

ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 535.3
ГРНТИ 29.33
ВАК 01.04.21

Исследование влияния воздушного переноса на состояние окружающей среды лазерными методами

* Дьяченко В. В., Веденин Е. И.

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, 353900, Россия, Новороссийск, ул. Карла Маркса 20

* email: v-v-d@mail.ru

В статье произведена оценка механизмов формирования и распространения загрязнения воздушным путем. Рассмотрены лазерные методы реализации Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» и Постановления Правительства РФ от 13.03.2019 (№ 262 и № 263) об оснащении стационарных источников автоматическими средствами измерения и передачи информации о выбросах загрязняющих веществ в Госреестр. Обосновано решение поставленных задач лазерными технологиями и созданными на основе их использования приборами – лидарами. Разнообразие источников лазерного излучения и схемы их применения, позволяет построить систему под самые различные условия, объекты, химические соединения, аэрозоли или сделать многофункциональный лидар, использующий несколько длин волн, что позволяет одновременно определять несколько загрязняющих веществ и микрофизические параметры аэрозолей (концентрацию, размер, форму частиц).

Ключевые слова: лазерные методы, загрязнение, дисперсный состав, аэрозоли, метод модифицированной спектральной прозрачности, лидар

Введение: общие требования

Эмиссия загрязняющих веществ в атмосферу является основным фактором глобального загрязнения окружающей среды. Безусловно, в районах концентрации предприятий, при разнообразных факторах влияния на окружающую среду (через сбросы в водные объекты, загрязнение почв, илов, организацию свалок и т. д.) уровень импактного загрязнения выше, но именно воздушный перенос делает его наиболее опасным, широкомасштабным и всепроникающим.

По данным Лисицына [1] обломки размером 0,1...0,01 мм могут переноситься на сотни и тысячи км, а частицы величиной 1...10 мкм до 10 000 км. Масштабы аэрального загрязнения таковы, что оно приводит к загрязнению почв, формированию аномалий [2] и повышению кларков многих химических элементов. Существует масса примеров иллюстрирующих это положение, как в мире, так и на юге РФ [3, 4]. Химический и дисперсный состав загрязнения зависят от его источника. Например, на юге России (ввиду высокой доли распаханых земель – более 70 %) на 95 % определяется дефляцией почв, в районе Новороссийска – деятельностью цементных заводов и перегрузкой нефтепродуктов и т. д. В наиболее индустриально нагруженных районах в атмосфере доминируют выбросы теплоэлектростанций и производства строительных материалов. Долговременный характер выпадения частиц и различных химических соединений из атмосферы приводит к повышению заболеваемости населения, изменению химического и гранулометрического состава почв, а также деградации биогеоценозов [4–7].

Механизм и источники аэрального загрязнения

В части загрязнения ландшафтов микроэлементами основную роль играют аэрозоли. На большей части территории доля техногенного аэрозоля в атмосфере меньше природного, но техногенный, по химическому составу значительно разнообразней и может быть опасен для биосферы. С точки зрения аэрозольного загрязнения очень важен дисперсный состав его частиц. Тонкодисперсные аэрозольные частицы являются носителями рассеянных элементов, как изначально, так и сорбируя на своей поверхности химические элементы, находящиеся в рассеянном виде, парогазовой форме. Концентрация одних, особенно велика во фракции менее 0,5 мкм (например, Zn, Cu, Pb и др.), другие элементы (Al, Fe, Sc, Ba, La, Y и др.) концентрируются в относительно крупных частицах [8]. В среднем 80...90 % тяжелых металлов в аэрозолях содержатся в тонкой фракции, с размером частиц менее 1 мкм [9]. Таким образом, от размера частиц аэрозоля зависит не только дальность переноса, «время жизни аэрозолей» [8], но и их геохимическая специфика.

Выявление путей и источников формирования аэрозолей поможет защитить окружающую среду и человека от крайне опасного вида и способа доставки загрязнения в организм людей. Недаром были введены новые экологические нормативы по содержанию в воздухе частиц различного размера – PM10, PM2,5, а сейчас готовятся нормативы PM1,0.

Точные объемы природного и техногенного аэрозоля в атмосфере не известны [8]. К тому же сведения о масштабах эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу опираются на обобщение статистических материалов, предоставленных самими предприятиями и определенных расчетным путем. Все это вызывает необходимость определения реальных объемов загрязнения атмосферы, ее состояния над конкретными объектами и районами, изучения геохимии и масштабов массопереноса в атмосферном пограничном слое (АПС), разработки передовых интеллектуальных технологий и лазерных роботизированных систем, позволяющих вести непрерывный мониторинг технологических процессов и состояния окружающей среды. На это направлено постановления Правительства РФ № 262 и № 263 от 13.03.2019 об оснащении предприятий-объектов неблагоприятного воздействия на окружающую среду первой категории (НВОС) автоматическими системами непрерывного контроля выбросов (СНКВ) и передачи информации в государственный реестр.

Определение особенностей атмосферного переноса, геохимической специфики различных по составу и дисперсности аэрозолей поможет определить и генезис многих зон повышенной концентрации химических элементов в окружающей среде. Дело в том, что в районах подверженных техногенному воздействию, при общем увеличении загрязнения, количество пыли выше, чем растворенных компонентов.

Таким образом, кроме задачи оценки глобального, трансграничного массопереноса возникает задача оценки региональных, бассейновых, локальных особенностей для индикации техногенного геохимического воздействия, определения фоновых показателей состояния атмосферы источников сверхнормативного, аварийного загрязнения. Анализ работ, выполненных в этой области [10–12], свидетельствует о высокой пространственно-временной вариабельности и трудоемкости определения параметров аэрозолей, что затрудняет исследование и интерпретацию результатов с помощью традиционных ловушек и методов выделения аэрозолей из растворов или фильтров. На юге России использование данных методов затруднено ограниченностью периода снегового покрова и интенсивной ветровой эрозией. Использование в этих целях методов лазерного дистанционного зондирования позволит оперативно сформировать обширную массу фактического материала для оценки фоновых и аномальных особенностей, а также установить региональные источники аэрозолей в различное время суток и года, с учетом не только концентрации, но и дисперсности аэрозоля.

Поэтому целью настоящей работы является обоснование системы лазерного зондирования аэрозольных потоков, которая позволит измерять распределение концентрации частиц по высоте в режиме реального времени с одновременным определением скорости переноса и дисперсности. Это требует экспериментального исследования обработки сигналов аэрозольного лидара для заданного уровня концентрации частиц и их распределения по размерам [13–15].

Лазерные технологии автоматических средств измерения и передачи информации о выбросах загрязняющих веществ в Госреестр

До окончания времени, отведенного предприятиям на их выполнение упомянутых постановлений правительства осталась пара лет, а реальных надежных технологий, с хорошим метрологическим обеспечением, невысокой стоимостью и низкими эксплуатационными затратами, во многих отраслях практически нет. Вторая проблема – необходимость внешнего контроля выбросов предприятий и деятельности оборудования производящего их учет, на основе которого определяется экологический ущерб и плата за негативное воздействие на окружающую среду.

Было бы наивным полагать, что все предприятия будут добровольно и объективно отражать негативные с природоохранной точки зрения особенности их работы, происшествия, аварии на производстве, сопровождающиеся сверхнормативными выбросами, загрязнением или не захотят «оптимизировать» систему учета выбросов для снижения платы за негативное воздействие на окружающую среду (или, чтобы уложиться в нормативные ПДВ). Поэтому, кроме стационарного оборудования, располагающегося непосредственно на источнике эмиссии (в газоходе, на срезе трубы и т. д.) природоохранным органам необходимы мобильные компактные, переносные приборы для дистанционного мониторинга выбросов, позволяющие произвести замеры в любой момент без уведомления предприятия, а иногда и без необходимости работы на его территории.

Это очень важно в случае с особо опасными производствами, или объектами со строгой пропускной системой. Ведь получение разрешения на посещение предприятия, согласования могут занять много времени в течение которого ситуация может существенно измениться и актуальность замеров исчезнет. Это очень полезно и для развития муниципального экологического контроля. Поскольку в соответствии с законом об охране окружающей среды муниципальные экологи не имеют доступа на предприятия и могут лишь просить их руководство о предоставлении соответствующей информации. А ведь именно они ответственны (а с другой стороны совершенно бесправны) перед населением за безопасность жизнедеятельности. В связи с этим нами неоднократно [16, 17] предлагалось ввести в законодательство норму по которой, предприятия, ответственные за масштабное загрязнение окружающей среды, вместо увещаний населения и властей, что у них все в порядке, должны предоставить администрации населенного пункта оборудование, позволяющее производить независимый контроль профильного загрязнения и вести его непрерывный мониторинг, сделав доступными результаты (например, через Интернет).

И, здесь очень важно, что компактные аппараты для дистанционного мониторинга требуемых параметров, основанные на лазерах, могут использовать ту же технологию, что и стационарные на предприятии. Это существенно улучшает сходимость результатов замеров, упрощает метрологическое обеспечение и повышает достоверность выводов.

Следующий довод в пользу лазерных технологий состоит в том, что выбросы предприятий в атмосферу чаще включают несколько химических соединений. Да и Постановления Правительства РФ направлены на контроль не одного агента загрязнения. Это взвешенные вещества, серы диоксид, оксиды азота (сумма азота оксида и азота диоксида), углерода оксид, фтористый водород, хлористый водород, сероводород, аммиак. Для создания традиционных приборов, способных контролировать одновременно несколько веществ нужны несколько разных газоанализаторов, зачастую основанных на различных физических принципах и имеющих свои особенности размещения, эксплуатации, обслуживания. А использование лазерных технологий лишено этих недостатков. В зависимости от контролируемого набора веществ нужно просто смонтировать в одной установке несколько лазеров с различной длиной волны излучения.

Как отмечено выше определение микрофизических параметров аэрозолей осуществляется благодаря одновременному использованию в лидаре не менее трех длин волн. Такой вариант лидара можно создать, используя рассеяние Ми частицами аэрозоля, в которых рассеянное назад излучение собирается приемным телескопом и через спектроанализатор подается на фотоприемник для регистрации сигнала [12] и далее, передается в персональный компьютер (ПК) для обработки и интерпретации данных. Рассмотрим один из вариантов применения лидаров.

Лидар дифференциального ослабления и рассеяния для контроля аэрозольного загрязнения воздуха

Дисперсный состав взвешенных частиц является одним из основных параметров аэрозольных потоков, контроль которых позволяет оценивать эффективность работы пылегазоочистного оборудования и рассчитывать рассеивание частиц в атмосфере. Дисперсный состав обычно выражается в виде таблицы, кривой или функции распределения аэрозольных частиц по размерам (ФРЧ). ФРЧ представляет из себя функцию распределения массы материала по диаметрам частиц и равна, выраженному в процентах отношению массы всех частиц, диаметр которых меньше определенной величины d , к общей массе пылевидного материала [18].

В случае выражения ФРЧ в виде кривой распределения, по оси абсцисс откладывают значения диаметров частиц d в микрометрах, а на оси ординат процентное содержание частиц, диаметр которых меньше диаметра d . Распределение частиц по размерам лучше всего описывается логарифмически-нормальным законом распределения, которое получается, если откладывать на оси абсцисс логарифмы диаметров частиц. Теоретически применимость логарифмически-нормального распределения к любым твердым частицам, полученным в результате измельчения, доказана в работах [18], а практически подтверждена во многих экспериментальных исследованиях [12, 19] и в случае с частицами на цементном производстве, по нашим данным [15, 18, 20], имеет следующий вид (рис. 1).

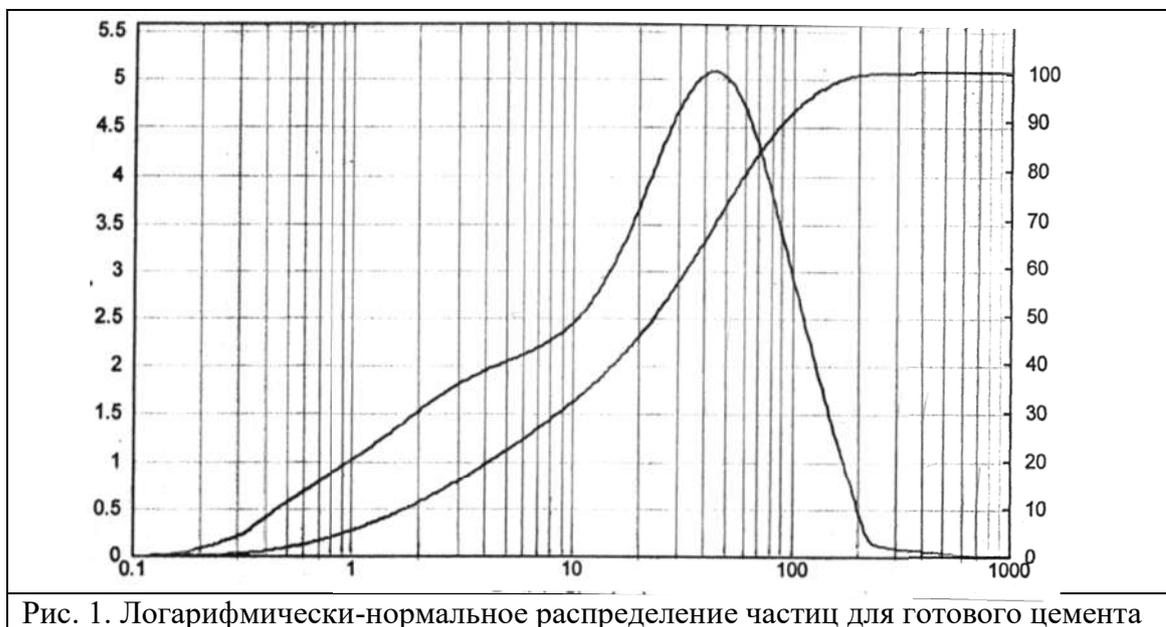


Рис. 1. Логарифмически-нормальное распределение частиц для готового цемента

Однако, проходя несколько технологических ступеней на пути к конечной продукции, ФРЧ клинкера претерпевает существенные трансформации. Для характеристики ФРЧ дисперсных материалов пользуются понятием средний объемно-поверхностный диаметр d_{32} , определяемый формулой из [19]:

$$d_{32} = \frac{\int_0^{\infty} x^3 F(x) dx}{\int_0^{\infty} x^2 F(x) dx}, \quad (1)$$

где x – диаметр части; $F(x)$ – функция распределения частиц по размерам.

При этом коэффициент детерминации между рассчитанными и измеренными функциями превышает 0,74 [18]. Таким образом, ФРЧ является одним из основных параметров, контроль которого позволяет оценивать дисперсный состав аэрозоля в промышленных плотных потоках или в АПС.

Средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц в потоке определяется путем измерения оптической плотности исследуемого аэрозоля на нескольких длинах волн и вычисления усредненных факторов эффективности ослабления для этих длин волн. Отношение измеренных оптических плотностей на двух длинах волн равно отношению рассчитанных усредненных

факторов эффективности ослабления и является функцией среднего объемно-поверхностного диаметра частиц:

$$\frac{\tau_{\lambda_i}}{\tau_{\lambda_j}} = \frac{\bar{Q}(x, \lambda_i, m)}{Q(x, \lambda_j, m)} = F_{ij}(d_{32}). \quad (2)$$

Метод дифференциального ослабления основан на решении обратной задачи [6], которое можно представить в виде уравнения:

$$\tau_{\lambda} = \frac{\pi C_n l}{4} \int_0^{\infty} x^2 \bar{Q}(x, \lambda, m) f(x) dx, \quad (3)$$

где τ_{λ} – оптическая плотность; C_n – счетная концентрация частиц; λ – длина волны зондирующего излучения; Q – фактор эффективности ослабления для одиночных частиц; l – оптическая длина зондирования; x – диаметр частиц; m – комплексный показатель преломления материала частиц.

Усредненный фактор эффективности ослабления в выражении (2) вычисляется по формуле:

$$\bar{Q}(x, \lambda, m) = \frac{\int_0^{\infty} x^2 Q(x, \lambda, m) f(x) dx}{\int_0^{\infty} x^2 f(x) dx}. \quad (4)$$

Тогда экспериментально измеренная оптическая плотность и рассчитанное значение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц позволяют рассчитать массовую концентрацию по формуле:

$$c_m = \frac{\tau_{\lambda} \rho_p d_{32}}{1,5l \cdot \bar{Q}(x, \lambda, m)}, \quad (5)$$

где ρ_p – плотность материала частиц.

Для измерения параметров аэрозольных потоков нами разработана лазерная система на основе метода дифференциального ослабления, позволяющая измерять сигналы ослабления на трех длинах волн. Сигналы ослабления представляют собой электрические сигналы фотоприемника прямо пропорциональные интенсивности ослабленного излучения.

Оптическая схема такой лазерной системы имеет следующее устройство и принцип действия. Источники лазерного излучения генерируют импульсно-модулированное излучение на трёх длинах волн: 405, 650 и 1064 нм. На пути прохождения лазерных лучей установлены светофильтры, светоделительные стекла, пластинка с диафрагмой. На противоположной от источников излучения стороне газохода с аэрозольным потоком установлен фотоприемник ослабленного излучения. Излучение, не прошедшее через измерительный объем аэрозольного потока, светоделительными стеклами направляется на опорный фотоприемник. Кроме того, установка включает в себя блок формирования, регистрации и обработки сигналов фотоприемников, состоящий из измерительных и опорных синхронных детекторов, усилителя мощности и генератора импульсов [18, 20]. Экспериментальное исследование зависимости лидарных сигналов ослабления от массовой концентрации и среднего объемно-поверхностного диаметра частиц на разработанном нами экспериментальном стенде осуществляется одновременной записью сигналов ослабления и рассеяния Ми синхронно в реальном времени с последующей обработкой записанных сигналов в ПК.

Таким образом, разработана лазерная система, которая может измерять сигналы ослабления излучения методом дифференциального ослабления на трех длинах волн. Измеренные сигналы ослабления лазерного излучения позволяют рассчитать значения массовой концентрации и среднего объемно-поверхностного диаметра аэрозольных частиц цемента. Относительная погрешность измеренных значений среднего объемно-поверхностного диаметра на каждой длине волны для разных серий измерений и всех рассчитанных значений среднего объемно-поверхностного диаметра рассчитывалась последовательно по формулам, приведенным выше и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Погрешности средних объемно-поверхностных диаметров

Оцененные параметры	$\frac{\tau_{\lambda_{650}}}{\tau_{\lambda_{405}}}$	$\frac{\tau_{\lambda_{1064}}}{\tau_{\lambda_{405}}}$	$\frac{\tau_{\lambda_{1064}}}{\tau_{\lambda_{650}}}$	Все значения среднего объемно-поверхностного диаметра
	d_{32} , мкм	0,44	0,60	
Δd_{32} , мкм	0,027	0,021	0,036	0,036
δ , %	6,2	3,6	4,5	11,2

Относительная погрешность массовой концентрации частиц равна относительной погрешности массы цементного порошка. Относительная погрешность измеренных значений массы на каждой длине волны для разных серий измерений и всех значений массы, которые задавались равными, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Погрешности масс

Оцененные параметры	Погрешности масс			Все значения масс
	650 нм	1064 нм	405 нм	
$m_{пр}$, г	0,51	0,51	0,51	0,51
Δm_{32} , мкм	0,027	0,036	0,033	0,015
δ , %	5,2	7,0	6,5	2,9

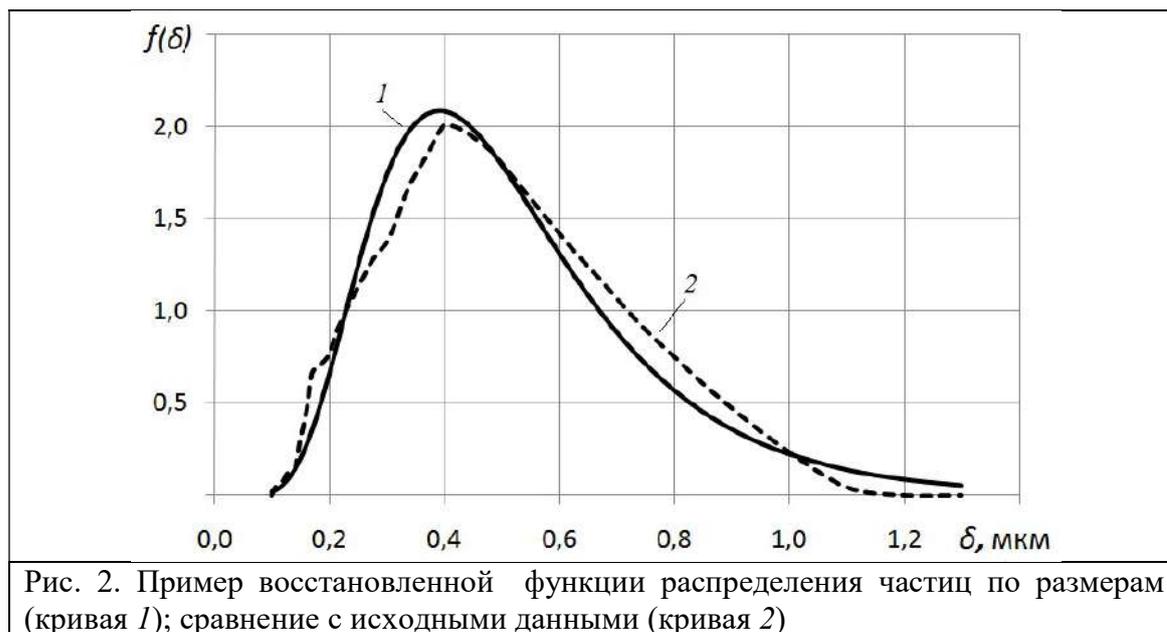
Можно заключить, что инструментальные погрешности, погрешности применяемого метода дифференциального ослабления и погрешности определения массы используемого в эксперименте материала не оказывают существенного влияния на измеренные сигналы ослабления. Относительные погрешности рассчитанных по экспериментально измеренным сигналам ослабления значений среднего объемно-поверхностного диаметра и массовой концентрации аэрозольных частиц цемента являются допустимыми и согласуются с данными [18, 19].

Таким образом, наш экспериментальный лидар ДОР позволяет измерять в реальном времени сигналы ослабления лазерного излучения и рассчитывать по измеренным сигналам ослабления достоверные значения массовой концентрации и среднего объемно-поверхностного диаметра частиц. Установленные корреляционные зависимости между средним объемно-поверхностным диаметром и параметрами логарифмически-нормального закона распределения частиц по размерам в [18] подтверждены хорошим совпадением с экспериментальными данными (рис. 2).

Один из вариантов реализации рассмотренной лазерной технологии применим для контроля деятельности пылегазоочистного оборудования предприятия, например рукавного фильтра. Данный лидар ДОР будет вести наблюдение за дисперсным составом и количеством вещества, прошедшего пылегазоочистные установки. Ключевым моментом является использование нескольких лазеров с различными длинами волн, что дает возможность контролировать качество очистки, выявлять отказ оборудования (например, возникновение прорыва фильтровальных элементов рукавного фильтра) на ранней стадии по фиксации увеличения размера частиц, проходящих рукавный фильтр, а не просто массы выбросов (что может быть результатом простого увеличения производительности). Это позволяет своевременно выключить систему или переключить аэродисперсный поток на другую установку и таким образом предотвратить сверхнормативное загрязнение и потерю сырья.

На предприятиях с механической активацией вещества и получения дисперсных материалов, например, при производстве цемента, гипса, муки и тд использование предложенного аэрозольного лидара дифференциального ослабления и рассеяния позволяет решить сразу несколько проблем:

- создание автоматической системы непрерывного контроля выбросов и передачи информации о них в Госреестр;
- автоматизированная корректировка параметров работы технологического оборудования в случае превышения нормативных выбросов предприятия;
- непрерывный контроль и корректировка дисперсного состава продукции, за счет ее насыщения определенными фракциями материала, улавливаемого на различных технологических этапах (например, фильтрах) для поддержания ФРЧ на необходимом уровне;
- мониторинг установок по обеспыливанию техногенных аэродисперсных потоков (например, рукавных фильтров), для предотвращения или раннего обнаружения сверхнормативных выбросов при выходе их из строя;
- контроль состояния атмосферного воздуха на рабочем месте или в цеху в целом.



Решение перечисленных проблем позволяет существенно повысить как экологическую безопасность предприятия, так и его экономическую эффективность.

Заключение

На рынке высокотехнологичного оборудования существуют предложения для решения задач поставленных Правительством РФ. Стоимость оборудования для контроля одной точки эмиссии колеблется около 10 млн. руб. и предполагает размещение нескольких датчиков на участках отвода плотных аэродисперсных потоков (например, трубы), с использованием различных методов для различных загрязняющих веществ. Соответственно, на крупных производствах, имеющих не один источник масштабной эмиссии их может быть несколько, а может и несколько десятков.

В отличие от существующих, предлагаемая технология зондирования ЗВ обладает несколькими преимуществами. Во-первых, ее можно реализовать, как в стационарном, так и мобильном варианте. Во-вторых, дистанционное определения параметров аэродисперсных потоков исключает необходимость монтажа на труднодоступных участках отвода загрязняющих веществ и упрощает их контроль, обслуживание, ремонт и т. д. В-третьих, благодаря очень высокой скорости замеров (доли секунды) позволяет использовать одну установку для мониторинга сразу нескольких источников выбросов, в результате быстрого разворота платформы на запланированные точки прицеливания. В-четвертых, возможно включение результатов замеров в технологическую цепь предприятия для корректировки параметров работы технологического оборудования, что может принести еще более высокий экономический и экологический эффект. Это может иметь большой экономический и экологический эффект в случае превышения нормативных выбросов предприятием; для управления степенью очистки отходящих газов

(например, управляя электроэнергией, подаваемой на электрофильтры); при контроле и корректировке дисперсного состава продукции, за счет ее насыщения определенными фракциями материала, улавливаемого на различных технологических этапах (например, фильтрах) с целью поддержания ФРЧ на определенном уровне; мониторинге установок по обеспыливанию техногенных аэродисперсных потоков (рукавных фильтров), для предотвращения или раннего обнаружения сверхнормативных выбросов при выходе из строя; для контроля состояния атмосферного воздуха на предприятии и тд.

Таким образом, может быть создана комплексная система управления качеством окружающей среды и технологической деятельностью предприятия на основе лазерных технологий.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц (при наличии конфликта интересов, авторы указывают его суть и круг физических и юридических лиц, с которыми возник этот конфликт).

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 19-42-230004 и № 19-45-230009.

Список литературы

1. Лисицын А. П. Процессы океанской седиментации, М.; Наука. 1978. 392 с.
2. Дьяченко В. В. Формирование аномалий тяжелых металлов на геохимических барьерах в почвах под воздействием интенсивной ветровой эрозии // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. Тезисы докладов. 1999. С. 163–166.
3. Дьяченко В. В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук / Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону, 2004. 326 с.
4. Дьяченко В. В., Дьяченко Л. Г., Малыхин Ю. А. Проблемы загрязнения ландшафтов Краснодарского края и здоровье населения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2014. № 07 (101). IDA [article ID]: 1011407080.
5. Дьяченко В. В. Основные закономерности формирования геохимического спектра почв Северного Кавказа // Изв. вузов. Сев. - Кавк. регион. Естеств. науки. 2001. № 3. С. 86–88.
6. Vladimir Dyachenko, Irina Matasova, Olga Ponomareva The Trace Elements Concentrations Dynamics in the Soil Landscapes of the Southern Russia // Universal Journal of Geoscience. 2014. Vol. 2 (1), p. 28–34 DOI: 10.13189/ujg.2014.020104.
7. V. Diyachenko, Y. Malykhin and L. Diyachenko The Problems of the North Caucasus Landscape's Pollution and Population's Health, Journal of Environmental Protection, Vol. 5 No. 2, 2014, p. 81–86. DOI: 10.4236/jep.2014.52011.
8. Добровольский В. В. Основы биогеохимии: Учебное пособие. М.: Высш. шк., 1998. 413 с.
9. Глазовский Н. Ф., Учватов В. П. Химический состав атмосферной пыли некоторых районов ЕТС. 1981. Препринт. Пущино. ОНТИ НЦБН. 33 с.
10. Дьяченко В. В., Чартий П. В., Чартий Р. П., Шеманин В. Г. Контроль аэрозолей в приземном слое атмосферы в реальном времени // Безопасность в техносфере, Москва, № 3, 2008. С. 36–43.
11. Дьяченко В. В., Шеманин В. Г. 50 лет лазерной эры: лидары для мониторинга атмосферы // Безопасность в техносфере, Москва, № 6, 2010. С. 28–36.
12. Привалов В. Е., Фотиади А. Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. Санкт-Петербург, 2013.
13. Дьяченко В. В., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Исследование дисперсного состава приземного атмосферного аэрозоля оптическими методами // ЛАЗЕР-ИНФОРМ, № 18, 2005.

14. Веденин Е. И., Дьяченко В. В., Чартий П. В., Шеманин В. Г. Лазерный контроль среднего объемно-поверхностного диаметра частиц для оценки параметров аэрозольного загрязнения атмосферы // *Безопасность в техносфере*. 2017. Т. 6. № 6. С. 3–11.
15. Дьяченко В. В., Половченко С. В., Роговский В. В., Чартий П. В. Экологический мониторинг аэрозолей с цементной дисперсной фазой // *Научный диалог. Естествознание и экология*. 2012. № 7. С. 6–17.
16. Дьяченко В. В., Малыхин Ю. А. Здоровье населения в условиях высокой техногенной нагрузки // *Материалы XVI Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр»*. Москва – Донецк. 18–22 сентября. 2017. М.: Издательство «Спутник». С. 229–232.
17. Дьяченко В. В., Дьяченко Л. Г., Девисилов В. А. *Науки о Земле: Уч.* / Под ред. Девисилова В. А. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 345 с.
18. Половченко С. В. Восстановление функции распределения частиц по размерам на основе данных многоволнового лазерного зондирования [Текст] / С. В. Половченко, В. Е. Привалов, П. В. Чартий, В. Г. Шеманин // *Оптический журнал*. 2016. Т. 83. № 5. С. 43–49.
19. Шигапов А. Б. Индикатриса рассеяния полидисперсными частицами аэрозолей [Текст] / А. Б. Шигапов, Р. Н. Шайдуллин, Р. Р. Ганеев, М. Д. Садыков, А. В. Калимуллин // *Известия ВУЗов. Проблемы энергетики*. 2008. № 5–6. С. 21–27.
20. Privalov V. E. Laser ranging of the atmospheric aerosol and determination of its disperse composition [Текст] / V. E. Privalov, V. V. Dyachenko, V. G. Shemanin // *IEEE Xplore Digital Library*, 2019 doi: 10.1109/EEEx Polytech.2019.8906882.

Investigation of the influence of air transport on the state of the environment by laser methods

* Dyachenko V. V., Vedenin E. I.

Novorossiysk Polytechnic University, Branch of the Kuban State Technological University, Novorossiysk, Russia

* email: v-v-d@mail.ru

The mechanisms of air pollution generation and propagation have been assessed in this paper. Laser sensing methods implementation of the Federal Law "On air protection" and the Decree of the Russian Federation Government dated 13.03.2019 (Nos. 262 and 263) about the stationary sources equipment by the automatic instruments for the measuring and transmitting information about the pollutants emissions to the State Register. It has reasoned the decision tasks set by the laser technologies and created on the basis of their using devices – lidars. Variety of the laser radiation sources and their application systems allows to create such a system for a wide range of conditions, objects, chemical compounds, aerosols or make multifunctional lidar with multiple wavelengths laser radiation, which allows to identify simultaneously and to measure some pollutants and aerosol microphysical parameters (concentration, size, particle shape).

Keyword: laser methods, pollutants, aerosols, disperse composition, modified spectral transparency method, lidar

Funding

This article is written with the support of the Russian Foundation for Basic Research, projects No. 19-42-230004 and 19-45-230009.

References

1. Lisitsyn A. P. *The processes of sedimentation in the ocean*, M.; Nauka. 1978. 392 p (in Russian).

2. Dyachenko V. V. Formation of heavy metal anomalies on geochemical barriers in soils under the influence of intense wind erosion // *Geochemical barriers in the hypergenesis zone. Abstracts.* 1999. P. 163–166 (in Russian).
3. Dyachenko V. V. *Geochemistry and assessment of the state of the landscapes of the North Caucasus* // Dissertation for the degree of Doctor of Geographical Sciences / Southern Federal University. Rostov-on-Don, 2004. 326 c. (in Russian).
4. Dyachenko V. V., Dyachenko L. G., Malykhin Yu. A. Problems of landscape pollution of the Krasnodar Territory and public health // *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific journal KubGAU) [Electronic resource].* Krasnodar: KubGAU, 2014. No 07 (101). IDA [article ID]: 1011407080 (in Russian).
5. Dyachenko V. V. Basic regularities of the formation of the geochemical spectrum of the soils of the North Caucasus // *Izv. vuzov. Sev.-Kav. region. Natural sciences.* 2001. No 3. C. 86–88 (in Russian).
6. Vladimir Dyachenko, Irina Matasova, Olga Ponomareva *The Trace Elements Concentrations Dynamics in the Soil Landscapes of the Southern Russia* // *Universal Journal of Geoscience.* 2014. Vol. 2 (1), p. 28–34 DOI: 10.13189/ujg.2014.020104.
7. V. Diyachenko, Y. Malykhin and L. Diyachenko *The Problems of the North Caucasus Landscape's Pollution and Population's Health*, *Journal of Environmental Protection*, Vol. 5 No. 2, 2014, p. 81–86. DOI: 10.4236/jep.2014.52011.
8. Dobrovolskii V. V. *Fundamentals of Biogeochemistry: A textbook.* M.: Vyssh. shk., 1998. 413 p. (in Russian).
9. Glazovskii N. F., Uchvatov V. P. *Chemical composition of atmospheric dust in some areas of the ETC.* 1981. Preprint. Pushchino. ONTI NTsBN 33 p. (in Russian).
10. Dyachenko V. V., Chartii P. V., Chartii R.P., Shemanin V. G. *Monitoring aerosols in the surface layer of the atmosphere in real time* // *Safety in the technosphere*, M.: No 3, 2008. P. 36–43 (in Russian).
11. Dyachenko V. V., Shemanin V. G. *50 years of the laser era: lidars for atmospheric monitoring* // *Safety in the technosphere*, M.: No 6, 2010. P. 28–36 (in Russian).
12. Privalov V. E., Fotiadi A. E., Shemanin V. G. *Lasers and environmental monitoring of the atmosphere.* SPb.: 2013 (in Russian).
13. Dyachenko V. V., Chartii P. V., Shemanin V. G. *Investigation of the Disperse Composition of Surface Atmospheric Aerosol by Optical Methods* // *LASER-INFORM*, No 18, 2005 (in Russian).
14. Vedenin E. I., Dyachenko V. V., Chartii P. V., Shemanin V. G. *Laser control of the average volumetric surface diameter of particles to assess the parameters of aerosol pollution of the atmosphere* // *Safety in the technosphere.* 2017. V. 6. No 6. P. 3–11 (in Russian).
15. Dyachenko V. V., Polovchenko S. V., Rogovskii V. V., Chartii P. V. *Environmental monitoring of aerosols with a cement dispersed phase* // *Scientific dialogue. Natural science and ecology.* 2012. No 7. P. 6–17 (in Russian).
16. Dyachenko V. V., Malykhin Yu. A. *Health of the population in conditions of high technogenic load* // *Materials of the XVI International Conference "Resource-reproducing, low-waste and environmental technologies of subsoil development".* Moscow – Donetsk. 18–22 september. 2017. M.: «Sputnik». P. 229–232 (in Russian).
17. Dyachenko V. V., Dyachenko L. G., Devisilov V. A. *Earth sciences: Textbook.* / Ed. Devisilov V. A. M.: INFRA-M, 2019. 345 p. (in Russian).
18. Polovchenko S. V. *Reconstruction of the particle size distribution function based on multiwave laser sensing data [Text]* / S. V. Polovchenko, V. E. Privalov, P. V. Chartii, V. G. Shemanin // *Optical journal.* 2016. V. 83. No 5. P. 43–49 (in Russian).
19. Shigapov A. B. *Scattering indicatrix by polydisperse aerosol particles [Text]* / A. B. Shigapov, R. N. Shaidulin, R. R. Ganeev, M. D. Sadykov, A. V. Kalimullin // *Izvestiya VUZov. Energy problems.* 2008. No 5–6. P. 21–27 (in Russian).
20. Privalov V. E. *Laser ranging of the atmospheric aerosol and determination of its disperse composition [Текст]* / V. E. Privalov, V. V. Dyachenko, V. G. Shemanin // *IEEE Xplore Digital Library*, 2019 doi: 10.1109/EEx Polytech.2019.8906882.