

**К 100-ЛЕТИЮ ВЫДАЮЩЕГО СОВЕТСКОГО УЧЕНОГО
ПРОФЕССОРА К.С. ШИФРИНА
1918–2011**

О.В. Копелевич

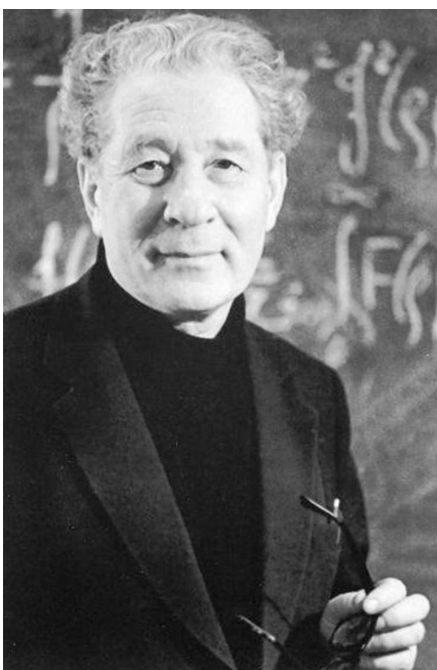
*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: oleg@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 20.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Статья посвящена 100-летию выдающегося ученого профессора Кузиэля Соломоновича Шифрина, который возглавлял оптические исследования в Институте океанологии с 1969 по 1992 г. Выполнил научные работы мирового уровня в различных областях физики, включая электрические свойства полупроводников, рассеяние электромагнитных волн разными частицами, обратные задачи теории рассеяния, перенос радиации в атмосфере, кинетику образования облаков и осадков, пассивную радиотеплокацию, оптику океана и атмосферы над океаном. Первая работа, принесшая ему мировую известность, – разработка теории электрических свойств хорошо проводящих полупроводников, опубликована в Журнале технической физики в 1944 г. Послевоенные исследования, когда началось широкое развитие полупроводниковой техники, показали, что разработанная Шифриным теория дает правильное объяснение многим практически важным эффектам.

Значительная часть научной деятельности Шифрина связана с теоретическими исследованиями рассеяния электромагнитного излучения частицами. В 1951 г. им опубликована книга «Рассеяние света в мутной среде» – первая в мире монография по теории однократного рассеяния света частицами.

Шифрин – основоположник метода микроволновой радиотеплокации (РТЛ). Первый в мире тематический сборник по этой проблеме под его редакцией опубликован в 1968 г. и немедленно переведен на английский. Всепогодный метод РТЛ широко применяется в настоящее время для спутниковых измерений температуры поверхности океана, ледяного покрытия и других параметров.



Огромный вклад Шифрин внес в разработку методов решения обратной задачи теории рассеяния – оценке распределения частиц по размерам по данным измерений характеристик рассеяния.

Под руководством Шифрина исследован широкий круг задач по оптике океана: теория поглощения и рассеяния света в морской воде, определение количественного и качественного состава океанской взвеси по особенностям светорассеяния, использование оптических методов в спутниковой океанологии. В 1983 г. опубликовал монографию «Введение в оптику океана», переведенную на английский.

К.С. Шифрин – организатор всесоюзных пленумов по оптике океана; под его руководством защищена 51 кандидатская диссертация, был консультантом 9 докторских. С 1992 по 2003 г. работал в Орегонском университете США, скончался в 2011 г.; прах захоронен на Преображенском кладбище в Санкт-Петербурге.

Ключевые слова: электрические свойства полупроводников, рассеяние света частицами, обратные задачи теории рассеяния, пассивная радиотеплолокация, оптика океана и атмосферы

Введение

В числе выдающихся ученых, прославивших Институт океанологии П.П. Ширшова РАН научными достижениями, получившими мировое признание и сохранившими свою значимость до настоящего времени, следует назвать проф. К.С. Шифрина, который возглавлял Оптический отдел ИО АН (позже Лабораторию оптики океана и атмосферы Ленинградского отделения) с 1969 по 1992 гг.

Знакомство с научными работами Кузиэля Соломоновича Шифрина впечатляет широтой его исследовательских интересов: тематика публикаций охватывает и электрические свойства полупроводников (работы 1942–1943 гг.), и рассеяние электромагнитных волн разными частицами (начиная с 1946 г.), и обратные задачи теории рассеяния (с 1951 г.), и перенос радиации в атмосфере, кроме того, кинетику образования облаков и осадков, разработку метода пассивной радиотеплолокации (1963–1967 гг.), и, наконец, его работы в Институте океанологии в области оптики океана и атмосферы над океаном (1969–2003 гг.). Шифрин опубликовал более 400 научных работ, полный список которых можно найти в книге, посвященной его 90-летию (Шифрин, 2008). Многие из них были переведены на английский язык и опубликованы за рубежом; Шифрин избран действительным членом Американского оптического общества (1985 г.), членом Итальянской геофизической ассоциации (1989 г.).

Основная цель этой статьи – показать современное значение работ К.С. Шифрина по оптике океана и атмосферы над океаном. Но, прежде чем перейти к работам по этим проблемам, выполненным в Институте океанологии, имеет смысл кратко рассказать о его наиболее важных предшествующих работах, получивших мировое признание.

Биографические даты

Кузиэль Соломонович Шифрин родился 26 июля 1918 г. в Мстиславле (Белоруссия). В 1925 г. семья переехала в Ленинград, где в 1932 г. он окончил семь классов средней школы и поступил учеником токаря на военный завод им. Калинина. Учебу продолжил в фабрично-заводском училище (ФЗУ) при этом заводе. В 1934 г. поступил на рабфак (рабочий факультет) при Ленинградском университете (ЛГУ), а летом 1935 г. поступил на физфак ЛГУ. Учился одновременно на физическом и математико-механическом («матмехе») факультетах, где в то время на высочайшем уровне преподавали крупные ученые: на матмехе Н.М. Гюнтер, Р.О. Кузьмин, Л.В. Канторович (будущий Нобелевский лауреат), Г.М. Фихтенгольц (автор известного трехтомника по высшей математике); на физфаке – акад. В.И. Смирнов (автор пятитомника по высшей математике), акад. В.А. Фок, члены-корреспонденты АН СССР С.Э. Фриш, Т.П. Кравец, будущий академик И.Я. Померанчук.

После окончания ЛГУ в 1940 г. Шифрин поступил в аспирантуру по специальности теоретическая физика в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ); его руководителем стал один из наиболее крупных советских физиков-теоретиков член-корреспондент АН СССР Яков Ильич Френкель.

После начала войны Кузиэль Соломонович эвакуировался вместе с ЛФТИ в г. Казань, где занимался различными оборонными задачами (автоматическое наведение торпеды на цель, расчет радиосистем, автоматически подстраивающихся к параметрам приходящей радиоволны, и другими). В ноябре 1941 г. был направлен на оборонные работы в Чувашию, где в составе группы сотрудников АН, куда входил также будущий академик (тогда кандидат наук) А.М. Обухов, строил оборонный рубеж, а в августе 1942 г. – на лесозаготовки для нужд АН. В промежутках между этими командировками молодой ученый сдал кандидатские экзамены.

За период с января 1942 г. по март 1943 г. выполнил две фундаментальные работы, одна из которых была посвящена ферромагнетикам, другая полупроводникам. Вторую из них в апреле 1943 г. защитил на ученом совете ЛФТИ (в Казани) как кандидатскую диссертацию.

После защиты служил в армии в качестве начальника лаборатории кафедры физики Ленинградской военно-воздушной академии им. А.Ф. Можайского, которая в это время была эвакуирована в Йошкар-Олу. В ноябре 1944 г. направлен на военную кафедру Казанского авиационного института, а там переведен на кафедру физики. Читал лекции по разным разделам физики и факультативные курсы по теории горения и взрывов, статистической физике и кинетике и другим.

После окончания войны в январе 1946 г. К.С. Шифрин вернулся в Ленинград и поступил на работу в Главную геофизическую обсерваторию (ГГО) им. А.И. Воейкова, где проработал 23 года и опубликовал около 200 работ по различным направлениям физики атмосферы и не только (см. ниже).

В июле 1969 г. перешел в Институт океанологии АН СССР (ИОАН), где проработал 24 года. В июне 1992 г., в тяжелое для российской науки время, был приглашен в США в качестве профессора на факультет океанологии и атмосферы в Орегонский университет, который находился в небольшом городке Корваллис. Здесь продолжал заниматься оптикой атмосферы и океана, а также новой проблемой рассеяния коротких электромагнитных импульсов на сферических частицах. В 2003 г. вышел на пенсию. За период с 1992 по 2003 гг. опубликовал около 20 работ, но сам оценил этот период как «менее продуктивный, чем рассчитывал, когда переезжал в США» (Шифрин, 2008). На мой взгляд, главная причина – отрыв от своих учеников, отсутствие, как он сам пишет, «хороших помощников». Учеников у Шифрина в России всегда было очень много; достаточно сказать, что он был научным руководителем 51 кандидатской диссертации и консультантом по 9 докторским работам (Шифрин, 2008).

Скончался ученый в Корваллисе в июне 2011 г. Его прах перевезен в Санкт-Петербург и захоронен на Преображенском кладбище.

О работах К.С. Шифрина, получивших мировое признание, до перехода в Институт океанологии

К теории электрических свойств хорошо проводящих полупроводников

Это первая работа Шифрина мирового уровня, результаты которой он представил как кандидатскую диссертацию (см. выше) и опубликовал в «Журнале технической физики» (Шифрин, 1944а-в). Работа основана на появившихся экспериментальных данных, которые показывали, что при нагревании хорошо проводящих полупроводников их электропроводность убывает, тогда как у обычных она возрастает. Еще во время защиты значение этой работы оценил «отец советской физики» акад. А.Ф. Иоффе, который в своем выступлении сказал, что работу Шифрина будут долго цитировать, и оказался прав. После войны, когда полупроводники привлекли всеобщее внимание в перспективе практического использования, выяснилось, что именно теория, разработанная Шифриным, дает правильное объяснение многим практически важным эффектам (Шифрин, 2008).

Приоритет и значение работы Шифрина отмечены в обзорной статье, опубликованной в «Успехах физических наук» в 1955 г. (Самойлович, Коренблит, 1955):

«Мысль о том, что аномальные свойства в той или иной степени вырожденных полупроводников, а также полуметаллов следует связать со статистическими свойствами системы носителей тока в них, в частности с температурной зависимостью химического потенциала, впервые высказана и реализована в работах Шифрина в 1944 г. Им впервые выведены общие зависимости различных кинетических коэффициентов в полупроводниках и полуметаллах от химического потенциала при различных видах зависимости длины пробега от энергии ...» По-настоящему значение работ Шифрина было оценено лишь в послевоенное время в связи с широким развитием полупроводниковой техники на базе хорошо проводящих полупроводников. Многие из предсказанных Шифриным эффектов действительно обнаружены при тщательном исследовании электрических свойств Ge, Si и SiC. Позднее, уже будучи в США, К.С. нашел ссылку на свои работы по полупроводникам даже в американских учебниках по физике (Шифрин, 2008).

Теория рассеяния электромагнитного излучения частицами

Работы по этой проблеме опубликованы в многочисленных статьях и широко известны, но главный результат мирового уровня – это, конечно книга «Рассеяние света в мутной среде» (Шифрин, 1951). Это первая в мире монография по теории однократного рассеяния света частицами. Широко известная книга Хюлста «Рассеяние света малыми частицами» была издана на английском лишь в 1957 г. (русский перевод Хюлст, 1961).

Интересно, что к исследованиям по этой проблеме Шифрина подтолкнула практическая задача, решение которой была на него возложена в ГГО. Задача, связанная с защитой цитрусовых от утренних заморозков, где важная роль отводилась

дымовой завесе, ее радиационному эффекту, который всеми исследователями приписывался поглощению и переизлучению радиации частицами дыма. Шифрин решил исследовать влияние рассеяния излучения и стал рассматривать классические формулы для расчета рассеяния сферическими частицами, выведенные еще в 1908 г. немецким физиком Густавом Ми и представляющие решение в виде рядов, в которых число значимых членов определяется размером частицы (точнее, так называемым дифракционным параметром $\rho = 2\pi a/\lambda_a$, где a – радиус частицы, λ_a – длина волны излучения в во внешней среде, в которой находится частица). Шифрину удалось разобраться со сложнейшими формулами и впервые объяснить несколько интересных физических явлений (см. ниже). Что касается вышеупомянутой задачи, он показал, что основной вклад в эффект дымовой завесы вносит именно рассеяние излучения частицами дыма.

Книга «Рассеяние света в мутной среде» стала основой докторской диссертации Шифрина. Защита состоялась в Государственном оптическом институте в октябре 1951 г. Впечатляет состав оппонентов: академик В.В. Шулейкин, член-корреспондент Я.И. Френкель, известный физик профессор А.Л. Гершун (отец одного из крупнейших специалистов по гидрооптике А.А. Гершуна). Дополнительным оппонентом, из-за болезни Шулейкина, был член-корреспондент Т.П. Кравец.

В чем значение основных результатов, полученных Шифриным и представленных в его книге и диссертации? Чтобы ответить на этот вопрос, надо, прежде всего, осознать, что в то время не было мощных ЭВМ, которые позволили бы проводить достаточно быстрые и точные расчеты по формулам Ми. А для расчета рассеяния крупными частицами надо учитывать более сотни членов ряда (например, для частицы с радиусом 10 мкм и длиной волны света 546 нм – 140 членов). Поэтому важнейшее достижение работы Шифрина – разработка приближенных формул для двух предельных случаев: 1) больших частиц (дифракционный параметр $\rho \rightarrow \infty$); 2) так называемых оптически «мягких» частиц (показатель преломления близок к 1 и размеры частиц не слишком велики $2\rho |m-1| < 1$).

В первом случае оказалось удобным использовать приближение геометрической оптики; полученные результаты оказались полезны при рассмотрении различных вопросов оптики облаков. Второй случай соответствует рассеянию взвешенными в морской воде биологическими частицами небольших размеров; забегаю вперед, добавим, что для крупных биологических частиц можно ввести поправочный множитель, который позволит проводить расчеты с приемлемой точностью (Буренков и др., 1975).

Шифрину удалось разобраться с так называемым «парадоксом удвоения», который заключался в том, что асимптотическое значение коэффициента ослабления частицы при увеличении ее размера оказывается равным $2\pi a^2$, т.е. соответствует удвоенному значению ее площади сечения (как пишет сам Кусиэль Соломонович, он потратил на решение этой задачи почти год). Объяснение этому эффекту заключается в том, что, помимо ослабления, которое учитывается геометрической оптикой, есть еще дифракционная составляющая, обусловленная дифракцией на

контуре частицы. Согласно расчетам Шифрина, эта составляющая сосредоточена в области углов рассеяния $\theta < 6/\rho$, т.е. для упомянутой выше частицы радиусом 10 мкм этот угол составит порядка 3° .

Позднее Шифрин узнал, что Хюлст указал на значение коэффициента ослабления $2\pi a^2$ еще в 1946 г., но эта статья была опубликована в малоизвестном журнале, и Кузиэль Соломонович ничего не знал об этой работе. В свою очередь, Хюлст ничего не знал о книге Шифрина. Редактор книги Хюлста акад. В.В. Соболев в предисловии к ней писал: «...досадно, что автор почти не знает работ советских ученых. В частности, ему осталась неизвестной монография К.С. Шифрина... Некоторые результаты, найденные впервые в упомянутой монографии, были впоследствии заново получены ван де Хюлстом» (Шифрин, сравнивая эти книги, насчитал свыше полусотни таких повторов).

Другой важный для того времени результат работы Шифрина по рассеянию света частицами – издание пятитомных «Таблиц по светорассеянию». Первые четыре тома были подготовлены совместно с И.Л. Зельмановичем в период работы в ГГО; 5-й том совместно с И.Н. Салганик уже в ИОАН (Шифрин, Салганик, 1975). Этот том содержит оптические характеристики моделей морской взвеси, рассчитанные по точным формулам: для монодисперсных моделей биологической взвеси (показатель преломления $m=1.02$) и терригенной ($m=1.15$) и для полидисперсных с распределениями типа Юнге и нормальными распределениями. Огромный труд, который в настоящее время, с появлением мощных ЭВМ, потерял свое практическое значение.

Разработка метода пассивной радиотеплолокации (РТЛ)

К.С. Шифрин по праву считается основоположником нового метода микроволновой радиометрии (радиотеплолокации). Однако в недавней публикации В.В. Мелентьева (2017) отмечается, что «приоритет теоретических разработок проф. Шифрина в области СВЧ микроволновой радиометрии (радиотеплолокации) практически забыт у нас в стране, но признается ведущими специалистами в области ДЗЗ на Западе». Сам Кузиэль Соломонович вспоминает, как на одном из спутниковых пленумов НАСА председательствующий проф. Вейман представил Шифрина: «Это профессор Шифрин из России, который первым провел работы по применению метода ТИМО (теплого излучения в микроволновой области) в интересах геофизики».

В спутниковых наблюдениях земной поверхности широко используется инфракрасное тепловое излучение; радиотепловое излучение не используется, в первую очередь, из-за малых величин радиосигнала. В то же время использование микроволновой области весьма привлекательно, т.к. радиотеплоизлучение, в отличие от инфракрасного, свободно проходит через облака. Шифрин сумел доказать, что низкий уровень пассивного радиосигнала можно компенсировать высокой чувствительностью приемников радиотеплового излучения с узкими полосами. В 1963 г. он подал в Главное управление гидрометеослужбы предложение об организации исследований по ТИМО, и в 1964 г. под его руководством была создана группа из

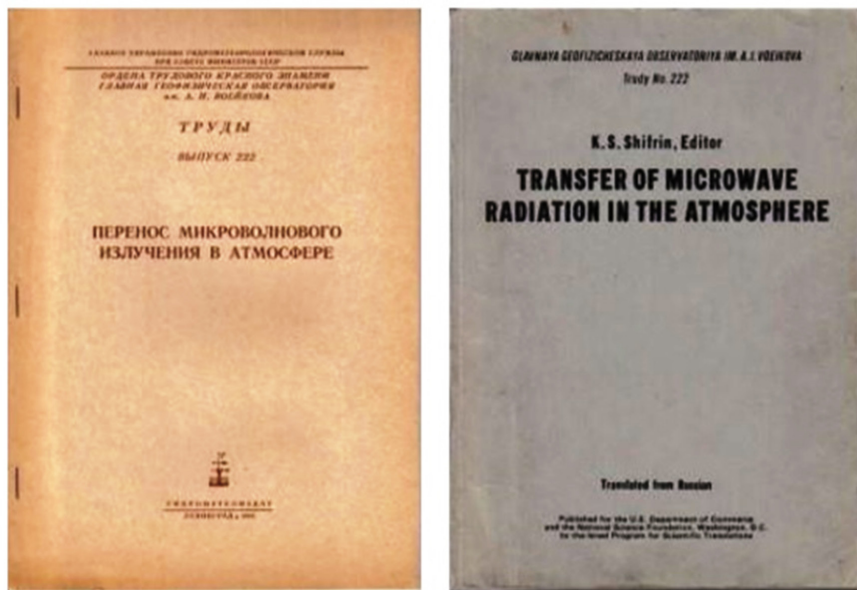


Рис. 2. Первый в мире тематический сборник, посвященный ТИМО, и его английский перевод (Мелентьев, 2017).

разных организаций для разработки теоретических и экспериментальных основ метода РТЛ. Работа была закончена примерно за полтора года, но тематический сборник по этой проблеме, кстати, первый в мире, вышел только в 1968 г. (Шифрин (ред.), 1968; Шифрин и др., 1968). По заказу американцев сборник был быстро переведен на английский в Израиле (рис.2).

Метод РТЛ был практически реализован в программах НАСА; в России создан сканер-поляриметр «Омега», который использовался для измерений температуры поверхности океан (ТПО). Аналогичным комплексом аппаратуры была оснащена космическая станция «Алмаз», с которой были проведены съемки ТПО в Индийском и Тихом океанах; эта аппаратура была также использована для картирования радиоконтрастов действующих и потухших вулканов на Камчатке и Курильских островах. Другие применения метода РТЛ описаны в статье Мелентьева (2017).

Обратные задачи теории рассеяния

Суть этих задач заключается в том, чтобы по характеристикам рассеянного излучения (спектральные или угловые зависимости) найти распределение частиц по размерам. Вообще говоря, эти задачи относятся к категории особых задач, у которых решение, даже если оно существует и единственно, оказывается чувствительным к ошибкам исходных данных и/или счета. Решение неустойчиво – даже малые ошибки, которые всегда существуют, когда мы имеем дело с экспериментальными данными, могут приводить к тому, что формально правильное решение оказывается далеким от физически правильного решения («раскачка» решения). Некорректные задачи часто встречаются во многих проблемах геофизики и других науках; разработкой методов их решения занимаются и математики, и физики. Общий подход заключается в «регуляризации» решения (т.е. отбрасыванию физически неправиль-

ных решений) путем привлечения дополнительной информации о решении. Сама регуляризация тоже непростая задача – она должна, не меняя физического содержания задачи, устранить ее вычислительную неустойчивость.

Шифрин начал заниматься обратными задачами, работая в ГГО, и продолжил эти исследования в Институте океанологии. В ГГО им совместно со своими учениками были разработаны три метода: 1) метод малых углов; 2) метод спектральной прозрачности; 3) метод полной индикатрисы. В ИОАН к ним добавился метод флуктуаций. Полное описание этих методов дано в книге «Введение в оптику океана» (Шифрин, 1983), обзоре Shifrin, Tonna (1993), в большой энциклопедической статье (Shifrin, 1998).

Первые три метода разработаны для случаев, когда угловые или спектральная зависимости коэффициента рассеяния частиц могут быть представлены простыми аналитическими формулами, и для обратной задачи удастся найти точные решения. Это случаи индикатрисы рассеяния под малыми углами для крупных частиц, спектральной зависимости коэффициента рассеяния и полной индикатрисы для «мягких» частиц. Они основаны на использовании аналитических формул для угловой или спектральной зависимости коэффициента рассеяния.

Наиболее широкое практическое применение нашел метод малых углов (Байвель, Лагунов, 1977), в том числе для оценки распределения по размерам частиц морской взвеси, когда Шифрин возглавил Оптический отдел в ИОАН. Аналитическую формулу для решения обратной задачи Шифрин вывел еще в 1956 г. На Западе использовалась его несколько иная модификация (Gumprecht, Sliepcevic, 1953). Известный американский физик М. Керкер в своей монографии (Kerker, 1969) пишет, что оба варианта эквивалентны и были развиты независимо.

Два других метода нашли применение для расчета распределения по размерам аэрозольных частиц (Shifrin, 1998).

Основные результаты работы К.С. Шифрина в Институте океанологии

Исследования по оптике океана в ИОАН до 1969 г.

Начало исследований по оптике моря в Институте океанологии связано с именем Михаила Владимировича Козлянинова, который еще в 1948–1951 гг., работая в Главной Морской Обсерватории, провел первые оптические исследования в морях СССР. В 1955 г. после защиты кандидатской диссертации перешел на работу в Институт океанологии, где в 1959 г. возглавил созданный им Кабинет гидрооптических характеристик, а в 1964 г. Лабораторию гидрооптики. За короткий срок, в первую очередь, благодаря усилиям М.В. Козлянинова, удалось получить важные научные и научно-технические результаты:

– создан первый в мире комплекс гидрооптической аппаратуры для работы в морских экспедициях, который включал погружаемые фотоэлектрический прозрачномер и измеритель подводной освещенности, лабораторный спектрогидронефе-

лометр-прозрачномер и гидрофотометр для измерения спектральных коэффициентов яркости моря, укрепляемый на борту судна;

– разработаны методики гидрооптических измерений и подготовлено руководство по их проведению в море (Козлянинов, 1961), которые обеспечили сопоставимость результатов измерений, выполненных в разных экспедициях;

– проведены комплексные измерения оптических характеристик морской воды и исследования подводного светового поля в Черноморских гидрооптических экспедициях, а затем и в других морях и океанах, в результате которых получены новые важные данные о световом режиме в водной толще, связи между распределениями оптических характеристик и океанологическими факторами;

– выполнены несколько прикладных научно-исследовательских работ в интересах ВМФ.

Эти результаты, безусловно, следует признать успешными, но наступал период, когда в океанологии начал происходить переход от накопления данных об океане к их осмыслению, анализу с целью понимания происходящих процессов, их физических механизмов, построению моделей, объясняющих эти процессы. В 1965 г. Институт возглавил известный физик, будущий академик А.С. Монин, который хотел, чтобы лаборатории Института возглавляли крупные ученые. Эти реформы коснулись и Лаборатории гидрооптики, тем более что к тому времени у М.В. Козлянинова возникли проблемы со здоровьем.

На должность руководителя оптических исследований в ИОАН А.С. Монин рассматривал две кандидатуры: заведующего Отделом атмосферной оптики Института физики атмосферы (ИФА) АН СССР, крупного ученого в области физической и атмосферной оптики, профессора Георгия Владимировича Розенберга и профессора К.С. Шифрина, который в то время работал в ГГО. Георгий Владимирович не очень хотел уходить из ИФА; а главная проблема с Шифриным заключалась в том, что он жил в Ленинграде. В конечном итоге, приказом Монина от 09.07.1969 К.С. Шифрин был зачислен в ИОАН на должность заведующего специально созданным Оптическим отделом, который включал московскую лабораторию и новую оптическую лабораторию в Ленинграде. Согласно договоренности, Шифрин должен был каждый месяц на неделю приезжать в Москву, остальное время работать в Ленинграде.

Как пишет в своих воспоминаниях сам Шифрин, тогдашний начальник Гидрометслужбы СССР, к которой относилась ГГО, академик Е.К. Федоров не хотел отпускать Шифрина. Решить проблему удалось благодаря поддержке академика Б.П. Константинова, тогда первого вице-президента АН СССР, который задал Федорову «риторический» вопрос: «Если Вы так цените Шифрина, то почему столько лет держите его «в черном теле»? Не пускаете его на международные конференции даже тогда, когда приглашение исходит от самого Дебая! А ведь это честь для вашей организации» (Шифрин, 2008). Надо напомнить, что К.С. Шифрин к тому времени уже был известным ученым в области рассеяния электромагнитных волн и физики атмосферы, не только в СССР, но и за рубежом.

Автор этой статьи познакомился с Кусиэлем Соломоновичем осенью 1968 г., когда он, во время своего приезда в Москву, посетил нашу Лабораторию. Для меня это знакомство представляло особую ценность, поскольку я, тогда еще не остепененный младший научный сотрудник, изучал теорию рассеяния света морской водой и знал многие работы Кусиэля Соломоновича и его учеников. Его книга «Рассеяние света в мутной среде» мне очень нравилась строгостью изложения и четкостью выводов. Тема моей работы была интересна Кусиэлю Соломоновичу, поскольку он продолжал заниматься прямыми и обратными задачами теории рассеяния, и он помог мне не только обсуждением проблемы и чрезвычайно полезными советами, но и практически, а именно передал из ГГО, где он тогда еще работал, в Институт океанологии макет прибора для измерения рассеяния в области малых углов. Этот макет был создан под руководством Кусиэля Соломоновича сотрудником ГГО В.И. Голиковым для определения спектра размеров капель туманов методом малых углов (Шифрин, Голиков, 1961). В ИО АН переданный макет был модифицирован применительно к измерениям с морской водой. Первые измерения модифицированным прибором, носившие в большей своей части методический характер, были проведены зимой 1968–1969 гг. в западной части Тихого океана в 44-м рейсе НИС «Витязь» и продолжены летом 1969 г. на Черном море около Карадага. С этими данными впервые в мире были выполнены обращения индикатрис рассеяния морской воды для расчета распределений по размерам частиц морской взвеси (Шифрин и др., 1972).

Первый специализированный оптический рейс на большом НИС

К.С. Шифрин возглавил Лабораторию оптики в тот момент, когда шла подготовка к первому специализированному оптическому рейсу на большом научно-исследовательском судне, и активно включился в подготовку этого рейса. Сам рейс начался лишь в январе 1971 г., экспедицию возглавил А.С. Монин, научным руководителем программы гидрофизических исследований был академик А.Н. Колмогоров, оптических – К.С. Шифрин (Кузнецов, Алейник, 2002). Помимо сотрудников Института океанологии в экспедиции участвовали специалисты по оптике из других организаций: Института физики атмосферы АН СССР (ИФА), Научно-исследовательского радиофизического института Горьковского государственного университета (в настоящее время Институт прикладной физики РАН), Всесоюзного электротехнического института им. В.И. Ленина (ВЭИ) и др. Программа измерений была составлена таким образом, чтобы обеспечить полный комплекс данных по двум основным направлениям гидрооптических исследований: 1) изучение оптической структуры вод океана и ее связи с гидрофизическими, биологическими и биогеохимическими характеристиками; 2) исследование закономерностей распространения в океане светового излучения от естественных и искусственных источников в зависимости от оптических характеристик воды и условий освещения.

К рейсу была подготовлена новая аппаратура, которая позволила провести измерения, ранее отсутствовавшие в практике экспедиционных гидрооптических исследований. Это, во-первых, лабораторные измерители спектрального поглощения света морской водой, фотоэлектрический нефелометр, прибор для измерения рассеяния в области малых углов, уже упоминавшийся выше, а также новый погружаемый измеритель рассеяния в области малых углов. Большой комплекс аппаратуры был подготовлен для исследования световых полей в океане, включавший, в частности, подводную фотометрическую скамью длиной до 300 м с поворотными каретками на концах, на которые устанавливались источник и приемник излучения.

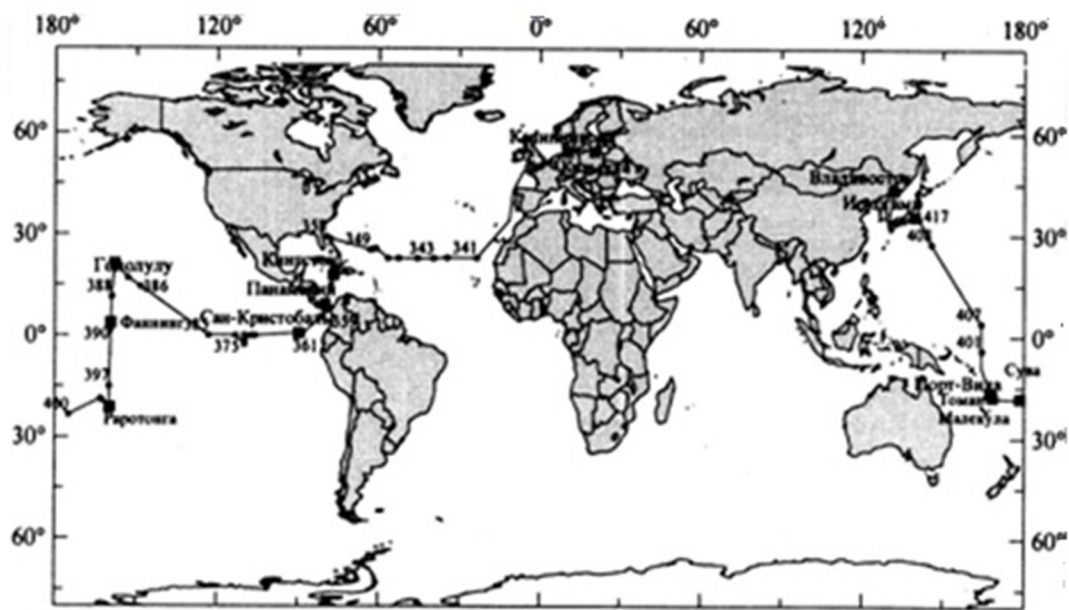


Рис. 3. Маршрут экспедиции 5-го рейса НИС «Дмитрий Менделеев».

По первому из вышеуказанных направлений был выполнен широкий комплекс исследований, который включал измерения практически всех характеристик оптических свойств морской воды, включая поляризацию (измерения выполнялись группой сотрудников ИФА). Определялся количественный и качественный состав морской взвеси, растворенного органического вещества, первичной продукции и пигментов фитопланктона, измерялись гидрологические параметры и скорость течений, характеристики атмосферного аэрозоля в приводном слое и аэрозольная оптическая толщина атмосферы.

Маршрут экспедиции, охватывающий Атлантический и Тихий океаны (рис. 3), позволил получить данные для различных по своим свойствам природных объектов: Северного пассатного течения, Саргассова моря и Гольфстрима в Атлантическом океане; восточной части экваториальной системы течений, на меридиональном разрезе примерно по 160°з.д. от Гавайских островов до о. Раротонга, зоны южной субтропической конвергенции и течения Куроиси в Тихом океане.

В зоне южной субтропической конвергенции был исследован район экстремально прозрачных вод к северо-западу от о. Раротонга и зарегистрировано рекордное значение глубины видимости белого диска 67 м (ст. 398 с координатами 19°04'ю.ш., 162°36'з.д.). Во впадине Витязя желоба Тонга впервые была измерена матрица рассеяния света для воды с глубины 10 км.

Исследования по второму направлению включали измерения характеристик световых полей как от естественных источников, так и от искусственных – стационарных с различной диаграммой направленности (изотропных, косинусных и др.) и импульсных.

Полученные в рейсе результаты представлены в монографии «Гидрофизические и гидрооптические исследования в Атлантическом и Тихом океанах» (1974), ответственными редакторами которой были А.С. Монин и К.С. Шифрин. Далее мы будем ссылаться на параграфы и главы этой книги.

И первое и второе направления входили в сферу научных интересов Кузиэля Соломоновича. Прежде всего, нужно отметить разработку методов «обращения» оптической информации для оценки количества и распределения по размерам взвешенных в морской воде частиц, о чем уже говорилось выше. Используя результаты измерений показателей рассеяния морской воды в данном направлении, выполненных в рейсе, удалось разработать новую методику оценки спектра размеров частиц морской взвеси, основанную на сочетании метода подбора и метода малых углов, предложенного ранее.

Другая интересная работа К.С. Шифрина связана с «мировым рекордом» глубины видимости белого диска – 67 м. Шифрин показал, что при такой большой глубине надо делать поправку на изменение порога контрастной чувствительности глаза при уменьшении угловых размеров объекта (§ 6 главы 8).



Рис. 4. Кузиэль Соломонович (слева) помогает в проведении зондирования погружаемым измерителем рассеяния в области малых углов.



Рис. 5. Остров Молекула, Новые Гебриды. К.С. Шифрин с туземцем из племени *small namba*.

Интересные результаты в рейсе были получены по характеристикам распространения естественного излучения в океане, в частности, по флуктуациям подводной облученности, связанными с поверхностным волнением, и по закономерностям формирования нестационарных световых полей в водной толще (главы 11, 17). Создание в 60-х годах импульсных лазеров, излучающих короткие мощные световые импульсы, привело к возникновению в гидрооптике новой области исследований – изучение закономерностей формирования нестационарного светового поля под водой и возможностей использования лазерных импульсов для зондирования водной среды. Такие исследования, начатые в 5-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев», были продолжены в 10-м и последующих оптических рейсах.

По-человечески Кусиэль Соломонович был совершенно счастлив – еще бы, после работы в ГГО, где его не пускали ни на какие конференции, увидеть другие страны, океан, тропические острова (рис. 4, 5).

10-й рейс проводился в Индийском океане летом 1973 г., его программа базировалась на тех же принципах, что и 5-го рейса. Главное внимание было уделено детальному изучению спектральных и поляризационных характеристик естественного светового поля в океане и пространственно-временной структуры нестационарного светового поля, а также исследованию влияния «источников» взвеси и растворенного вещества на пространственное распределение оптических свойств. Были получены данные для различных природных объектов в Индийском океане: зоны Пассатного течения и южной субтропической конвергенции, Южно-Индоокеанского и Западно-Австралийского течений, вод субэкваториальной дивергенции и экваториальных, Бенгальского залива и Андаманского моря.

Кусиэль Соломонович, по независящим от него причинам, не смог принять участие в этом рейсе, но активно участвовал в анализе полученных результатов и вместе с акад. Л.М. Бреховских был ответственным редактором сборника по результатам проведенных исследований (Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане, 1975).

Среди них, прежде всего, следует отметить пионерские на то время исследования по разработке метода дистанционного определения хлорофилла, которые явились продолжением начатых ранее исследований в Атлантическом океане в 13-м рейсе НИС «Академик Курчатов» (Шифрин и др., 1974). В настоящее время

этот метод получил широкое развитие и реализуется из космоса с использованием специально разработанных спутниковых сканеров цвета. Но тогда основы метода лишь разрабатывались, а первый спутниковый сканер цвета CZCS (Coastal Zone Color Scanner) был запущен только в 1978 г.

В 10-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» впервые в практике оптических исследований в Мировом океане была применена методика лазерного зондирования водной толщи на ходу судна, которая позволила получить представление о мелко-масштабной изменчивости оптических свойств.

Были продолжены работы по созданию методов «обращения» оптической информации для оценки количества и распределения по размерам взвешенных в морской воде частиц. По инициативе Кузиэля Соломоновича, по данным, полученным в 10-м рейсе, было проведено сопоставление результатов определения состава морской взвеси разными методами: по усовершенствованной методике, разработанной в Институте океанологии, методом статистической регуляризации, путем микроскопического подсчета частиц на фильтре и в «живой» капле (Буренков и др., 1974). В методике Института океанологии использовалась новая формула для индикатрисы рассеяния света в области малых углов, которая позволяла получить надежные значения рассеяния для частиц практически любых размеров, если их относительный показатель преломления близок к единице (Буренков и др., 1975). Проведенное сопоставление показало разумное качественное согласие полученных результатов, за исключением данных подсчета частиц на фильтре под микроскопом, которые явно занижены. Предложено объяснение этим результатам.

Обобщение полученных результатов

Результаты исследований оптических свойств морской воды и светового поля от импульсного источника были обобщены в монографических статьях (Гольдин и др., 1981; Копелевич, Шифрин, 1981). В первой из них рассмотрены вопросы методики проведения экспериментальных исследований нестационарных световых полей (НСП) в море, дано описание разработанного аппаратного комплекса, приведены экспериментальные данные о структуре НСП, полученные в чистых океанских водах при облучении коротким узконаправленным лазерным импульсом, дан качественный анализ полученных результатов. Во второй изложены обобщенные представления об оптических свойствах морской воды и их зависимости от обуславливающих факторов, таких как желтое вещество, фитопланктон, взвешенные частицы. Впервые даны статистические оценки изменчивости спектральных показателей поглощения света и показателей рассеяния в данном направлении морской воды. Предложены малопараметрические модели оптических свойств океанской воды, выделяющие основные факторы, обуславливающие эти свойства, и позволяющие рассчитывать их полную совокупность по данным ограниченного числа измерений.

Более полное обобщение накопленных к концу 70-х годов знаний по различным направлениям оптики моря выполнено в двухтомной монографии «Оптика океана»,

вышедшей в 1983 г. под редакцией А.С. Моница. Эта монография – первое полное систематизированное изложение современной оптики океана и до сих пор не имеет аналогов за рубежом. Кусиэль Соломонович написал в монографии две главы (гл. 2 «Теория поглощения и рассеяния света в морской воде» и гл. 17 «Оптические методы в космической океанологии»), а также § 16.1 «Определение количественного и качественного состава океанской взвеси по особенностям светорассеяния». Наибольший интерес, на мой взгляд, представляла гл. 17, в которой дан краткий физический анализ проблем спутниковой океанологии, которые в те годы еще только формулировались. В частности, рассматривалась проблема дистанционного обнаружения нефтяных пленок на морской поверхности, которой Кусиэль Соломонович уделял много внимания, понимая ее актуальность (Оптика океана и атмосферы, 1983; Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов, 1979).

Также в 1983 г. вышла книга К.С. Шифрина «Введение в оптику океана» (Шифрин, 1983), которая позже была переведена на английский. В этой книге детально рассматриваются разделы, посвященные молекулярной оптике океанской воды и обратным задачам рассеяния. Среди интересных оригинальных результатов по оптике океанской воды надо отметить результаты расчетов показателя молекулярного рассеяния света морской водой для всего диапазона условий, в которых морская вода находится в океане, в частности на больших глубинах; исследование связи спектра взвеси со спектром вещества частиц.

Большой интерес представляет раздел, посвященный возможным подходам к расчетам рассеяния света реальными частицами морской взвеси, несферическими и неоднородными. Оригинальный метод расчета рассеяния света ансамблем произвольных частиц в приближении Релея-Ганса был предложен К.С. Шифриным в его работе с И.А. Микулинским, который под руководством Шифрина позже защитил кандидатскую диссертацию по этой теме. Идея метода заключается в сведении рассеяния системой сложных частиц, расположенных случайным образом, к рассеянию одной «случайной» частицей, статистические характеристики размеров и формы которой задаются корреляционными функциями ее поперечных сечений, определяемых усреднением по частицам исследуемого объема. Позже в работах К.С. Шифрина, А.Я. Перельмана и А.М. Кокорина для расчета рассеяния света мелкодисперсной составляющей океанской взвеси в качестве «средней» частицы была рассмотрена модель просветленной сферы, представляющей собой двухслойную частицу с однородным ядром и просветляющим слоем.

В главе, посвященной обратным задачам, рассматриваются общие проблемы их решения (некорректность, регуляризация, обусловленность) и конкретные методы их решения. Для метода статистической регуляризации исследовалось влияние ошибки значения показателя преломления частиц на точность восстановления, а также возможность решения «двухкомпонентной» задачи, когда имеется смесь частиц двух сортов (с показателями преломления 1.02 и 1.15), а для обращения используется полная индикатриса рассеяния. Также исследовалась возможность улучшения точности восстановления при использовании индикатрис рассеяния,

измеренных при двух разных длинах волн. Отметим также метод флуктуаций, в котором для определения среднего размера частиц и их концентрации используются данные одновременного измерения прозрачности системы частиц и ее дисперсии (Сахаров, Шифрин, 1975).

Пленумы Рабочей группы по оптике океана

В 1973 г. К.С. Шифрин создал и возглавил Рабочую группу по оптике океана Комиссии по проблемам Мирового океана. Группа проводила регулярные пленумы, которые стали всесоюзным семинаром оптиков океана и атмосферы над океаном. Таких пленумов было проведено 11. Тематика пленумов традиционно включала пять направлений: 1) Дистанционные методы изучения океанов и внутренних водоемов; 2) Оптические свойства вод; 3) Световые поля; 4) Оптика атмосферы над океаном; 5) Оптика водной поверхности. Пленумы проводились в разных городах и пользовались большой популярностью. В работе III пленума на базе Лимнологического института на Байкале в 1976 г. принимали участие академики В.А. Амбарцумян, А.В. Гапонов-Грехов, В.В. Соболев. Материалы этого, а также VI пленумов опубликованы (Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов, 1979; Оптика океана и атмосферы, 1983). На X пленуме в Ростове-на-Дону (1988 г.) были представлены 263 доклада от 37 организаций из 20 городов, на XI в Красноярске (1990 г.), который, к сожалению, оказался последним, 184 доклада от 42 организаций также из 20 городов. Как правило, к началу пленумов печатались сборники расширенных тезисов докладов.

С начала 90-х годов, в связи с сокращением финансирования науки, гидрооптические исследования в нашей стране резко сократились, хотя за рубежом они, наоборот, с конца 80-х годов заметно возросли. Экспедиционные исследования в океане стали крайне редкими. Положительным моментом в этой ситуации стала



Рис. 6. Участники первой международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод» ONW'2001. К.С. Шифрин в первом ряду в центре.

возможность расширения международного сотрудничества. В 2001 г. удалось возобновить на международном уровне проведение в России конференций по оптике океана. К настоящему времени проведены уже 9 таких конференций – восемь из них в Санкт-Петербурге, одна в Нижнем Новгороде. Кусиэль Соломонович приезжал на первую из них и был почетным председателем первых трех конференций (рис.6).

Труды последних двух конференций доступны в электронном варианте. Желаящие получить эти материалы могут обратиться к автору этой статьи (oleg@ocean.ru), если их не будет на сайтах конференций.

Научное наследие К.С. Шифрина и каким мы будем его помнить

Период, когда К.С. Шифрин руководил исследованиями по оптике океана в Институте океанологии был чрезвычайно плодотворным для развития этой науки, и руководимый им Отдел оптики океана и атмосферы над океаном занимал ведущие позиции в мире. Думаю, это можно отнести к советской оптике океана того периода в целом.

К.С. Шифрин оставил нам огромное научное наследие, и, наверно, нет необходимости повторять то, что уже было написано выше. Даже в США, в возрасте 80 лет, занимаясь дифракцией коротких и сверхкоротких импульсов, Кусиэль Соломонович сумел внести значимый вклад в этой новой для него области. Известный американский ученый проф. Каттавар написал, что эти работы «открывают новую и увлекательную область получения различных характеристик частиц с помощью фемтосекундных лазерных импульсов». Несмотря на то, что годы брали свое (рис. 7, 8), Шифрин и далеко за 80 сохранял великолепную научную память и ясность ума – он детально отвечал на многие научные вопросы, которые я ему задавал.



Рис. 7. На конференции в Монтерее, США. Слева О. Копелевич, справа – американский ученый Марк Дауэл).



Рис. 8. Корваллис, Орегон, США, 2004 г.

Можно сказать, что Кусиэлю Соломоновичу не повезло в жизни: война помешала, не сомневаюсь, его блестящей научной карьере, его не избрали даже в член-корреспонденты АН, хотя по своему уровню он, несомненно, был достоин и более высокого звания, у него нет ни одной научной награды. Но я уверен, что он не очень огорчился по этому поводу: у него была наука, которой он занимался с огромным удовольствием, активно и неутомимо. Несмотря на его высокий научный ранг, у Кусиэля Соломоновича совершенно отсутствовала какая-либо чванливость; общаться с ним было легко, просто и всегда интересно. Обладая замечательной памятью, Кусиэль Соломонович помнил до мелочей различные события своей жизни, огромное количество анекдотов, стихов, которые с удовольствием декламировал.

Очень хорошо, что в книге, изданной к 90-летию К.С. Шифрина (Шифрин, 2008), представлены не только его научные заслуги, но и воспоминания о нем советских и иностранных ученых. А этой статьей, посвященной его 100-летию, мне хотелось еще раз отдать дань памяти этому замечательному ученому и Человеку.

Избранная библиография К.С. Шифрина

- Байвель Л.П., Лагунов А.С.* Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами. – М.: Энергия, 1977. – 87 с.
- Буренков В.И., Гашко В.А., Копелевич О.В., Шифрин К.С.* Сопоставление различных методов определения состава морской взвеси // Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане. – 1974. – С. 74–82.
- Буренков В.И., Копелевич О.В., Шифрин К.С.* Рассеяние света крупными частицами с показателями преломления, близкими к единице // Известия АН СССР. – 1975. – Т. 11. – № 8. – С.828–835. – (Физика атмосферы и океана).
- Гидрофизические и гидрооптические исследования в Атлантическом и Тихом океанах. / Ред. А.С. Монин, К.С. Шифрин. – М.: Наука, 1974. – 328 с.
- Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане / Ред. Л.М. Бреховских, К.С. Шифрин. – М.: Наука, 1975. – 256 с.

- Гольдин Ю.А., Пелевин В.Н., Шифрин К.С. Световое поле от импульсного источника в морской воде // Оптика океана и атмосферы. – М.: Наука, 1981. – С. 56–95.
- Гольдин Ю.А., Козлянинов М.В. Руководство по гидрооптическим измерениям в море // Тр. ИО АН СССР. – 1961. – Т. 47.
- Копелевич О.В., Шифрин К.С. Современные представления об оптических свойствах морской воды // Оптика океана и атмосферы. – М.: Наука, 1981. – С. 4–55.
- Кузнецов О.А., Алейник Д.Л. Научно-исследовательское судно «Дмитрий Менделеев» и его экспедиции 1969–1993. – М.: ГЕОС, 2002. – 372 с.
- Мелентьев В.В. Профессор К.С. Шифрин – основоположник пассивной СВЧ-микроволновой радиометрии (радиотеплолокации) // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2017. – № 587. – С. 204–227.
- Оптика океана: В 2-х томах / Отв. ред. А.С. Монин. – М.: Наука, 1983. Т.1.: Физическая оптика океана. – 372 с.; Т.2. Прикладная оптика океана. – 236 с.
- Оптика океана и атмосферы / Материалы VI Пленума РГ по оптике океана Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР. – Баку: Элм, 1983. – 400 с.
- Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов / Отв. ред. Г.И. Галазий, К.С. Шифрин. – Новосибирск: Наука, 1979. – 373 с.
- Определение среднего размера и концентрации взвешенных частиц по флуктуациям интенсивности прошедшего света // Оптика и спектроскопия. – 1975. – Т. 39. – № 2. – С. 367–372.
- Перенос микроволнового излучения в атмосфере / Под ред. К.С. Шифрина // Труды Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 1968. – Вып. 222. – 168 с.
- Шифрин К.С. Условия, при которых наступает заметное вырождение электронного газа в полупроводниках // ЖТФ. – 1944а. – Т. XIV. – № 1–2. – С. 40–42.
- Шифрин К.С. Влияние возбужденных состояний атомов примеси на электрические свойства полупроводников // ЖТФ. – 1944б. – Т. XIV. – № 1–2. – С. 43–48.
- Шифрин К.С. К теории электрических свойств полуметаллов // ЖТФ. – 1944в. – Т. XIV. – № 1–2. – С. 49–69.
- Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. – М.-Л.: Гостехтеориздат, 1951. – 264 с.
- Шифрин К.С. Вычисление некоторого класса определенных интегралов, содержащих квадрат бесселевой функции первого порядка // Тр. Всесоюзного заочного лесотехнического института. – 1956. – Вып. 2. – С. 153–162.
- Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 278 с. – [англ. перевод *Shifrin K.S. Physical Optics of Ocean Water.* – New York, 1983. – (AIP Translation Series). – 285 p.]
- Шифрин К.С. Штрихи моей жизни // Кузисель Соломонович Шифрин. Ученый, Учитель и Человек. – Харьков: ИПП «Контраст», 2008. – С. 171–217.
- Шифрин К.С., Голиков В.И. Определение спектра капель методом малых углов // Исследования облаков, осадков и грозового электричества. – Л.: Изд. АН СССР, 1961. – С. 266–277.
- Шифрин К.С., Копелевич О.В., Буренков В.И., Маштаков Ю.Л. Использование индикатрис рассеяния света для исследования морской взвеси // Оптика океана и атмосферы. – Л.: Наука, 1972. – С. 25–44.
- Шифрин К. С., Рабинович Ю. И., Шукин Г. Г. Применение пассивной радиометрии в метеорологии // Труды ГГО. – 1968. – Вып. 222. – С. 22–48.
- Шифрин К.С., Салганик И.Н. Таблицы по светорассеянию. – Т. V: Рассеяние света моделями морской воды. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 219 с.
- Шифрин К.С., Судьбин А.И., Бекасова О.Д. и др. Исследование связи между содержанием

- хлорофилла и яркостью света, выходящего из моря // Сб. «ТРОПЭКС-72». – Л.: Гидрометеиздат, 1974.
- Gumprecht R.O., Sliepcevich C.M.* Scattering of light by large spherical particles // *J. Phys. Chem.* – 1953. – V. 57. – No. 1. – P. 90–95.
- Kerker M.* The scattering of light and other electromagnetic radiation. – New York: Academic Press, 1969. – 666 p.
- Shifrin K.S.* Atmospheric aerosol, methods of analysis // *Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation* / Ed. Robert A. Meyers. John Wiley&Sons, Inc. – N.Y., 1998. – Volume 1. – P. 446–505.
- Shifrin, K.S. and Tonna G.* Inverse problems related to light scattering in the atmosphere and ocean // *Advances in Geophysics.* – New York: Academic Press, 1993. – Vol.34. – P.175–252.

TO THE 100TH ANNIVERSARY OF THE OUTSTANDING SOVIET SCIENTIST PROFESSOR K.S. SHIFRIN

O.V. Kopelevich

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: oleg@ocean.ru
Submitted 20.04.2018, accepted 26.04.2018*

The article is dedicated to the 100th anniversary of the outstanding scientist professor K.S. Shifrin, who led optical research at the Shirshov Institute of Oceanology from 1969 to 1992. He performed scientific works of world level in various fields of physics, including the electrical properties of semiconductors, the scattering of electromagnetic waves by particles, the inverse scattering problem, the transfer of radiation in the atmosphere, the kinetics of cloud formation and precipitation, the passive thermal radiolocation, ocean and atmospheric optics. His first world-famous work related to development of the theory of electrical properties of well-conducting semiconductors, was published in the *Journal of Technical Physics* in 1944. During the widespread development of semiconductor technology after the Second World War, it was found that the Shifrin's theory gave a correct explanation for many practically important effects.

A significant part of Shifrin's scientific activity was connected with theoretical studies of the scattering of electromagnetic radiation by particles. His book «Scattering of light in a turbid environment» published in 1951, was the first in the world monograph on the theory of single scattering of light by particles.

Shifrin was a founder of the method of microwave radio thermal locating (RTL). The world's first collection of articles on this issue, edited by him, was published in 1968 and soon translated into English. At present the RTL all-weather method is widely used for satellite measurements of sea surface temperature, ice cover and other parameters.

Professor Shifrin made a great contribution to development of methods for solving the inverse problem of the light scattering theory, that is the retrieval of the particle size distribution from their light scattering characteristics.

Under the Shifrin's leadership, a wide range of problems in ocean optics was studied: the theory of light absorption and scattering by sea water, determination of the quantitative and qualitative composition of the marine suspended matter from the light scattering data, and the use of optical methods in satellite oceanology. In 1983 he published a monograph «Introduction to the Ocean Optics», translated into English as «Physical Optics of Ocean Water».

Professor K.S. Shifrin was a founder of the All-Union plenums on the ocean optics; under his guidance, 51 PhD theses were defended, he was a consultant of nine Dr. Sci. theses.

From 1992 to 2003 he was a professor at the Oregon University, USA. Died in 2011; his ashes is buried in the Preobrazhenskom Cemetery in St. Petersburg.

Keywords: electrical properties of semiconductors, light scattering by particles, inverse problems of scattering theory, passive microwave radiometry, ocean and atmosphere optics

References

Selected bibliography

- Bajvel` L.P. and Lagunov A.S.* Izmerenie i kontrol` dispersnosti chasticz metodom svetorasseyaniya pod maly`mi uglami. Moskva: E`nergiya, 1977, 87 p.
- Burenkov V.I., Gashko V.A., Kopelevich O.V., and Shifrin K.S.* Sopostavlenie razlichny`x metodov opredeleniya sostava morskoy vzvesi. Gidrofizicheskie i opticheskie issledovaniya v Indijskom okeane, Moskva: Shirshov Institute of oceanology, 1974, pp. 74–82.
- Burenkov V.I., Kopelevich O.V., and Shifrin K.S.* Rasseyanie sveta krupny`mi chasticzami s pokazatelyami prelomleniya, blizkimi k edinice. *Izvestiya AN SSSR, Fizika atmosfery` i okeana*, 1975, Vol. 11, No. 8, p. 828–835.
- Gidrofizicheskie i gidroopticheskie issledovaniya v Atlanticheskom i Tikhom okeanax. Ed. by A.S. Monin, K.S. Shifrin, Moskva: Nauka, 1974, 328 p.
- Gidrofizicheskie i opticheskie issledovaniya v Indijskom okeane. Ed. by L.M. Brexovskix, K.S. Shifrin, Moskva: Nauka, 1975, 256 p.
- Gol`din Yu.A. and Kozlyaninov M.V.* Rukovodstvo po gidroopticheskim izmereniyam v more. *Trudy` IO AN SSSR*, 1961, Vol. 47.
- Gol`din Yu.A., Pelevin V.N., and Shifrin K.S.* Svetovoe pole ot impul`snogo istochnika v morskoy vode. Sb. «Optika okeana i atmosfery`». Moskva: Nauka, 1981, pp. 56–95.
- Kopelevich O.V. and Shifrin K.S.* Sovremenny`e predstavleniya ob opticheskix svojstvax morskoy vody`. Sb. «Optika okeana i atmosfery`». Moskva: Nauka, 1981, pp. 4–55.
- Kuznecov O.A. and Alejnik D.L.* Nauchno-issledovatel`skoe sudno «Dmitrij Mendeleev» i ego e`kspedicii 1969–1993. Moskva: GEOS, 2002, 372 p.
- Melent`ev V.V. Professor K.S. Shifrin* – osnovopolozhnik passivnoj SVCh-mikrovolnovoj radiometrii (radioteplolokacii). *Trudy` Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*, 2017, No. 587, pp. 204–227.
- Opredelenie srednego razmera i koncentracii vzveshenny`x chasticz po fluktuaciyam intensivnosti proshedshego sveta. *Optika i spektroskopiya*, 1975, Vol. 39, No. 2, pp. 367–372.
- Optika okeana (Man. Ed. A.S. Monin). Moskva: Nauka, 1983, Vol. 1, Fizicheskaya optika okeana, 372 p., Vol. 2, Prikladnaya optika okeana, 236 p.
- Optika okeana i atmosfery`. Materialy` VI Plenuma RG po optike okeana Komissii po problemam Mirovogo okeana AN SSSR, Baku: Izd-vo «E`lm», 1983, 400 p.
- Opticheskie metody` izucheniya okeanov i vnutrennix vodoemov (Man. Ed. G.I. Galazij and K.S. Shifrin), Novosibirsk: «Nauka», 1979, 373 p.
- Shifrin K.S., Rabinovich Yu. I., and Shhukin G. G.* Primenenie passivnoj radiometrii v meteorologii. *Trudy` GGO*, 1968, No. 222, pp. 22–48.
- Shifrin K.S.* (Man. Ed.) Perenos mikrovolnovogo izlucheniya v atmosfere. *Trudy` Glavnoj Geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*, 1968, No. 222, 168 p.
- Shifrin K.S.* Vvedenie v optiku okeana. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 278 p. (Eng. Transl. Shifrin K.S. Physical Optics of Ocean Water. New York: AIP Translation Series, 1983, 285 p.

- Shifrin K.S.* Vliyanie vozbuzhdenny`x sostoyanij atomov primesi na e`lektricheskie svojstva poluprovodnikov. *ZhTF*, 1944b, Vol. XIV, No. 1–2, pp. 43–48.
- Shifrin K.S.* Vy`chislenie nekotorigo klassa opredelenny`x integralov, sodержashhix kvadrat besselevoj funkcii pervogo poryadka. *Trudy` Vsesoyuznogo zaochnogo lesotexnicheskogo instituta*, 1956, No. 2, pp. 153–162.
- Shifrin K.S.* K teorii e`lektricheskix svojstv polumetallov. *ZhTF*, 1944v, Vol. XIV, No. 1–2, pp. 49–69.
- Shifrin K.S.* Rasseyanie sveta v mutnoj srede. Moskva-Leningad: Gostexteorizdat, 1951, 264 p.
- Shifrin K.S.* Usloviya, pri kotory`x nastupaet zametnoe vy`rozhdenie e`lektronnogo gaza v poluprovodnikax. *ZhTF*, 1944a, Vol. XIV, No. 1–2, pp. 40–42.
- Shifrin K.S.* Shtrixi moej zhizni. Kusie`l` Solomonovich Shifrin. Ucheny`j, Uchitel` i Chelovek, Xar`kov: IPP «Kontrast», 2008, pp. 171–217.
- Shifrin K.S. and Golikov V.I.* Opredelenie spektra kapel` metodom малы`x uglov. Issledovaniya oblakov, osadkov i grozovogo e`lektrichestva, Leningrad: Izd. AN SSSR, 1961, pp. 266–277.
- Shifrin K.S., Kopelevich O.V., Burenkov V.I., and Mashtakov Yu.L.* Ispol`zovanie indikatrix rasseyaniya sveta dlya issledovaniya morskoy vzvesi. V sb. «Optika okeana i atmosfery`», Leningrad: «Nauka», 1972, p. 25–44.
- Shifrin K.S. and Salganik I.N.* Tablicy po svetorasseyaniyu. Vol. V. Rasseyanie sveta modelyami morskoy vody`. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 219 p.
- Shifrin K.S., Sud`bin A.I., Bekasova O.D. et al.* Issledovanie svyazi mezhdru sodержaniem xlorofilla i yarkost`yu sveta, vy`xodyashhego iz morya. Proc. «TROPE`KS-72», Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974.