

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ

В.Н. Никифоров



Г.И. Шевелева



А.В. Никифоров



**В.Н. Никифоров**<sup>1, 2, 3</sup>, доцент, канд. физ.-мат. наук, член-корреспондент АИН им. А.М. Прохорова

**Г.И. Шевелева**<sup>2, 3</sup>, Генеральный директор «КИМ-Ш», управляющий партнер

**А.В. Никифоров**<sup>2, 3</sup>, Исполнительный директор «КИМ-Ш», управляющий партнер

1 — МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, кафедра физики низких температур, Москва, Россия

2 — Инженерное бюро «КИМ-Ш» (торговая марка Engex®). ООО «КИМ-Ш» — коллективный член АИН, разрабатывает системы вентиляции и кондиционирования воздуха, участник проекта «Зеленый дом», особое внимание уделяет экологическим аспектам и энергоэффективности

3 — Лаборатория инженерных инноваций Engex Lab.®

pprpvnp@yandex.ru

*Нобелевские лауреаты П.Л. Капица и Л.Д. Ландау стояли у истоков создания кафедры физики низких температур физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. С первых лет существования на кафедре занимались тонкими пленками и вискерами, то есть тем, что сейчас называют наноструктурами. В настоящее время на кафедре проводятся исследования по применению методов нанотехнологий в различных областях, в том числе в медицине и экологии.*

## Введение

Внутренний климат помещений оказывает значительное влияние на качество жизни людей. От чистоты воздуха в помещении, от его температуры, влажности и кратности воздухообмена зависит работоспособность и здоровье людей. Этот фактор можно рассматривать как социальный и как экономический, так как от него зависит производительность труда, количество рабочих дней, пропущенных по болезни, удовлетворенность сотрудников условиями труда на предприятии. Это обуславливает спрос на мониторинг качества внутреннего климата помещений как со стороны владельцев коммерческой недвижимости, так и со стороны владельцы частных квартир и домов.

Исследование качества воздуха, а также получение сведений о наличии в его составе тех или иных наночастиц, нанобъектов позволяет оценить экологическую безопасность внутренней среды помещений. Более того, на основании данных о составе воздуха можно сделать выводы об эффективности применяемых в помещении систем подготовки и очистки воздуха, а также о целесо-

образности применения тех или иных видов технологий очистки воздуха для каждого отдельно взятого помещения.

Контроль воздуха в закрытых помещениях, предлагаемый в данном обосновании, представляется важным для проведения экспертизы качества воздуха внутри помещений.

Воздух закрытых помещений достаточно долго может сохранять частички табачного дыма, токсические вещества и т.д.

Развитие современных нанодиагностических методов позволяет обнаруживать и характеризовать параметры и отличительные признаки крайне малых количеств веществ — порядка фемтограмм, к тому же находящихся в виде нанодисперсных аэрозолей и гелей. Следовательно, объектом анализа и диагностики может быть и воздух закрытых помещений, содержащий наночастицы и нанобъекты. Данные наночастицы являются аналогом «черных ящиков», применяемых в авиации для определения причин чрезвычайных происшествий (ЧП). Воздух закрытых помещений, а также фильтры систем вентиляции и кондиционирова-

ния позволяют дать заключение о составе воздуха до ЧП, поскольку хранят невидимые оптическими методами наноразмерные материальные свидетельства — нанобъекты, пригодные для идентификации и оценки методами современной нанодиагностики. Данная деятельность по контролю и анализу воздуха закрытых помещений представляется актуальной и востребованной.

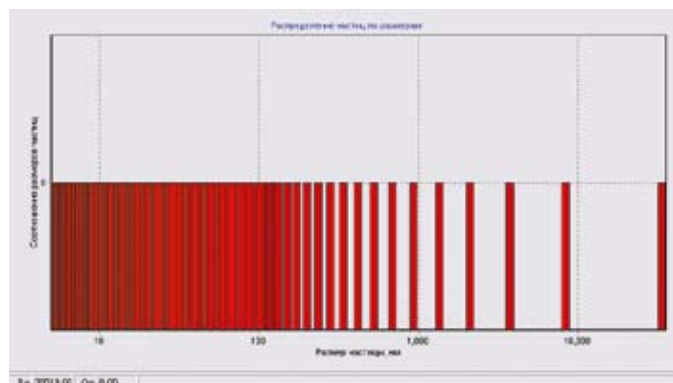
Развитие современных методов оценки степени токсичности *in vitro* и *in vivo* нанобъектов позволяет характеризовать крайне малые количества веществ.

**Нами было проведено исследование воздуха в одном из офисных помещений с механической вентиляцией и кондиционированием воздуха с помощью сплит-систем.**

Приготовление образцов для исследования осуществлялись следующим образом.

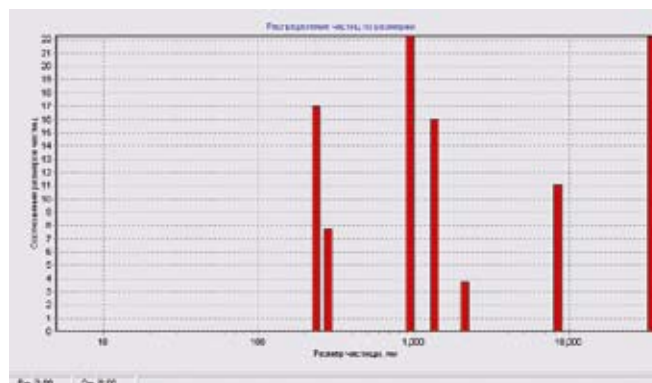
А. Проводился прямой забор проб воздуха в закрытых помещениях в газовые баллоны.

Б. Выполнялся анализ проб воздуха и фильтров систем вентиляции и кондиционирования закрытых помещений следующими методами.



Ср. рад. (расс)	%Расс	Ср. рад. (вес)	%Вес	Ср. частота Гц	Ср. частота (сумм)

**Рис. 1.** Спектр исходной воды (контроль)



**Рис. 2.** Гистограмма спектра распределения атмосферных наночастиц в воде

Ср. рад. (расс)	%Расс	Ср. рад. (вес)	%Вес	Ср. частота Гц	Ср. частота (сумм)
31761.93	95.46	25418.08	33.26	0.91	0.91
1314.42	4.05	1206.34	42	1.71	20.51
250.93	0.49	249.19	24.74	2.19	99.35

1. Масс-спектрометрический метод контроля воздуха в закрытых помещениях

2. Нанодиагностический и метрологический метод определения наночастиц в воздухе закрытых помещений.

Анализ проб воздуха и фильтров систем вентиляции и кондиционирования, а в конкретном случае для замкнутого помещения, — получение количественного состава примесей воздуха с точностью до 1 килодальтона — масс-спектрометрическими методами, и свыше 1 килодальтона — нанодиагностическими и метрологическими методами.

Приготовлены и исследованы 3 образца фильтров, взятых в одном и том же офисе в центре Москвы после работы в следующих условиях:

- в штатных (обычных) условиях;
- до задымления воздуха в Москве из-за пожаров в Подмоскovie летом 2010 г.;
- после указанного задымления воздуха в Москве.

### Методика исследования

Лазерная корреляционная спектроскопия (ЛКС) — современный оптический метод для нанотехнологий [1–3] — позволил нам определить не только средний размер наночастиц, но и дать оценку распределению, получить величину нормального отклонения (standard deviation). Оптические методы в силу ограничения (дифракционный предел) в области наноразмеров напрямую не могут быть использованы для исследования наночастиц. ЛКС же позволяет идентифицировать объекты с размерами порядка нанометров.

ЛКС обладает всеми преимуществами оптических методов:

- быстрота (минуты) проведения исследования;
- неразрушающий контроль;

- работа в жидкости;
- работа с живыми микроскопическими объектами;
- возможность исследования статистических характеристик.

Исследования проводились на лазерном спектрометре динамического рассеяния света КУРС-3.

### Принципы динамического рассеяния света (фотонная корреляционная спектроскопия; квазиупругое рассеяние света)

Для измерения размеров наночастиц использовался метод динамического рассеяния света (DPC-DLS). Данный метод позволяет определить коэффициент диффузии дисперсных частиц в жидкости путем анализа характерного времени флуктуаций интенсивности рассеянного света. Далее, из коэффициента диффузии рассчитывался радиус наночастиц.

Размер частиц рассчитывается по формуле Стокса-Эйнштейна, которая связывает размер частиц с их коэффициентом диффузии и вязкостью жидкости.

В качестве эталона и репера в данном эксперименте в том же растворе измерялись наночастицы латекса.

### Исследования загрязнений фильтра

Кусочек размером 1 см × 1 см исследуемого фильтра был помещён в чашку Петри и залит водой для инъекций (производитель ФГУП «НПО «Микроген» г. Москва).

Вода предварительно анализировалась на предмет присутствия в ней посторонних частиц.

Исследования показали что вода чистая, частиц в диапазоне размеров 1 нм – 2 мкм не обнаружено (рис. 1).

Кусочек загрязнённого фильтра был выдержан в воде в течение 20 минут при периодическом лёгком взбалтывании, пос-

ле чего с верхних слоёв было отобрано 50 мкл этой воды и добавлено в кювету с 5 мл чистой воды для инъекций. Предварительные результаты замера приведены на рис. 2. На рисунке показана гистограмма распределения атмосферных наночастиц в объёме исследуемой жидкости по весу. Почти 25% составляют частицы, имеющие диаметр 500 нм (см. «ср.рад» в таблице 250,93), 42% составляют частицы, имеющие средний диаметр 2,6 мкм, всё остальное (33%) — очень крупные частицы.

Вполне вероятно, что есть ещё более мелкие частицы, но их не видно из-за сильного рассеяния крупными частицами. Измерения проводились на лазерном корреляционном спектрометре «КУРС-3».

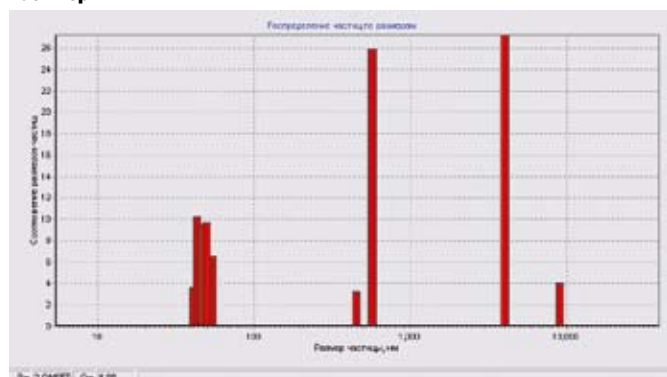
### Исследования образцов фильтра после задымления летом 2010 года

Образец исследуемого фильтра размером 1 см × 2 см был помещён в чашку Петри, залит водой для инъекций (производитель ФГУП «НПО «Микроген» г. Москва) и выдержан в течение 60 минут при периодическом лёгком взбалтывании. После этого тот же образец был отжат и помещён во вторую чашку Петри, залит водой для инъекций и также выдержан в течение 60 минут при периодическом лёгком взбалтывании. Затем из чашек № 1 и № 2 с верхних слоёв было отобрано по 4 мл полученного водного раствора. Результаты экспресс-анализа приведены в таблице.

Исследования ставили своей целью определение наличия в составе загрязнений мелкодисперсной составляющей с размерами в нанометровом диапазоне.

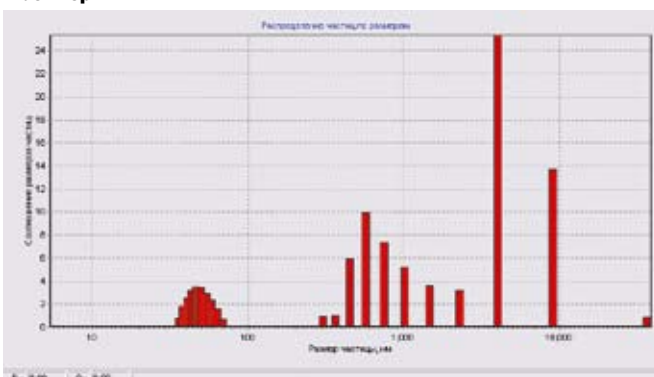
Из гистограмм распределения частиц в объёме исследуемой жидкости следует,

Раствор №1



Ср. диам (расс)	%Расс	Ср. диам (вес)	%Вес	Ср. частота Гц	Ср. частота (сумм)
5685.51	89.43	4763.44	31.25	11.18	11.18
563.1	9.48	560.55	29.14	19.27	95.68
52.05	0.49	51.97	16.28	24.26	1031.98
44.63	0.6	44.52	23.33	31.35	1204.65

Раствор №2



Ср. диам (расс)	%Расс	Ср. диам (вес)	%Вес	Ср. частота Гц	Ср. частота (сумм)
11166.93	93.39	5829.34	46.76	8.78	8.78
717.61	6.26	653.38	30.47	13.39	82.06
50.63	0.35	49.21	22.76	17.17	1089.83

Рис. 3. Распределение атмосферных наночастиц в чистой воде

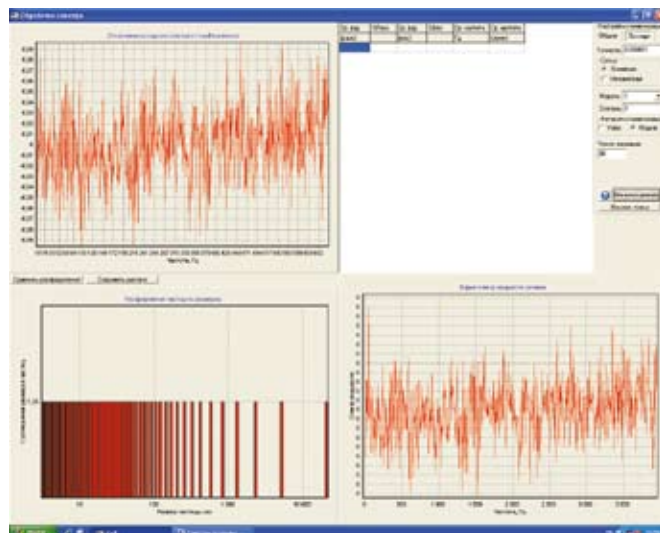
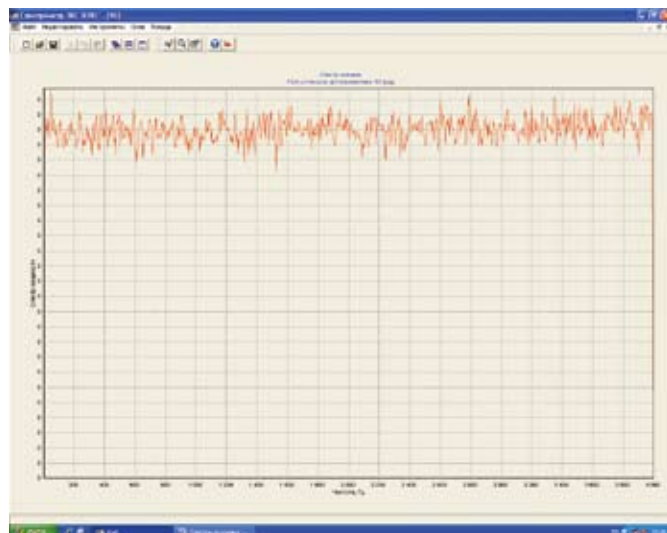
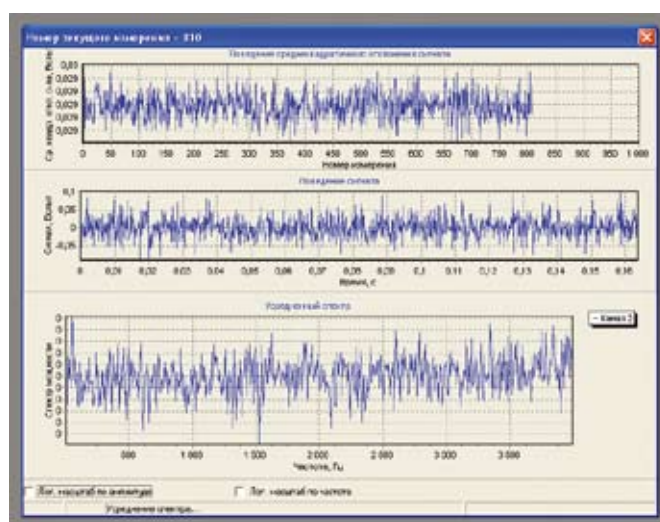
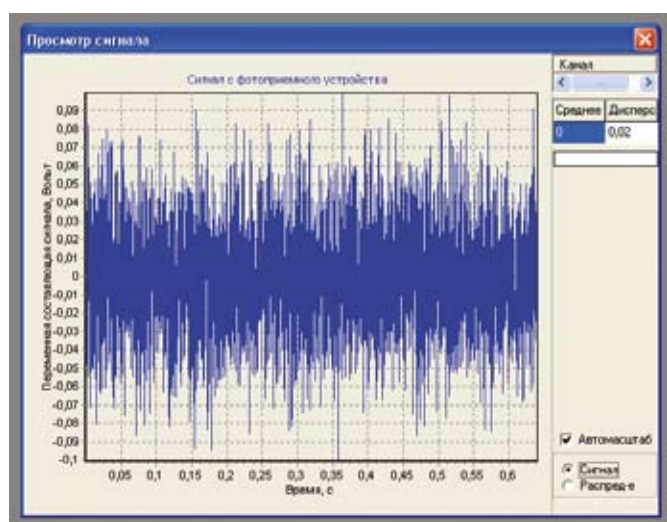


Рис. 4. Спектры контрольного образца дисперсии латекса в чистой воде

что наноразмерные частицы составляют около 70% по массе от общего количества растворённого вещества (Раствор № 1) и 56% (Раствор № 2). Остальное составляют частицы с размерами более 5 мкм.

Для тестирования спектрометра были выбраны контрольные образцы чистой воды (рис. 1) и наночастиц латекса (рис. 4, 5) с известными размерами наночастиц.

**Обсуждение результатов**

Экспериментально установлено наличие эффективного гидродинамического радиуса наночастиц в воздухе, который может отличаться от реального размера измеря-



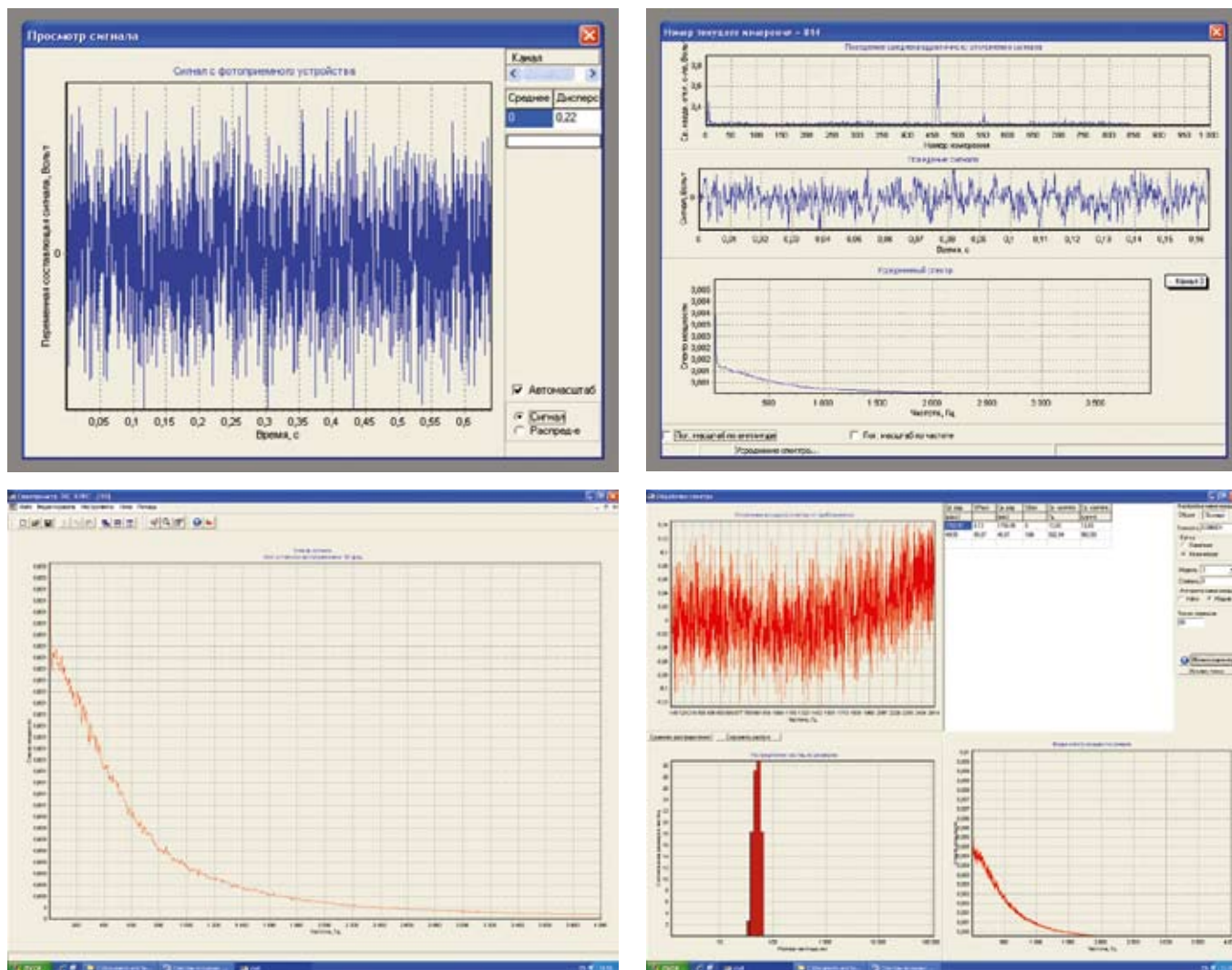


Рис. 5. Распределение наночастиц латекса в воде после испытаний

мого объекта в силу того, что не учитывается его форм-фактор и ряд других факторов. Тем не менее, полученные значения размеров наночастиц хорошо согласуются с известными размерами объекта [4].

Ультразвуковое исследование позволило выделить фракции (более 25% по массе) с размером 500 нм, соответствующим размеру фракций в воздухе до летних торфяных пожаров 2010 года.

Найденное в пробах воздуха (и фильтрах) присутствие наночастиц размером 50 нм ( $\pm 3$  нм) соответствует ситуации задымления воздушной среды в Москве после торфяных пожаров летом 2010 года (рис. 3).

Извержение вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии, произошедшего в 2010 г., не оказало влияние на качество воздуха в Москве — частиц вулканического происхождения не обнаружено. Зарегистрировано наличие частиц, образующихся при сгорании торфа.

Анализ состава воздуха закрытых помещений, а также фильтры систем вентиляции и кондиционирования позволяют

дать заключение о составе воздуха до и после задымления воздуха, поскольку хранят невидимые оптическими методами наноразмерные материальные свидетельства, позволяющие выявить отличительные признаки в составе воздуха — продукты сгорания торфа, примеси табака, никотиновых смол и др., а также получить количественные характеристики — концентрация и т.д.

### Выводы

- Проведённые исследования свидетельствуют об актуальности предложенных нанодиагностических методов контроля и анализа воздуха в закрытых помещениях.
- Поскольку исследуемое помещение было оснащено механической приточной вентиляцией, оборудованной фильтрами грубой очистки, продукты сгорания от пожара попали в помещение и были отфильтрованы с помощью фильтров тонкой очистки, установленных в сплит-системах.
- Наночастицы, имеющие размер порядка  $10^{-9}$  м, свободно проникают через микронные фильтры очистки, тем самым

обеспечивая возможность мониторинга качества внутреннего воздуха закрытых помещений даже после удаления сравнительно крупных — микронных — загрязняющих фракций.

• Проведение наноэкологических исследований контроля воздуха закрытых помещений важно в плане экологической безопасности.

### Библиография

1. Эскин В.Е. Рассеяние света растворами полимеров и свойства макромолекул, Ленинград: Наука, 1986.
2. Камминс Г., Пайк Э. пер. Божкова А.И. Спектроскопия оптического смешения и корреляция фотонов. М.: Мир, 1978.
3. Лебедев А.Д., Левчук Ю.Н., Ломакин А.В., Носкин В.А. Лазерная корреляционная спектроскопия в биологии, Киев: Наукова думка, 1987.
4. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова К.В., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 241 с.