты оценки биологической ценности питьевой воды // Актуальные проблемы транспортной медицины: окружающая среда; профессиональное здоровье; патология. – 2011. – № 2 (24). – С. 32–39.
4. Бут А.И. Электронно-ионные процессы водных структур живых организмов и продуктов их переработки. – М.: МП «Экспертинформ», 1992. – 156 с.
5. Стрикаленко Т.В. Актуальные риски в регламентации качества питьевой воды // Актуальные проблемы транспортной медицины: окружающая среда; профессиональное здоровье; патология. – 2010. – № 4(22). – С. 30–36.
6. Соколова О.В., Ластков Д.О. Гигиеническая оценка и пути повышения качества воды в современных условиях Донбасса // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 220.
7. Ластков Д.О. Структурированная вода и особенности ее биологического действия (обзор) // Вода і водоочисні технології. – 2009. – № 1–2 (31–32). – С. 23–26.
8. О контроле содержания органических соединений в питьевой и природной воде методом межфазной тензиометрии / В.Б. Файнерман, В.Я. Уманский, Б.С. Горелик и др. // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2006. – Т. 10, № 1. – С. 181–185.
9. Kinetics of the desorption of surfactants and proteins from adsorption layers at the solution air interface / V.B. Fainerman, M.E. Leser, M. Michel, E.H. Lucassen-Reynders, R. Miller // J. Phys. Chem. B. – 2005. – V. 109, № 38. – P. 9672–9677.