
**НАУЧНЫЕ СТАТЬИ, ПОСВЯЩЕННЫЕ
ПАМЯТИ Л.Н. ГАЛЛЬ**

УДК 681.2.083

© Г. М. Черняков, С. В. Костылев, 2024

**ВОЗМОЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ
УСТРОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Данная работа была инициирована Лидией Николаевной Галль в связи с ее экспериментальными исследованиями свойств воды. Описаны теоретические обоснования возможности инструментальной регистрации моментов утраты агрегативной устойчивости коллоидными системами биологического происхождения и общие установки на создание для этого приборного оснащения. Предложен вариант такого оснащения, разработанный в интересах выявления склонности мочи к выделению из нее твердой фазы.

Кл. сл.: натуральные коллоидные системы, взаимодействие веществ с электромагнитным излучением низкой интенсивности, камнеобразование в биологических жидкостях, агрегативная устойчивость коллоидных систем

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа была инициирована Лидией Николаевной Галль в связи с ее экспериментальными исследованиями свойств воды. В свое время использованный здесь метод вызвал горячий интерес Лидии Николаевны, она принимала активное участие в его обсуждении и всячески его поддерживала и пропагандировала среди своих коллег. Нами планировалась большая серия совместных работ на базе лаборатории Лидии Николаевны и при ее непосредственном участии. К сожалению, мы не смогли завершить ни данный цикл исследований, ни данную публикацию совместно с ней и при ее жизни. Памяти выдающегося ученого и энтузиаста исследований тонких свойств воды и водных растворов Лидии Николаевны Галль посвящают авторы эту статью.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Принципиальное отличие всех вообще натуральных жидких сред биологического происхождения от рукотворных жидкостей состоит в том, что любая из них имеет свойственное ей назначение в функциональном устройстве конкретного живого объекта. Причем обеспечено это назначение не элементарным и молекулярным наполнением таковых жидких сред, для анализа коего, помимо методов аналитической химии, создано богатое разнообразие специальных приборов, а их системным оформлением, которое пока, увы, находится

вне поля зрения специалистов, изучающих функциональное устройство живых объектов. Вследствие этого, по умолчанию, жидкие среды живых организмов обычно рассматриваются в качестве пассивных носителей того или иного набора компонент, количественное содержание каждого из которых далее подвергается оценке на предмет соответствия или несоответствия произвольно принятой условности, поименованной на основе статистических вычислений термином "норма". Однако никакой прогностической ценности, как показывает практика, такие оценки в себе не несут, ибо в природе вообще, а в живой природе тем более жидкие среды являют собой не вместилище действующих компонент, а цельные функциональные системы. И наиболее ярким свидетельством этого является системный характер формирования твердой фазы в разных жидких средах организма (в желчи, в моче и в слюне в форме подвижных камней и в крови в форме твердых бляшек, прочно сращенных со стенками кровеносных сосудов), в отсутствии связи этого феномена с их молекулярным составом.

Состав всех твердых формирований, названных выше, вариативен даже в рабочих жидкостях живых организмов, каковыми являются кровь, желчь и слюна, но образцом вариативности состава твердой фазы (камней) и отсутствия связи с компонентным составом является моча — жидкость, выносящая из организма шлаковый материал. По признаку преимущественного присутствия в составе твердой фазы различаются камни, состоящие из оксалатов, фосфатов и уратов; камни

диффузно смешанного состава и отчетливо слоистые камни, притом что моча обладателей таковых камней преобладанием в своем составе оксалатов, уратов или фосфатов не отличается. Ее состав, pH и плотность меняются во времени в зависимости от состава съеденной пищи, количества и состава выпитой жидкости и прочих аспектов устройства повседневного бытия, прямо или косвенно влияющих на метаболические процессы в живом организме. И единственным общим признаком для всего многообразия мочевых камней является их выделенное из жидкой среды (не жидкое) состояние. А это означает, что не бесконечно разнообразный компонентный состав мочи, изучая который урологи уже более двухсот лет пытаются найти ключевые аспекты камнеобразования в ней, но есть нечто столь же общее в агрегатном ее состоянии (помимо текучести, присущей жидкостям, согласно определению жидкого состояния вещества), как твердость, отличающая мочевые камни от жидкости.

Признаком таковым является коллоидное состояние вещества не только мочи, но всех вообще жидких сред биологического происхождения, при котором вещества, доступные обнаружению и количественному учету наличными в распоряжении науки методическими средствами, находятся в связанном состоянии за счет действия сугубо физических факторов, не сопряженных с образованием химических связей. Факторы эти в полноте своей науке пока неведомы, ибо в терминах электрического взаимодействия между заряженными частицами вещества объясняется лишь малая часть специфики коллоидного состояния жидкостей биологического происхождения. При этом безупречно белое поле представляет собой все то, что имеет прямое отношение к обеспечению живого состояния вещества, явствуя из отсутствия во внутреннем пространстве живых объектов иного (помимо коллоидного) состояния жидких сред, притом что в неживой природе существуют и коллоиды, и истинные растворы (водные монорастворы всех неорганических соединений).

Такова данность, и было бы ошибочно игнорировать ее при попытках выработки близких к реальности представлений о функциональном устройстве живых организмов, ввиду того что в теле взрослого человека среднего роста и веса содержится более 25 л жидких сред разного рода. Но весь методический арсенал, созданный для изучения коллоидных систем, будучи нацелен на работу с рукотворными коллоидами, имеющими широкое применение в самых разных сферах устройства человеческого бытия, не предусматривает изучения коллоидных систем биологического генеза вообще и функционального назначения именно коллоидного состояния жидких сред

в обеспечении живого состояния вещества тем более. И это означает, что формирование близких к реальности суждений о функциональном устройстве жидких сред в интересах осмысления функционального устройства живых объектов в целом сопряжено с выработкой новых, адекватных этому подходов к организации и проведению научных исследований.

При этом прежде всего надо принять в расчет то обстоятельство, что все живое является в земных условиях высшей формой воплощения эволюционных тенденций, присущих устройству объектной реальности, что очевидно без доказательства по факту прогрессивной эволюции феномена жизни на Земле. И в силу этого выработка близких к реальности суждений о закономерностях, определяющих тот или иной аспект вещественного оформления какой-то функциональной системы, не может опираться на применение инструментальных методов, созданных без учета фактора целесообразности (подчиненности внутренней логике) функционального устройства живых объектов. Дело в том, что, имея данные о динамике того или иного физического явления, имеющего место в живом организме, в его органах или тканях, или в пространстве, к нему прилегающем, и доступного для регистрации инструментальными средствами, однозначными критериями для отнесения этой динамики в категорию действующего начала мы не располагаем. В отсутствие возможности получения эмпирических аргументов, свидетельствующих явно в пользу ведущей роли инструментально зафиксированного явления, его динамика с одинаковой вероятностью может оказаться шумом, сопряженным с активностью скрытого действующего начала. А выход из этой ситуации логично искать на путях разработки методов, напрямую нацеленных на изучение тех аспектов вещественного оформления функциональных систем живых организмов, для осмысления существа коих наличных знаний об устройстве объектной реальности недостаточно, как, в частности, имеет место нехватка знаний о природе коллоидного состояния жидких сред биологического генеза.

Доподлинно известно об этих средах, во-первых, то, что их дисперсной средой является вода. Во-вторых, что дисперсная фаза представлена перманентно динамичным многообразием коллоидных частиц разного состава и разного размера, несущих на себе разные по величине электрические заряды обоих знаков, притом что частицы дисперсной фазы образуют совместно с дисперсной средой цельную функциональную систему [1]. В-третьих, что все жидкие среды биологического происхождения крайне неустойчивы вне внутренней сферы живых объектов, в составе функционального устройства коих они состоят, с учетом

чего появление твердой фазы в зоне функциональной компетентности той или иной жидкой среды живых организмов резонно рассматривать сквозь призму неполной состоятельности ее агрегативной устойчивости. При этом, ввиду однозначности определения твердых объектов по факту наличия у них собственной формы, условия возникновения агрегативной неустойчивости жидких сред биологического генеза в качестве предпосылки к формированию в них твердой фазы есть основания полагать событием столь же однозначным по его содержанию.

Тем самым развитие событий, происходящих в массе коллоидной системы в связи с проявлением ее агрегативной неустойчивости, выделяется в качестве предмета изучения инструментальными методами в интересах выработки научных суждений о природе коллоидного состояния жидкостей биологического генеза. Правда, распознать в реальном времени собственно укрупнение коллоидных частиц вследствие их слияния при потере коллоидной системой агрегативной устойчивости пока невозможно ввиду невозможности моментального учета распределения частиц по размерам, в силу чего инструментальные средства для проведения таких исследований придется создавать, ориентируясь на однозначно сопряженные с ассоциацией коллоидных частиц события. И самым надежным из таковых событий в аспекте абсолютной обязательности является ступенчатый прирост количества свободной воды в составе коллоидной системы, происходящий одновременно с укрупнением частиц любого размера за счет их ассоциации. Обеспечено же это тем, что площадь границы раздела вещества новой, более крупной частицы с дисперсной средой (с водой) меньше суммарной поверхности частиц, претерпевших ассоциацию, в силу чего площадь поверхности, несущей электрический заряд и тем стесняющей свободу движений молекул воды, уменьшается, освобождая от электрической связи какое-то их количество. Причем, ввиду того что вещество дисперсной фазы жидких сред составляет как минимум несколько процентов от их общей массы, эффект такого освобождения молекул воды не может не отразиться на состоянии баланса свободной и связанной воды в системе в целом, что, собственно, и может служить объектом инструментального обнаружения.

ОБЩИЕ УСТАНОВКИ

Инструментальные средства, способные фиксировать тонкие сдвиги баланса свободной и связанной воды в коллоидной системе, можно создавать на основе высокой чувствительности к такому балансу эффектов взаимодействия с водны-

ми системами электромагнитного излучения миллиметрового диапазона при заведомо нетепловой его интенсивности. Причем акцент на нетепловой интенсивности применяемого излучения важен в силу того, что при нагревании воды за счет энергии поглощенного излучения доминирующими окажутся явления, сопряженные с релаксацией поглощенной энергии.

Помимо этого, инструментальное средство должно позволять моделировать как минимум главные аспекты развития событий, чреватых возникновением агрегативной неустойчивости биологических жидкостей, ввиду того, что качество это не свойственно им в любой момент времени, как, например, плотность или температура, а возникает при определенных условиях, перманентно динамичных в живом организме. Для этого данные о характере и количественных показателях естественных изменений текущего состояния любой из жидких сред организма можно почерпнуть из литературных источников физиологического профиля. Но в центре внимания всегда должно быть то обстоятельство, что любые изменения состава и (или) количества частиц в единице объема системы, а также состава и количества в том же объеме разных ионов и т.п. всегда сопровождаются изменением в дисперсионной среде баланса свободных и связанных молекул воды. При этом из двух вариантов динамики содержания в дисперсионной среде молекул свободной воды (при уплотнении или разжижении коллоидной системы) для целей выявления агрегативной неустойчивости у тестируемых проб коллоидной системы актуально моделирование лишь той тенденции, при которой провоцируется укрупнение взвешенных в среде частиц с выделением в нее свободных молекул воды.

Для моделирования условий, провоцирующих в тестируемой пробе коллоидной системы проявление агрегативной неустойчивости, предлагается использовать прием ее ступенчатого уплотнения в пределах естественного диапазона изменений плотности конкретного варианта биологической жидкости (желчи, мочи и т.д.). Уплотнение предлагается проводить путем дискретного извлечения из пробы свободной воды за счет кратковременного снижения давления воздуха над ее поверхностью до максимально возможного уровня, при котором еще не происходит парообразования внутри объема жидкости, температура которой близка температуре внутренней среды человека ($\sim 37.4 \pm 0.1$ °C). Периоды вакуумной откачки свободной воды из тестируемой пробы должны чередоваться с периодами обретения пробой равновесного состояния. Минимальная длительность периодов пребывания проб в условиях форвакуума и нормального давления ограничивается в первом

случае техническими факторами достижения заданного уровня остаточного давления, а во втором — скоростью достижения тестируемой системой стабильного состояния.

ПРИБОРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА

Лабораторная установка, созданная для изучения феномена утраты агрегативной устойчивости мочи (самой доступной для изучения натуральной коллоидной системы), включила в себя измерительный СВЧ-блок; электронный блок; блок управления (программное обеспечение на базе компьютера); блок низкого давления и теплофизический блок. При этом измерительный блок выполнен на базе СВЧ-узла, описанного в [2, 3]. Он предназначен для выработки тестирующего излучения на частоте $30.5 \text{ ГГц} \pm 50 \text{ кГц}$ при плотности потока энергии на выходе генератора $\sim 80 \pm 20 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$ с последующим измерением амплитуды и фазы излучения, исходящего из тестируемой среды. Блок управления обеспечивает произвольный выбор рабочих схем проведения каждого из конкретных исследований, автоматическую обработку данных в реальном времени, ведение базы данных в комплексном их представлении ($Z = X + iY$), гибкую схему их анализа и вывод его результатов на экран дисплея, где они отображаются в форме точки или радиус-вектора на фазовой плоскости. Электронный блок производит автоматический контроль и удержание за-

данных параметров проведения конкретного исследования, а также регистрацию данных в реальном времени. Блок низкого давления создает форвакуум глубиной до $20 \pm 0.1 \text{ мм рт. ст.}$ в буферной емкости объемом 10 л, которая через клапан соединяется с емкостью рабочей кюветы. Теплофизический блок обеспечивает термостабилизацию измерительного блока и рабочей кюветы с точностью не хуже $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Общий вид лабораторной установки представлен на рис. 1, а ее детальная блок-схема описана в [4].

Техническое воплощение идеи инструментальной регистрации сверхтонких изменений текущего состояния цельных многокомпонентных жидких систем впервые реализовано в устройстве, предназначенном для проведения экспресс-анализа смесей, состоящих из углеводородов, и описанном в [5]. При этом суть идеи состоит в сравнении характеристик тестирующего излучения, исходящего из пробы исследуемой жидкости, с такими же характеристиками излучения, исходящего из жидкости, выбранной в качестве эталона, по которому настраивается измерительный блок лабораторной установки так, чтобы тестирующее излучение, исходящее из эталона, минимально (однако устойчиво) превышало тепловой шум. Тем самым в идеале чувствительность измерительного блока доводится с помощью волноводного трансформатора до уровня, сопоставимого с чувствительностью ноль-индикаторов типа коромысла или измерительного моста.

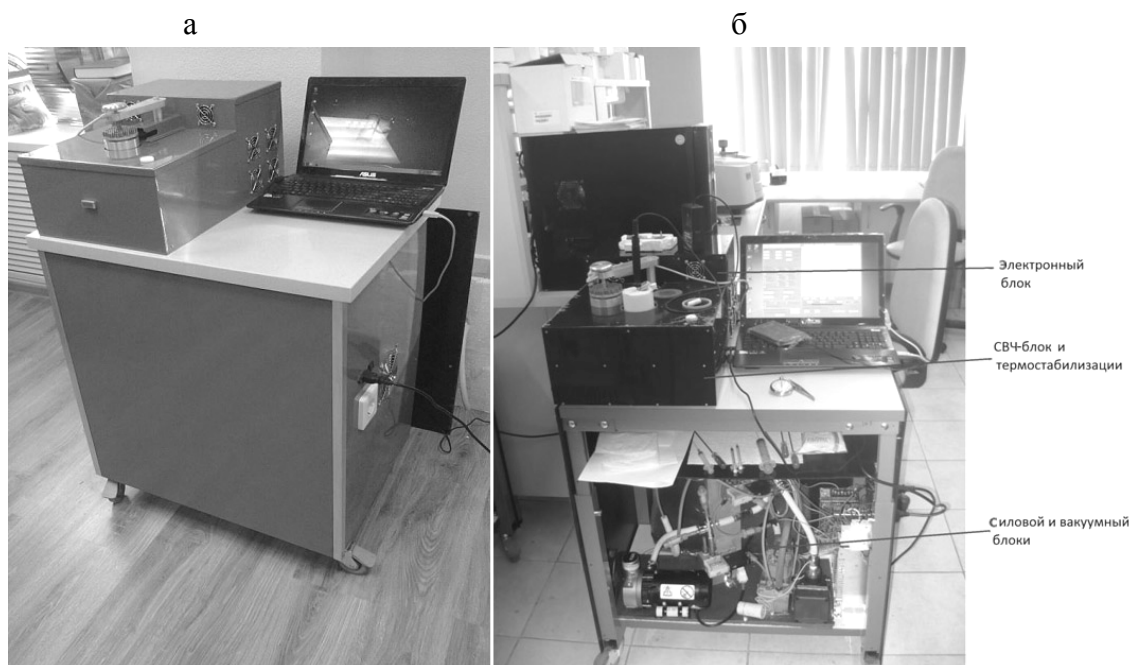


Рис. 1. Общий вид установки (а), со снятым кожухом (б)

ДОКАЗАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Но добиться такой настройки измерительного СВЧ-блока удастся лишь в тех случаях, когда диэлектрическая проницаемость жидкой среды отличается от диэлектрической проницаемости воздуха не более чем на 3 единицы, в силу чего на границе раздела между воздушной и жидкой средой не создается значимого потока излучения, направленного в сторону детектора.

Вода же и водные жидкие системы обладают в миллиметровом диапазоне длин электромагнитных волн диэлектрической проницаемостью более 10 единиц. В силу этого скачок диэлектрической проницаемости на границе раздела между воздушной частью волноводного тракта и водными системами сглаживается за счет непроницаемой для воды диэлектрической вставки, от сухой поверхности которой в сторону детектора отражается значительная часть тестирующего излучения. И в этом случае добиваться минимальной величины сигнала при настройке измерительного тракта по эталонному веществу, коим для водных систем, естественно, является вода (точнее, ее бидистиллят), приходится путем компенсации на детекторе эффекта, индуцированного потоком излучения, отраженным от сухой поверхности диэлектриче-

ской вставки. Для этого амплитуда сигнала, выходящего из эталонной среды, доводится с помощью волноводного трансформатора до величины, как можно более близкой к амплитуде потока, отраженного сухой поверхностью диэлектрической вставки, а его фаза меняется на 180° . При этом настройка измерительного блока завершается по достижении такой минимальной величины сигнала, идущего от детектора, которая на протяжении нескольких часов (не менее 8) сохраняется, претерпевая колебания по амплитуде и фазе в пределах не более 1% относительно исходного состояния.

В настроенном состоянии измерительный блок способен надежно обнаруживать различия в состоянии воды, обусловленные одинаковым в количественном отношении введением в нее однозарядных ионов, что показано на рис. 2. Изображены результаты измерений, сделанных на образцах водного бидистиллята, мочи и одномолярных растворов хлоридов натрия и калия. На рисунке представлены изображения дисплеев двух приборов (исследования проводились параллельно на четырех идентичных установках в интересах выявления эффектов, обусловленных чисто техническими причинами).

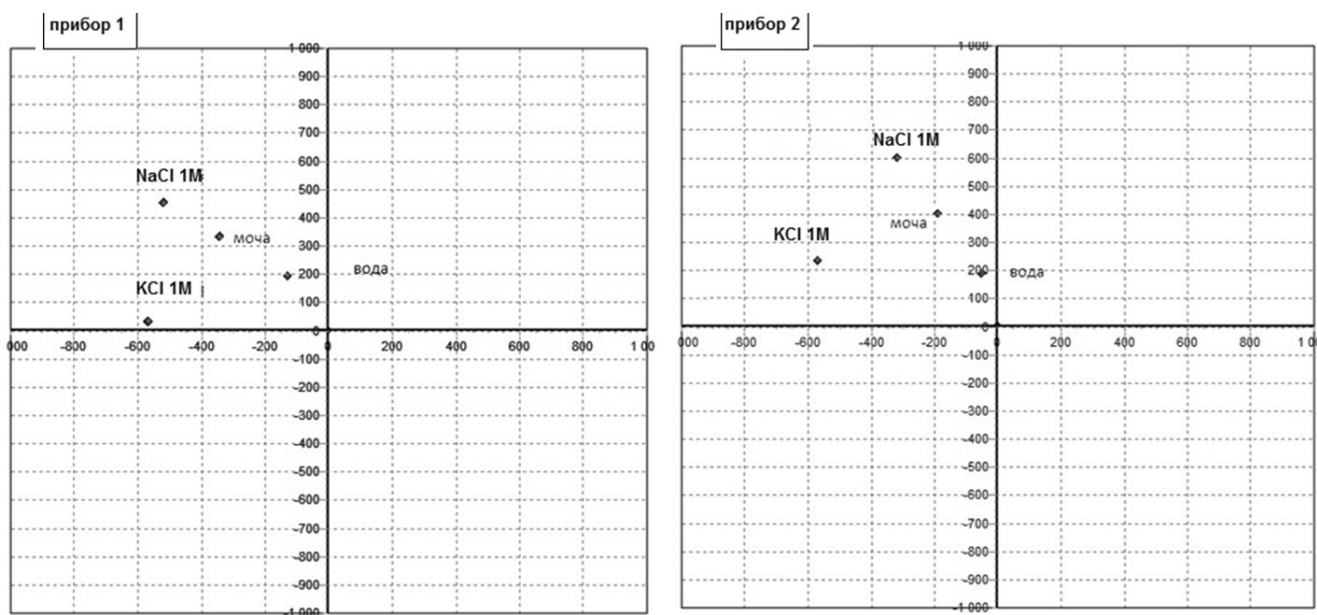


Рис. 2. Изображения экранов дисплеев двух установок (прибор 1 и прибор 2).

Во втором квадранте фазовой плоскости точки, помеченные надписями, соответствуют результатам измерения откликов на воздействие тестирующего излучения проб воды, мочи и одномолярных растворов NaCl и KCl

На каждом из них отклики на воздействие тестирующего излучения воды, мочи и хлорида натрия отчетливо различаются по амплитуде при незначительных различиях по фазе, а отклики раствора хлорида калия в обоих случаях имеют бо́льшую примерно на 30° фазу при фактически одинаковой с откликами раствора хлорида натрия амплитуде. И это хорошо согласуется, во-первых, с тем, что хлорида натрия в моче как минимум в три раза больше, чем хлорида калия, и, во-вторых, с тем, что ионы калия, несущие одинаковый с ионами натрия электрический заряд, имеют бо́льший размер и могут связывать большее количество дипольных молекул воды. Помимо этого, рис. 2 полезен в качестве аргумента в пользу физической реальности событий, эквивалентами которых являются результаты тестирования жидких водных систем с помощью миллиметрового электромагнитного излучения низкой интенсивности, ибо двумя приборами получен фактически одинаковый (с учетом естественной для любых приборов погрешности) результат.

Однако для выявления тонких изменений, вызванных во внутреннем устройстве коллоидной системы порционным удалением из нее свободной воды (что как раз и происходит в почках на заключительном этапе формирования мочи), существенны не только качества измерительного блока исследовательской установки, но и свидетельства отображения в динамике регистрируемых данных изменения качества именно системы. С учетом этого в разных модификациях были проведены эксперименты с многократным дозированным извлечением свободной воды из проб водного бидистиллята, показавшие способность очищенной таким способом воды довольно быстро (в течение нескольких минут) восстанавливать оптимальный для температуры $\sim 37.4 \pm 0.1^\circ\text{C}$ баланс свободной и связанной воды. Основанием для такого вывода явилась высокая степень совпадения изменений во времени эффекта взаимодействия тестирующего излучения с водой в серии последовательных извлечений из пробы молекул свободной воды путем их вакуумной откачки, что показано на рис. 3.

Ампл. сигнала, у.е.

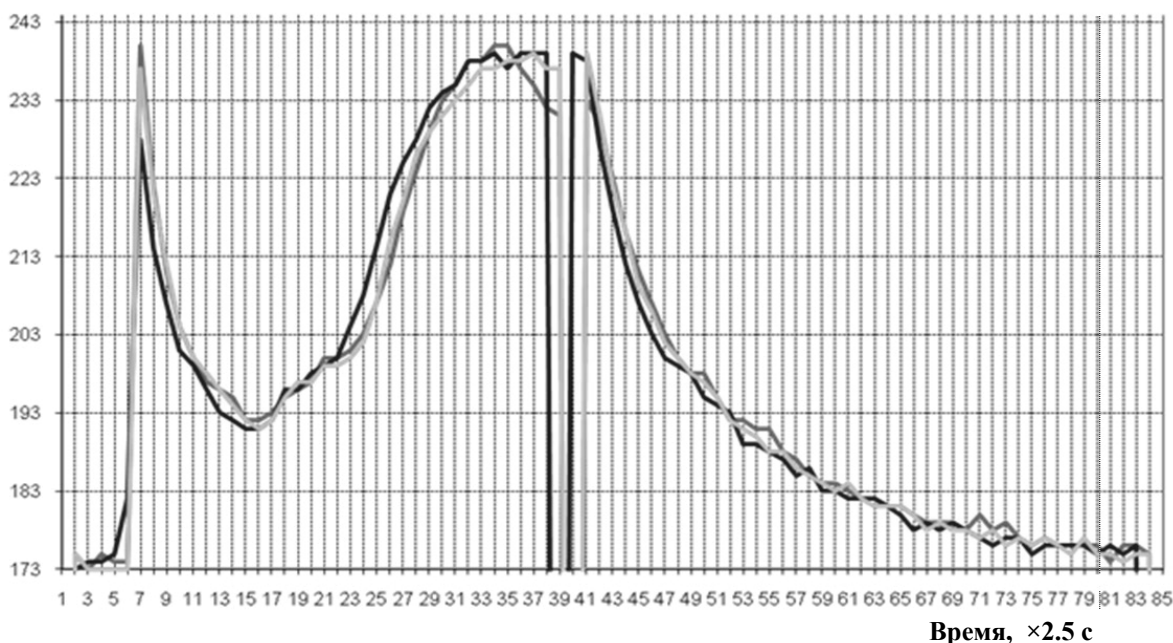


Рис. 3. Динамика отклика пробы водного бидистиллята на воздействие тестирующего излучения на фоне вакуумной откачки из нее дозированной порции свободной воды и после снятия форвакуума до обретения пробой равновесного состояния.

Начало откачки практически совпадает с передним фронтом кривых, а момент снятия форвакуума обозначен вертикальными линиями перед началом нисходящей части кривых. Кривые разного цвета соответствуют динамике отклика пробы на каждую из трех последовательных откачек из нее свободной воды. На оси абсцисс цифрами отмечены порядковые номера дискретно (с интервалом 2.5 с) проведенных измерений отклика пробы на тестирующее излучение. По оси ординат цифрами обозначена амплитуда сигнала, снимаемого с детектора, и выраженная в условных единицах

На нем разными цветами изображены кривые, отвечающие изменениям амплитуды сигналов, снимаемых с детектора в процессе трех последовательных процедур вакуумной откачки одинаковых порций свободной воды из пробы водного бидистиллята. Момент подачи вакуума в рабочую кювету на кривых не отмечен в интересах четкости изображения их почти вертикальных участков, ибо начало этих участков фактически совпадает с установлением форвакуума в полости кюветы, а моменты восстановления в полости кюветы атмосферного давления отмечены вертикальными линиями. При этом формат изображения результатов измерений в координатах (амплитуда сигнала – время) принят в интересах упрощения анализа, нацеленного на выявление чисто методического аспекта организации исследований коллоидных систем с помощью созданной установки, не углубляясь в физические детали формирования сигналов, поступающих с детектора в базу данных. Но обратившись к базе данных, где они представлены в комплексном виде, нетрудно установить, что разнонаправленная во времени динамика

отклика пробы воды на воздействие тестирующего излучения фактически обусловлена изменениями фазы излучения, исходящего из водной среды. Однако, ввиду того что результат векторного сложения излучения, исходящего из тестируемой среды, с излучением, отраженным сухой поверхностью диэлектрической вставки, будучи тоже вектором, выглядит без учета этого обстоятельства изменениями амплитуды полезного сигнала.

Таким образом, любые отклонения в реализации восстановления оптимального при температуре $\sim 37.4 \pm 0.1$ °C баланса свободной и связанной воды в водных системах есть основания относить на счет проявления признаков, свойственных системе, состоящей из воды и содержащихся в ней веществ. Но прежде перехода к изучению коллоидных систем резонно было получить представление о динамике отклика на воздействие тестирующего излучения заведомо устойчивых водных систем (каковыми являются истинные растворы солей, образованных сильной кислотой и сильными основаниями) при условии многократного порционного извлечения из них свободной воды.

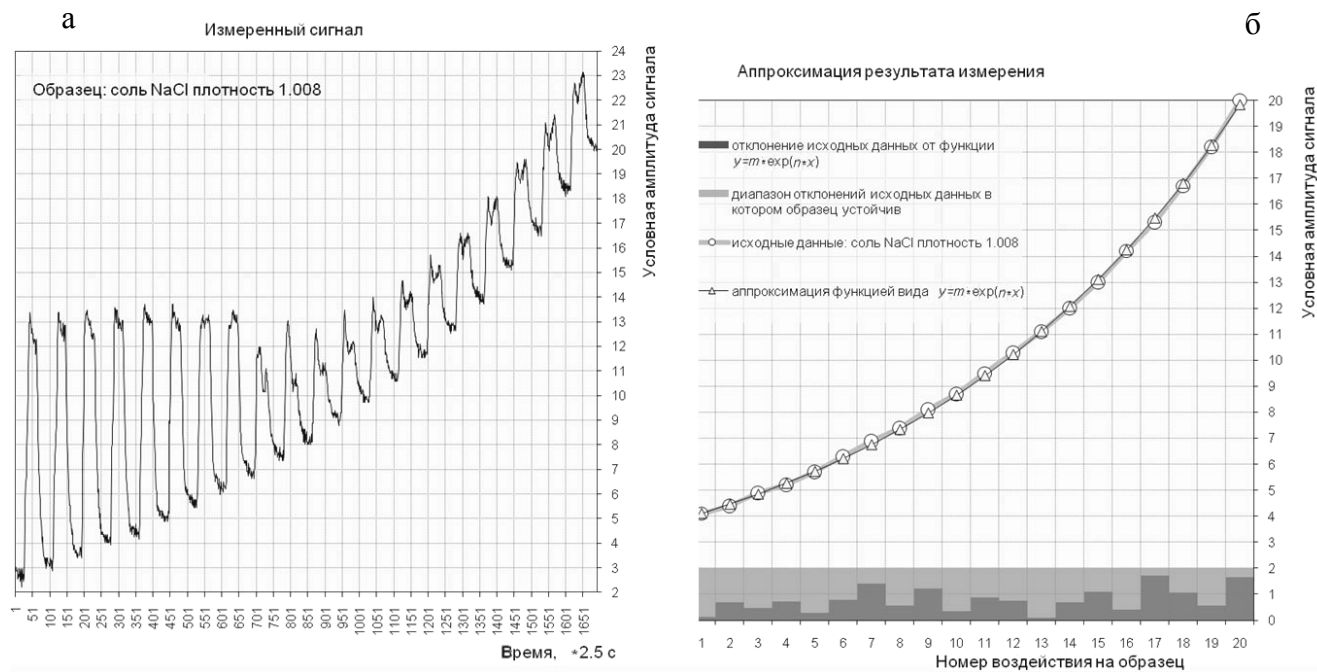


Рис. 4. Динамика отклика пробы водного раствора NaCl на серию из 20 откачек из нее свободной воды. Моменты подачи и снятия форвакуума не отмечены в интересах облегчения визуального анализа кривой. По осям абсцисс и ординат на части (а) рисунка — то же, что и на рис. 3. На части (б) рисунка — по оси абсцисс пронумерованы порядковые номера последовательных откачек из пробы свободной воды. Над осью абсцисс в части (б) рисунка темной полосой обозначена зона возможных в силу приборной погрешности отклонений экспериментальной кривой от экспоненты, полученной в результате ее аппроксимации выражением $y = m \cdot \exp(n \cdot x)$

При этом оказалось, что по мере уплотнения таких водных систем за счет извлечения из них свободной воды их отклик на воздействие тестирующего излучения монотонно меняется как на фоне потери свободной воды в условиях ее вакуумной откачки, так и в состоянии стабилизации после снятия форвакуума. Причем в последнем случае, т.е. в ситуациях, по сути, близких к условиям естественного уплотнения коллоидов биологического происхождения, события развиваются так, что по точкам, отвечающим амплитуде откликов истинных растворов, вернувшихся в равновесное состояние после откачки из них свободной воды, можно провести кривую, которая хорошо аппроксимируется выражением

$$y = C \cdot \exp(k \cdot x),$$

где C и k — константы, что показано на рис. 4.

На рис. 4, а, приведен типичный вид динамики амплитуды сигнала, снимаемого с детектора в процессе проведения серии дозированных вакуумных откачек воды из пробы раствора NaCl. А на рис. 4, б, приведена кривая, построенная в том же масштабе

по точкам, отвечающим амплитуде откликов пробы на воздействие тестирующего излучения после очередной откачки из нее порции свободной воды, и результат аппроксимации этой кривой вышеприведенным выражением. При этом состояние стабилизации пробы после очередной откачки из нее свободной воды определяется автоматически путем сравнения усредненных значений каждых 10 предыдущих измерений с усредненными значениями каждых 10 следующих измерений и также автоматически строится и аппроксимируется экспонентой сглаженная кривая, проведенная по результатам измерений, сделанных при равновесном состоянии пробы.

Аналогичным образом меняются отклики на воздействие тестирующего излучения и в случаях серийной откачки свободной воды из проб агрегативно устойчивых образцов мочи, что показано на рис. 5, построенном так же, как рис. 4.

Но в случаях уплотнения тем же способом образцов мочи, склонных к потере агрегативной устойчивости, в динамике их откликов на воздействие тестирующего излучения имеют место заметные

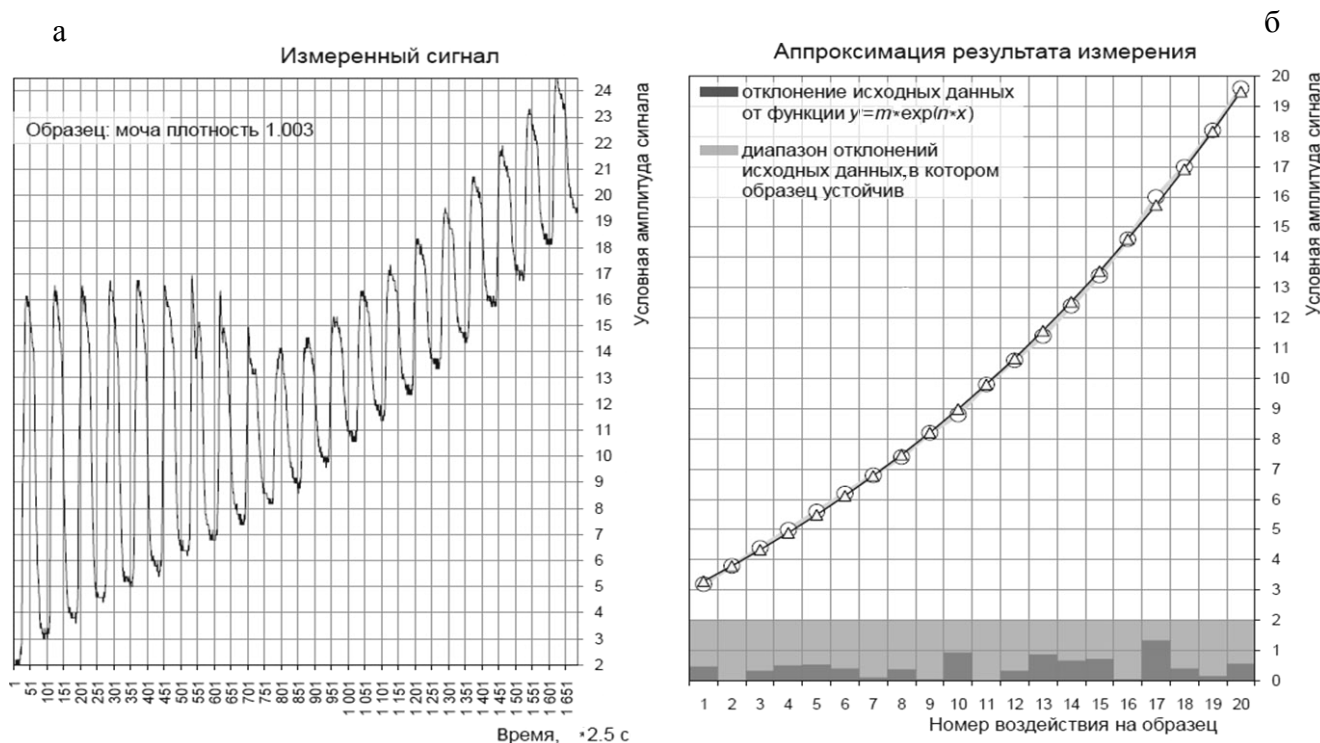


Рис. 5. Динамика отклика пробы агрегативно устойчивой мочи на серию из 20 откачек из нее свободной воды. Обозначения, как на рис. 4

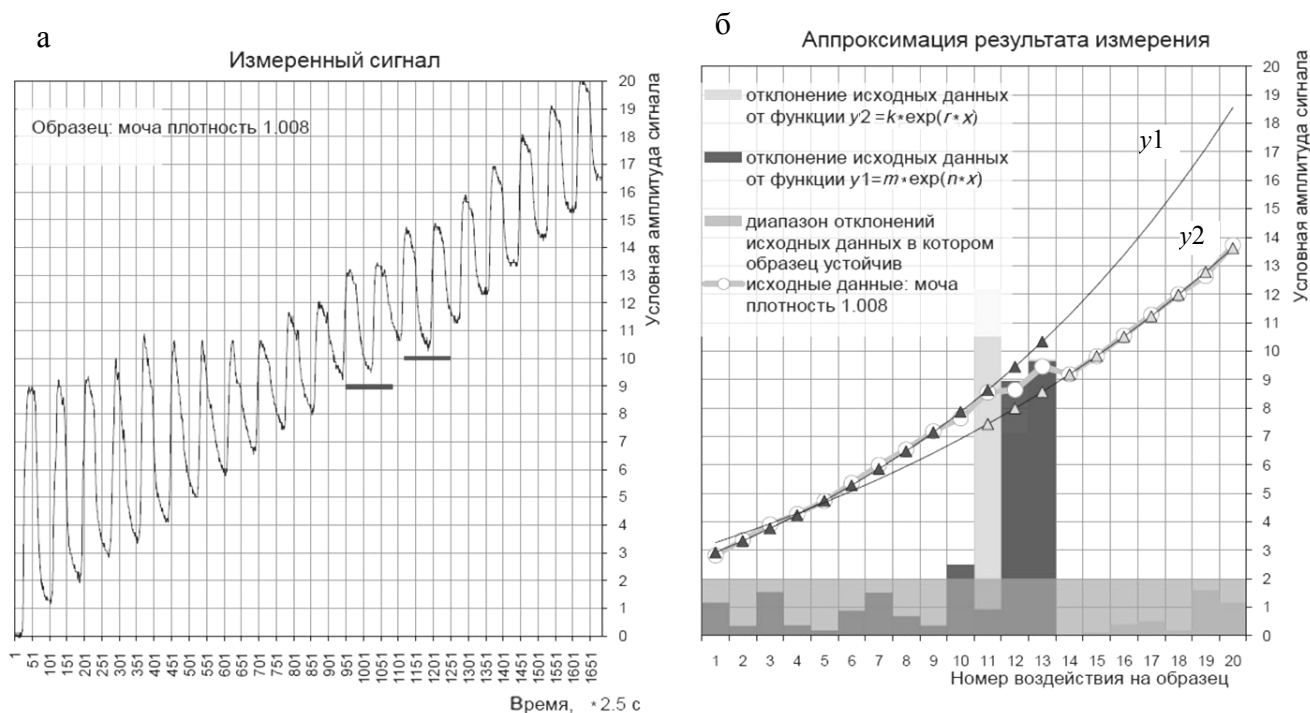


Рис. 6. Динамика отклика пробы мочи, содержащей в себе потенции утраты агрегативной устойчивости, на серию из 20 откачек из нее свободной воды.

Обозначения по осям абсцисс и ординат — как на рис. 4. На части (а) рисунка отмечены двумя горизонтальными линиями, проведенными под кривой, эффекты появления в пробе свободной воды за счет слияния каких-то коллоидных частиц вследствие утраты системой агрегативной устойчивости. Амплитуда сигнала, отводимого от детектора в условиях появления в системе свободной воды, заметно снижается относительно ожидаемого ее значения. В части (б) рисунка вертикальными столбцами, превышающими верхний край темной полосы, обозначены автоматически определенные отклонения реальных результатов измерения от ожидаемых значений при развитии событий без потери пробы мочи агрегативной устойчивости. Вторая экспонента, изображенная на (б), строится по результатам аппроксимации участка экспериментальной кривой, расположенного правее моментов потери пробы агрегативной устойчивости

отклонения от гладкого экспоненциально развития событий (рис. 6). Происходит это вследствие появления в пробе той или иной порции свободной воды на какой-то очередной стадии ее уплотнения путем вакуумной откачки свободной воды. Амплитуда отклика пробы на какое-то очередное воздействие тестирующего излучения оказывается значительно меньше ожидаемой с учетом гладкого развития событий, что уверенно определяется и при визуальной оценке графического представления результатов измерений, и при автоматической их обработке. И дополнительным аргументом в пользу того, что предлагаемый способ анализа проб мочи пригоден для выявления скрытой готовности ее к формированию твердой фазы, является то обстоятельство, что вероятность выявления признаков агрегативной неустойчивости в образцах мочи обладателей мочекаменной болезни в несколько раз выше, чем в образцах мочи людей, не страдающих этим недугом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного материала можно полагать, что, помимо возможности использовать описанный выше метод в интересах изучения патогенеза мочекаменной болезни, обладателями которой, по данным ВОЗ, являются более 400 миллионов землян, дальнейшая его разработка может обогатить и методический арсенал фундаментальной науки в области познания функционального устройства живых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менковский М.А., Шварцман А.А. Физическая и коллоидная химия. М.: Химия, 1981. 296 с.
2. Черняков Г.М., Шанников Д.В. Устройство для диагностики. Патент РФ № 43145. Опубликовано 10.01.2004. URL:

https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000043145_20050110_U1_RU/

3. Черняков Г.М., Шанников Д.В., Рыбаков Ю.В. Устройство для диагностики биологических сред. Патент РФ RU 40705U1. Опубликовано 27.09.2004. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU40705U1_20040927
4. Черняков Г.М. Способ выявления агрегативной неустойчивости коллоидных систем природного происхождения и устройство для его реализации. Патент РФ RU 2683945C1. Опубликовано 03.04.2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2683945C1_20190403
5. Черняков Г.М. Новый способ экспресс-анализа многокомпонентных углеводородных жидкостей // Научное приборостроение. 2019, том 29, № 1. С. 99-105. URL: <http://iairas.ru/mag/2019/abst1.php#abst15>

**Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург**

Контакты: Черняков Геннадий Михайлович,
genmich1@mail.ru

Материал поступил в редакцию 21.10.2024

POSSIBILITIES OF INSTRUMENTAL STUDY OF THE STRUCTURE OF BIOLOGICAL COLLOIDAL SYSTEMS

G. M. Cherniakov, S. V. Kostilev

Institute for Analytical Instrumentation of RAS, Saint Petersburg, Russia

This work was initiated by Lydia Nikolaevna Gall in connection with her experimental studies of water properties. Theoretical justifications for the possibility of an instrumental record of moments of loss of aggregative stability by colloidal systems of biological origin are described, and general guidelines for creating instrumentation for this are described. A variant of this device, designed to identify urine's propensity to exude a solid phase, is suggested.

Keywords: natural colloidal systems, interaction of substances with low-intensity electromagnetic radiation, stone formation in biological fluids, aggregative stability of colloidal systems

REFERENCES

1. Menkovskiy M.A., Shvareman A.A. *Fizicheskaya i kolloidnaya himiya* [Physical and colloidal chemistry]. Moscow: Khimiya Publ., 1981. 296 p. (In Russ.).
2. Cherniakov G.M., Shannikov D.V. *Ustrojstvo dlya diagnostiki. Patent RF no. 43145* [Patent for the diagnostic device]. Prioritet 10.01.2004. (In Russ.). URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000043145_20050110_U1_RU/
3. Cherniakov G.M., Shannikov D.V., Rybakov Yu.V. *Ustrojstvo dlya diagnostiki biologicheskikh sred. Patent RF no. RU 40705U1* [Patent for the device for diagnostics of biological media]. Prioritet 27.09.2004. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU40705U1_20040927 (In Russ.).
4. Cherniakov G.M. *Sposob vyjavleniya agregativnoj neustojchivosti kolloidnykh sistem prirodnogo proiskhozhdeniya i ustrojstvo dlya ego realizacii. Patent RF no. RU 2683945C1* [Patent for the method for detecting aggregative instability of colloidal systems of natural origin and device for its implementation]. Prioritet 03.04.2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2683945C1_20190403 (In Russ.).
5. Cherniakov G.M. [A new method for short-time testing of multicomponent hydrocarbon liquid]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Scientific Instrumentation], 2019, vol. 29, no. 1, pp. 99–105. (In Russ.). DOI: 10.18358/np-29-1-i99105

Contacts: *Cherniakov Gennadiy Michaylovich*,
genmich1@mail.ru

Article received by the editorial office on 21.10.2024

INTRODUCTION

This work was initiated by Lidiya Nikolaevna Gall in connection with her experimental studies of the properties of water. At the time, the method used here aroused Lidiya Nikolaevna's keen interest; she took an active part in its discussion and supported and promoted it in every possible way among her colleagues. We planned a large series of joint works based on Lidiya Nikolaevna's laboratory and with her direct participation. Unfortunately, we were unable to complete either this cycle of research or this publication together with her and during her lifetime. The authors dedicate this article to the memory of the outstanding scientist and enthusiast of research into the subtle properties of water and aqueous solutions, Lidiya Nikolaevna Gall.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE RESEARCH

The fundamental difference between all natural liquid media of biological origin and man-made liquids is that each of them has its own purpose in the functional composition of a living object. This purpose is ensured not by the elemental and molecular content of such liquid media, for the analysis of which a rich variety of special devices have been created, as well as methods of analytical chemistry, but by their systemic design, which, unfortunately, is still outside the field of vision of specialists studying the functional structure of living objects. As a result, by default, liquid media of living organisms are usually considered passive carriers of one or another set of components, the quantitative content of each of which is then subject to assessment for compliance or non-compliance with an arbitrarily adopted convention, named "norm" in terms of statistical calculations. However, as practice shows, such assessments do not carry any prognostic value because in nature in general, and especially in living nature, liquid media are not a receptacle for active components but integral functional systems. The most striking evidence of this is the systemic nature of the formation of a solid phase in different liquid environments of the body (in bile, urine, and saliva in the form of mobile stones and in the blood in the form of solid plaques firmly fused with the walls of blood vessels), in the absence of a connection between this phenomenon and their molecular composition.

The composition of all the solid formations named above is variable even in the working fluids of living organisms, such as blood, bile, and saliva, but an example of the variability of the composition of the solid phase (stones) and the absence of a connection with the component composition is urine — a liquid that removes slag material from the body. According to

the predominant presence in the composition of the solid phase, stones are distinguished as consisting of oxalates, phosphates, and urates; stones of diffusive mixed composition and clearly layered stones, while the urine of the carriers of such stones does not differ in the predominance of oxalates, urates, or phosphates in its composition. Urine composition, pH, and density change over time depending on the composition of the food eaten, the amount and composition of the liquid drunk, and other aspects of the structure of everyday life, directly or indirectly affecting the metabolic processes in a living organism. The only common feature for all the variety of urinary stones is their state (not liquid) singled out from a liquid medium. This means that it is not the infinitely varied component composition of urine, which has been studied by urologists for over two hundred years, that is the key to understanding stone formation, but something common in its aggregate state.

This feature is the colloidal state of the substance, not only of urine but of all liquid media of biological origin in general, in which substances accessible to detection and quantitative accounting by the methodological means available to science are in a bound state due to the action of purely physical factors not associated with the formation of chemical bonds. These factors are still unknown to science in their entirety, since only a small part of the specificity of the colloidal state of liquids of biological origin is explained in terms of electrical interaction between charged particles of matter. In this case, everything that has a direct relationship to ensuring the living state of matter is unknown. This is evident from the absence of any other (other than colloidal) state of liquid media in the internal space of living objects, despite the fact that in inanimate nature there are both colloids and true solutions (aqueous monosolutions of all inorganic compounds).

This is a reality, and it would be a mistake to ignore it when trying to develop realistic ideas about the functional structure of living organisms, given that the body of an adult of average height and weight contains more than 25 liters of liquid media of various kinds. But the entire methodological arsenal created for the study of colloidal systems, being aimed at working with man-made colloids that are widely used in a variety of areas of human existence, does not provide for the study of colloidal systems of biological genesis in general and the functional purpose of the colloidal state of liquid media in ensuring the living state of matter. This means that the formation of judgments close to reality about the functional structure of liquid media in the interests of understanding the functional structure of living objects is generally associated with the development of new approaches to organizing and conducting scientific research that are adequate to this.

In this case, first of all, it is necessary to take into account the fact that all living things are, in terrestrial conditions, the highest form of embodiment of evolutionary tendencies inherent to the objective reality, which is obvious without proof from the fact of the progressive evolution of the phenomenon of life on Earth. And because of this, the development of realistic judgments about the regularities that determine this or that aspect of the material design of some functional system cannot rely on the use of instrumental methods created without taking into account the factor of expediency (subordination to the internal logic) of the functional composition of living objects. The fact is that, having data on the dynamics of this or that physical phenomenon that takes place in a living organism, in its organs or tissues, or in the space adjacent to it and is accessible for recording by instrumental means, we do not have unambiguous criteria for classifying this dynamics in the category of an active principle. In the absence of the possibility of obtaining empirical arguments that clearly testify in favor of the leading role of an instrumentally recorded phenomenon, its dynamics with equal probability may turn out to be noise associated with the manifestation of a hidden active principle. And it is logical to look for a way out of this situation by developing methods directly aimed at studying those aspects of the material design of the functional systems of living organisms, for the comprehension of the essence of which the available knowledge about the structure of objective reality is insufficient, as, in particular, there is a lack of knowledge about the nature of the colloidal state of liquid media of biological genesis.

It is known for certain about these media, firstly, that their dispersed medium is water. Secondly, that the dispersed phase is represented by a permanently dynamic diversity of colloidal particles of different composition and different sizes, carrying different in magnitude electric charges of both signs; the particles of the dispersed phase form together with the dispersed medium an integral functional system [1]. Thirdly, that all liquid media of biological origin are extremely unstable outside the internal sphere of living objects, in the functional structure of which they are, taking into account that the appearance of a solid phase in the zone of functional competence of a particular liquid medium of living organisms can reasonably be considered through the prism of the incomplete validity of its aggregate stability. The consequence of the unambiguity of the definition of solid objects by the fact that they have their own shape is the unambiguity of the occurrence of aggregative instability of liquid media of biological genesis as a prerequisite for the formation of a solid phase in them under certain conditions.

Thus, the development of events occurring in the mass of a colloidal system in connection with the ma-

nifestation of its aggregate instability is singled out as a subject of study by instrumental methods for developing scientific judgments about the nature of the colloidal state of fluids of biological genesis. True, it is currently impossible to recognize in real time the actual enlargement of colloidal particles due to their fusion when the colloidal system loses its aggregate stability due to the impossibility of instant accounting for the particle size distribution. As a result, the instrumental means for conducting such studies will have to be created, focusing on events that are clearly associated with the association of colloidal particles. And the most reliable of such events in terms of absolute obligation is a stepwise increase in the amount of free water in the composition of a colloidal system, occurring simultaneously with the enlargement of particles of any size due to their association. This is ensured by the fact that the area of the interface of the substance of the new, larger particle with the dispersed medium (water) is less than the total surface of the particles that have undergone association, as a result of which the area of the surface carrying the electric charge and thereby restricting the freedom of movement of water molecules decreases, releasing some of them from the electrical connection. Moreover, in view of the fact that the substance of the dispersed phase of liquid media constitutes, at a minimum, several percent of their total mass, the effect of such release of water molecules cannot but affect the state of the balance of free and bound water in the system as a whole, which, in fact, can serve as an object of instrumental detection.

GENERAL PROVISIONS

Instrumental means capable of recording subtle shifts in the balance of free and bound water in a colloidal system can be created on the basis of high sensitivity to such a balance of the effects of interaction with water systems of millimeter-range electromagnetic radiation with its obviously non-thermal intensity. The emphasis on the non-thermal intensity of the radiation used is important due to the fact that when heating water using the energy of absorbed radiation, the dominant phenomena will be those associated with the relaxation of the absorbed energy.

In addition, the instrumental means should allow modeling, at a minimum, the main aspects of the development of events fraught with the emergence of aggregate instability of biological fluids, due to the fact that this state, unlike density or temperature, is not inherent to them at any moment in time but occurs under certain conditions that are permanently dynamic in a living organism. For this purpose, data on the nature and quantitative indicators of natural changes in the current state of any of the human liquid media can be taken from literary sources of a physiological profile. But the focus should always be on the fact that

any changes in the composition and (or) number of particles in a unit volume of the system, as well as the composition and quantity of different ions in the same volume, etc., are always accompanied by a change in the balance of free and bound water molecules in the dispersion medium. Considering the two variants of the dynamics of the content of free water molecules in the dispersion medium (during compaction or liquefaction of the colloidal system) in terms of identifying aggregative instability in the tested samples of the colloidal system, it is relevant to model only that tendency in which the enlargement of particles suspended in the medium is provoked with the release of free water molecules into it.

To model the conditions that provoke the manifestation of aggregative instability in the tested sample of the colloidal system, it is proposed to use the method of its stepwise compaction within the natural range of changes in the density of a specific variant of a biological fluid (bile, urine, etc.). It is proposed to carry out compaction by discrete extraction of free water from the sample by means of a short-term decrease in air pressure above its surface to the maximum possible level, at which vaporization does not yet occur inside the volume of liquid, the temperature of which is close to the temperature of the internal environment of a person ($\sim 37.4 \pm 0.1$ °C). Periods of vacuum pumping out of free water from the tested sample should alternate with periods of the sample acquiring an equilibrium state. The minimum duration of the periods of sample stay in forevacuum conditions and normal pressure is limited in the first case by technical factors of achieving a given level of residual pressure, and in the second case — by the speed of achieving a stable state by the tested system.

INSTRUMENTAL IMPLEMENTATION OF THE METHOD

The laboratory setup created to study the phenomenon of loss of aggregate stability of urine (the most accessible natural colloidal system for study) included a measuring microwave unit; an electronic unit; a control unit (computer-based software); a low-pressure unit and a thermophysical unit. The measuring unit is based on the microwave node described in [2, 3]. It is designed to generate testing radiation at a frequency of $30.5 \text{ GHz} \pm 50 \text{ kHz}$ with an energy flux density at the generator output of $\sim 80 \pm 20 \mu\text{W cm}^{-2}$ with subsequent measurement of the amplitude and phase of the radiation emanating from the tested medium. The control unit provides an arbitrary choice of working schemes for conducting each of the studies, automatic data processing in real time, maintaining a database with complex data representation ($Z = X + iY$), a flexible scheme for data analysis, and outputting results to the display screen, where data are displayed in the

form of a point or a radius vector on the phase plane. The electronic unit carries out automatic control and maintenance of the given parameters for conducting a specific study, as well as data recording in real time. The low-pressure unit creates a forevacuum with a depth of up to $20 \pm 0.1 \text{ mm Hg}$ in a buffer tank with a volume of 10 L, which is connected through a valve to the tank of the working cuvette. The thermophysical unit ensures thermal stabilization of the measuring unit and the working cuvette with an accuracy of no worse than ± 0.1 °C. The general appearance of the laboratory setup is shown in Fig. 1, and its detailed block diagram is described in [4].

Fig. 1. General view of the device (a), when the casing is removed (б)

The technical embodiment of the idea of an instrumental record of ultrafine changes in the current state of integral multicomponent liquid systems was first implemented in a device intended for express analysis of mixtures consisting of hydrocarbons and described in [5]. The essence of the idea consists in comparing the characteristics of the test radiation emanating from a sample of the liquid being studied with the same characteristics of the radiation as emanating from the liquid standard, according to which the measuring unit of the laboratory setup is adjusted so that the test radiation emanating from the standard minimally (but stably) exceeds thermal noise. Thus, ideally, the sensitivity of the measuring unit is upgraded with the help of a waveguide transformer to a level comparable to the sensitivity of null indicators such as a rocker or a measuring bridge.

EVIDENTIAL MEASUREMENT METHODS

But it is possible to achieve such a setting of the measuring microwave unit only in those cases when the permittivity of the liquid medium differs from the permittivity of air by no more than 3 units, due to which, at the interface between the air and liquid medium, no significant radiation flux directed towards the detector is created.

Water and aqueous liquid systems have a permittivity of more than 10 units in the millimeter range of electromagnetic wave lengths. Due to this, the jump of permittivity at the interface between the air part of the waveguide path and water systems is smoothed out due to the dielectric insert impermeable to water, from the dry surface of which, towards the detector, a significant part of the testing radiation is reflected. And in this case, it is necessary to achieve the minimum signal value when adjusting the measuring path to the reference substance, which for aqueous systems is

naturally water (more precisely, its bidistillate), by compensating on the detector for the effect induced by the radiation flux reflected from the dry surface of the dielectric insert. To do this, the amplitude of the signal coming from the reference medium is adjusted by means of a waveguide transformer to a value as close as possible to the amplitude of the flux reflected by the dry surface of the dielectric insert, and its phase is changed by 180° . In this case, the adjustment of the measuring unit is completed upon reaching such a minimum signal value coming from the detector, which is kept for several hours (at least 8), undergoing fluctuations in amplitude and phase within the limits of no more than 1% relative to the initial state.

In the adjusted state, the measuring unit is capable of reliably detecting differences in the state of water caused by the same quantitative introduction of singly charged ions into it, as shown in Fig. 2. The results of measurements made on samples of aqueous bidistillate, urine, and one-molar solutions of sodium and potassium chlorides are shown. The figure shows images of the displays of two devices (the studies were conducted in parallel on four identical installations in order to identify effects caused by purely technical reasons).

Fig. 2. Displays of two units (instrument 1 and instrument 2).

In the second quadrant of the phase plane, the points marked with inscriptions correspond to the results of measuring the responses to the effect of test radiation of samples of water, urine, and monomolar solutions of NaCl and KCl

In each of them, the responses to the test radiation of water, urine, and sodium chloride clearly differ in amplitude, showing minor differences in phase; the responses of the potassium chloride solution in both cases have a phase approximately 30° greater with an amplitude that is virtually identical to the responses of the sodium chloride solution. And this agrees well, firstly, with the fact that there is at least three times more sodium chloride in urine than potassium chloride and, secondly, with the fact that potassium ions, which carry the same electric charge as sodium ions, are larger in size and can bind a larger number of dipole water molecules. In addition, Fig. 2 is useful as an argument in favor of the physical reality of the events, the equivalents of which are the results of testing of aqueous systems using millimeter electromagnetic radiation of low intensity, since the two devices obtained virtually the same result (taking into account the natural error for any devices).

However, to identify subtle changes caused in the internal structure of a colloidal system by portionwise removal of free water from it (which is exactly what

happens in the kidneys at the final stage of urine formation), not only the features of the measuring unit of the research setup are important, but also the evident display of changes in the quality of the system in the flow of the recorded data. Taking this into account, experiments were carried out in various modifications of multiple dosed extraction of free water from samples of aqueous bidistillate, showing the ability of water purified in this way to rather quickly (within a few minutes) restore the balance of free and bound water optimal for a temperature of $\sim 37.4 \pm 0.1^\circ\text{C}$. The basis for this conclusion was the high degree of coincidence of the changes in time of the effect of interaction of the testing radiation with water in a series of successive extractions of free water molecules from the sample by vacuum pumping, as shown in Fig. 3.

Fig. 3. Dynamics of the response of a bidistilled water sample to the effect of testing radiation against the background of vacuum pumping out of it a dosed portion of free water and after removal of the forevacuum until the sample has reached an equilibrium state.

The start of pumping out practically coincides with the leading edge of the curves, and the moment of removal of the forevacuum is indicated by vertical lines before the beginning of the descending part of the curves. Curves of different colors correspond to the dynamics of the sample response to each of three consecutive pumpings of free water from it. On the abscissa axis, the numbers indicate the ordinal numbers of discrete (with an interval of 2.5 s) measurements of the sample response to testing radiation. On the ordinate axis, the numbers indicate the amplitude of the signal recorded from the detector and expressed in conventional units

It shows curves in different colors that correspond to changes in the amplitude of signals recorded from the detector during three successive procedures of vacuum pumping of identical portions of free water from a sample of aqueous bidistillate. The moment of vacuum supply to the working cuvette is not marked on the curves for the clarity of the image of their almost vertical sections, since the beginning of these sections actually coincides with the establishment of a forevacuum in the cavity of the cuvette, and the moments of restoration of atmospheric pressure in the cavity of the cuvette are marked by vertical lines. The format of the image of the measurement results in coordinates (signal amplitude - time) is adopted so that to simplify the analysis aimed at identifying a purely methodological aspect of organizing studies of colloidal systems using the created setup without going into the physical details of the formation of signals coming from the detector to the database.

Considering the database, where they are presented in a complex form, it is easy to establish that the multidirectional dynamics in time of the response of the water sample to the effect of the testing radiation is actually due to changes in the phase of the radiation emanating from the aquatic environment. However, due to the fact that the result of the vector addition of the radiation emanating from the tested environment with the radiation reflected by the dry surface of the dielectric insert is also a vector and looks like changes in the amplitude of the useful signal without taking this circumstance into account.

Thus, any deviations in the restoration of the optimal balance of free and bound water in aqueous systems at a temperature of $\sim 37.4 \pm 0.1$ °C can reasonably be attributed to the manifestation of features characteristic of a system consisting of water and the substances contained in it. But before going on to the study of colloidal systems, it was reasonable to get an idea of the dynamics of the response to the impact of testing radiation of obviously stable aqueous systems (which are true solutions of salts formed by a strong acid and strong bases) under the condition of repeated portioned extraction of free water from them.

It turned out that as such aqueous systems get compacted by extracting free water from them, their response to the testing radiation changes monotonically both against the background of the loss of free water under vacuum pumping conditions and in the stabilization state after removing the forevacuum. In the latter case, i.e., in situations essentially close to the conditions of natural compaction of colloids of biological origin, events develop in such a way that a curve can be drawn at the points corresponding to the amplitude of the responses of true solutions that have returned to the equilibrium state after pumping out of free water from them, and this curve is well approximated by the expression

$$y = C \cdot \exp(k \cdot x),$$

where C and k are constants, as shown in Fig. 4.

Fig. 4, a, shows a typical view of the dynamics of the amplitude of the signal recorded from the detector in the process of carrying out a series of dosed vacuum pumpings of water from a sample of NaCl solution. Fig. 4, b, shows a curve, constructed on the same scale by points corresponding to the amplitude of the sample responses to the effect of testing radiation after the next pumping out of a portion of free water from the sample, and the result of the approximation of this curve by the above expression. The state of stabilization of the sample after the next pumping out of free water from it is determined automatically by comparing the average values of each 10 previous measurements with the average values of each 10 following measurements, and a smoothed curve is also automatically constructed and approximated by an exponen-

tial. The curve is drawn based on the results of measurements made at the equilibrium state of the sample.

Fig. 4. Dynamics of the response of a sample of an aqueous NaCl solution to a series of 20 pumpings of free water from it.

The moments of applying and removing the forevacuum are not marked to facilitate the visual analysis of the curve. The axes of abscissas and ordinates in part (a) of the figure present the same content as Fig. 3. In part (b) of the figure, the ordinal numbers of successive pumpings from the sample of free water are numbered along the abscissa axis. Above the abscissa axis in part (b) of the figure, a dark strip indicates the zone of possible deviations of the experimental curve from the exponential obtained as a result of its approximation by the expression $y = m \cdot \exp(n \cdot x)$ due to instrumental error

The responses to the effect of testing radiation change similarly in cases of serial pumping out of free water from samples of aggregation-stable urine samples, which is shown in Fig. 5, constructed in the same way as Fig. 4.

Fig. 5. Dynamics of the response of a sample of aggregate-stable urine to a series of 20 pumpings of free water from it. Designations as in Fig. 4

But in cases of compaction of urine samples prone to loss of aggregate stability by the same method, noticeable deviations from the exponentially smooth development of events occur in the dynamics of their responses to the effect of testing radiation (Fig. 6).

Fig. 6. Dynamics of the response of a urine sample with a potential loss of aggregate stability to a series of 20 pumpings of free water from it.

Designations along the abscissa and ordinate axes correspond to Fig. 4. In part (a) of the figure, the effects of the appearance of free water in the sample due to the fusion of some colloidal particles as a result of the loss of aggregate stability by the system are marked by two horizontal lines drawn under the curve. The amplitude of the detector signal under the conditions of the appearance of free water in the system is noticeably reduced relative to its expected value

This occurs due to the appearance of one or another portion of free water at some subsequent stage of its compaction by vacuum pumping out of free water in the sample. The amplitude of the sample response to some subsequent effect of testing radiation turns out to be significantly less than expected taking into ac-

count the smooth development of events, which is confidently determined both by visual assessment of the graphical representation of the measurement results and by their automatic processing. An additional argument in favor of the fact that the proposed method of analyzing urine samples is suitable for identifying its latent readiness to form a solid phase is the fact that the probability of identifying signs of aggregate instability in urine samples of humans with urolithiasis is several times higher than in urine samples of people who do not suffer from this disease.

In part (б) of the figure, the vertical columns exceeding the upper edge of the dark band indicate the automatically determined deviations of the actual measurement results from the expected values during the development of events without the loss of aggregate stability by the urine sample. The second exponent shown in (б) is constructed based on

the results of approximating the experimental curve section located to the right of the moments of loss of aggregate stability by the sample.

CONCLUSION

Based on the presented material, it can be assumed that, in addition to the possibility of using the method described above in the interests of studying the pathogenesis of urolithiasis, which, according to the WHO, affects more than 400 million people on earth, its further development can also enrich the methodological arsenal of fundamental science in the field of understanding the functional structure of living objects.