

УДК 546.212-53  
6 1 477.556.6.133-07

**Ю.Ю. Трушков, Л.Е. Макарова, А.Ф. Шевченко, А.И. Дегтярёв,  
А.П. Каменских, А.Ю. Трушков, М.А. Мокрушина**

Пермский государственный технический университет

ЗАО «Вентмонтаж»

## **К ВОПРОСУ О СЛОИСТОСТИ БЫТОВОЙ ВОДЫ**

Предложены версии понятия «монослой воды». Рассмотрены варианты получения монослоя воды твердой и жидкой фаз. Предложены методики выявления структурных образований воды и их фиксирования.

**Ключевые слова:** монослои воды, газообразная, жидкая, твердая фазы воды, фотоэффект структурированной воды.

Из литературы [3] известно, что вода слоистая. Нами анализируется структура воды, полученная путем фиксирования слоев воды в ее парообразном, жидком и твердом состоянии. В качестве объединяющего понятия принято следующее определение: монослой – единственный плотноупакованный слой атомов, молекул, клеток [2]. В химии «монослой Ленгмюра, или нерастворимый монослой, – это нерастворимый слой толщиной в одну молекулу органического материала, распространенный в водной фазе. Ленгмюр использовал амфифильные материалы и материалы, имеющие макромолекулы (полимеры). Эти слои изучаются при производстве пленок, которые формируются размещением монослоев на твердых подложках» [2].

Монослой Гиббса – это растворимый монослой, формирующийся на смеси, которая растворяется в одной из фаз, разделяемых поверхностью, на которой формируется монослой [2].

При этом время формирования монослоя  $t$ , с, описывается формулой

$$t = \frac{3 \cdot 10^4}{P},$$

где  $P$  – давление, Па.

В биологии, при исследовании клеточных структур, монослоем называют слой клеток, в которых нет клеток, растущих поверх других, а все клетки растут вплотную друг к другу или часто соприкасаются друг с другом на одной и той же поверхности роста. Считается, что мономолекулярный слой – слой толщиной в одну молекулу, который образуется на границах раздела фаз (например, в результате адсорбции) [3].

Известно, что полярные молекулы воды объединяются в простые или сложные ассоциаты. Учитывая фазовое состояние воды, для определения сущности ее монослоя возможно использовать следующие понятия:

1. Монослой воды в твердой фазе – это один слой плотноупакованных или разрозненных ассоциатов макромолекул воды между поверхностями воды, находящийся в жидкой фазе.

2. Монослой воды в жидкой фазе – это сжатый слой, заключенный между плоскопараллельными твердыми поверхностями с образованием поверхностного натяжения границы раздела, не меняющегося при изменении поверхностного давления  $\Pi$  [2]

$$\Pi = \gamma^0 - \gamma,$$

где  $\gamma^0$  – поверхностное напряжение границы раздела перед формированием монослоя;  $\gamma$  – поверхностное натяжение границы раздела после формирования монослоя, измеряемое путем сжатия с образованием изотермы сжатия, т.е. когда в монослое  $\Pi = \text{const}$ .

Исследуя структуру воды по слоям, обнаруживаем, что плотноупакованную структуру этого монослоя воды вычленить сложно, так как отклонение режима обнаружения от оптимального влечет за собой появление структуры переходной фазы или в плотной упаковке оказывается не один монослой.

Монослои воды, полученные при замораживании воды в прозрачной емкости ( $\varnothing$  10 мм,  $h$  = 20 мм) по всему объему, т.е. на всю толщину (рис. 1) обнаружены в процессе ее таяния. Слои имеют толщину 5–20 мкм в зависимости от глубины залегания слоя, состава воды и других особенностей исследуемого материала на момент его фиксации. Далее приводятся результаты исследования монослоев бытовой воды.

Проведены также эксперименты по выявлению слоистости воды при переходе из газообразного состояния в твердое. Исследования проводились в морозильной камере при температуре  $-13$  °С и одновременном притоке воздушной среды извне с температурой 20 °С.

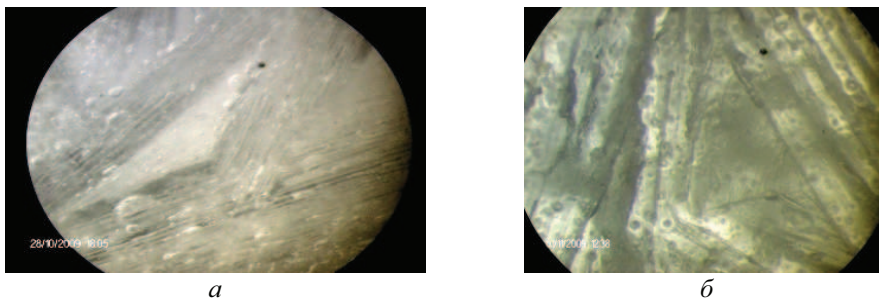


Рис. 1. Изменение структуры воды при переходе из твердой фазы воды в жидкую,  $\times 50$ : *а* – твердая фаза; *б* – жидкая фаза

Вода из воздуха, поступающая в камеру, на верхней поверхности конденсировалась, образуя легкую пушистую массу «снега» (рис. 2), напоминающую сталактиты по характеру формирования массы. Слои имеют толщину 5–10 мкм.

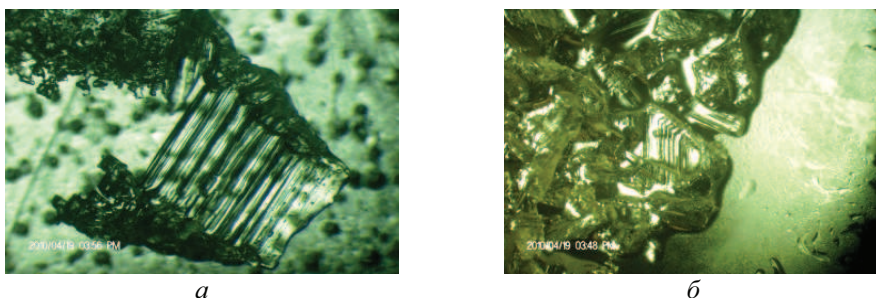


Рис. 2. Слоистость воды после конденсации из парообразной в твердую фазу: *а* – частично растаявшая твердая фаза; *б* – твердая фаза водяных кристаллов

Слоистость воды возможно обнаружить и методом нанесения капли на стеклянную пластину с последующим высушиванием ее на воздухе при комнатной температуре (рис. 3). За счет естественных центробежных сил в капле при ее высушивании выявляются слои.

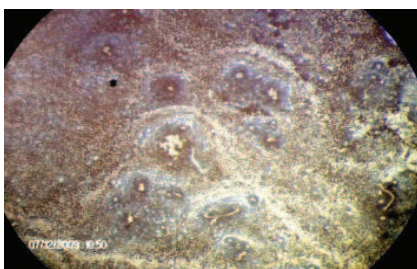
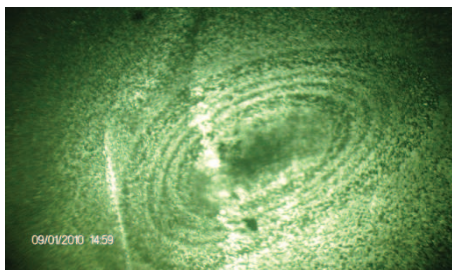


Рис. 3. Слоистость воды после высушивания капли жидкой фазы

В случае воздействия постоянным магнитом на воду, переведенную из твердой фазы (снежинок, полученных в естественных условиях в атмосфере) в жидкую фазу уже с хорошо организованной кристаллической структурой, обнаруживаем, что вода визуализировала магнитные силовые линии за счет выстраивания ассоциатов дипольных молекул в слои в соответствии с направлением силовых линий магнита (рис. 4, *а*).

В отличие от «неорганизованных» ассоциатов, т.е. с гетерогенной структурой, сочетающей ближний и дальний порядок (кристаллическая и аморфная структурные составляющие), бытовая вода визуализировала только те участки, которые оказались структурно чувствительными к воздействию того же постоянного магнита (рис. 4, *б*).



*а*



*б*

Рис. 4. Выявление силовых линий постоянного магнита:  
*а* – магнитные силовые линии в закристаллизованной воде;  
*б* – магнитные силовые линии в бытовой воде

В связи с избирательным характером поведения воды в жидком состоянии [1] наблюдения за структурным состоянием воды в монослое, вероятно, правильно вести следующим образом: вариант 1 – по дискретным участкам организации структуры в твердой фазе ассоциатов между жидкими фазами воды, вариант 2 – фиксировать структуру жидкой фазы ассоциатов между плоскопараллельными твердыми поверхностями (стеклянными пластинами).

Исследования структурных образований воды по варианту 2 (рис. 5) показали, что сетчатая структура воды жидкой фазы отличается от структурообразования сетки по варианту 1 (рис. 6). В процессе замораживания происходит интенсивное усложнение строения сетки: укрупнение структурных элементов, выстраивание деформированных пластин в цепочки с упрочнением связей между элементами.

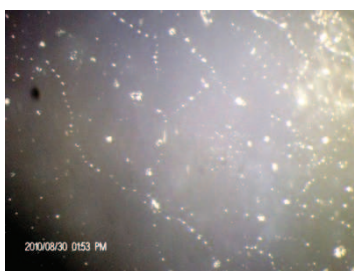


Рис. 5. Сетчатая структура в жидкой фазе воды

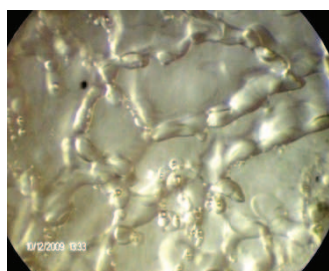


Рис. 6. Сетчатая структура в твердой фазе воды

На рис. 7 показан монослой воды после воздействия на нее звуковыми волнами. На рис. 8, *а* показан монослой плотноупакованной ориентированной структуры из ассоциатов воды под воздействием многоразового однонаправленного механического воздействия (путем возвратно-поступательного ее перемещения в цилиндре диаметром 20 мм и длиной 50 мм). Получаем сшитую систему ассоциатов макромолекул. На рис. 8, *б* зафиксировано внедрение одного монослоя в другой при аналогичном воздействии на воду. В случае,

представленном на рис. 8, б, принимаем за монослой верхний слой структуры ассоциатов макромолекул, который размещен на нижележащем слое ассоциатов. При скоростной съемке удастся зафиксировать послойную смену одного слоя за другим, так как твердая фаза находится между двумя прозрачными «пластинами» из воды жидкой фазы.

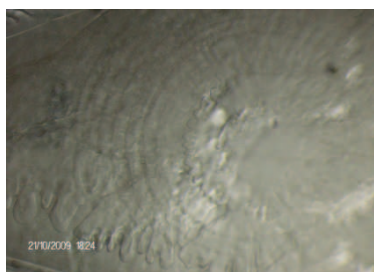


Рис. 7. Монослой воды после воздействия звуковыми волнами

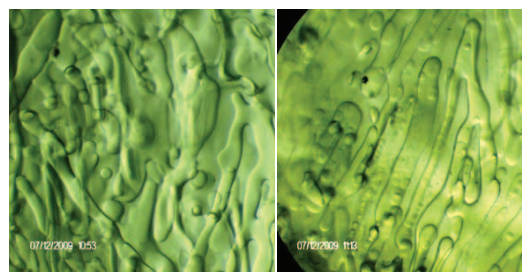


Рис. 8. Монослои воды под механическими воздействиями

Разработанная методика получения монослоя воды между двумя плоскостями параллельными стеклянными пластинами заключается в следующем. Готовят две стеклянные пластины толщиной 1 мм с поверхностью  $90 \times 120 \text{ мм}^2$  путем тщательной очистки поверхностей в обезжиривающем растворе. После этого под струей воды смывают обезжиривающий раствор и сушат поверхности салфетками из мягкой, но не ворсистой ткани. Проверяют степень очистки пластинок на микроскопе. Затем на плоскую поверхность подложки, являющуюся одновременно нагревательным элементом, укладывают одну из пластин и из пипетки, в которую предварительно набран исследуемый слой, капают воду на поверхность этой пластины. Другую пластину медленно укладывают на поверхность первой для того, чтобы получить прослойку воды между ними по возможности без воздушных полостей. Затем на прослойку воды воздействуют температурой и давлением. Для этого задают температуру в диапазоне  $150\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сверху на пластины оказывают давление нагружающим элементом. Нагружение проводится постепенно до достижения нагрузки на водяную прослойку в пределах  $1\text{--}4 \text{ г/мм}^2$ .

Воздействие температуры, близкой к температуре перегретого пара ( $180 \text{ }^\circ\text{C}$ ) или к температуре плавления полимера около  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , с одновременным действием сжимающих сил позволило увидеть не только ассоциаты молекул жидкой фазы воды и разнообразие их структуры и форм в монослое ( $5\text{--}20 \text{ мкм}$ ), но также текстуру монослоя «сухой» воды. Длительность процесса смыкания пластин с образованием монослоя находится в пределах  $10\text{--}15 \text{ с}$ , а выдержка под нагрузкой на нагревательном элементе –  $1\text{--}2 \text{ мин}$  в зависимости от выбранного режима, например  $T = 150\text{--}180 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{сж}} = 4 \text{ г/мм}^2$ ; или  $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{сж}} = 1\text{--}2 \text{ г/мм}^2$  и т.д.)



После одновременного снятия нагрузки и отключения нагревательного элемента пластины охлаждаются при комнатной температуре. По окончании охлаждения выявляется текстура монослоя, которая исследовалась под оптическим микроскопом при различных увеличениях в зависимости от размера исследуемого элемента структуры.

Поскольку термодинамическая устойчивость исследуемых тонких прослоек различна и зависит от скорости и расклинивающего давления, то при утоньшении необходимо сохранить равновесие прослойки с объемной фазой, а также сохранить химические потенциалы всех компонентов, которые входят в объемную фазу [4]. В работе [5] дается математическое обоснование полученного разнообразия текстуры пленок. Как утверждает автор, если в начале этого процесса эффективное расклинивающее давление  $\Pi_i(h)$  было равно равновесному, то в конце оно должно было его превзойти:

$$\Pi_i(h + \Delta h) > \left( \frac{\partial \Pi}{\partial h} \right) e \Delta h + \Pi(h).$$

С учетом отрицательного знака  $\Delta h$  это приводит к сформулированному выше условию:

$$\frac{d\Pi}{dh} < \left( \frac{d\Pi}{dh} \right) e.$$

Возможны случаи, когда условие устойчивости прослойки удовлетворяется по отношению к быстрым изменениям ее толщины, но не соблюдается по отношению к ее медленным изменениям (аналогично стабилизирующему эффекту Марангони – Гиббса при растяжении пленок [5]).

В представленной работе исследуется не текстура поверхности прослоек, полученных между плоскопараллельными твердыми пластинами путем только давления на пластинки, где идут в основном диффузионные процессы на границе стекло – вода, а структура самих водных ассоциатов. Для этого воду подвергали между пластинами термомеханическому воздействию (температура + расклинивающее давление).

В результате обнаружены структурные образования монослоя в виде однослойного элемента (рис. 9). На рис. 10 представлена двухслойная структура образования полярных ассоциатов бытовой воды.

В данном эксперименте при изменении температуры и давления наблюдается одновременное снижение вязкости слоя воды и его утоньшение, что позволяет получить не только монослой воды (10–30 мкм), но и монослой структурного элемента воды (2–10 мкм).

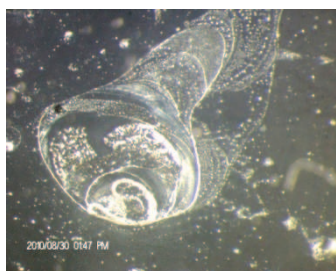


Рис. 9. Монослой одного элемента воды

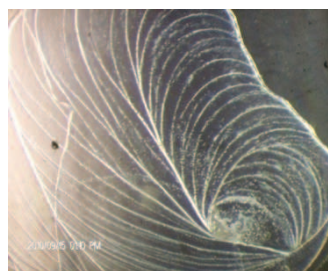


Рис. 10. Верхний монослой воды на фоне нижележащего монослоя

Ввиду того, что наш эксперимент позволяет сохранить структурные образования монослоя воды (рис. 11–13) и монослоя единичного образования (рис. 9–10), это дает зафиксировать их без дальнейших изменений. Кроме того, расширяются возможности исследования структурообразования воды и водных растворов.

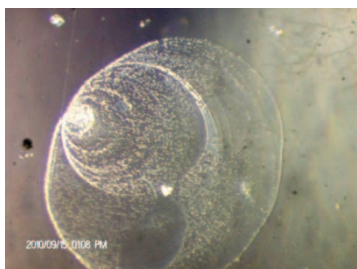


*а*

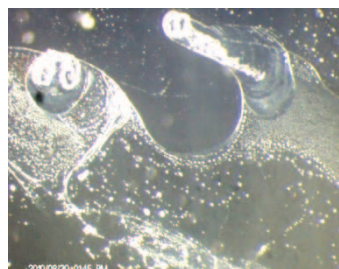


*б*

Рис. 11. Многослойные структурные элементы жидкой фазы воды



*а*



*б*

Рис. 12. Разнообразие форм многослойных элементов жидкой фазы воды

Этот способ позволил зафиксировать момент взаимодействия дипольных ассоциатов воды в монослое (рис. 10 и 13). На рис. 11 пластины из ассоциатов макромолекул воды притянулись противоположными полюсами друг к другу, а на рис. 13 показан момент отслоения монослоя (структурной единицы) от плотного многослойного образования утоньшенного слоя воды.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что за монослой воды можно принимать один из слоев воды (отчетливо просматривающихся на рис. 1–9); слой отдельно взятого структурного образования жидкой фазы на фоне твердой бесструктурной подложки (стекло) (рис. 10, 11, 14); структуру отдельного образования (образований) твердой фазы воды на фоне жидкой фазы (рис. 4–6).

Полученные результаты исследования процессов структурного превращения бытовой воды нашли конкретное практическое применение при разработке гидрофильтров: таких, например, как в комплексном устройстве «Эковест». Использование процесса рециркуляции водяного раствора в гидрофиле способствует активации верхних слоев воды и пассивации нижних слоев. Далее диспергированная вода из форсунок в виде водяной завесы поступает в верхние слои контактной емкости. Это позволяет устранять загрязнения из воздуха. Загрязненная часть водного раствора направляется в плотные нижележащие слои контактной емкости. За счет организованной ориентации структурных элементов в слоях удается значительно увеличить время удержания в растворе частиц загрязнения и тем самым обеспечить наиболее полное очищение воздуха от вредных примесей.

Предложенные методы получения и исследования воды по слоям применимы также как методы контроля состояния воды, например, в водоемах, верхние и нижние слои которых отличаются по многим параметрам (плотность, состав, структурная «чувствительность» к воздействию различных сред, теплофизические свойства и т.д.).

## Список литературы

1. К вопросу о структурных видоизменениях воды под влиянием внешней и внутренней среды. Сравнительный анализ данных современной науки о природе воды / Ю.Ю. Трушков, Л.Е. Макарова, А.П. Каменских, А.Ю. Трушков // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2010. – № 4. – Т. 12. – С. 146–174.
2. Моноатомный слой. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B%D0%BE%D0%B9>).
3. Монослой. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Monolayer>.



Рис. 13. Монослой на фоне многослойного элемента образования жидкой фазы воды



4. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1987. – С. 30–50.

5. Дерягин Б.В. Поверхностные слои. – М.: Наука, 1985. – С. 29–52.

6. Гомбоев Р.И., Симаков И.Г. Низкочастотная диэлектрическая проницаемость воды в адсорбционном слое. Доклад отдела физических проблем Бурятского научного центра СО РАН. – URL: <http://bsfp.irk.ru/bsfp1999/bsff2/bb05bn6.php>.

7. Адамчик А., Стругальский З. Жидкие кристаллы / пер. с польского. – М.: Советское радио, 1979. – С. 39–47.

Получено 14.01.2011