

## АКУСТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

УДК 532.77.11; 537.635

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСНОВНЫХ БЕЛКОВ СЫВОРОТКИ КРОВИ  
(АЛЬБУМИНА И  $\gamma$ -ГЛОБУЛИНА) С ИОНАМИ  $\text{Na}^+$  И  $\text{K}^+$ 

Г. П. Петрова, Ю. М. Петруевич

(кафедра медицинской физики)

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных по рассеянию света в растворах белков сыворотки крови — альбумина и  $\gamma$ -глобулина, содержащих ионы щелочных металлов Na и K. Наличие в растворах белков ионов калия, обладающих большим ионным радиусом, приводит к возникновению белковых нанокластеров. В растворах, содержащих ионы Na, этот эффект не обнаружен. Обсуждается возможный механизм наблюдаемых явлений, в основе которого лежат сильные диполь-дипольные взаимодействия белковых молекул.

Роль калия и натрия в жизнедеятельности организма очень важна. Как известно, натрий в основном содержится в крови, в плазматической жидкости межклеточного пространства, в то время как калий находится преимущественно внутри клеток. Электрические свойства (потенциал покоя — потенциал действия) большинства клеток определяются этими двумя ионами, а также ионом Ca, поэтому они называются потенциалообразующими.

До сих пор нет ясного понимания механизмов взаимодействия этих ионов с различными белками, включая белки плазмы крови, такие, как альбумин и  $\gamma$ -глобулин.

Ранее в работах [1–4] нами было показано, что процессы адсорбции тяжелых ионов, таких, как Rb, Cs, Cd, Pb, Cu и др., и легкого  $\text{Na}^+$  на поверхности белка существенно различаются.

Связь гидратной оболочки с заряженным ионом определяется соотношением между электростатической энергией взаимодействия иона с дипольной молекулой воды  $E_{pq}$ , которая зависит от ионного радиуса, и тепловой энергии  $kT$ :

$$E_{pq} = \frac{q^2 p_w^2}{12\pi\epsilon r_0^4} \frac{1}{kT}. \quad (1)$$

Здесь  $E_{pq}$  — электростатическая энергия взаимодействия ион — молекула воды;  $q$  — поляризационный заряд иона металла;  $p_w$  — дипольный момент молекулы воды;  $r_0$  — расстояние между центрами иона и молекулы воды, определяемое радиусом иона;  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость воды ( $\approx 80$ ).

Если энергия взаимодействия  $E_{pq} < kT$ , то на поверхности иона вода не будет удерживаться, и ионы могут образовывать так называемые электростатические пары на белке, компенсируя его поверхностный заряд.

Исследования водных растворов различных белков с помощью метода светорассеяния показывают,

что в присутствии ионов тяжелых металлов масса рассеивающих частиц не остается постоянной, а резко возрастает в области изоэлектрической точки, соответствующей фактическому заряду белка  $Z^* = 0$ , причем максимум значений  $M$  увеличивается с ростом ионной силы.

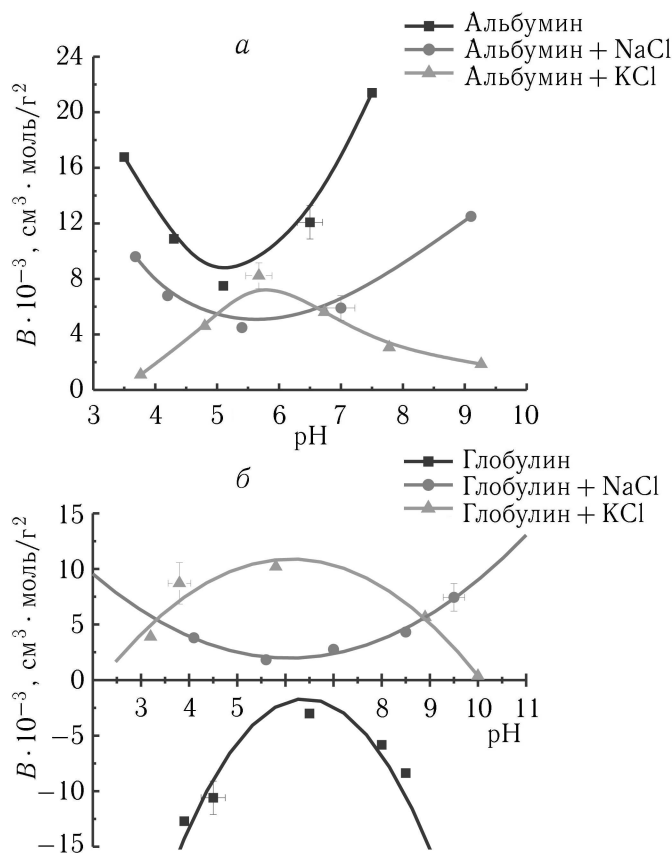


Рис. 1. Зависимости коэффициента взаимодействия  $B$  от pH для растворов в чистой воде альбумина (а) и  $\gamma$ -глобулина (б) при наличии ионов натрия и калия

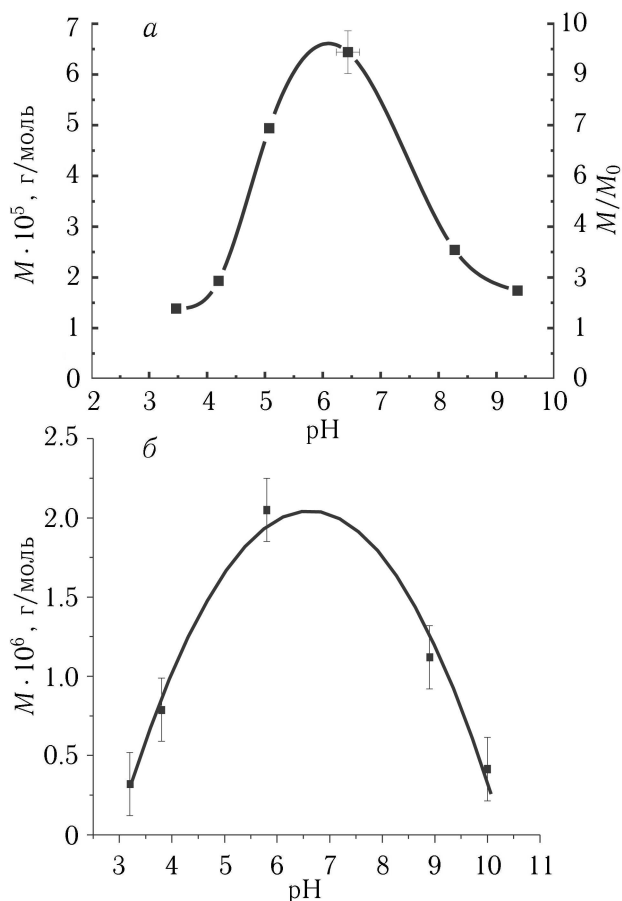


Рис. 2. Зависимости эффективной массы рассеивающих частиц для растворов альбумина (а) и  $\gamma$ -глобулина (б), содержащих ионы калия

Ион натрия имеет ионный радиус  $\sim 0.9$  Å, в то время как ион калия имеет заметно больший радиус ( $\sim 1.3$  Å). Это приводит к существенным особенностям его взаимодействия с гидратной оболочкой в водных растворах, что в ряде работ называется «отрицательной гидратацией» [5].

В наших работах методами светорассеяния были изучены статические параметры (масса частиц  $M$  и коэффициент межмолекулярного взаимодействия  $B$ ), а также динамические параметры (коэффициенты трансляционной диффузии) белков — альбумина и  $\gamma$ -глобулина в водных растворах при добавлении различных солей [6].

На рис. 1 показаны рН-зависимости коэффициента межмолекулярного взаимодействия (второго вириального коэффициента  $B$ ) для альбумина и  $\gamma$ -глобулина в растворах, содержащих ионы нат-

рия и калия. Как можно видеть, для растворов альбумина и  $\gamma$ -глобулина, содержащих ионы натрия, наблюдаются классические параболические зависимости  $B$  от рН с минимумом в изоэлектрических точках (согласно теории Скэтчарда). В растворах белков, содержащих ионы калия, кривые зависимостей  $B$  от рН имеют характерные максимумы в изоэлектрических точках, аналогично тому, что наблюдалось в растворах этих белков, содержащих ионы тяжелых металлов [4, 6].

На рис. 2 показаны рН-зависимости эффективной массы рассеивающих частиц для растворов обоих белков, содержащих ионы калия.

Эти кривые указывают на эффект кластеризации белков аналогично тому, что наблюдалось ранее для растворов, содержащих тяжелые металлы. В обоих случаях максимальная масса образующихся наночастиц наблюдается в изоэлектрических точках альбумина и глобулина.

Из приведенных результатов возможно сделать следующий вывод: действие ионов калия на основные белки сыворотки крови аналогично действию ионов токсичных тяжелых металлов. Это означает, что повышение концентрации ионов калия в крови или лимфе выше определенного уровня может приводить к нежелательным патологическим изменениям, связанным с агрегацией основных белков. Это особенно существенно для  $\gamma$ -глобулина при смещении клеточного рН от нейтрального к слабнокислому, так как это может приводить к агрегации  $\gamma$ -глобулина и выключению его из механизма иммунной защиты.

## Литература

1. Petrova G.P., Petrusevich Yu. M., Evseevicheva A.N. // Gen. Physiol. Biophys. 1998. **17**, N 2. P. 97.
2. Петрова Г.П., Петрусевич Ю.М., Евсеевичева А.Н. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1998. № 4. С. 71.
3. Petrova G.P., Petrusevich Yu.M., Evseevicheva A.N., Ten D.I. // Proc. of SPIE. 2001 **4263**. P. 150.
4. Петрова Г.П., Петрусевич Ю.М., Тен Д.И. // Квант. электрон. 2002. **32**, № 10. С. 1.
5. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., 1976.
6. Бойко А.В. и др. Препринт № 2/2005. МГУ, физический ф-т.

Поступила в редакцию  
15.03.06