МНОГОЧАСТОТНОЕ ЛИДАРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

С.А. Лысенко[1], В.В. Хомич[2]

[1] Центр климатических исследований НАН Беларуси, Минск
[2] Белорусский государственный университет, Минск
E-mail: lisenko@bsu.by

Загрязнение воздуха взвешенными частицами является одним из неблагоприятных факторов окружающей среды, влияющих на качество жизни и здоровье людей. Для исследования процессов переноса аэрозоля в атмосфере и его влияния на окружающую среду и климат создаются наземные сети оптического дистанционного зондирования (AERONET, EARLINET, Cis-LiNet и др.), совершенствуется измерительная техника и алгоритмы обработки результатов измерений. Однако известные методы получения пространственных распределений концентраций аэрозоля и его отдельных фракций по данным лидарного зондирования требуют привлечения дополнительных средств измерения оптических и микрофизических характеристик аэрозоля на трассе зондирования, что ограничивает область применения лидара, усложняет процесс измерения и увеличивает его длительность, а также, затрудняет получение карт аэрозольных загрязнений атмосферы.

В докладе представлены результаты авторов в области обработки данных многочастотного лидарного зондирования атмосферы, позволяющие в ряде атмосферных ситуаций обойтись без каких-либо дополнительных данных для калибровки лидара и для доопределения обратной задачи аэрозольного светорассеяния. Суть этих результатов и их новизна состоит в следующем.

1. Получены устойчивые регрессионные соотношения между концентрациями респирабельных фракций аэрозоля $PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$, PM_{10} и линейно-независимыми величинами, составленными из коэффициентов аэрозольного ослабления на длинах волн излучения $Nd:YAG^{3+}$-лазера и на дополнительной длине волны в области $\lambda \geq 1.5$ мкм, позволяющие выполнять высокоскоростную обработку данных лидарного зондирования без использования численных алгоритмов решения некорректных обратных задач и обеспечивающие погрешность восстановления PM ~ 10 %. Показано, что дополнительное измерение аэрозольного коэффициента ослабления на длине волны 2,13 мкм из окна прозрачности атмосферы позволяет практически в 2 раза повысить точность определения PM_{10} в сравнении с трехчастотными измерениями.

2. Показано, что при мультиколлинеарности коэффициентов аэрозольного ослабления на длинах волн лидара его калибровочные константы можно определять на основе анализа спектрально-временной структуры сигнала обратного рассеяния атмосферы без дополнительных измерений оптических параметров аэрозоля на трассе зондирования. На этой основе разработаны методы калибровки многочастотного лидара, работающие для трасс зондирования, включающих один однородный участок или два неоднородных участка со схожим пространственным профилем аэрозольного коэффициента ослабления.

3. Разработан алгоритм восстановления пространственных распределений $PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$ и PM_{10} в городском воздухе по данным многочастотного лидарного зондирования, основанный на численном решении переопределенной системы уравнений для спектрально-временных отсчетов лидарного сигнала относительно линейно-независимых параметров спектра аэрозольного ослабления в точках трассы зондирования и пересчете их в профили PM по полученным регрессионным соотношениям. В численных экспериментах по лазерному зондированию аэрозоля показана устойчивость предложенного алгоритма к пространственным вариациям индикатрисы обратного рассеяния среды и к погрешностям калибровки лидара.

4. Разработан алгоритм восстановления оптических и микрофизических параметров аэрозоля из сигналов упругого и комбинационного обратного рассеяния атмосферой без использования дополнительных данных для калибровки лидара и для доопределения обратной задачи. Алгоритм основан на предположении о постоянстве качественных характеристик аэрозольных компонентов (КПП, средних размеров и дисперсий размеров частиц) на трассе зондирования и итерационной подгонке расчетных лидарных сигналов к соответствующим экспериментальным данным. При количестве длин волн зондирования, превышающем количество аэрозольных фракций, система уравнений для спектрально-пространственных отсчетов сигнала оказывается переопределенной, что позволяет включить калибровочные константы лидара в число параметров, определяемых из решения обратной задачи.

В численных экспериментах показано, что разработанный алгоритм позволяет с погрешностями в единицы процентов восстанавливать высотный профиль объемной концентрации мелкодисперсных частиц и параметры их распределения по размерам из лидарных сигналов на длинах волн $Nd{:}YAG^{3+}$-лазера, а с привлечением каналов регистрации комбинационного рассеяния атмосферным азотом – еще и КПП частиц.