

УДК (534.23:541.124)+535.378

КЛАТРАТЫ ИОДА – ПРОТОТИПЫ АНТИДОТОВ ПРОТИВ АКУСТИЧЕСКОГО НЕЛЕТАЛЬНОГО ОРУЖИЯ

Г.Н. Фадеев¹, В.С. Болдырев¹, В.Н. Тверитинов¹, Л.И. Пашкова²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

e-mail: gerfad@mail.ru;

²Московский институт открытого образования

Исследования воздействия низкочастотных акустических колебаний на клатратные комплексы, образованные иодом с компонентами крахмала и поливиниловым спиртом, показали, что эти соединения способны поглощать заметную долю поступающей извне акустической энергии. Полученные результаты дают основания рассматривать эти соединения как антидоты против низкочастотных колебаний, генерируемых при применении акустического нелетального оружия.

Keywords: акустические колебания, резонансная частота, модели биохимических систем, клатратные комплексы, амилоидин, амилопектоидин, иодиол, кинетика дестабилизации клатратов.

IODIN-CLATHRATES – ANTIDOTES AGAINST THE ACOUSTIC NON-LETHAL WEAPONS

G.N. Fadeev¹, V.S. Boldyrev¹, V.N. Tveritinov¹, L.I. Paschkova²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow

e-mail: gerfad@mail.ru;

²Moscow Institute of Open Education, Moscow

The research, devoted to the kinetics of destruction of iodine-clathrate complexes – amiloiodin, amilopektoiodin and iodinol under the low-frequency acoustic waves has shown that these compounds can absorb an appreciable portion of external acoustic energy. The obtained results suggest that these compounds can be regarded as antidotes against the low-frequency vibration generated when the acoustic non-lethal weapons are applied.

Keywords: acoustic oscillations, resonant frequency, models of biochemical systems, clathrate complexes, amiloiodin, amilopektoiodin, iodinol, the kinetics of the clathrate destabilization.

В работах [1–3] установлены существенные особенности механизма переноса акустической энергии низких частот и специфика их воздействия на состояние биологически активных структур в поле низкочастотных акустических колебаний и сопровождающих их факторов. Изменения обусловлены взаимодействием резонансных частот химических превращений с внешним акустическим воздействием: для каждой химической системы имеется собственная резонансная частота акустических низкочастотных колебаний, при которой эффект

Резонансные частоты биологически активных систем

Тип системы	Состав	Резонансная частота, Гц
Низкомолекулярные биологически активные вещества	Продукты гидролитического контрдиспропорционирования иода	25–30
Высокомолекулярная органическая система	Полисахарид крахмал	140
Иодсодержащие клатраты крахмала	Амилоидин	10–15
	Амилопектоидин	20–25
Клатрат — иодиол	Поливиниловый спирт–иод	10–15

воздействия максимален [4]. Это проверено и экспериментально подтверждено (табл. 1) на системах, являющихся ступенями к сложным биохимическим структурам. В работе [3] обнаружены важные особенности поведения клатратов — амилоидина и амилопектоидина: с внешним акустическим воздействием резонируют низкомолекулярные составляющие изученных соединений.

Одинаковые по составу, но различающиеся по строению молекулы амилозы и амилопектина, адсорбировавшие иод, резонируют с внешним воздействием в разных участках акустического спектра. Амилоидин — в инфразвуковом, а амилопектоидин — в звуковом диапазоне частот. Резонансное взаимодействие внешних колебаний и клатратов происходит в соответствии с энергетическим состоянием молекул иода, возникшим в результате адсорбции иода.

Амилопектин в крахмале охватывает своей трехмерной структурой двойные спирали амилозы. Величина адсорбции иода на амилопектине (АП) почти в полтора раза меньше, чем на амилозе (АЛ):

$$E_{\text{акт АП}} = 29 \pm 2 \text{ кДж/моль}; \quad E_{\text{акт АЛ}} = 44 \pm 2 \text{ кДж/моль}.$$

Логично было рассчитывать, что амилопектоидин будет и дестабилизироваться легче, чем амилоидин. Однако амилопектоидин оказался устойчивым к частотам инфразвукового диапазона и резонирует с более энергичными частотами начала звукового диапазона. При частотах 25–40 Гц константы скорости дестабилизации амилопектоидина становятся больше, чем у амилоидина [3, с. 57). Имеет место инверсия значений энергий активации процесса дестабилизации $E_{\text{дест}}$ клатратов:

$$E_{\text{дест. АП}} = 38–41 \text{ кДж/моль}; \quad E_{\text{дест. АЛ}} = 29–31 \text{ кДж/моль}.$$

Состояние иода в результате адсорбции на амилозе иное [5], поэтому он и ведет себя иначе. Молекулы иода находятся внутри двойной

спирали амилозы и испытывают сильное влияние полярных групп -ОН, а также межмолекулярных сил. В результате межатомная связь в молекуле иода с первоначальной длины 0,267 нм увеличивается до 0,306 нм и становится единой для всех атомов иода. Атомизированный и заключенный в двойную спираль иод амилоиодина резонирует с частотами 5–15 Гц инфразвукового диапазона, имеющими энергию, меньшую, чем частоты 25–40 Гц. Константы скорости дестабилизации амилоиодина при действии инфразвуковых частот больше, чем у амилопектоиодина.

Из полученных данных можно заключить, что при восприятии амилоиодином и амилопектоиодином энергии акустического воздействия главную роль играют не структура соединения и не прочность адсорбции иода, а энергетическое состояние активной части клатрата, способной вступать в резонанс с определенными частотами акустического воздействия. Для проверки определяющей роли энергетического состояния в резонансном взаимодействии с внешними акустическими колебаниями исследовано поведение соединения, сходного по строению с амилоиодином.

В качестве аналога взят клатратный комплекс иодиол — соединение иода с поливиниловым спиртом (ПВС). Вторичная структура полимера ПВС имеет строение [6] спирали, как и амилоза. Однако, в отличие от амилозы, спираль полимера не двойная, а одинарная. Сам иод расположен, согласно данным [7], в приповерхностном слое ПВС и соединен серединой своей молекулярной связи с кислородом группы -ОН поливинилового спирта. Молекулярная масса полимера, по данным [5], колеблется от 14 000 до 60 000 а.е.м. Энергия активации адсорбции иода на ПВС (42,64 кДж/моль) близка к $E_{\text{актАЛ}}$ (44 кДж/моль) и заметно превышает $E_{\text{актАП}}$ (29 кДж/моль).

Прочность адсорбции иода на ПВС не отражается на резонансной частоте иодиола, находящейся, как и у амилоиодина, в инфразвуковой области (табл. 2), но влияет на восприятие иодиолом мощности подаваемого воздействия. Наблюдается нулевой кинетический порядок процесса дестабилизации клатратов при частотах как инфразвукового, так и звукового диапазонов в случае крахмала при общем подаваемом напряжении 3 В, а в случае иодиола даже при 5 В (рис. 1). Из-за более прочной адсорбции иода дестабилизация иодиола заметно наблюдается только при 7 В, тогда как у крахмала влияние мощности заметно уже при 5 В. С увеличением подаваемой извне мощности кинетический порядок дестабилизации иодиола меняется (рис. 2) и становится первым, так же как и у амилоиодина и амилопектоиодина (см. табл. 2).

Полученные данные подтверждают, что более свободному положению иода соответствует и большая активность иодиола в звукохимическом превращении. Константы скорости его дестабилизации

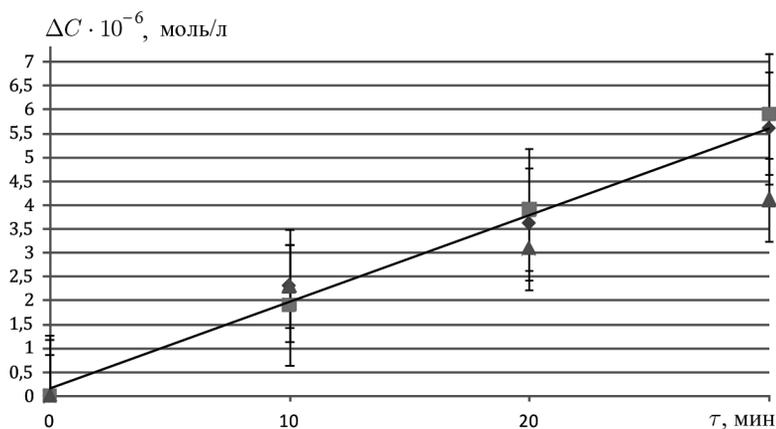


Рис. 1. Нулевой порядок процесса дестабилизации иодиола при общем подаваемом напряжении 5 В и частотах 10 Гц (◆), 20 Гц (■), 25 Гц (▲)

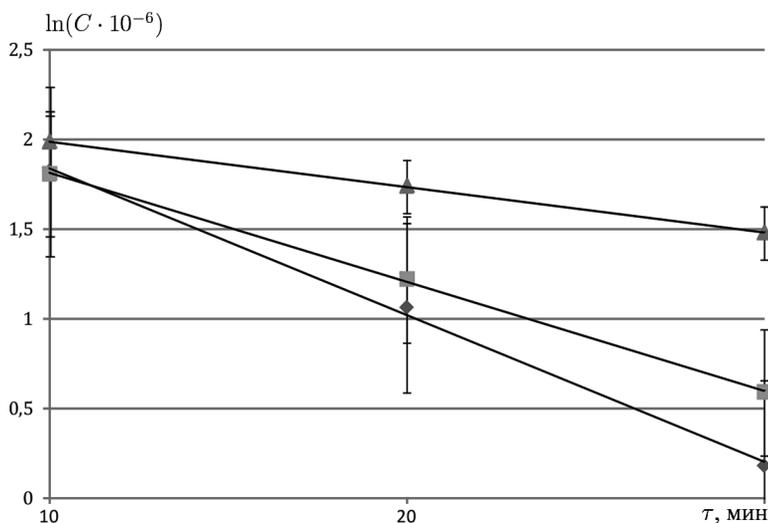


Рис. 2. Первый порядок процесса дестабилизации иодиола при общем подаваемом напряжении 7 В и частотах 10 Гц (◆), 20 Гц (■), 25 Гц (▲)

выше (см. табл. 2), а энергия активации процесса дестабилизации иодиола 16 ± 2 кДж/моль значительно ниже, чем в случае амилоидина (29–31 кДж/моль). Экспериментальные результаты подтверждают, что при поглощении фононов основное значение имеет не структура, а энергетическое состояние активной части биохимических систем, резонансно откликающейся на внешнее акустическое воздействие.

Это открывает путь к созданию антидотов, принцип действия которых состоит в их резонансном взаимодействии с частотой внешнего акустического воздействия [8] и уменьшении или полном поглощении энергии акустического оружия. Прототипами таких структур являются

Константы скорости $k \cdot 10^4, \text{с}^{-1}$, дестабилизации иодсодержащих клатратов при разной мощности воздействия

Напряже- ние, В	Частота, Гц	Иодиол	Иод + крахмал	Амилопектоидин $I_2 + (C_6H_{10}O_5)_n$	Амилоидин $I_2 + (C_6H_{10}O_5)_n$
3	10	–	0,66	0,44	1,8
	20	–	0,14	0,15	0,36
	25	–	0,77	0,29	0,26
5	10	5,66	2,93	1,75	3,7
	20	4,28	2,87	1,71	0,9
	25	2,01	2,37	1,18	0,13
7	10	7,95	6,01	1,61	4,83
	20	9,33	2,78	0,52	1,13
	25	4,01	2,16	0,75	0,34

клатраты, изученные в настоящей работе. Создание средств противодействия и изучение механизмов действия акустического нелетального оружия [9, 10] должны основываться на обобщенном подходе. Простой технический подход здесь невозможен, так как эффективность и моральный фактор применения нелетального оружия зависят от множества условий. Это предопределяет необходимость интеграции знаний и совместной работы исследователей из различных областей, таких как медицина, физиология, биохимия и т.п.

Результаты проведенного исследования можно рассматривать как шаг к пониманию механизма воздействия акустического нелетального оружия и созданию антидотов против него. При этом следует учитывать превалирующее значение энергетического состояния той части, которая наиболее активно откликается на действие налагаемых извне колебаний определенной частоты. При изменении воздействующих частот такой активной частью может стать другая, ранее не проявлявшаяся активность. Природа высокополимерной части структуры способна играть заметную роль, влияя на состояние активной части системы, подвергающейся низкочастотному акустическому воздействию.

Выводы. 1. Полученные экспериментальные данные показывают особенности поведения клатратных комплексов — амилоиодина, амилопектоиодина и иодиола — в поле действия низких акустических частот. Эти клатраты способны поглощать поступающую извне энергию излучения.

2. Проведенные исследования — шаг к пониманию механизма воздействия акустического нелетального оружия на системы организма

человека. С поступающими извне колебаниями резонирует активная низкомолекулярная часть биохимической системы.

3. Чувствительность изученных комплексов к частотам диапазона применения акустического нелетального оружия свидетельствует о возможности использования комплексов, восприимчивых к звукохимическим воздействиям, в качестве антидотов против этого вида оружия.

4. Различия в поведении комплексов амилоиодина и амилопектоиодина в поле низкочастотных акустических воздействий можно использовать для создания антидотов против акустического нелетального оружия, различающихся по воспринимаемой акустической частоте.

5. Результаты проведенного исследования доказывают, что биологические последствия применения акустического нелетального оружия можно изучать на примере действия акустических колебаний на комплексы, имеющие признаки биологически активных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фадеев Г. Н., Болдырев В. С., Ермолаева В. И. Биологически активные клатраты амилоиодина и амилопектоиодина в поле действия низкочастотных акустических колебаний // Доклады РАН. – 2012. – Т. 446. – № 4. – С. 638–642.
2. Фадеев Г. Н., Болдырев В. С., Тверитинов В. Н. Молекулярные аспекты действия акустического нелетального оружия // Вестник МГТУ. Сер. Естественные науки. – 2012. – № 4. – С. 52–62.
3. Фадеев Г. Н., Болдырев В. С., Ермолаева В. И., Елисеева Н. М. Клатратные комплексы иод-крахмал в поле низкочастотных акустических воздействий // Ж. физ. химии. – 2013. – Т. 87. – № 1. – С. 40–46.
4. Fadeev G. N., Kuznetsov N. N., Beloborodova E. F., Matakova S. A. The influence of acoustic resonance frequency on chemical reaction in solution // Russian Journal of Phys. Chemistry A. 2010. Vol. 84, no. 13. – P. 40–46.
5. <http://www.sev-chem.narod.ru/spravochnik/krahmal.htm>
6. Пашкова Л. И. Полимерные гидрогели на основе сшитого поливинилового спирта. Дисс. . . канд. хим. наук. – Москва, 2012. Российский химико-технологич. ун-т им. Д.И. Менделеева.
7. Грибов Л. А., Мерзляк Т. Т., Зубкова О. Б., Райхштат М. Н., Попов А. А. Взаимодействие молекулярного иода с поливиниловым спиртом // Ж. физ. химии. – 1984. – Т. 58. – № 10. – С. 2529–2531.
8. Фадеев Г. Н., Ермолаева В. И., Фролова О. К., Елисеева Н. М. // Труды Второй Всерос. конф. “Необратимые процессы в природе и технике”. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – С. 163–175.
9. Fadeev G., Ermolaeva V. Modelling the effect of non-lethal weapons // Proc. of 2nd European Symposium on Non-Lethal Weapons. Ettlingen (Germany), May 13–14, 2003.
10. Фадеев Г. Н., Ермолаева В. И. Моделирование действия нелетального оружия // Вопр. оборон. техн. – 2004. – Сер. 16, № 1–2. – С. 28.

Статья поступила в редакцию 3.12.2012

Герман Николаевич Фадеев — д-р педагог. наук, канд. хим. наук, профессор кафедры “Химия” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ в области кинетики химических процессов в поле акустических воздействий.

G.N. Fadeev — D. Sc. (Pedagogy), Ph. D. (Chemistry), professor of “Chemistry” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 150 publications in the field of kinetics of chemical processes under exposure to acoustic fields.

Вениамин Станиславович Болдырев — аспирант кафедры “Химия” МГТУ им. Н.Э. Баумана, автор девяти научных работ в области воздействия низкочастотных акустических колебаний на биологические системы.

V.S. Boldyrev— post-graduate of “Chemistry” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of nine publications in the field of study of low-frequency acoustic vibration influence on biological systems.

Валерий Николаевич Тверитинов — канд. биол. наук, доцент кафедры “Химия” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области кинетики химических и биохимических процессов.

V.N. Tveritinov — Ph. D. (Biology), assoc. professor of “Chemistry” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications in the field of kinetics of chemical and biochemical processes.

Людмила Ивановна Пашкова — канд. хим. наук, доцент кафедры обучения химии Московского института открытого образования. Автор 57 научных работ в области химии высокомолекулярных соединений.

L.I. Pashkova — Ph. D. (Chemistry), assoc. professor of department for teaching chemistry of the Moscow Institute of Open Education. Author of 57 publications in the field of chemistry of high-molecular compounds.