

УДК 551.546

© В. В. Мелентьев

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
vv.melentyev@mail.ru

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА СВЧ-РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*К 100-летию со дня рождения профессора
Кусиэля Соломоновича Шифрина –
основоположника пассивной СВЧ-радиометрии
(радиотеплолокации)*

Статья поступила в редакцию 07.12.2018, после доработки 01.02.2019

Многоканальная СВЧ-радиометрия является в настоящее время неременным измерительным датчиком, размещаемым практически на всех природно-ресурсных и геоэкологических спутниках Земли. В работе рассказывается история создания методов и средств аэрокосмической дистанционной диагностики системы «Земля–атмосфера», теоретические основы которой были сформулированы в начале 1960-х гг. ведущим научным сотрудником Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова профессором Кусиэлем Соломоновичем Шифриным. Выполнен обзор развития и совершенствования методов СВЧ-радиометрии от момента создания до новейших достижений в области аэрокосмической дистанционной диагностики опасных и экологически значимых природных процессов и явлений. Подробно описано создание технологий спектрально-поляризационного СВЧ-картирования волнения на море и скорости приводного ветра, а также загрязнения водной поверхности, картирования сплоченности морского и озерного льда.

Ключевые слова: СВЧ-радиометрия, дистанционная диагностика, излучательная способность, ветровое волнение на море, скорость приводного ветра, сплоченность льда, опасные и экологически значимые природные явления.

V. V. Melentyev

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St.-Petersburg, Russia

CREATION AND DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF MICROWAVE RADIOMETRY FOR HYDROMETEOROLOGICAL AND OCEANOLOGICAL INVESTIGATIONS

Received 07.12.2018, in final form 01.02.2019

Multy-spectral passive microwave sensors are placed at present practically in each satellite that realizes the geoeological investigations of the Earth. The paper describes the history of creation of the remote sensing methodology in microwaves from the beginning when the theoretical justification of the possibility revealing of the parameters of the system “Earth–atmosphere” was done in 1960-s by professor Kusiél Schifrin – the leading scientist of the Voeikov Main Geophysical Observatory till nova days when different dangerous and ecologically significant parameters of the land and seas could be retrieved by using satellite microwave survey.

Keywords: passive microwave, remote sensing, emissivity, wind swell, ice concentration, soil moisture, dangerous and ecologically significant natural phenomena.

Ссылка для цитирования: *Мелентьев В.В.* Создание и развитие метода СВЧ-радиометрии для гидрометеорологических и океанографических исследований // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12, № 2. С. 102–106.

For citation: *Melentyev V.V.* Creation and development of the methodology of microwave radiometry for hydrometeorological and oceanological investigations. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2019, 12, 2, 102–106.

DOI: 10.7868/S2073667319020138

СВЧ-радиометрия от создания до новейших достижений в области аэрокосмической дистанционной диагностики различных природных процессов и явлений. В работе обсуждаются пути развития и совершенствования технологий аэрокосмической дистанционной диагностики морской поверхности в интересах рыбной отрасли, и, в частности, авиаучета морских млекопитающих за счет использования данных СВЧ-зондирования системы «Земля–атмосфера». В основе этого метода лежит идея использования собственного радиотеплового излучения различных природных сред, впервые в мире сформулированная и теоретически обоснованная профессором Шифриным К.С. [1]

Кратко изложим, как происходило развитие и совершенствование предложенного профессором Шифриным метода и его внедрение в практику гидрометеорологических и океанографических исследований. На начальном этапе из-за существенной изменчивости коэффициентов СВЧ-излучения различных типов подстилающей поверхности, усилия сотрудников отдела радиационных исследований ГГО, трудившихся под руководством К.С. Шифрина, были направлены на создание методов восстановления параметров атмосферы при ее СВЧ-зондировании с поверхности Земли. Отметим прежде всего успех исследований кандидата технических наук Ю.И. Рабиновича и профессора Г.Г. Щукина, разработавших метод восстановления влаго- и водосодержания атмосферы, а также интенсивности жидких осадков по данным наземных СВЧ-радиометрических измерений [2, 3]. В эти же годы аспирант Шифрина М.М. Черняк, создавший в Высокогорном геофизическом институте в Нальчике собственную лабораторию дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), успешно работал над совершенствованием технологий контроля состояния градоопасной облачности за счет комплексного использования данных наземных СВЧ-радиометрических измерений и данных метеорологических радиолокаторов (МРЛ), составлявших основу противорадовой службы СССР [4]. Важность для народного хозяйства страны работ по созданию и практическому внедрению методов СВЧ-диагностики опасных природных явлений, разрабатывавшихся учениками и последователями профессора Шифрина, несомненна.

Тогда же, в конце 1960-х – начале 1970-х гг., по инициативе Шифрина в ГГО были начаты исследования по созданию метода спутниковой СВЧ диагностики водной поверхности. Именно тогда возникла идея создания метода спутникового СВЧ-картирования характеристик волнения на море за счет использования радиоконтраста пенного покрова, возникающего на морской поверхности при ветровом волнении. Эти пионерские исследования, получившие мировое признание, проводились в ГГО автором данной статьи и сотрудником Гидрометцентра СССР кандидатом физико-математических наук Л.М. Марцинкевичем [5–7].

В последующие годы метод СВЧ-радиометрии, предложенный Шифриным, был использован для аэрокосмического картирования влажности почвы, а также характеристик состояния морского и речного льда [8]. И хотя при этом выяснилось, что СВЧ-съемка не позволяет определять тип (возраст) льда, но зато она дает прекрасные результаты для дистанционной диагностики сплоченности и увлажненности морского льда. Именно эти возможности СВЧ-радиометрии и были использованы нами для решения задачи крайне важной для гидробиологии, выглядевшей экзотически для радиофизиков, – задачи по развитию и совершенствованию технологии экомониторинга ценных и нагульных миграций ледо-ассоциированных морских животных (моржей, белух, тюленей, белого медведя) [9].

Настоящая статья посвящена памяти профессора К.С. Шифрина, и поэтому мы надеемся, что годы тесного научного взаимодействия и душевного с ним общения дают нам право поделиться воспоминаниями о встречах с этим удивительным, энциклопедически образованным человеком, широта научного мировоззрения которого позволила ему – физику-оптику – предложить новое направление в радиофизической науке.

Профессор К.С. Шифрин и его отношение к людям, к опыту предшествующих поколений, к юбилеям. По опыту долгого и тесного взаимодействия с Кусиэлем Соломоновичем, я четко себе усвоил мнение КаЭса, как мы любовно его называли, что написание воспоминаний об ученых и творческих личностях, об их новаторстве и научных достижениях – дело не менее важное, чем публикация добротной научной статьи.

При этом, как КаЭс считал, особое внимание следует уделять выдающимся ученым современникам, но не забывать при этом и о научных достижениях предшествующих поколений. Следует также помнить об окружении великих, чья деятельность, на первый взгляд, не столь значительна. Но это лишь на первый взгляд: успешность теоретических расчетных построений,

а тем более аэрокосмических экспериментов, складывается из соединенного труда множества людей. Успех общего научного предприятия зависит от добросовестности и ответственности всех и каждого, от личного их вклада. Таково было отношение КаЭса к людям, и этой установке мы постараемся следовать в наших записках.

Помню, как в бытность мою аспирантом, Кусиэль Соломонович в особой деликатной своей манере советовал нам внимательно изучить сборник воспоминаний о Якове Ильиче Френкеле. Была там и прекрасная статья самого Шифрина о временах его собственной молодости и о творческой атмосфере, царившей в Ленинградском физико-техническом институте в 1940-е гг., когда он был там аспирантом.

Недавно отыскал в Интернете эту книгу и заново перечитал заметки КаЭса о его учителе. Отнюдь не устарела статья, и по-прежнему актуальным представляется тогдашнее его видение перспективных направлений оптических исследований. Посмотрите ее – многие идеи автора не реализованы по настоящее время.

По-видимому, тем же своеобразием отношения КаЭса к опыту предшественников объясняется и его интерес к замечательной книге Лауры Ферми «Атомы у нас дома» (рассказывающей о великом Энрико Ферми), которой в 1960-е гг. в Советском Союзе зачитывались все интеллигентные люди, имевшие отношение к науке.

Прошло полвека, но не могу не рассказать и о 50-летнем юбилее профессора Шифрина, который не просто отмечался, а праздновался в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО), где он тогда трудился.

Этот юбилей стал праздником не только для Кусиэля Соломоновича. Зал заседаний Ученого совета ГГО был забит полностью – яблоку некуда упасть. Свои и приехавшие со всех концов огромного тогда Советского Союза люди стояли в проходах между рядами кресел, сидели на полу. Даже в тесном «предбаннике» Малого зала, увешанного портретами «отцов основателей» российской гидрометеорологической науки – Купфера, Вильда, Рыкачева, Воейкова, Оболенского, Молчанова, Фридмана – научных предшественников высокочтимого юбиляра, толпились те, кому не удалось «вписаться» в тесные его пределы.

Впрочем, и в самом зале в тот день собрался цвет тогдашней науки, многие видные и уважаемые мэтры почтили своим присутствием это торжество.

Без преувеличения могу сказать, что Обсерватория в те годы находилась на вершине всей своей научной активности советского периода. Возглавлял ее академик М.И. Будыко – выдающийся ученый-климатолог, первым указавший на возможность глобальных изменений климата за счет эффекта углекислого газа и малых парниковых газов.

Работали в ГГО в то время выдающиеся специалисты в области прогностической динамической метеорологии профессора М.И. Юдин и Л.С. Гандин. В отделе радиационных исследований трудился академик К.Я. Кондратьев. Полярные исследования возглавлял профессор Н.П. Русин, отделом загрязнения руководил профессор М.Е. Берлянд. В отделе климатологии собрались известные ученые: профессор Е.С. Рубинштейн, профессор О.А. Дроздов, Т.В. Покровская, В.М. Михель, Н.А. Кобышева, Е.Н. Романова, В.Н. Адаменко.

Разработкой актинометрических и озонметрических приборов, научно-методическим руководством метеорологической сетью, созданием методов и средств измерений прозрачности атмосферы, исследованиями физики пограничного слоя и электрических процессов в атмосфере руководили общепризнанные авторитеты: профессор И.М. Имянитов («Иду на грозу» Гранина – это о его работах!), Ю.Д. Янишеский, профессор Г.И. Гушин, М.С. Стернзат, И.Н. Нечаев, Д.Л. Лайхтман, А.С. Дубов, А.М. Броунштейн, профессор Е.М. Сальман, Е.А. Полякова, Т.А. Огнева, В.А. Гаврилов, В.Б. Красильщиков, О.Д. Бартеньева, Е.П. Барашкова, Н.Е. Тер-Маркарянц и многие другие известные советские ученые и специалисты. О каждом из них и их вкладе в отечественную науку можно сказать немало добрых слов.

Чтобы довершить описание картины научного благополучия и высочайшего уровня тогдашних теоретических и экспериментальных исследований Обсерватории, упомяну и тот факт, что и в библиотеке ГГО, насчитывавшей более миллиона томов, трудился в те годы исключительно высококвалифицированный штат. Возглавляла его уникальная по знанию библиотечного фонда ГГО Елизавета Луарсабовна Андроникова, своей разносторонней культурой и образованностью не уступавшая своему знаменитому брату – писателю-чтецу Ираклию Андроникову.

Присутствовали на юбилее Шифрина во множестве и мы – молодые сотрудники ГГО, выпускники Ленинградских гуманитарных и технических ВУЗов «образца 1960-х гг.». Тогда было принято за правило приглашать молодую «поросль» отечественной гидрометеорологической науки на заседания Ученого совета. А уж пропустить мероприятие такого масштаба, как юбилей КаЭса, молодежь обсерватории, конечно же, не могла.

Все собравшиеся тогда в Малом зале ГГО с нетерпением ждали и предвосхищали успех доклада профессора К. С. Шифрина, подводившего итоги своей деятельности на тот период. И, в самом деле, выступление получилось на славу! Чего стоило только его признание о том, что созданная им теория светорассеяния в мутных средах «произросла» из размышлений над рассказом Антона Павловича Чехова «Черный монах»! Поистине игра ума разносторонне образованного высокоталантливого человека, когда новое научное знание возникает из размышлений о том, как герои этой замечательной чеховской новеллы разжигают костры, укрывают сад дымовой завесой, чтобы уберечь фруктовые деревья от утренних заморозков. Поистине наглядный пример функционирования творческой лаборатории большого ученого!

Были и другие научные выступления. Помню интересные доклады и сообщения физиков-оптиков, представлявших дружественные юбиляру московскую, белорусскую и эстонскую школы. Помню и большое число приветствий и поздравлений от иностранных ученых. А потом были стихи – «оптические» и «радиофизические» поэтические признания в любви и уважении. Они были остроумными, теплыми и глубоко прочувствованными.

Была и «проза» официальной части данного «мероприятия»: телеграммы, слова официальных обращений к юбиляру от различных организаций, принадлежащих самым разнообразным министерствам и ведомствам, с которыми Кусиэлю Соломоновичу довелось успешно сотрудничать. Но и официальные оценки деятельности К. С. Шифрина не выглядели натужными, неубедительными, наскоро придуманными. Воздав должное заслугам юбиляра, они украсили общий праздник.

При всем том, хочу еще раз подчеркнуть серьезность отношения Кусиэля Соломоновича к своему юбилею и тому, что с ним было связано. Многие, как известно, – и ученые, и неученые люди – стараются избегать подобных «мероприятий». Из скромности или деликатности боятся они цветов, долгих речей, а тем более, всяческой торжественной «говорильни», расшаркиваний в свой адрес и т.п.

Кусиэль Соломонович другой – для него этот юбилей был своеобразным вариантом всесоюзного «оптико-актинометрического съезда», лишним хорошим поводом для плодотворных дискуссий и обсуждений с коллегами.

Не помню, был ли банкет, или какие-то особые возлияния. Помню лишь, что всем было хорошо и весело от сознания причастности к жизни большого ученого, умного одухотворенного человека. Все прошло достойно и, как говорится, на высоте. А огромную кипу красиво украшенных поздравительных адресов, содержавших множество хороших слов в адрес КаЭса, мы потом аккуратно собрали и на бело-сине-голубеньком его «Москвиче-стиляге», редко у кого тогда в Ленинграде имевшемся, благополучно доставили на квартиру семейства Шифриных на Старо-Невском проспекте.

Благодарности. Хочу поклониться светлой памяти моего учителя профессора Кусиэля Соломоновича Шифрина, а также вспомнить поименно сотрудников отдела радиационных исследований ГГО, которые под его руководством принимали активное участие в проведении комплексных мультиспектральных исследований радиотеплового СВЧ-излучения системы «Земля–атмосфера»: к.ф.-м.н. Ю.И. Рабиновича, проф. Г.Г. Щукина, начальника летной экспедиции ГГО Б.А. Дерюгина, ст. инженера А.И. Новоселова, ст. инженера А.И. Вашукова, ст. инженера А.К. Михневича, инженера В.А. Козлова, ст. техника О.Л. Мокрицкого. Хочу назвать и ведущих сотрудников ряда сторонних организаций, которые по инициативе профессора К.С. Шифрина, были вовлечены в решение проблем СВЧ-радиометрии в рамках НИР Госкомгидромета «Гроза»: проф. О.А. Дроздова и д.г.н. Ж.Д. Алибегову из Ленинградского университета, к.г.н. Е.А. Домбковскую, к.г.н. В.А. Озеркину и к.ф.-м.н. Л.М. Марцинкевич – из Гидрометцентра СССР, проф. Л.Т. Тучкова – из академии им. Можайского, проф. Башаринова, проф. А.М. Шутко, проф. Б.Г. Кутузу – из ИРЭ АН СССР, а также проф. Г.А. Лебедева и к.ф.-м.н. Г.П. Хохлова – сотрудников отдела физики морского льда, возглавлявшегося чл.-корр. АН СССР В.В. Богородским. Хочу вспомнить и разработчиков четырехканального СВЧ-измерительного комплекса, установленного на борту самолета-лаборатории ГГО Ил-18 и на ИСЗ «Космос-243», впервые в мире оснащенном

СВЧ-аппаратурой, д.т.н. А.Т. Егорова, чл.-корр. АН СССР Л.Д. Бахраха, к.т.н. В.Г. Волкова и к.т.н. В.А. Андрианова.

В связи с юбилеем проф. К.С. Шифрина, хочу вспомнить и о существенном вкладе в совершенствование методов СВЧ-диагностики системы «Земля–атмосфера» заведующего лаборатории ОКБ МЭИ инженера В.А. Назаркина, разработчика многоканального СВЧ-комплекса «Омега», запущенного на околоземную орбиту на борту советской космической станции «Алмаз», и проходившем комплексные натурные испытания на борту Ил-18 ГГО и НИС «Академик Ширшов» [5, 10, 11].

Литература

1. Перенос микроволнового излучения в атмосфер. Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, под ред. К.С. Шифрина, Вып. 222. 1968, 168 с.
2. Шифрин К.С., Рабинович Ю.И., Шукин Г.Г. Применение радиотеплолокации в метеорологии // Метеорология и гидрология. 1969. № 6. С. 10–18.
3. Шифрин К.С. Некоторые результаты измерений микроволнового излучения в свободной атмосфере // Метеорология и гидрология. 1969. № 7. С. 17–25.
4. Бреус Ю.П., Мелентьев В.В., Черняк М.М., Рабинович Ю.И. Изменение радиотеплового излучения конвективных облаков при внесении кристаллизирующего реагента // Труды V Всесоюз. Совещания по радиометеорологии. М.: Гидрометеиздат, 1981, с. 247–250.
5. Кондратьев К.Я., Мелентьев В.В., Назаркин В.А. Космическая дистанционная индикация акваторий и водосборов (микроволновые методы). Л.: Гидрометеиздат, 1992. 248 с.
6. Шифрин К.С., Рабинович Ю.И., Мелентьев В.В. Излучательная способность пресной воды в сантиметровом диапазоне. Известия АН СССР // Физика атмосферы и океана. 1971. Т. 7. С. 998–1001.
7. Kondratyev K. Ya., Johannessen O.M., Melentyev V.V. High Latitude Climate and Remote Sensing. John Wiley-Praxis Series in Remote Sensing. PRAXIS Publishing Ltd. Chichester, West Sussex, England. 1996. Chichester, UK. 200 p.
8. Рабинович Ю.И., Шукин Г.Г., Новоселов А.И. Применение радиотеплолокации в ледовой разведке // Труды ГГО. 1970. Вып. 235. С. 67–71.
9. Мелентьев В.В., Черноок В.И., Йоханнесен О.М. Анализ динамики ледяного покрова Арктических морей для изучения миграции гренландского тюленя по данным спутниковых наблюдений для Белого моря // Исследование Земли из космоса. 1998. 5. С. 76–93.
10. Кондратьев К.Я., Мелентьев В.В. Монография «Космическая дистанционная индикация облаков и водосодержания атмосферы». Л.: Гидрометеиздат, 1987. 263 с.
11. Кондратьев К.Я., Мелентьев В.В., Богомолов А.Ф., Назаркин В.А., Еремеев В.И. Радиометр-поляриметр для измерения температуры поверхности океана на оптимальной длине волны // Тр. XVII Всесоюз. конф. «Радиоастрономическая аппаратура». Ереван, 10–12 октября: Изд-во ЕГУ. 1985, с. 284.