

В.П. Буда́к, С.В. Коркин

Обзор работы 5-го Международного симпозиума по дистанционному зондированию Азиатско-Тихоокеанского региона

Московский энергетический институт (технический университет)

Поступила в редакцию 17.01.2007 г.

5-й Международный симпозиум по дистанционному зондированию Азиатско-Тихоокеанского региона (*The 5-th Asia-Pacific Remote Sensing Symposium* – далее APRSS), организованный международным обществом инженеров-оптиков *The International Society for Optical Engineering SPIE*, состоялся в г. Панаджи – столице индийского штата Гоа (*Panaji, Goa, India*). Его основной целью явилась совместная работа ученых и инженеров разных стран по выявлению характерных для данного региона проблем и определению путей их решения. Основная проблема состоит в том, что влияние человека на окружающую среду возрастает быстрыми темпами, принимая нередко катастрофический характер. При этом более 30% населения Земли сосредоточено именно в странах Тихоокеанского бассейна. Кроме того, сферу влияния в регионе делят индустриально развитые (США, Япония, Южная Корея) и активно развивающиеся (Китай, Индия) страны. Не последнюю роль на Тихом океане играет и Россия. Все это определило выбранную географическую область интересов Симпозиума.

Основными проблемными направлениями работы APRSS были названы: 1) глобальные изменения климата под влиянием деятельности людей; 2) мониторинг окружающей среды с целью предсказания стихийных бедствий природного происхождения; 3) глобальный мониторинг природных ресурсов с целью повышения эффективности их использования; 4) разработка и внедрение принципиально новых (либо усовершенствование имеющихся) технологий дистанционного зондирования (ДЗ) Земли. Последний пункт, служащий интересам первых трех, включал в себя вопросы не только модернизации приборной базы, но и разработки математических моделей, совершенно необходимых для корректной интерпретации результатов измерений.

Указанные проблемные направления раскрывались в девяти секциях Симпозиума (*conferences* – в терминологии APRSS): *a*) ДЗ атмосферы и облаков (*Remote Sensing of the Atmosphere and Clouds*); *b*) ДЗ Мирового океана (*Remote Sensing*

of the Marine Environment); *c*) ДЗ и моделирование атмосферы, океана и их взаимодействия (*Remote Sensing and Modeling of the Atmosphere, Oceans, and Interactions*); *d*) Лидарное ДЗ окружающей среды (*Lidar Remote Sensing for Environmental Monitoring VII*); *e*) Технология, методы и применения многоспектрального зондирования (*Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques, and Applications*); *f*) GEOSS и программы будущего (*GEOSS and Next-Generation Sensors and Missions*, расшифровка термина GEOSS приведена ниже); *g*) ДЗ атмосферы и других частей окружающей среды в радиодиапазоне (*Microwave Remote Sensing of the Atmosphere and Environment V*); *h*) Использование данных ДЗ в сельском хозяйстве и гидрологии (*Agriculture and Hydrology Applications of Remote Sensing*); *i*) Методы предсказания стихийных бедствий (*Disaster Forewarning Diagnostic Methods and Management*).

В соответствии с областью научных интересов авторов обзора основными рабочими секциями для них стали секции *a–d*. При этом в секциях *a* и *b* авторами была представлена работа, посвященная точному аналитическому решению векторного уравнения переноса излучения для плоскопараллельной среды с произвольным законом рассеяния и освещающей плоским мононаправленным источником излучения [1].

Основное внимание на Симпозиуме было уделено спутниковому ДЗ, что связано с необходимостью сбора и практически одновременного анализа данных с обширных территорий. «Спутниковая группировка» Симпозиума насчитывала порядка 30 космических программ, функционирующих как в оптическом, так и в радиодиапазоне. Основная информационная нагрузка (около 20% представленных на Симпозиуме работ, использующих спутниковые данные) пришлось на спутниковую систему MODIS.

Кроме мощного источника информации, система MODIS послужила прототипом для создания китайскими специалистами системы CMODIS

(*Chinese MODIS*). Информационная нагрузка (для систем, готовящихся к запуску, приводится предполагаемая информационная нагрузка) на другие спутниковые системы распределилась следующим образом: NOAA — 9%; AVHRR, INSAT, TRMM, GOES — по 5%; Aqua, Resourcesat, Radarsat — по 4%; POLDER, TOMS — по 0,5%; EOS, OMI, GOME, Aura, Oceansat, Terra, Calipso, SeaWifs, EOS, CMODIS и другие спутниковые системы — по 0,5–3%. Указанные проценты информационной нагрузки соответствуют частоте цитирования соответствующей спутниковой системы в программе конференции.

Далее отметим основные тенденции в развитии приборной и теоретической базы дистанционного зондирования, которые удалось проследить по представленным на Симпозиуме докладам. Количество продемонстрированных спутниковых программ превзошло количество исследований, основанных на использовании данных мобильных лидаров и лидарных станций (секция *d*). Разумеется, никто не говорил о потере актуальности разработки наземных, авиационных и судовых лидаров. Указанное превосходство свидетельствует лишь о возникновении, причем в большом количестве, разнообразных задач глобального мониторинга окружающей среды.

Отчетливо наблюдается тенденция объединения отдельных спутниковых систем во взаимосвязанные спутниковые комплексы. Основной чертой таких спутниковых «поездов» являются многофункциональность, возможность производить ДЗ практически во всем диапазоне электромагнитных волн. Типичные примеры — практически законченный комплекс спутниковых систем A-Train, а также GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*) — комплекс из систем глобального мониторинга. Десятилетний план создания последнего был принят в июле 2003 г. на первом саммите по земному мониторингу (*The First Earth Observation Summit*). Отдельно следует отметить, что реализация подобных планов требует сосредоточения усилий всего мирового сообщества. Теме GEOSS была посвящена отдельная секция.

Наряду с многофункциональностью «спутниковых поездов» разработчики, как и прежде, стараются увеличить информационную нагрузку каждого отдельного спутника. Так, например, данные оптического ДЗ, получаемые на основе анализа пространственного распределения яркости излучения, дополняются данными, извлекаемыми из состояния поляризации рассеянного атмосферой или океаном света. Отдельно стоит отметить программу *Glory mission* (NASA), предполагаемую к запуску в 2008 г. [2]. Целью данной программы является исследование влияния атмосферного аэрозоля на климат и радиационный баланс экосистемы «атмосфера — земная поверхность». Сбор данных ведется двумя поляриметрами, являющимися основным инструментом программы. К анализу привлекаются три первые компоненты вектора Стокса. При этом было отмечено, что регистрация слабой эллиптич-

ности излучения, также несущей определенную информацию, технически достаточно трудоемка и на сегодняшний день не целесообразна.

Запуск нового спутника, несущего на своем борту поляриметры, дополнительно к уже функционирующим системам Polder, Parasol, свидетельствует о возрастающей необходимости учета поляризации излучения при дистанционном зондировании. И лишь проблемы, связанные с интерпретацией поляриметрических измерений и, в меньшей степени, с конструированием поляриметров различных типов, пригодных для использования на космических аппаратах, являются причиной того, что количество поляриметрических спутниковых программ невелико по сравнению с их общим числом (Polder, Parasol, Glory mission, Calipso). Этим же объясняется и сравнительно небольшое количество представленных на APRSS работ, посвященных теории поляризационных эффектов, их детектированию, например [1–7].

Среди проблем построения поляриметров можно указать две: повышение чувствительности прибора для надежного выявления тонких поляризационных эффектов и использование тонкопленочных технологий вместо механических барабанов с анализаторами [8]. Среди проблем теоретического плана — необходимость разработки математической модели переноса поляризованного излучения на основе решения краевой задачи для векторного уравнения переноса излучения с учетом многих кратностей рассеяния. На сегодняшний день основным инструментом анализа состояния поляризации излучения и решения обратных задач с учетом многократного рассеяния является метод Монте-Карло. Он же активно применяется при решении другого класса актуальных задач — перенос излучения с учетом трехмерия реальных сред [9].

Кратко отметим основные моменты, обсуждавшиеся в названных выше секциях *a–d*. По прежнему актуальными остаются «классические» задачи оптико-электронных систем (ОЭС) ДЗ: мониторинг климата и климатообразующих факторов (например, облачности и ветра доплеровскими лидарами [10]), определение концентрации самых разнообразных веществ в атмосфере (газовые компоненты, аэрозоль, водяной пар) и океане (хлорофилл, фитопланктон), разработка и эксплуатация многоугловых радиометрических систем [4], в том числе многоугловых поляриметров [4, 11]. Все более широкое применение в ДЗ находят рамановские лидары [12] и лидары с перестраиваемой длиной волны [13].

При зондировании атмосферной облачности предметом отдельных исследований является микроразличная структура облачности больших высот — перистых облаков, оказывающих существенное влияние на радиационный баланс атмосферы Земли [14]. Источником информации об океане является его цвет, что и привлекает к его анализу большое количество ученых и инженеров (секция *b*). Однако, по-видимому, цвет моря окажется последним источником оптической информации

перед широким переходом к учету поляризации. Много внимания уделялось также вопросам картографирования местности – системам Cartosat-1, Landsat-7, Oceansat-2, отмечалась совершенная необходимость непрерывности глобального мониторинга климата.

Так как целью подобных симпозиумов является не столько решение известных, сколько постановка новых задач, определение векторов деятельности научного и инженерного мирового сообщества, то в заключение отметим ряд перспективных направлений исследований, обсуждавшихся на конференции.

Первое из них – разработка достаточно полных математических моделей интерпретации данных зондирования. Данные, получаемые современными ОЭС и радиотехническими системами зондирования земной и морской поверхностей, атмосферы и других природных образований, не всегда достаточно полно можно интерпретировать на основе имеющихся моделей, что существенно снижает преимущества, достигаемые за счет применяемых при конструировании ОЭС ДЗ высоких технологий. В первую очередь современные математические модели должны учитывать состояние поляризации рассеянного излучения и трехмерность реальных сред.

Второе – проблемы зондирования водных ресурсов (океана, прибрежных вод) начинают преобладать над проблемами зондирования атмосферы как таковой. Этот факт легко объясняется быстрым истощением природных ресурсов суши – источником продовольствия и полезных ископаемых становится Мировой океан. Лишь тот факт, что атмосфера является неотъемлемым промежуточным звеном при зондировании подстилающей поверхности из космоса, наиболее сильно обуславливает неугасяющий интерес к преобразованию электромагнитного излучения различных диапазонов спектра в газовой оболочке Земли. Этот вывод, однако, сделан на основании работы секции по зондированию моря (b), показавшейся авторам наиболее интересной.

И наконец, нерешенным остается вопрос о степени доступности спутниковых данных: должна ли эта информация распространяться без ограничений и обеспечиваться соответствующей поддержкой – прикрепленной к данным необходимой и достаточной информацией о том, какие данные собственно представлены и как они получены? Что важнее: исчерпывающее использование спутниковых данных или коммерческая выгода, получаемая от спутниковых программ? Есть ли возможность определить круг информации, не представляющей коммерческой тайны (например, яркость и состояние поляризации уходящего от атмосферы излучения, оптическая толщина в заданном спектральном диапазоне в районах, свободных от промышленных центров разных стран) и широко доступной ученым и инженерам, желающим опробовать свои математические модели путем сравнения с реальными измерениями, а не другими, естественным образом

ограниченными по заложенным возможностям, математическими моделями? Не найдя должного внимания в работе APRSS, подобные вопросы, возможно, станут ключевыми в работе последующих симпозиумов.

1. *Korkin S.V., Budak V.P.* The vectorial radiative transfer equation problem in the small angle modification of the spherical harmonics method with the determination of the solution smooth part // Proc. SPIE. 2006. V. 6408. 64081I.
2. *Chowdhary J., Cairns B., Mishchenko M.I., Travis L.D.* Using multi-angle multispectral photo-polarimetry of the NASA Glory mission to constrain optical properties of aerosols and clouds: results from field experiments // Proc. SPIE. 2005. V. 5978. 59780G.
3. *Frouin R.J., Deschamps P.-Y., Rothschild R.E., Stephan E.A., Leblanc P., Duttweiler F., Tony G., Riedi J.* MAUVE/SWIPE: an imaging instrument concept with multi-angular, spectral, and polarized capability for remote sensing of aerosols, ocean color, clouds, and vegetation from space // Proc. SPIE. 2006. V. 6406. 64060E.
4. *Diner D.J., Davies R., Kahn R., Martonchic J., Gaitley B., Davis A.* Current and future advances in optical multiangle remote sensing of aerosols and clouds based on Terra/MISR experience // Proc. SPIE. 2006. V. 6408. 640801.
5. *Sudheer S.K., Mahadevan Pillai V.P., Nayar V.U.* A high repetition rate multiwavelength polarized solid state laser source for long range lidar applications // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 64091I.
6. *Winker D., Vaughan M., Hunt B.* The CALIPSO mission and initial results from CALIOP // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 640902.
7. *Shiina T., Honda T., Fukuchi T.* Examination of lidar lightning measurement // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 64090Y.
8. *Miyazaki D., Takashima N., Yoshida A., Hara-shima E., Ikeuchi K.* Polarization-based shape estimation of transparent objects by Using Raytracing and PLZT Camera // Proc. SPIE. 2005. V. 5888. 588801.
9. *Marshak A., Davis A.B. (editors).* 3D Radiative Transfer Cloudy atmospheres. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
10. *Endemann M.* ADM-Aeolus: the first spaceborne wind lidar // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 64090G.
11. *Budak V.P., Korkin S.V.* Mathematical model of the polarized light reflection by the turbid medium slab with an anisotropic scattering // Proc. SPIE. 2005. V. 5888. P. 363–370.
12. *Satyanarayana M., Radhakrishnan S.R., Presennakumar B., Murty V.S., Bindhu R.* Pure rotational Raman lidar for the measurement of vertical profiles of temperature in the lower atmosphere // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 64090L.
13. *Wilkerson T.D., Bingham G.E., Zavyalov V.V., Swasey J.A., Hancock J.J., Crowther B.G., Cornelsen S.S., Marchant C., Cutts J.N., Huish D.C., Earl C.L., Andersen J.M., Cox M.L.* AGLITE: a multiwavelength lidar for measuring aerosol sizes, concentrations, and fluxes from agricultural emissions // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 64090V.
14. *Satyanarayana M., Veerabuthiran S., Sreeja R., Presennakumar B., Nair S.P.M., Rao D.R., Mohankumar S.V.P.* Lidar measurement of winter time cirrus clouds at a tropical coastal station in Trivandrum, India // Proc. SPIE. 2006. V. 6409. 64091M.