

УДК 535.361

К. В. Г л а г о л е в, А. Н. М о р о з о в,  
В. С. Г о р е л и к, П. П. С в е р б и л ь,  
Г. В. К о з л о в а, Ю. П. К у р к и н,  
К. В. П о к а з е е в

## **ВТОРИЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ<sup>1</sup>**

*Обнаружено, что фторирование приводит к сдвигу характеристических частот колебаний соответствующих молекул в спектрах комбинационного рассеяния и к изменению формы полос флуоресценции. Показано, что при переходе от хирально чистых к рацемическим фазам аминокислот наблюдается радикальная перестройка спектра комбинационного рассеяния в решеточной области. Анализ вида спектров комбинационного рассеяния воды в низкочастотной области позволил оценить степень структурирования воды. Показана возможность осуществления неразрушающей диагностики процессов модификации молекулярных объектов, используемых в настоящее время в фармакологии, медицине и пищевой промышленности.*

В настоящей статье представлены результаты исследований молекулярных объектов, полученных в различных условиях в виде определенных модификаций. Модификации молекулярных объектов различаются по следующим свойствам:

- 1) состоянию хиральности;
- 2) агрегатному состоянию;
- 3) концентрации компонентов в гетерогенных средах;
- 4) дейтерированию,
- 5) фторированию,
- 6) изменению конформационного состояния молекулы;
- 7) генетической модификации молекулы ДНК.

Изменение молекулярной структуры биологических объектов в результате процессов модификации приводит к изменению положений атомов и, соответственно, к изменению электронного и колебательного спектра. В настоящее время весьма эффективным средством анализа электронных и колебательных спектров молекулярных структур

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 04-02-16237, 05-02-16205).

является лазерная спектроскопия вторичного излучения [1–3]. Вторичное излучение включает в себя процессы фотолуминесценции (ФЛ), комбинационного рассеяния (КР) света и нелинейные оптические процессы.

Ранее авторами были проведены сравнительные исследования образцов модифицированной соевой муки разных сортов [4] и изучено влияние ароматических примесей на спектр КР масел [5]. В данной работе ставилась задача исследования методами лазерной спектроскопии нативных и модифицированных молекулярных объектов: различных аминокислот, водных сред, микроорганизмов. Модификация осуществлялась с помощью внешних воздействий: нагревания и ультрафиолетового излучения.

**Выбор модифицированных молекулярных объектов.** Модификации подвергались аминокислоты, вода, водные среды и микроорганизмы. Аминокислоты входят в состав белков. Каждый белок характеризуется строго определенным аминокислотным составом. В зависимости от положения аминогруппы по отношению к карбоксилу различают  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -аминокислоты. Все протеиногенные аминокислоты являются  $\alpha$ -аминокислотами. Они представляют собой бесцветные кристаллические вещества. Большинство из них растворимо в воде. В водных растворах аминокислоты находятся в виде амфотерных ионов (цвиттер-ионов). Поскольку во всех  $\alpha$ -аминокислотах (кроме глицина) имеется асимметричный  $\alpha$ -углеродный атом, то такие аминокислоты являются энантиоморфными, т. е. могут существовать в виде левой (L), правой (D) или рацемической (DL) формы [6]. Все естественные протеиногенные аминокислоты имеют L-конформацию. Аминокислоты D-конформации, как правило, живыми клетками не усваиваются. Продуктом химической реакции без участия какого-либо асимметричного агента, реагирующего на зеркальную асимметрию молекулы, является рацемическая фаза (DL-конформация) или смесь в равных концентрациях D- и L-конформаций. Присутствие в организме рацематов приводит к нарушению процессов жизнедеятельности.

Другая возможность модификации структуры белков состоит в замещении атомов водорода близкими по размеру атомами активного электроотрицательного фтора. Аминокислотные остатки, содержащие атом фтора, могут войти в состав белковой цепочки. При этом биологические функции, необходимые для жизнедеятельности биологического объекта, могут быть заблокированы или существенным образом изменены. Причиной фторирования естественных белков могут быть фторсодержащие соединения, попадающие в биологический объект из окружающей среды, из фторсодержащих гербицидов, инсектицидов и лекарственных препаратов.

Следует отметить, что еще одним весьма распространенным видом модификации является фосфорилирование оксигрупп остатков аминокислот серина, треонина и тирозина [7].

Важным компонентом биологических объектов являются полинуклеотиды, входящие в состав ДНК и РНК. Основная функция этих молекул состоит в хранении и передаче информации, необходимой для существования и воспроизведения биологического объекта. Поэтому всякая модификация структуры полинуклеотида оказывает огромное влияние на жизнедеятельность. Как известно, молекулы ДНК состоят из двух закрученных цепей — спиралей, представляющих собой сахарно-фосфатный “хребет” и соединенных друг с другом посредством пар комплементарных нуклеиновых оснований: аденина (А), гуанина (Г), цитозина (Ц) и тимина (Т). В РНК к сахарно-фосфатному “хребту” может присоединяться также урацил (У). Генетическая информация задается, в первую очередь, последовательностью расположения пар комплементарных (в ДНК: АГ, ЦТ) нуклеиновых оснований. Молекулы сахара, входящие в состав сахарно-фосфатного “хребта”, как и аминокислотные остатки, могут существовать в виде двух зеркальных изомеров. Считается, что в естественных биообъектах молекулы сахара всегда существуют в виде правого энантиомера. Появление зеркального антипода в ДНК должно приводить к искажению заложенной в ней генетической информации. Аналогичная ситуация должна иметь место при фторировании нуклеиновых оснований. Возможны и другие механизмы искажения генетической информации, заложенной в молекулах ДНК и РНК, связанные с изменением их пространственной микроструктуры под влиянием возмущающих факторов [3].

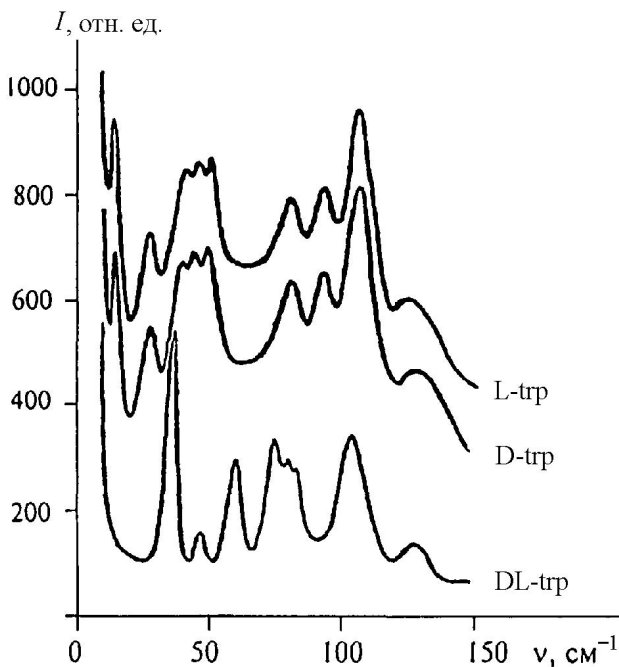
Природные (нативные) объекты, в частности растения, микроорганизмы и пищевые продукты, характеризуются определенной молекулярной структурой, задаваемой генетической системой организма клеток. При модификации структуры ДНК и соответствующих генов изменяется также и исходная генетическая информация. Модификация микроструктуры биологических объектов может происходить под влиянием различных факторов: процессов технологической обработки пищевых продуктов, электромагнитного облучения, в результате химических процессов замещения атомов, в результате механического смешивания и загрязнения.

**Методика эксперимента.** Для возбуждения спектров вторичного излучения в настоящей работе использовались видимое (510,6 и 578,2 нм) и ультрафиолетовое излучения лазера на парах меди [2–4]. Ультрафиолетовое излучение получалось в результате удвоения или сложения частот исходного излучения лазера на парах меди (510,6

и 578,2 нм). При этом длины волн возбуждающего излучения составляли 255,3; 271,2 или 289,1 нм. Излучение от активного элемента лазера на парах меди, работающего в режиме неустойчивого резонатора, фокусировалось длиннофокусной линзой в нелинейно-оптическом кристалле дигидрофосфата аммония (ADP). Кристалл ADP был вырезан таким образом, что условие синхронизма выполнялось для сложения частот исходного лазерного излучения с длинами волн 510,6 и 578,2 нм. Таким образом, на выходе кристалла ADP возникало ультрафиолетовое излучение с длиной волны 271,2 нм. Излучение лазера видимого диапазона устранялось с помощью диэлектрического зеркала, помещаемого сразу после нелинейно-оптического кристалла. Коэффициент преобразования видимого излучения в ультрафиолетовое составлял около 1%. Полная средняя мощность генерации в двух линиях составляла 3 Вт, частота следования импульсов генерации — 10 кГц, их длительность — 20 нс. Таким образом, возбуждающее ультрафиолетовое излучение характеризовалось средней мощностью 10 мВт и пиковой мощностью 100 Вт. Ультрафиолетовое излучение фокусировалось в кювету с плоскопараллельными кварцевыми окнами. Вторичное излучение собиралось кварцевым конденсором под углом 90° к направлению возбуждающего луча на щель спектрометра МСД-2, дифракционная решетка которого поворачивалась с помощью шагового двигателя. Время накопления сигнала при фиксированном положении дифракционной решетки изменялось в диапазоне 0,1... 100 с в зависимости от интенсивности регистрируемого сигнала. Регистрация исследуемого сигнала осуществлялась фотоумножителем ФЭУ-71, работающим в режиме счета фотонов. Имелась возможность стробирования ФЭУ с целью исследования кинетики флуоресцентного сигнала. Длительность строба составляла 20 нс, время задержки начала строба составляло 0... 50 нс. Информация от регистрирующего устройства подводилась к компьютеру, который также осуществлял управление работой установки в целом.

**Результаты исследования спектров вторичного излучения аминокислот.** Вид спектров низкочастотных колебаний кристаллического триптофана для левой (L), правой (D) и рацемической (DL) форм приведен на рис. 1. Как видно из этого рисунка, спектры левой (L-trp) и правой (D-trp) модификации триптофана имеют практически идентичный вид; в то же время спектр КР рацемата (DL-trp) существенным образом отличается от спектров хирально чистых модификаций.

В спектре КР для L- и D-форм триптофана наблюдается резкий низкочастотный пик с максимумом на частоте  $\nu = 15 \text{ см}^{-1}$ . В спектре рацемической формы триптофана (DL-trp) такого пика пока не наблюдается. Существенно разнятся спектры КР для этих двух случа-

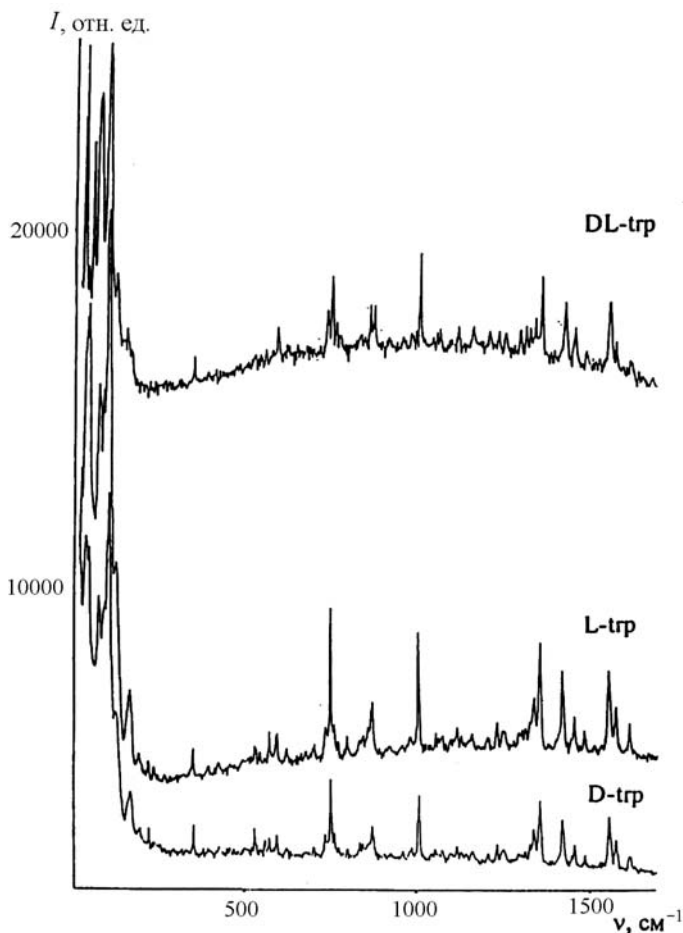


**Рис. 1.** Спектры КР L-, D- и DL-триптофана в области внешних колебаний

ев также в области  $20 \dots 100 \text{ см}^{-1}$ . Однако для области  $100 \dots 150 \text{ см}^{-1}$  появляется некоторое сходство: как в спектрах хирально чистых форм, так и в спектре рацемата проявляются две широкие полосы КР.

Необходимо отметить различный характер температурного поведения линий комбинационного рассеяния хирально чистого триптофана. Мы обнаружили, что при нагревании L-триптофана ( $25 \dots 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ) резкий низкочастотный пик с частотой  $\nu = 15 \text{ см}^{-1}$  мало изменяется, что может свидетельствовать о конформационной устойчивости исследуемой аминокислоты. Лишь при  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  он становится диффузным, а частотное положение этого максимума смещается в сторону возбуждающей линии. Другие линии в низкочастотной области спектра КР L-триптофана характеризуются обычной температурной зависимостью: происходит уширение полос, их переналожение, размытие общего контура и дальнейшая континуализация спектра.

На рис. 2 приведены спектры КР в диапазоне  $0 \dots 1600 \text{ см}^{-1}$  для трех модификаций триптофана: L-, D- и DL-форм. Как и в низкочастотной области, каких-либо отличий в спектрах L- и D-форм не обнаруживается. Определенные отличия в спектрах обнаруживаются лишь при сравнении хирально чистых и рацемической форм: в рацемате возникают дублетные структуры, появляются дополнительные линии и т. д. Для рацемической фазы обнаруживается существенный фон ФЛ.



**Рис. 2. Спектры КР D- L- и DL-триптофана**

**Спектры вторичного излучения фторзамещенных аминокислот.** На рис. 3 приведены спектры КР фторированного DL-триптофана. Из сравнения спектра (см. рис. 3) со спектром КР исходного (нефторированного) DL-триптофана (см. рис. 2) видно, что в результате фторирования происходит перераспределение интенсивностей КР в низкочастотной области спектра и падает фон ФЛ. При этом в области  $750\text{ см}^{-1}$  проявляется характерная линия, ответственная за присутствие фтора в молекуле (отмечена стрелкой).

Обнаруженный характеристический пик ( $700 \dots 800\text{ см}^{-1}$ ) в спектре КР, обусловленный фтор-углеродной связью, может быть использован при проведении количественного и качественного анализа следов фторорганических соединений в молекулярных объектах.

**Спектры вторичного излучения различных проб воды, возбуждаемые ультрафиолетовым лазерным источником света.** Весьма эффективными средствами анализа молекулярной структуры и со-

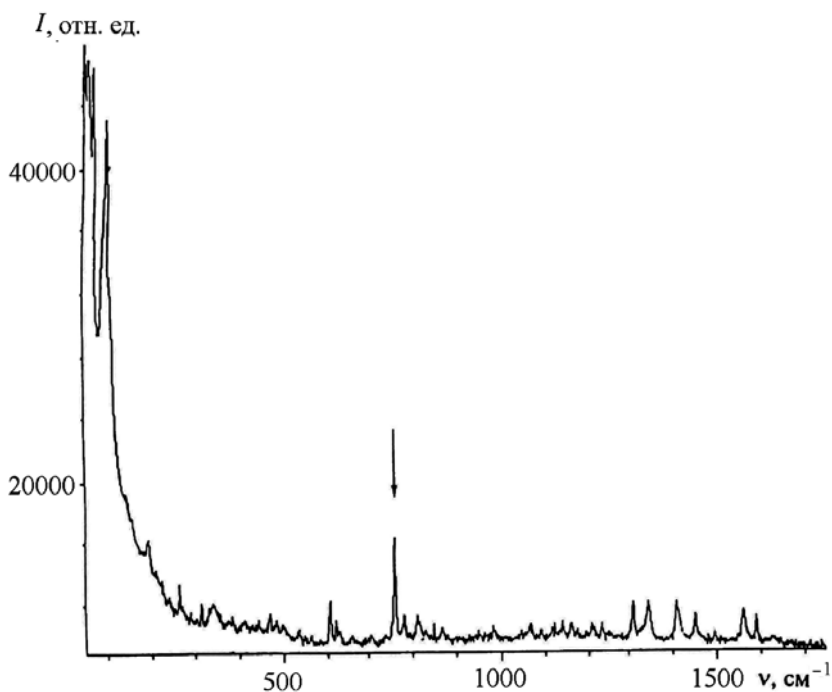


Рис. 3. Спектр КР 5-фтор-DL-триптофана

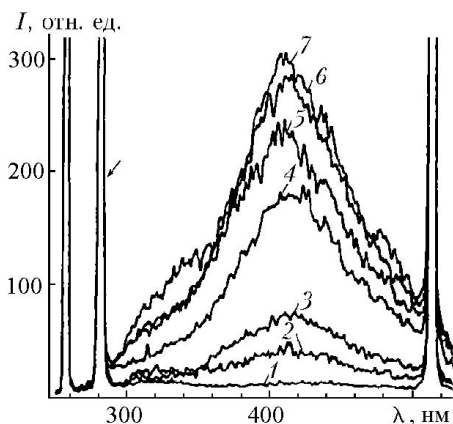
става воды являются методы лазерной молекулярной спектроскопии, включающие в себя ФЛ и КР света [8–11]. Характерным свойством воды является ее прозрачность в видимом и ультрафиолетовом спектральных диапазонах. В связи с этим при изучении воды и более сложных молекулярных объектов, формируемых на ее основе, представляется перспективным использовать для возбуждения спектров ФЛ и КР ультрафиолетовые источники света. В настоящей работе приводятся результаты исследований различных проб воды, водных растворов некоторых органических соединений и взвесей микроорганизмов при ультрафиолетовом лазерном возбуждении.

Известно [8], что в спектре КР воды присутствуют полосы, соответствующие трем фундаментальным типам колебаний молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ :  $A_1$ -типу с частотой  $\nu_1 = 3450 \text{ см}^{-1}$  (валентное полносимметричное колебание),  $A_1$ -типу с частотой  $\nu_2 = 1645 \text{ см}^{-1}$  (деформационное полносимметричное колебание) и  $B_1$ -типу с частотой  $\nu_3 = 3630 \text{ см}^{-1}$  (валентное неполносимметричное колебание); см. таблицу.

Для исследования спектров КР воды нами были подготовлены пробы, полученные путем очистки исходной воды с помощью различных бытовых фильтров. На рис. 4 представлены результаты анализа спектров ФЛ таких проб воды для различных фильтров. На этом рисунке слева присутствует возбуждающая линия ( $\lambda = 255,3 \text{ нм}$ ), затем виден

**Частоты внутримолекулярных и межмолекулярных колебаний молекул воды, проявляющихся в спектрах КР [8]**

Тип колебания молекулы H <sub>2</sub> O	Частота, см <sup>-1</sup>
$\nu_1$	450
$\nu_2$	780
$\nu_2(A_1)$	1645
$\nu_1(A_1)$	3450
$\nu_3(A_1)$	3680



**Рис. 4. Спектры КР и ФЛ различных проб воды:**

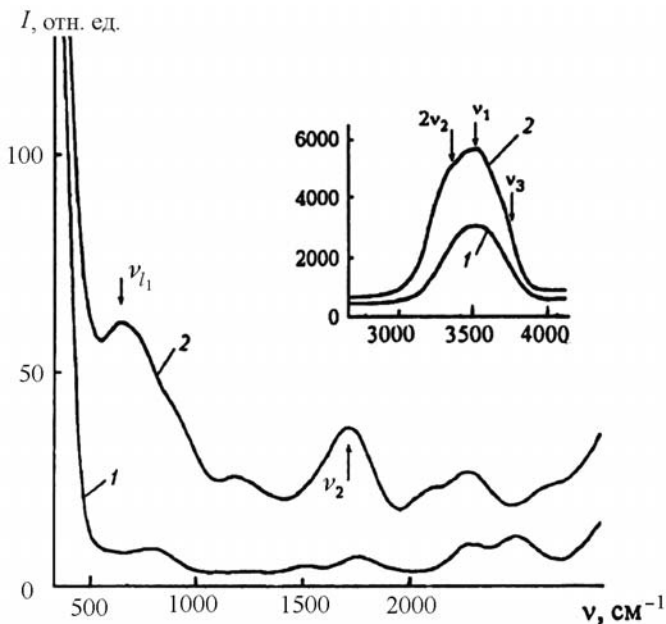
1 — “Аквафор Модерн”, 2 — “Барьер”, 3 — “Спринг”, 4 — “Парагон”, 5 — “Бриз”, 6 — “Гейзер”, 7 — исходная вода из водопроводной сети г. Москвы; стрелка соответствует положению линии КР валентного колебания  $\nu_1(A_1)$  молекулы воды

пробе воды, взятой из водопроводной сети г. Москвы. На вставке рис. 5 показана область валентного колебания  $\nu_1(A_1)$ , а на основной части этого рисунка — низкочастотная область спектра КР и область, соответствующая деформационному колебанию  $\nu_2(A_1)$ . Как видно из этого рисунка, спектр КР, соответствующий “чистой” воде (кривая 2 — проба после фильтра “Аквафор Модерн”), характеризуется интенсивными линиями фундаментальных колебаний  $\nu_1$  и  $\nu_2$ ; присутствует также довольно интенсивный пик  $\nu_1$  в области частот, соответствующих либрационным движениям молекулы H<sub>2</sub>O в межмолекулярном кластере (см. таблицу). На кривой 1, соответствующей неочищенной воде, имеется ряд дополнительных пиков, обусловленных проявлением полос КР ароматических компонентов.

резкий пик (он показан стрелкой), соответствующий КР в воде на полносимметричном колебании  $\nu_1 = 3450 \text{ см}^{-1}$ , при больших значениях длин волн проявляются полосы ФЛ, обусловленные присутствием ароматических хромофоров в пробах воды. Как видно из рис. 4, кривая 1 (фильтр “Аквафор Модерн”) соответствует наименьшей концентрации ароматических компонентов.

На рис. 5 приведены спектры КР двух проб воды, полученных при возбуждении линией лазера длиной волны  $\lambda = 255,3 \text{ нм}$ . Кривая 2 соответствует воде, прошедшей обработку через фильтр “Аквафор Модерн”; кривая 1 —





**Рис. 5.** Сравнение спектров КР воды из водопроводной сети г.Москвы (1) и воды, очищенной фильтром “Аквафор Модерн” (2)

Присутствие межмолекулярных мод либрационного и трансляционного типов в спектрах КР “чистой” воды (табл. 1 и рис. 5) свидетельствует об образовании квазикристаллической сетки молекулярных кластеров, т. е. характеризует степень структурированности воды. Структурированность воды является важным фактором, связанным с эффективностью усвоения воды клетками живых организмов. Таким образом, интенсивность низкочастотных полос КР, обусловленных межмолекулярными кластерными колебаниями, может служить дополнительным критерием качества воды.

Обсудим результаты исследования спектров вторичного излучения микроорганизмов, подвергшихся воздействию возмущающих факторов, в водной среде.

Как одноклеточные, так и многоклеточные организмы могут быть источниками электромагнитного излучения, возникающего в результате процессов их жизнедеятельности. В микроорганизмах имеются хромофорные группы, связанные с присутствием гетероароматических соединений. Спектр ФЛ таких групп соответствует среднему ультрафиолетовому диапазону. Однако вследствие сильного тушения этой ФЛ ее наблюдение до последнего времени было затруднено. На основе развитой методики [12, 13] ультрафиолетового импульсно-периодического возбуждения вторичного излучения конденсированных сред получены спектры ФЛ водных растворов триптофана, взве-

сей нуклеиновых соединений и двух типов микроорганизмов в условиях *in situ*.

В качестве одного из объектов исследования была выбрана бактерия *Bacillus thuringiensis*, находящаяся в споровом состоянии в физиологическом (0,9%) водном растворе. Концентрация микроорганизмов изменялась в диапазоне  $10 \dots 10^6$  мл<sup>-1</sup>. На рис. 6 и 7 представлен вид спектров ФЛ водной взвеси такой бактерии для концентрации  $10^3$  мл<sup>-1</sup>, возбуждаемых линией лазера длиной волны  $\lambda = 271,2$  нм. При этом спектр на рис. 6 соответствует бактерии *in vivo*, а спектр на рис. 7 — бактерии, предварительно подвергнутой облучению жестким ультрафиолетом (ксеноновой лампой) в течение 30 мин. Как видно из сравнения этих рисунков, в результате облучения бактерий жестким ультрафиолетом происходит существенное изменение вида спектра ФЛ. При этом максимум спектра перемещается в длинноволновую область до 450 нм. Такой эффект можно объяснить деструкцией микро-

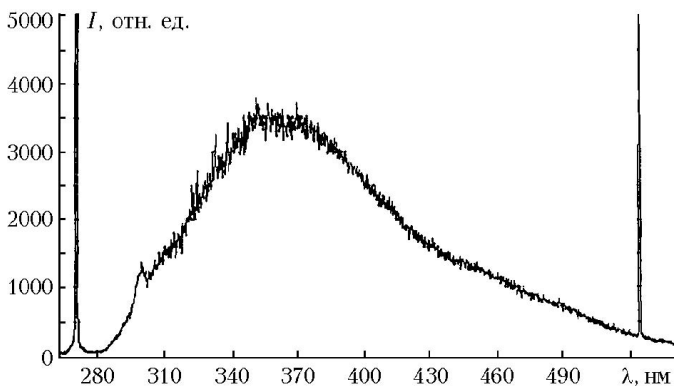


Рис. 6. Спектр ФЛ бактерии *Bacillus thuringiensis* при концентрации  $10^3$  мл<sup>-1</sup> (*in vivo*)

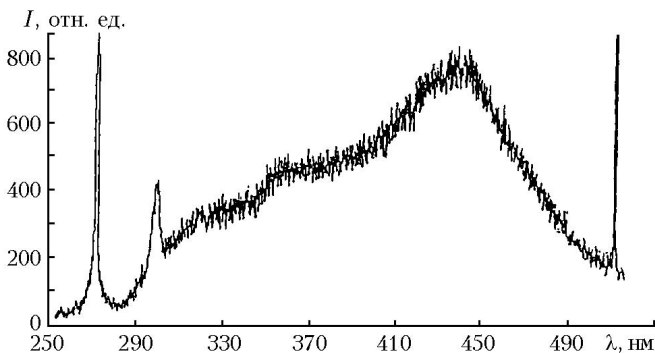
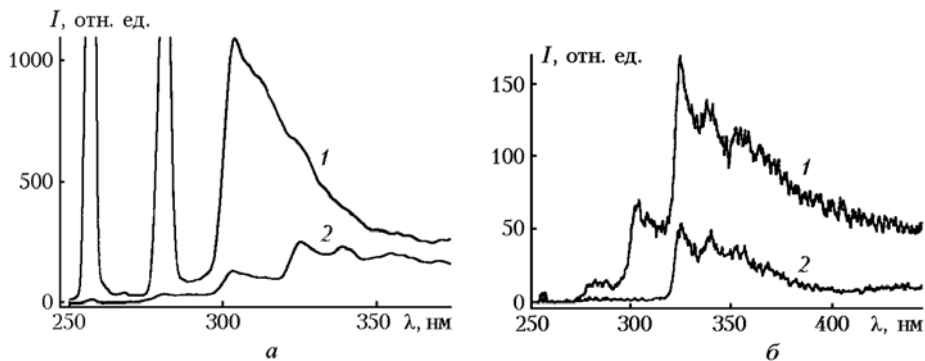


Рис. 7. Спектр ФЛ бактерии *Bacillus thuringiensis*, подвергнутой воздействию жесткого ультрафиолетового облучения в течение 30 мин при концентрации бактерий в водной взвеси  $10^3$  мл<sup>-1</sup>



**Рис. 8. Спектры вторичного излучения водного раствора флуорена:**  
*a* – кривая 1 получена при задержке  $\tau = 0$ , кривая 2 – при  $\tau = 50$  нс; *б* – кривые 1 и 2 соответствуют задержкам  $\tau = 50$  и  $70$  нс соответственно

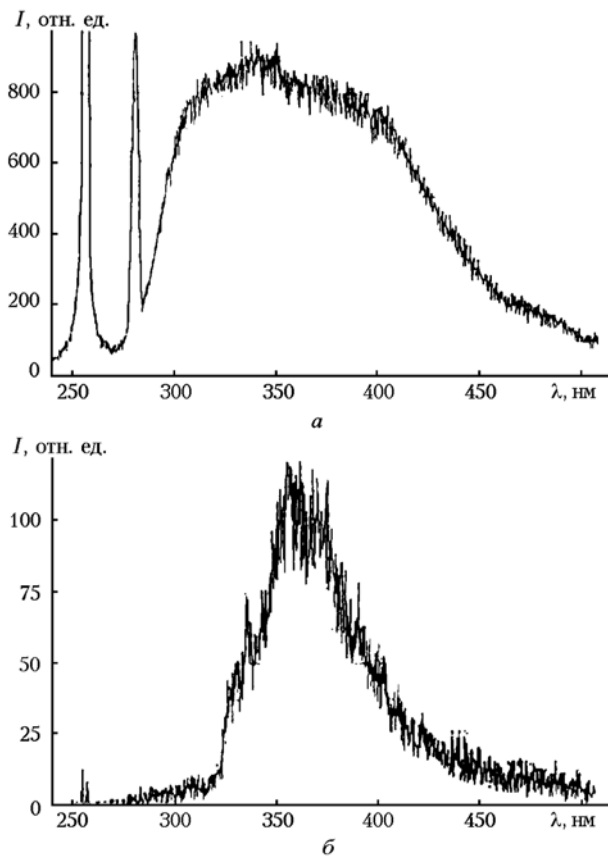
организмов, при которой длинные цепи белков и ДНК превращаются в короткие цепочки полипептидов [14, 15].

Рис. 8, *a*, *б* иллюстрирует влияние задержки строб-импульса на спектры вторичного излучения водного раствора флуорена (1 мкг/л). При этом на рис. 8, *a* кривая 1 получена при нулевой задержке, кривая 2 соответствует задержке  $\tau = 50$  нс; кривые 1 и 2 на рис. 8, *б* получены с задержками  $\tau = 50$  нс и  $\tau = 70$  нс соответственно. Важно отметить, что спектр “задержанной” ФЛ (кривая 2 на рис. 8, *a*) существенно отличается от “синхронного” спектра: резко ослаблены пики, обусловленные возбуждающим излучением ( $\lambda = 255,3$  нм) и КР, происходящим практически синхронно с импульсом возбуждающего излучения; ряд максимумов в “задержанном” спектре проявляется более отчетливо.

Таким образом, анализ спектров вторичного излучения водных растворов с задержкой позволяет получать дополнительную информацию о типах и концентрации посторонних компонентов, присутствующих в воде. При этом происходит разделение двух видов вторичного излучения: комбинационного рассеяния, синхронного с возбуждающим импульсом, и ФЛ, “задержанной” во времени.

На рис. 9 приведено изменение вида спектра ФЛ микроорганизма *Bacillus thuringiensis* при переходе от синхронной регистрации с импульсом возбуждения ( $\tau = 0$ ) (рис. 9, *a*) к регистрации с задержкой  $\tau = 50$  нс (рис. 9, *б*). Как видно, при использовании задержки спектр ФЛ приобретает ряд характерных максимумов, что может быть использовано для идентификации типа анализируемого микроорганизма.

В спектрах ФЛ микроорганизмов проявляются хромофорные группы триптофана и более сложных гетероароматических структур. Вид наблюдаемых спектров зависит также от времени задержки в системе регистрации. Установлено существенное видоизменение наблю-



**Рис. 9.** Спектры ФЛ микроорганизма *Bacillus thuringiensis* при концентрации  $10^5 \text{ мл}^{-1}$  в воде:

*а* – при нулевой задержке ( $\tau = 0$ ); *б* – с задержкой  $\tau = 50$  нс

даемых спектров ФЛ при деструкции микроорганизмов в результате процессов кипячения, воздействия коротковолновым непрерывным (0... 30 мин) ультрафиолетовым излучением ксеноновой лампы и в результате хранения микроорганизмов в течение нескольких дней без необходимых условий для жизнедеятельности. Исследования биологически активных веществ показывают, что их спектры фотолуминесценции зависят от типа образца и условий его технологической обработки.

**Выводы.** В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что методами лазерной спектроскопии КР и ФЛ может быть осуществлена идентификация различных типов модифицированных молекулярных структур. Обнаружено, что при переходе от хирально чистых к рацемическим фазам аминокислот наблюдается радикальная перестройка спектра КР в решеточной области спектра. Установлено, что в результате фторирования (замещения водорода фтором) аминокислот радикальные изменения наблюдаются в спек-

трах КР в области внутримолекулярных мод. Разработан метод обнаружения присутствия биологически активных фторорганических молекул внутри аминокислот на основе отождествления характеристических линий в спектрах КР. Разработанная методика импульсного ультрафиолетового возбуждения вторичного излучения воды, водных растворов и взвесей позволяет проводить анализ молекулярной структуры воды и посторонних компонентов, присутствующих в водной среде, и оценивать степень структурирования воды. Разработанная методика позволяет также установить присутствие в пробах тяжелой воды. Показано, что развитая методика дает возможность осуществлять детекцию микроорганизмов в воде с порогом чувствительности  $10 \text{ мл}^{-1}$ . Установлено влияние процессов ультрафиолетового облучения и нагревания на состояние микроорганизмов в водной среде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В а с и л ь к о в С. Л. Анализ параметров экситонов в ДНК. Экситонные волны в ДНК как одна из причин мутагенеза // Биофизика. – 2003. – Т. 48, вып. 1. – С. 27–34.
2. Г о р е л и к В. С. Прибор для экспресс-анализа качества пищевых продуктов на основе лазерной спектроскопии // Инвестиционные проекты и наукоемкая продукция. № 7. – М.: Прима-Пресс, 2002.
3. G o r e l i k V. S. Pulsed UV excitation of biological structures // J. of Russian Laser Research. – 1999. – V. 20, № 2. – P. 152–171.
4. Г о р е л и к В. С., С в е р б и л ь П. П., П о к а з е е в К. В. и др. Спектры изохронной фотолюминесценции в генетически модифицированной сое // Краткие сообщения по физике. – 2004. – № 2. – С. 29–38.
5. Г о р е л и к В. С., Ч е р в я к о в А. В., П о к а з е е в К. В. и др. Влияние ароматических примесей на спектр комбинационного рассеяния сливочного масла // Четвертая международная конференция “Пища, экология, человек”. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 121.
6. Ф и з и ч е с к и й э н ц и к л о п е д и ч е с к и й с л о в а р ь / Под ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – С. 902.
7. Р о г о в И. А., А н т и п о в а Л. В., Д у н ч е н к о Н. И. Химия пищи. Белки. – М.: Колос, 2000. – С. 17–57.
8. W a l f a g e n G. E. Raman scattering spectra of water // J. of Chem. Phys. – 1964. – V. 40. – P. 3249.
9. Л а к о в и ч Д ж. Основы флуоресцентной спектроскопии. – М.: Мир, 1986. – 495 с.
10. Ф о м и н Г. С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам // Энциклопедический справочник. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Протектор, 2000. – 848 с.
11. К а р н а у х о в В. Н. Спектральный анализ в клеточном мониторинге состояния окружающей среды. – М.: Наука, 2001. – 186 с.
12. К о з л о в а Г. В. Использование методов лазерной спектроскопии для обнаружения ксенобиотиков и техногенных примесей в пищевой продукции // Физические проблемы экологии (Экологическая физика): Сб. науч. тр. / Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. – М.: МАКС Пресс, 2003. – С. 158–169.

13. Горелик В. С., Агальцов А. М., Моро Р. А. Фотолюминесценция следов ароматических соединений в водных растворах при импульсно-периодическом лазерном возбуждении // Оптика и спектроскопия. – 1999. – Т. 88. – С. 954–961.
14. Глаголев К. В., Горелик В. С., Козлова Г. В. и др. Фотолюминесценция ДНК молочнокислых бактерий // Тез. докладов Третьей Всероссийской конференции “Необратимые процессы в природе и технике”, 24–26 января 2005. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – С. 283–285.
15. Горелик В. С., Козлова Г. В., Куркин Ю. П., Показеев К. В. Лазерная спектроскопия пищевой продукции. – М.: МГУПБ, 2004. – 157 с.

Статья поступила в редакцию 21.04.2005

Константин Владимирович Глаголев родился в 1956 г., окончил в 1980 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 80 научных работ в области оптики рассеивающих сред и спектроскопии вторичного излучения.

K.V. Glagolev (b. 1956) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1980. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 80 publications in the field of optics of scattering media and spectroscopy of secondary radiation.

Андрей Николаевич Морозов родился в 1959 г., окончил в 1982 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 200 научных работ в области неравновесных процессов, спектроскопии.

A.N. Morozov (b. 1959) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1982. D. Sc. (Phys.-Math.), professor, head of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 200 publications in the field of non-equilibrium processes, spectroscopy.

Владимир Семенович Горелик родился в 1940 г., окончил в 1965 г. Московский физико-технический институт. Д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией “Комбинационное рассеяние” Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, профессор кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН. Автор 400 научных работ в области оптики.

V.S. Gorelik (b. 1940) graduated from the Moscow Institute for Physics and Technology in 1965. D. Sc. (Phys.-Math.), head of “Raman Spectroscopy” laboratory of the Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, professor of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University, Honored Worker of Science of the Russian Federation, full member of the Russian Academy of Natural Sciences. Author of 400 publications in the field of optics.

Павел Петрович Свербил родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Московский физико-технический институт. Научный сотрудник лаборатории “Комбинационное рассеяние” Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. Автор 80 научных работ в области оптики.

P.P. Sverbil (b. 1952) graduated from the Moscow Institute for Physics and Technology in 1975. Researcher of “Raman Spectroscopy” laboratory of the Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences. Author of 80 publications in the field of optics.

Галина Владимировна Козлова родилась в 1961 г., окончила в 1984 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Старший преподаватель кафедры физики Московского государственного университета прикладной биотехнологии. Автор 30 научных работ в области прикладной биотехнологии и спектроскопии.

G.V. Kozlova (b. 1961) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1984. Senior teacher of department of physics of the Moscow State University for Applied Biotechnology. Author of 30 publications in the field of applied biotechnology and spectroscopy.

Юрий Петрович Куркин родился в 1944 г., окончил в 1967 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики Московского государственного университета прикладной биотехнологии. Автор 80 научных работ в области оптики, спектроскопии и физики низких температур.

Yu.P. Kurkin (b. 1944) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1967. Ph. D. (Phys.-Math.), assoc. professor of department of physics of the Moscow State University for Applied Biotechnology. Author of 80 publications in the field of optics, spectroscopy and physics of low temperatures.

Константин Васильевич Показеев родился в 1946 г., окончил в 1972 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой моря и вод суши физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, академик Российской экологической академии. Автор 300 научных работ в области физики моря, методов контроля пищевой продукции.

K.V. Pokazeev (b. 1946) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1972. D. Sc. (Phys.-Math.), professor of department for marine physics and land water physics of faculty of physics of the Lomonosov Moscow State University, member of the Russian Ecological Academy. Author of 300 publications in the field of marine physics, methods of inspection of foodstuff.

---

**В издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышла в свет книга**

**Суржиков С.Т.**

Тепловое излучение газов и плазмы. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 544 с.: 120 ил. (Компьютерные модели физической механики).

Введены основные понятия теории переноса лучистой энергии в горячих газах и низкотемпературной плазме. Представлена формулировка феноменологических коэффициентов и функций теории переноса, а также их связь с квантовыми характеристиками. Приведены основные законы теории переноса теплового излучения. Сформулировано уравнение переноса и даны наиболее часто употребляемые его частные формы. Обсуждаются особенности применения моделей элементарных радиационных процессов к построению феноменологических моделей переноса излучения. Представлены методы интегрирования уравнения переноса излучения по частоте и по пространственным переменным.

Для научных сотрудников и инженеров — специалистов в области теплообмена излучением, физической газовой динамики и физики низкотемпературной плазмы, а также для студентов и аспирантов физико-технических специальностей университетов.

По вопросам приобретения обращаться по тел. 433-82-98;  
e-mail: surg@ipmnet.ru