

07;12

## **Лазерная автодинная интерферометрия динамических параметров биообъектов**

© Д.А. Усанов, Ал.В. Скрипаль, А.Ю. Вагарин, Ан.В. Скрипаль,  
В.В. Потапов, Т.Т. Шмакова, С.С. Мосияш

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

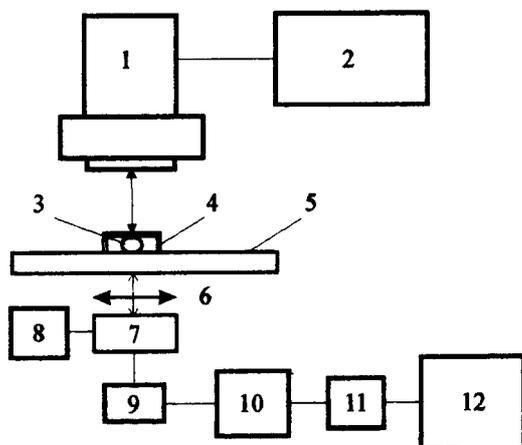
Поступило в Редакцию 4 сентября 1997 г.

Для анализа динамического состояния биообъектов предложен метод, основанный на использовании эффектов автодинного детектирования в полупроводниковом лазере. Показаны преимущества этого метода по сравнению с традиционными фотоэлектрическими. Приведены результаты исследований предложенным методом зависимости частоты и амплитуды биений сердца дафнии от степени токсичности водной среды.

Для оценки степени загрязнения окружающей среды широкое применение могут найти методы, основанные на оценке физиологических параметров биологических тест-объектов. В качестве тест-объектов для контроля состояния водной среды используются пресноводные рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus). В работах [1,2] показана сильная зависимость периода биений сердца дафнии от концентрации гидрохинона в водном растворе и установлено влияние концентрации фенола на частоту дыхания дафнии. Однако низкая чувствительность фотоэлектрических методов, используемых в отмеченных выше работах, и невозможность их использования при регистрации прошедшего через биообъект излучения не позволяли провести комплексные исследования изменения физиологических параметров тестируемых биообъектов.

С целью увеличения числа информативных параметров, характеризующих поведение дафний в токсичной среде, нами разработана методика, основанная на использовании эффекта автодинного детектирования в полупроводниковом лазере.

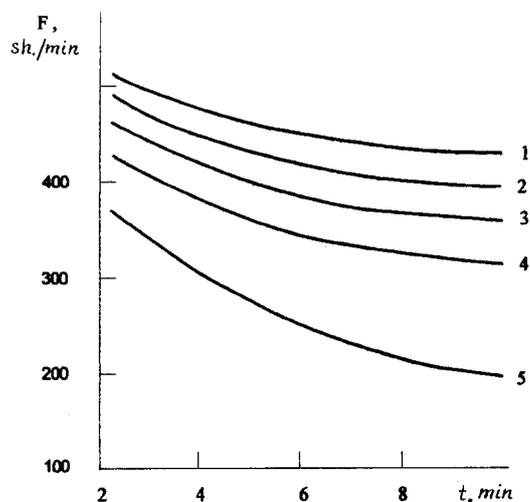
В основу метода регистрации динамического состояния тест-объектов положен принцип формирования сигнала внешнего автодетектирования при возвращении части отраженного от контролируемого объекта излучения в резонатор полупроводникового лазера [3,4]. Для



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки для измерения частоты биений сердца дафнии.

реализации метода использовалась установка, схема которой приведена на рис. 1. Излучение полупроводникового лазера 7 (ИЛПН-206), стабилизированного источником тока 8, фокусировалось линзой 6 в область сердца дафнии 4, помещенной в канал 3 на прозрачном столике 5. Для визуализации инфракрасного излучения полупроводникового лазера и его фокусировки в область сердца использовался прибор ночного видения 1. Часть излучения, отраженного от сердца дафнии, возвращалась в резонатор полупроводникового лазера, изменение выходной мощности которого регистрировалось фотодетектором 9. Сигнал с фотодетектора поступал через усилитель 10 и аналого-цифровой преобразователь 11 в компьютер 12. После вычисления спектра протектированного сигнала с помощью метода быстрого преобразования Фурье определялся период колебаний сердца дафнии.

Пресноводные рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus) культивировались в стандартных лабораторных условиях. В экспериментах использовали особей одно-трехсуточного возраста, размерами 0.7–1.5 мм. В качестве токсического фактора использовали водный раствор фенола с концентрациями от 0.3 до 10 мг/л. Для контрольных измерений применялась вода, на которой дафнии культивировались. Одиночную дафнию из

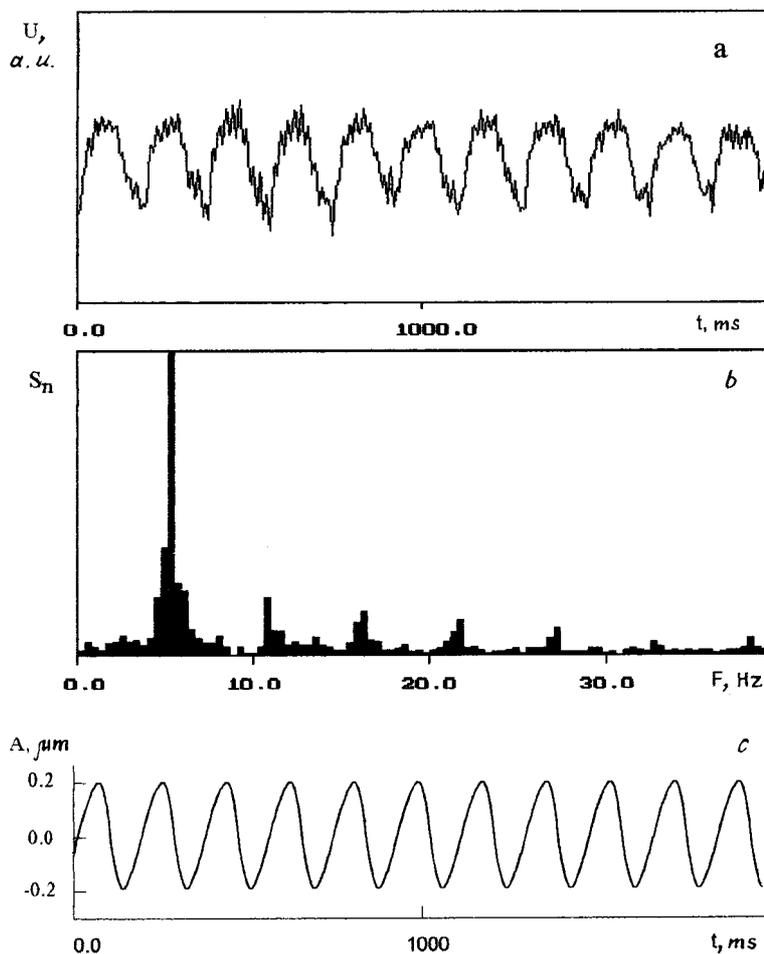


**Рис. 2.** Зависимость частоты биений сердца дафнии  $F$  от продолжительности воздействия водного раствора с фенолом различной концентрации: 1 — контрольная партия, 2 — 1.2 mg/l, 3 — 2.5 mg/l, 4 — 5 mg/l, 5 — 10 mg/l.

аквариумной культуры перемещали в камеру, содержащую токсичный раствор и ограничивающую движения рачка. Камеру фиксировали на предметном столике микроскопа. Оптическая система наводилась на сердце, а аппаратура настраивалась на максимальный сигнал.

Результаты измерений частоты биений сердца дафнии для различной концентрации фенола, растворенного в водной среде, приведены на рис. 2. Как следует из этих результатов, частота сердцебиения дафний в контрольных условиях изменяется незначительно и стабилизируется после пятиминутной адаптации. Уменьшение частоты биений сердца дафнии регистрировалось для концентраций фенола, превышающих величину 1.2 mg/l. Наибольшее уменьшение частоты биений сердца дафнии наблюдалось для концентраций фенола  $\sim 10$  mg/l. При этом частота становилась равной  $\sim 200$  ударов в минуту в конце периода экспозиции.

Другими параметрами, которые могут быть зарегистрированы в схеме лазерной автодинной системы, являются амплитуда и форма про-



**Рис. 3.** Результаты измерений и обработки протектированного сигнала: *a* — зависимость мгновенных значений нормированного протектированного сигнала  $U$  от времени  $t$  при концентрации фенола в водной среде — 5 mg/l; *b* — спектр протектированного сигнала, нормированный на амплитуду гармоники  $S_n$  с максимальным значением. Частота сердцебиения составляет 375 sh/min; *c* — зависимость мгновенных значений величины смещения сердца дафнии  $A$  от времени  $t$  при концентрации фенола в водной среде — 5 mg/l.

детектированного сигнала. На рис. 3, *a* приведена зависимость мгновенных значений величины протектированного сигнала от времени при наличии фенола в водной среде. На рис. 3, *b* представлены результаты расчета спектра протектированного сигнала. Частота сердцебиения дафнии определялась по гармонике с максимальной амплитудой в заданном диапазоне изменений частоты вибраций биообъекта, а амплитуда колебаний — по набору спектральных гармоник [5,6]. Рассчитанная по результатам измерений зависимость мгновенных значений величины смещения сердца дафнии от времени приведена на рис. 3, *c*. Как следует из этих результатов, при наличии фенола в водной среде амплитуда биений сердца дафнии составила  $0.2 \mu\text{m}$ , что существенно меньше амплитуды биений сердца дафнии в отсутствие фенола ( $0.4 \mu\text{m}$ ).

Таким образом, можно считать показанной перспективность применения метода, основанного на использовании эффекта автодинного детектирования в полупроводниковом лазере, для анализа динамического состояния биообъектов.

## Список литературы

- [1] Кикнадзе Г.С., Есаков Б.П., Кузьминых С.Б., Комаров В.М. Опыт оценки степени загрязнения водной среды по изменениям периода биения сердца дафнии. Научный центр биологических исследований АН СССР в Пущине, 1983. 13 с.
- [2] Колупаев Б.И. // Методы биотестирования вод. Сб. статей / Под ред. А.И. Крайнюковой: Черногловка, 1988. 103 с.
- [3] Olesen H., Osmundsen J.H., Tromborg B. // IEEE J. Quantum Electron. 1986. V. 22. P. 762–773.
- [4] Гершензон Е.М., Туманов Б.Н., Левит Б.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1980. Т. 23. № 5. С. 535–541.
- [5] Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Вагарин В.А., Васильев М.Р. // Зарубежная радиоэлектроника. 1995. № 6. С. 43–48.
- [6] Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Вагарин В.А. // ПТЭ. 1994. № 6. С. 162–165.