



УДК 681.78

В. В. Терентьева

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

Вклад Л. И. Чапурского в исследования спектральных характеристик объектов и фонов

Рассмотрен вклад Л. И. Чапурского в разработку и развитие приборов и методик получения спектральных характеристик различных объектов и фонов. Отмечены основные организации и их сотрудники, участвовавшие в разработке конкретных приборов, их испытаниях и последующей отладке. Особое внимание уделено деятельности Л. И. Чапурского в сфере много- и гиперспектральных исследований.

Отражательные и излучательные характеристики, самолет, научно-исследовательская лаборатория, спектрометр, база данных, многоспектральная аппаратура, гиперспектрометр, наземные исследования

Развитие спектральных исследований, в том числе много- и гиперспектральных, в разное время занимало многих ученых. Один из них – кандидат технических наук Леонид Иванович Чапурский. В этой области научных исследований им выполнен целый ряд высокорезультативных экспериментов. Л. И. Чапурский широко известен в научных кругах как специалист в области физики атмосферы и исследования отражательных и излучательных характеристик (ОИХ) различных объектов и фонов. При этом Леонид Иванович в условиях взаимодействия с научными организациями Министерства обороны и промышленности соответствующего профиля принимал непосредственное участие в летно-экспериментальной работе. Учитывая, что экспериментальные исследования в области ОИХ для решения широкого круга задач дистанционного зондирования поверхности Земли (ДЗЗ) весьма трудоемки как с технической, так и с организационной точек зрения, анализ вклада Л. И. Чапурского в это направление безусловно представляет как научный, так и практический интерес. Особенность научной деятельности Л. И. Чапурского заключается в том, что она осуществлялась в организациях, где в целом формировались как облик, так и тактико-технические требования к специализированной оптической и оптико-электронной аппаратуре авиационного и космического базирования.

Л. И. Чапурский родился 26 сентября 1934 г. в Ленинграде. В 1941 г. был эвакуирован сначала в Ярославскую область, а затем в Татарскую АССР. В начальную школу пошел в 1942 г. в деревне Мурзиха, в 30 км от города Елабуга. В 1944 г., после возвращения из эвакуации, продолжил обучение в средней школе № 45 города Ленинграда. Будучи еще школьником, с 1945 г. Л. И. Чапурский начал осваивать искусство и технику фотографии в районном дворце пионеров и школьников под руководством талантливого педагога Владимира Николаевича Тишевского. Таким образом, со школьных лет Леонид Иванович приступил к изучению азов своей будущей деятельности. В 1952 г. Л. И. Чапурский поступил на Военный гидрометеорологический факультет Советской Армии (ВГМФ СА). В 1956 г. этот факультет вошел в состав Ленинградской Краснознаменной военно-воздушной инженерной академии (ЛКВВИА) им. А. Ф. Можайского. Именно здесь Л. И. Чапурский сформировался и состоялся как талантливый военный инженер и высокопрофессиональный научный работник.

Благодаря тому, что на ВГМФ СА научная группа, в которую входили талантливые ученые и изобретатели В. А. Зайцев, А. А. Ледохович, В. Г. Морочевский, А. А. Кмит, П. Д. Щипин, Г. М. Забродский [1], занималась не только разработкой методов и авиационной аппаратуры для исследо-

вания микрофизических характеристик облачной и безоблачной атмосферы, но и подготовкой нового поколения ученых-исследователей, серьезное отношение к научной работе у Л. И. Чапурского началось еще на четвертом курсе, в 1956 г. В это время Л. И. Чапурский выполнил курсовую работу по совершенствованию одного из узлов самолетного измерителя прозрачности облаков, разработанного Г. М. Забродским [2].

Одним из существенных элементов подготовки инженеров-синоптиков тогда было изучение синоптических и аэрологических кодов, а также освоение практики нанесения данных в числовой и знаковой форме на синоптические и аэрологические карты. Поиски среди ученых факультета и других вузов Ленинграда, занимающихся решением этой проблемы, привели студента Чапурского в Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ленина (ЛЭТИ), где работал тогда Р. И. Юргенсон. Роберт Иванович согласился быть руководителем исследований Л. И. Чапурского в вопросах автоматизации процессов и способов представления метеорологической информации. Под руководством профессора Р. И. Юргенсона инженер-метеоролог лейтенант Л. И. Чапурский успешно защитил дипломный проект по окончании учебы в ЛКВВИА, а в начале 1958 г. получил свое первое авторское свидетельство на изобретение – «Автоматическая система метеоинформации».

С 1958 по 1987 гг., в течение наиболее продуктивного периода своих научных исследований, Л. И. Чапурский служил в научных лабораториях ВИКИ им. А. Ф. Можайского и прошел путь от лейтенанта до полковника. В это время им получены основные научные результаты и, в частности, разработана и создана серия авиационных спектрометров, которые использовались при выполнении научных, национальных и международных комплексных экспериментов. Кроме того, результаты его исследований реализованы в тактико-технических требованиях к бортовой аппаратуре космических систем «Метеор-1, -2, -3», «Электро», «Ресурс-О» и «Тирилен» [3].

Следует отметить, что в 1960 г. перед научным коллективом ВИКИ им. А. Ф. Можайского были поставлены задачи разработки методов и аппаратуры дистанционных исследований из космоса полей облачности, подстилающей поверхности и атмосферы в рамках государственной программы создания космической метеорологической системы «Метеор». В связи с этим,

начиная с 1960 г., Леонид Иванович вел теоретические и экспериментальные исследования спектральных оптических характеристик облаков и фонов Земли, в том числе в интересах разработки и эксплуатации космических метеорологических средств и системы контроля пусков баллистических ракет. В течение нескольких лет шли регулярные летно-экспериментальные работы с использованием самой различной оптической и оптико-электронной аппаратуры. Бессменным участником всех работ по созданию и комплектации испытываемой аппаратуры и выполнению летных экспериментов был Чапурский. Из использованной в тот период аппаратуры можно назвать практический трассовый фотометр на базе авиационного фотоаппарата «Body», прибор АФА-39 [2], спектровизор С-8, самолетный инфракрасный спектрометр (СИКС), спектрометр С-9, телевизионная аппаратура МР-600, радиометры ТВ-60 и «Ласточка», спектрометр призменный инфракрасный (СПИ) и т. д. Некоторые из этих приборов были уже серийного производства, а другие создавались либо коллегами из дружественных организаций, либо лично Л. И. Чапурским и его сослуживцами. В летно-экспериментальных работах были задействованы самолеты АН-2 и ЛИ-2, транспортный двухмоторный самолет Ан-8, самолет-лаборатория ИЛ-18, самолет Як-РВ2. Районы, в которых проводились исследования, включали территории Ленинградской и других областей Европейской части СССР, а также зону Каспийского моря и его прибрежной полосы. Отметим, что в соответствии с полученными данными были определены значения яркостных контрастов между облаками и снегом, индикатрисы яркости и поляризационные характеристики облаков в спектральном интервале от 0.32 до 0.82 мкм. Кроме того, в полетах были получены качественные материалы о спектральной яркости основных типов облачности нижнего и среднего ярусов и снежного ландшафта. Расчеты показали, что на участке спектра от 0.6 до 1.0 мкм снег ярче капельно-жидкой облачности, а на длинах волн от 1.4 до 2.5 мкм облака существенно ярче снега, при этом яркостный контраст составляет от 0.4 до 0.6. Результаты исследований 1964–65 гг. с использованием спектрометра СИКС на самолете Ил-18 позволили получить достоверные исходные данные для последующей разработки методов обнаружения и распознавания различных типов облачности по их спектральным образам, а также для разработки моделей фонов Земли как планеты.

Полученные Л. И. Чапурским и его коллегами в 1960-х гг. научные и практические результаты исследования ОИХ целей и фонов на поверхности Земли в различных диапазонах оптического спектра использовались самым широким образом, в частности, при разработке и эксплуатации спутниковой метеорологической аппаратуры, космических и авиационных систем видового наблюдения, а также космических систем землеобзора.

Результаты научно-исследовательской деятельности Л. И. Чапурского в этот период были весьма высоки и легли в основу его диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование яркостных характеристик облаков, атмосферы и подстилающей поверхности в спектральном интервале 0.3–2.5 мкм». Руководителем работы выступал Г. М. Забродский. Защита диссертации на 5 факультете ВИКА им. А. Ф. Можайского состоялась 29 апреля 1966 г. Основные научные результаты этой диссертации [4] были опубликованы в трудах ГГО.

Научная деятельность Л. И. Чапурского как ученого-экспериментатора была продолжена им и после защиты кандидатской диссертации. Так, в разработанном и созданном им двухканальном спектрометре СПИ-2 была решена задача калибровки сигналов в значениях спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ). Поскольку эксплуатируемые на Ил-18 спектрометры ГОИ обеспечивали получение данных в значениях СПЭЯ спектрального диапазона от 2 до 13 мкм, то решение этой задачи позволяло получать информацию о СПЭЯ исследуемых объектов и фонов в пределах видимого и ИК-диапазонов спектра от 0.4 до 13 мкм. Кроме того, калиброванные в значениях СПЭЯ данные СПИ-2 совместно с данными спектрометров К-2 позволяли проводить измерения не только в видимом, но и в БИК-диапазоне спектра до 2.5 мкм.

Выполнение научно-исследовательских полетов на самолете-лаборатории Ил-18 в 1966–1969 гг. было подчинено получению исходных данных для информационного обеспечения аппаратуры, устанавливаемой на низкоорбитальные и геостационарные спутники метеорологического назначения и изучения природных ресурсов Земли. В трех экспедициях – в мае, июне и декабре 1966 г. было выполнено 15 полетов. С использованием полученных

данных была скорректирована методика расчетов экспозиции при планировании съемок с помощью спутниковой телевизионной аппаратуры МР-900.

За два года (1967–1969) на самолете Ил-18 Л. И. Чапурский выполнил измерения оптических характеристик облачности, атмосферы и подстилающей поверхности в южных и северных районах Сибири и Дальнего Востока, в Охотском море и его прибрежной части, на острове Сахалин, на полуострове Камчатка, в северо-восточной части Сибири, в прибрежной части севера Сибири, на Северо-Западе и в Европейской части СССР, в Каспийском море и республиках Средней Азии, на морях и островах Северного Ледовитого океана. Были изучены спектры ландшафтов тундры и лесотундры Сибири, сельскохозяйственных угодий и степей южного Поволжья и Каспийского моря. Кроме того, был осуществлен комплексный оптический эксперимент с участием пилотируемого космического корабля «Союз-7», самолета Ил-18, самолета-лаборатории ЛИ-2 и наземной экспедиции в поселке Лехтуси Ленинградской области.

В 1969 г. Кирилл Яковлевич Кондратьев (14.06.1920–01.05.2006) – российский геофизик, академик АН СССР выступил с инициативой программы национальных комплексных энергетических экспериментов (КЭНЭКС) в условиях безоблачной и облачной атмосферы над различными подстилающими поверхностями. Состав участников – сотрудники и измерительные средства гидрометеорологической службы, промышленность и высшие учебные заведения. Ключевая роль в этих исследованиях отводилась самолету-лаборатории ГГО Ил-18. Измерения индикатрис яркости с помощью созданного при непосредственном участии Л. И. Чапурского спектрометра СПИ-2М в полетах по программе КЭНЭКС были необходимы для определения коэффициентов анизотропии поверхностей и расчетов восходящих потоков по СПЭЯ в надире, а также коэффициента спектральной яркости (КСЯ) воздушной дымки и вертикального распределения лучистых притоков. В частности, в результате реализации программы КЭНЭКС-71 были получены новые данные о лучистых потоках, притоках, вертикальной прозрачности атмосферы и яркости воздушной дымки в утренние часы при ясном небе и в период начала формирования и развития кучевой облачности.

Исследования по программе КЭНЭКС-73 выполнялись с 17 августа по 3 сентября 1973 г. над Каспийским морем. Целью экспедиции было изу-

чение лучистой энергетики атмосферы в рамках подготовки к международному атлантическому тропическому эксперименту. В авиационных исследованиях над восточной Атлантикой в 1974 г., в рамках этого эксперимента, принимали участие два советских самолета-лаборатории ИЛ-18 с модернизированными спектрометрами СПИ-2М, получившими новое название СПИ-74. С июня по август 1974 г. было выполнено три этапа исследований по программе «Атлантический эксперимент». Спектрометр СПИ-74 получил широкое распространение и дополнительно был установлен на самолете Ан-12, который активно использовался Л. И. Чапурским в различных исследованиях, связанных, например, с изучением существующих и экспериментальных образцов средств маскировки и с разработкой методики оценки эффективности наблюдения наземных объектов из космоса.

Таким образом, в период 1966–1981 гг. прибор СПИ постоянно совершенствовался: были построены его модификации СПИ-2, СПИ-2М, СПИ-74, СПИ-2В, которые эксплуатировались на самолетах-лабораториях Ил-18, Ан-12 и вертолетах Ми-8Т вплоть до 1989 г. [2]. С их помощью получен уникальный объем данных по отражательным свойствам природных и антропогенных объектов в волновом диапазоне 0.4...2.5 мкм. С помощью спектрометра СПИ-2В в 1980–1989 гг. под руководством Л. И. Чапурского осуществлялись исследования отражательных характеристик объектов и фонов и с вертолетных носителей. В результате вертолетных исследований были исследованы КСЯ объектов и фонов на территории Ленинградской области в 1980–1982 гг., проведены измерения КСЯ растительного покрова на территории Каховского опытного сельскохозяйственного полигона в июне–июле 1981 г., осуществлены наземные исследования дневной изменчивости спектральной освещенности прямой и рассеянной солнечной радиации.

Весной 1987 г. Леонид Иванович Чапурский был приглашен в Научно-исследовательский центр 50-го ЦНИИ МО СССР. Переход в новую организацию практически совпал у него с увольнением из ВС СССР. Отличительной особенностью результатов его экспериментальных исследований оптических характеристик объектов и фонов, полученных в академии им. А. Ф. Можайского с помощью разработанной им аппаратуры СПИ-2, является практически полный перечень наименований поверхностей, относящихся к различным классам, подклассам, типам и подтипам с точки зрения особенностей их физико-химического со-

става и спектральной отражательной способности.

Результаты многолетних исследований, выполненных Л. И. Чапурским на земле и в воздухе, легли в основу его двухтомного труда «Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400–2500 нм» и «Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400...2500 нм. Коэффициенты спектральной яркости военных объектов». Книги содержат ОИХ объектов и фонов на поверхности Земли, которыми до сих пор пользуются разработчики и эксплуатационники авиационной и космической аппаратуры для мониторинга Земли. Том I включает открытые общенаучные сведения об отражательных свойствах природных объектов в диапазоне 400...2500 нм, а том II – сведения, относящиеся к КСЯ элементов военных объектов, средств маскировки и фонов. Эти книги, в которых отражен основной научный вклад Л. И. Чапурского, по-прежнему пользуются большим спросом, что несомненно доказывает успешность и высокую эффективность его научной деятельности.

После увольнения в запас Чапурский остался в ЦНИИ в должности начальника лаборатории, не изменив профиля своей научной деятельности. Леонид Иванович в этот период продолжает исследования ОИХ поверхности Земли в интересах разработки и эксплуатации авиационно-космических систем землеобзора. По его инициативе к научным исследованиям отдела в качестве исполнителей был привлечен целый ряд организаций военно-промышленного комплекса России. За 10 лет сотрудничества с этими организациями были выполнены исследования сезонно-суточной изменчивости излучательных характеристик в дальнем ИК-диапазоне для промышленных объектов. Л. И. Чапурским разработана специальная методика наземных измерений, позволившая выполнять калибровку данных авиационной съемки в инфракрасном и видимом диапазонах.

Начиная с 2000-х гг., кроме изучения ОИХ объектов и фонов Л. И. Чапурский приступает к исследованиям много- и гиперспектральных данных, а также уделяет большое внимание созданию базы данных (БД) спектральных признаков объектов и фонов. В 2010–2014 гг. Чапурский исследует применение БД спектральных яркостей. Леонид Иванович выделяет основные принципы наполнения БД по КСЯ элементов ландшафта, созданной для поддержки экспонетрических расчетов при планировании космической видеоспектральной съемки. Вместе с сотрудниками академии им. А. Ф. Можайского разработано программное обеспече-

ние с использованием ГИС-технологий, устанавливающее взаимосвязь БД с картой ландшафтной модели и позволяющее определять КСЯ элементов сцены с учетом времени, места съемки и углов визирования. Совместно с представителями ОАО «КБ „ЛУЧ“» он изучает использование БД КСЯ высокого пространственного разрешения для их применения в имитационной модели, а также для оценки возможностей космического гиперспектрометра «Ресурс-П». Несмотря на то, что Леониду Ивановичу Чапурскому в 2014 г. исполнилось 80 лет, он по-прежнему ведет интенсивную научную деятельность.

В заключение отметим, что Леонид Иванович является автором более 300 научных работ, в том числе двух монографий, а также около 90 статей в ведомственных, общероссийских и международных изданиях. Он имеет 4 авторских свидетельства на изобретения. За многолетний плодотворный труд он награжден орденом «Знак Почета» (1984) и 13 медалями [3]. Научный путь Л. И. Чапурского впечатляет и не просто заслуживает признания и уважения, но всегда будет примером для новых поколений молодежи, выбравшей в качестве основной научно-экспериментальную деятельность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метеорологический факультет. Исторический очерк / С. С. Суворов, И. Д. Канарский, В. А. Ременсон, В. И. Тимофеев, В. С. Фадеев. СПб.: Типогр. ВКА им. А. Ф. Можайского, 2005.

2. Лаборатория геофизических исследований. Исторический очерк / В. А. Шемелов, И. Д. Канарский, В. И. Лесин, В. Н. Подгайский, С. М. Гальперин, Л. И. Чапурский. СПб.: Типогр. ВКА им. А. Ф. Можайского, 2006.

3. Очерк истории Научно-исследовательского центра 4 ЦНИИ МО РФ (к 20-летию создания) / Б. М. Батько,

В. И. Буреца, В. А. Грилихеса, В. И. Евсеева, В. Ю. Ефименко, И. М. Житника, А. Б. Зайцева, Ю. С. Зиновьева, А. Л. Зуева и др. СПб.: МОП НТЦ им. Л. Т. Тучкова, 2007.

4. Чапурский Л. И. Исследование яркостных характеристик облаков, атмосферы и подстилающей поверхности в спектральном интервале 0.3–2.5 мкм: дис. ... канд. техн. наук / ЛВИКА им. А. Ф. Можайского. Л., 1966.

V. V. Terentyeva

A. F. Mozhaisky Military Space Academy

THE CONTRIBUTION OF L. CHAPURSKI IN THE STUDY OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF OBJECTS AND BACKGROUNDS

The contribution of L. I. Chapurski in the design and development of devices and methods of obtaining the spectral characteristics of different objects and backgrounds was considered. The main organizations and their employees, directly involved in the development of specific devices, their trials and subsequent debugging, were marked. Special attention was paid to such direction of scientific activity of Chapurski as multi- and hyperspectral research.

Reflective and emissive characteristics, aeroplane, scientific research laboratory, spectrometer, database, multi-spectral apparatus, hyperspectrometer, studies on the ground