

- [1] Тернов И.М. // ЭЧАЯ. 1986. Т. 15. В. 5. С. 884-928.
- [2] Михалев В.Л., Рзаев В.А. // ЖЭТФ. 1982. Т. 82. В. 6. С. 1713-1724.
- [3] Сумбаев О.И. // Препринт ЛИЯФ № 1201. 1986.
- [4] Байер В.Н., Катков В.М., Страховенко В.М. Электромагнитные процессы при высокой энергии в ориентированных монокристаллах. Новосибирск: Наука, 1989. 396 с.
- [5] Белошицкий В.В., Кумахов М.А. // ДАН СССР. 1973. Т. 221. В. 4. С. 846-849.
- [6] Кудряшов Н.А., Петровский С.В., Стриханов М.Н. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 4. С. 68-73.
- [7] Белошицкий В.В., Старостин В.А. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 8. С. 722-726.

Московский  
инженерно-физический  
институт

Поступило в Редакцию  
14 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 1

12 января 1991 г.

03; 05.3

© 1991

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЖИДКИХ УПОРЯДОЧЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Е.Н. Ведмеденко, М.В. Курик,  
И.Н. Кувичка

Значительную часть молекулярной массы многих биологических жидкостей человеческого организма составляют сложные липидные и липид-белковые комплексы. Полярные частицы липидов сильно взаимодействуют с водой и могут смешиваться с ней в любых соотношениях. Возникающие смеси образуют многообразные упорядоченные фазы с периодической структурой.

Большинство биожидкостей организма человека кристаллизуется при высушивании. Известны различные виды кристаллов, образующихся при кристаллизации ротовой жидкости человека в норме и при ряде патологий [1, 2]. Форма этих структур, а также морфо-кинетический механизм кристаллизации существенно зависят от изменений в биохимическом составе, нарушений обмена с окружающей средой, фазовой структуры биологической жидкости и ее межмолекулярного упорядочения. Справедливость указанных заключений под-

тверждается исключительной чувствительностью параметров фазовых переходов в системах белок-вода к присутствию примесей — солей, неэлектролитов, аминов [3].

Наиболее общим процессом кристаллизации биоструктур является образование фрактальных структур различной фрактальной размерности.

Биологические макромолекулы и их комплексы содержат различные ионизированные группы, в результате чего им присущ довольно значительный заряд [4]. В работе [5] биополимер трактуется как классическая система, состоящая из подсистем (микродоменов, молекулярных групп), связанных друг с другом, в основном электростатическими силами.

Подвергая биологическую жидкость электрофорезу, воздействию внешнего электрического поля, мы влияем на полярные группы молекул и их агрегатов. Взаимодействие заряженных частиц с внешним полем может усиливать поверхностно-активные свойства биомолекул и, возможно, способствовать образованию упорядоченных структур, в том числе и мицелл.

Мицеллярные структуры оптически изотропны, но при кристаллизации они часто образуют упорядоченные структуры, что может быть легко обнаружено с помощью поляризационно-микроскопических исследований.

В настоящей работе впервые изучено влияние внешнего электрического поля на процессы кристаллизации биологических структур.

Объектом исследований явились биологические липопротеидные комплексы: слюна, липопротеиды высокой плотности (ЛПВП), сыворотка крови, панкреатический сок, желчь. Для исследований брались указанные биологические жидкости у практически здорового человека.

Направленная кристаллизация проводилась на твердотельной подложке в изотермических условиях. Подложки представляли собой стекла с напыленным полупрозрачным проводящим слоем оксида олова  $SnO_2$  толщиной 5–10 мкм. Использовалась и другая ячейка, где подложкой служило стекло, над которым на высоте 0.2 мм фиксировались два платиновых электрода, между ними располагалась капля жидкости.

Результаты, полученные для обеих типов ячеек, аналогичны.

Наиболее типичные структуры, полученные при кристаллизации биологических жидкостей без наложения поля и в случае направленной кристаллизации препаратов, представлены на рис. 1, 2.

Из представленных данных видно, что кристаллизация без наложения поля происходит с образованием дендритных или фрактальных структур.

При наложении электрического поля процесс кристаллизации существенно изменяется. Возле катода преобладают скопления двулучепреломляющих кристаллов сферолитного типа, а возле анода образуются либо фракталы, либо кристаллизация не дает анизотропных структур.

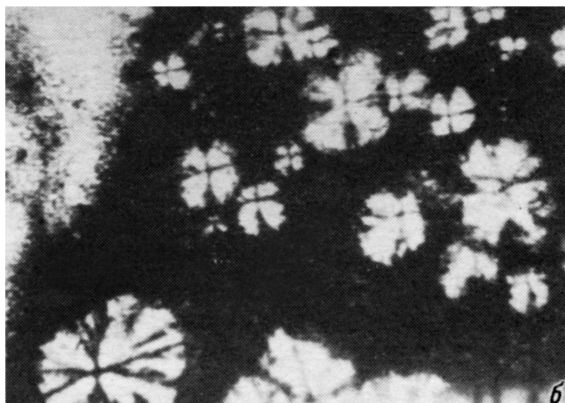
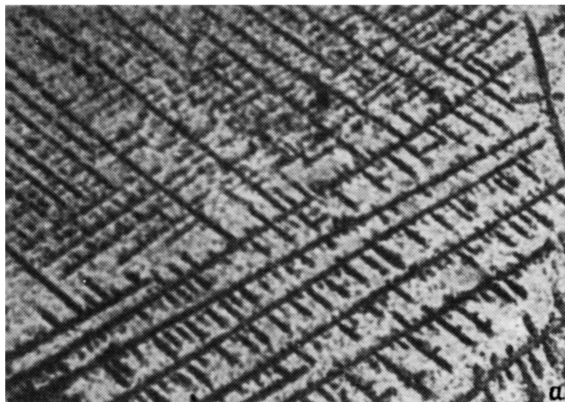


Рис. 1. Структура твердой фазы панкреатического сока для различных условий кристаллизации: а) без наложения поля, б) во внешнем электрическом поле у катода, в) во внешнем электрическом поле у анода. Увеличение 200\*.

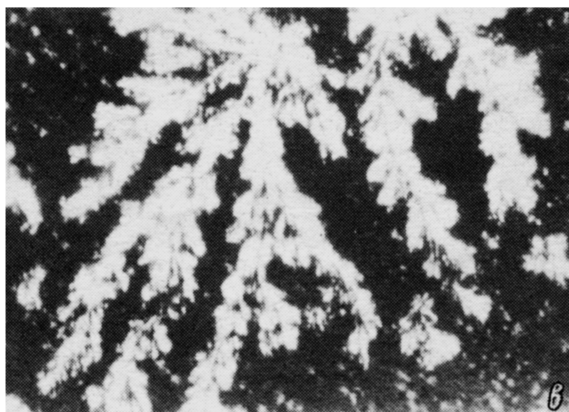
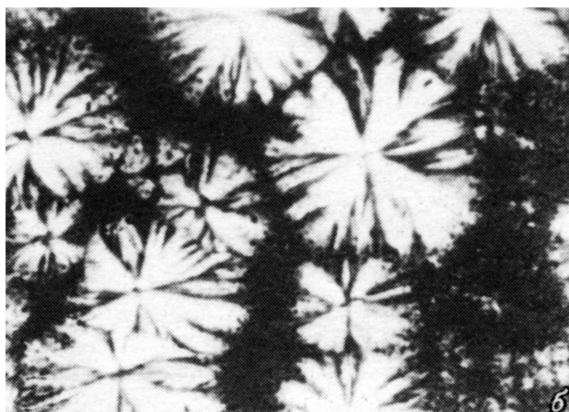
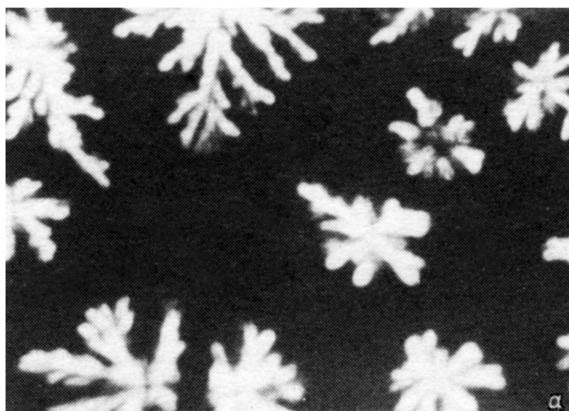


Рис. 2. Структура твердой фазы слюны для различных условий кристаллизации; а) без наложения поля, б) во внешнем электрическом поле у катода, в) во внешнем электрическом поле у анода. Увеличение 200\*.



Исследуемые биологические жидкости организма человека имеют упорядоченную структуру, обладают электрическим зарядом [6] и находятся в состоянии электростатического равновесия с молекулами растворителя.

Процесс кристаллизации таких упорядоченных биологических структур происходит с образованием фракталов, размер и вид которых определяются типом биологической структуры.

Наложение на биологическую структуру внешнего электрического поля ведет к движению разноименно заряженных биологических молекул соответственно к аноду или к катоду – к процессу электрофореза. Поскольку структура твердой фазы разделенной электрическим полем биологической среды отличается у анода и у катода и существенно отличается от исходной, то это означает, что в результате электрофореза либо изменяется структура липопротеидного комплекса в растворе, либо термодинамическое равновесие молекул липопротеидным комплексом и молекулами растворителя, что проявляется в изменении структуры твердой фазы, закристаллизованной у анода или катода.

Характерной особенностью влияния электрофореза в биологических средах на процессы их кристаллизации является то, что для всех изученных в работе сред у анода всегда наблюдается оптически активные сферолиты различных размеров, а у катода либо фрактальные структуры, либо аморфные, разупорядоченные структуры.

Таким образом, совмещение кристаллизации исследуемых веществ с электрофорезом позволяет выявить новые особенности межмолекулярного упорядочения структур. Из работы [7] известно, что макромолекулярные (белки) и низкомолекулярные (липиды) органические вещества могут кристаллизоваться из растворов в форме эвтектических сферолитов, образующихся при малых пересыщениях и переохлаждениях. Подобная кристаллизация может происходить и при изотермических условиях [8]. Возникновению упорядоченных структур может способствовать холестерин, который влияет на межмолекулярное упорядочение липидов [9]. Сферолитные образования могут появляться также при переходе из состояния жидких сферолитов (конфокальных доменов) мезофазы в твердокристаллическое состояние [10].

О возможности упорядочения ЛПВП плазмы крови по типу кубической фазы лиотропных жидких кристаллов, а также о существовании мезоморфных превращений в них при изменении температуры, говорится в работе [11], о возможности жидкокристаллического упорядочения слюны в работе [12]. Известно также, что сферолиты в желчи (без наложения поля) представляют собой домены холестерической лиотропной мезофазы в системе белок-вода, способные к кристаллизации [13].

Исходя из того, что у анода образуются фракталы, а у катода – сферолиты, можно заключить, что липидные и липопротеидные комплексы (или их компоненты), имеющие в активной форме положительный заряд, перемещаясь к отрицательному электроду, образуют области с концентрацией структурообразующего вещества в жидкости

вьше критической концентрации мицеллообразования и кристаллизация из мезоморфного состояния в твердое приводит к появлению сферолитов. Для структур или молекул с отрицательным зарядом у катода создаются условия (агрегация частиц, ограниченная их диффузией) образования фракталов.

Дальнейшее изучение свойств таких структур позволит более детально определить особенности свойств электрофоретически разделяемых структур или молекул.

На основе представленных результатов можно заключить, что сочетание электрофореза и кристаллизации биологических структур открывает новые возможности изучения свойств различных растворов биологических систем.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Харченко С.В., Корнеева Г.А., Ветров В.Н. // Изв. АН СССР. Сер. „Биологическая“. 1988. № 3. С. 450-454.
- [2] Харченко С.В., Корнеева Г.А., Ветров В.Н. // Изв. АН СССР. Сер. „Биологическая“. 1988. № 4. С. 524-531.
- [3] Габуда С.П. Связанная вода. Факты и гипотезы. Новосибирск: Наука, 1982. 139 с.
- [4] Костюк П.Г., Гроздинский Д.М., Зима В.П., Магура И.С., Сидорик Е.П., Шуба М.Ф. Биофизика. Киев: Вища школа, 1988. 504 с.
- [5] Выдыбца А.К. // Биофизика, 1989. Т. 34. В. 2. С. 205-206.
- [6] Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1973. 93 с.
- [7] Адамский П., Чижевский Р. // Кристаллография. 1978. Т. 23. В. 6. С. 1284-1285.
- [8] Уббелоде А.Р. Плавление и кристаллическая структура полимеров. М.: Мир, 1969. 420 с.
- [9] Кучеренко Н.Е., Васильев А.Н. Липиды. Киев: Вища школа, 1985. 272 с.
- [10] Лисиенко В.М., Запечки Е.В., Кононенко Е.В., Минц Р.И. Экстракорпоральная жидкокристаллическая диагностика холецистита. Свердловск: Уральский госуниверситет, 1989. 47 с.
- [11] Мусил Я. Основы биохимии патологических процессов. М.: Медицина, 1985. 328 с.
- [12] Писчасова Г.К. Жидкокристаллическое состояние слюны - основа к расшифровке механизмов ее биологических свойств и физиологических функций. Методическое письмо. Омск: МЗ РСФСР, 1983. 8 с.

[13] Запечкий Е.В., Груздев М.П., Кононенко Е.В., Варшавская О.А. Значение исследований дуоденального содержимого для диагностики заболеваний желчевыводящих путей. М.: 1984. 67 с. Деп. во ВНИИМИ. № 8252-84.

Поступило в Редакцию  
16 августа 1990 г.