

УДК 621.375

## **Анализ зависимости зоны засветки приемника от параметров атмосферы и лазерного локатора в УФ спектральном диапазоне**

**Филимонов П. А.<sup>1,\*</sup>, Белов М. Л.<sup>1</sup>,  
Городничев В. А.<sup>1</sup>, Иванов С. Е.<sup>1</sup>**

<sup>\*</sup>[filimonov@bmstu.ru](mailto:filimonov@bmstu.ru)

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

---

Проведено исследование зависимости зоны засветки приемника от параметров атмосферы и лазерного локатора в УФ спектральном диапазоне. Показано, что при небольшой базе между оптическими осями лазерного источника и приемника условия появления зоны засветки приемника лазерного локатора могут реализовываться при разных состояниях атмосферы и параметрах фотодетектора локатора. В более прозрачной атмосфере, при меньшем усилении и при большем значении максимального анодного тока ФЭУ размеры зоны засветки меньше. На длине волны 0,355 мкм размер зоны засветки в большинстве случаев больше, чем на длине волны 0,532 мкм. С увеличением базы между оптическими осями лазерного источника и приемника зона засветки уменьшается и по результатам расчетов можно выбрать величину базы, обеспечивающую отсутствие зоны засветки в определенном диапазоне значений параметров ФЭУ и земной атмосферы.

**Ключевые слова:** лазерные системы локации и зондирования, засветка от ближней зоны локатора, ультрафиолетовый спектральный диапазон, видимый спектральный диапазон

---

### **Введение**

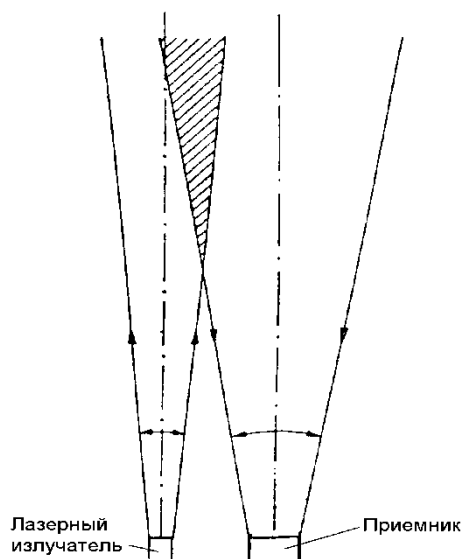
Лазерные системы локации, видения и зондирования находят применение для широкого круга задач [1-4].

Одной из проблем лазерных систем локации и зондирования с мощными источниками излучения является перегрузка фотоприемника интенсивной засветкой от сигнала обратного (в сторону локатора) рассеяния в «ближней зоне» локатора [4-10]. Эта интенсивная засветка, обусловлена упругим рассеянием лазерного излучения аэрозольными частицами, всегда присутствующими в земной атмосфере.

Для решения этой проблемы в лазерных системах дальнего радиуса действия (обычно использующих моностатическую коаксиальную схему локации с совмещенными оптическими осями источника и приемника) применяют высокоскоростные механические за-

творы, физически блокирующие приемный оптический канал на время возможного прихода сигнала обратного рассеяния от «ближней зоны».

Для лазерных систем ближнего действия использование таких устройств технически трудоемко. Наиболее простым способом решения проблемы перегрузки фотоприемника в «ближней зоне» здесь является применение биаксиальной схемы локации, при использовании которой лазерный пучок входит в поле зрения приемника только на некотором, заранее определенном расстоянии (рисунок 1 [8]). Такая схема локации позволяет уменьшить интенсивность излучения, рассеянного на атмосферном аэрозоле в «ближней зоне» лоатора и избежать засветки фотоприемника.



**Рисунок 1** - Лазерный лоатор с биаксиальной конфигурацией оптических осей

Наличие зоны засветки (и ее размер) зависят от многих факторов: факторов, прямо или опосредованно зависящих от длины волны излучения (атмосферных факторов - показателей ослабления и рассеяния атмосферы, индикатрисы рассеяния; энергии излучения в импульсе лазера; параметров фотоприемника - спектральной чувствительности, усиления, максимального выходного тока и др.), а также от геометрических факторов (расстояния между оптическими осями источника и приемника, расходимости излучения лазера, поля зрения приемника, размеров передающей апертуры и приемного объектива).

Анализ сигналов обратного рассеяния (в сторону лазерного лоатора) и зоны засветки в опубликованных работах [4-10] проводится для видимого спектрального диапазона с использованием моделей атмосферы, корректно работающих только в видимом спектральном диапазоне. Однако, анализ зависимости зоны засветки приемника от параметров атмосферы и лазерного лоатора в УФ спектральном диапазоне (и сравнение зоны засветки в УФ и видимом спектральных диапазонах) ранее не проводился.

В статье с использованием оптических моделей атмосферы для ультрафиолетового спектрального диапазона проводится анализ зависимости зоны засветки приемника от параметров атмосферы и лазерного локатора в УФ области спектра.

## 1. Постановка задачи

Размер зоны засветки лазерного локатора определяется характеристиками приходящего на приемник лазерного сигнала обратного рассеяния и параметрами фотоприемника. Для определенности будем считать, что фотодетектором является фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

Анодный ток ФЭУ  $I_a(z)$ , вызванный регистрируемым лазерным сигналом, равен

$$I_a(z) = P(z)S_k, \quad (1)$$

где

$P(z)$  - мощность лазерного сигнала, приходящего на приемник, от объема аэрозольной атмосферы находящегося на расстоянии  $z$  от локатора (значение  $z$  однозначно связано с временем  $t$  прихода лазерного сигнала на приемник соотношением:  $z = \frac{ct}{2}$ );

$S_k$  - спектральная чувствительность ФЭУ на длине волны излучения лазера.

Мощность  $P(z)$  лазерного сигнала обратного рассеяния в условиях прозрачной аэрозольной атмосферы определяется выражением [8,11]

$$P(z) = P_o K_t K_r c \tau_t r_r^2 (\beta(z) \chi_\pi(z) + \beta_M(z) \chi_{M\pi}(z)) T_v(z) G(z) / 8, \quad (2)$$

где

$P_o$  – мощность излучения лазерного источника локатора;

$K_r, K_t$  – коэффициенты пропускания приемной и передающей оптических систем лазерного локатора;

$c$  - скорость света;

$\tau_t$  – длительность импульса лазерного источника локатора;

$r_r$  – радиус приемного объектива;

$\beta(z)$  – показатель аэрозольного рассеяния земной атмосферы на длине волны излучения лазерного локатора на расстоянии  $z$  от лазерного локатора;

$\beta_M(z)$  – показатель молекулярного рассеяния земной атмосферы на длине волны излучения лазерного локатора на расстоянии  $z$  от лазерного локатора;

$z$  – расстояние от лазерного локатора до объема атмосферы (от которого в момент времени  $t$  приходит сигнал обратного рассеяния на приемник);

$\chi_{\pi}(z)$  – индикатриса аэрозольного рассеяния атмосферы в обратном направлении («назад»);

$\chi_{M\pi}(z)$  – индикатриса молекулярного рассеяния атмосферы в обратном направлении («назад»);

$$T_v^{1/2}(z) = \exp \left( - \int_0^z \varepsilon(x) dx - \int_0^z k(x) dx - \int_0^z \beta_M(x) dx \right);$$

$T_v^{1/2}(z)$  – коэффициент пропускания земной атмосферы на трассе «локатор – объем атмосферы на расстоянии  $z$  от локатора»;

$\varepsilon(z)$  – показатель аэрозольного ослабления атмосферы на длине волны излучения лазерного локатора;

$k(z)$  – показатель поглощения атмосферными газами на длине волны излучения лазерного локатора;

$G(z)$  – геометрическая функция лазерного локатора.

Для моностатической биаксиальной схемы локации с параллельными оптическими осями источника и приемника функция  $G(z)$  имеет вид (в гауссовом приближении для лазерного пучка и поля зрения оптической приемной системы)

$$G(z) = \frac{\alpha_r^2}{r_r^2 + r_t^2 + z^2(\alpha_r^2 + \alpha_t^2)} \exp \left\{ - \frac{b^2}{r_r^2 + r_t^2 + (\alpha_r^2 + \alpha_t^2)z^2} \right\},$$

где

$b$  – база (расстояние между оптическими осями приемной системы и лазерного пучка локатора);

$\alpha_r, \alpha_t$  – поле зрения приемной оптической системы и угол расходимости излучения лазерного локатора.

$r_t$  – эффективный радиус передающей апертуры.

Из формулы (1) видно, что мощность  $P(z)$  обратно рассеянного атмосферным аэрозолем лазерного сигнала определяется оптическими параметрами атмосферы (показателем аэрозольного ослабления атмосферы  $\varepsilon(z)$ , объемным коэффициентом аэрозольного рассеяния атмосферы  $\beta(z)$ , показателем поглощения атмосферными газами  $k(z)$ , индикатрисой рассеяния атмосферы в направлении «назад»  $\chi_{\pi}(z)$ ), параметрами лидара (геометрической функцией лидара  $G(z)$ , мощностью излучения лазерного источника  $P_o$ , радиусом приемного объектива  $r_r$ , коэффициентами пропускания оптических систем передающего и приемного каналов лидара  $K_t, K_r$ , полем зрения приемной оптической системы и углом расходимости излучения источника  $\alpha_r, \alpha_t$ , базой  $b$ ).

Размер зоны засветки лазерного локатора можно оценить, сравнивая регистрируемый сигнал  $I_a(z)$ , вызванный рассеянием лазерного импульса локатора на атмосферном аэрозоле, с максимальным выходным током фотоприемника  $I_a^{max}$ .

Максимальный выходной ток фотоэлектронного умножителя  $I_a^{max}$  является величиной, заданной в его описании. Для разных типов фотоэлектронных умножителей эта величина может различаться на порядки. Для примера в Таблице 1 приведено значение максимального анодного тока  $I_a^{max}$  для нескольких типов модулей ФЭУ [12].

**Таблица 1** Значение максимального анодного тока ФЭУ

| Тип ФЭУ                       | Модуль ФЭУ Н10721-210 | Модуль ФЭУ Н9305-03 | Модуль ФЭУ Н7422-40 |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Максимальный анодный ток, мкА | 100                   | 10                  | 2                   |

Ниже проводится сравнительный анализ зоны засветки приемника лазерного локатора при разных моделях атмосферы и характеристиках фотоприемника локатора, работающего на потенциально безопасной для зрения длине волны 0,355 мкм (УФ диапазон) и потенциально опасной для зрения длине волны 0,532 мкм (видимый диапазон).

## 2. Анализ зависимости зоны засветки приемника лазерного локатора от параметров атмосферы и характеристик фотоприемника локатора

Проведем анализ зоны засветки в практически важном случае приземной атмосферы в УФ спектральном диапазоне (на длине волны 0,355 мкм – третья гармоника лазера на иттрий алюминиевом гранате, активированном ионами неодима) и в видимом спектральном диапазоне (на длине волны 0,532 мкм – вторая гармоника лазера на иттрий алюминиевом гранате, активированном ионами неодима) и.

Ослабление лазерного излучения в земной атмосфере вызвано молекулярным рассеянием, поглощением атмосферными газами и аэрозольным рассеянием.

Молекулярное рассеяния оптического излучения хорошо изучено. В приземном слое атмосферы показатель молекулярного рассеяния  $\beta_M(\lambda)$  равен [13]

$$\beta_M(\lambda) = \beta_M(\lambda = 0,55) \left[ \frac{0,55}{\lambda} \right]^4.$$

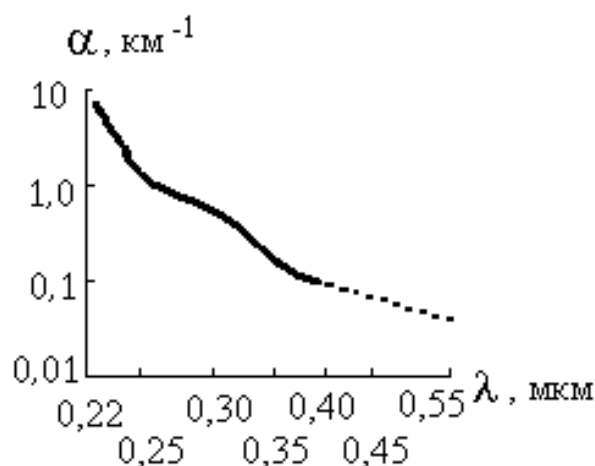
Здесь длина волны  $\lambda$  задана в микрометрах.

Значения показателей молекулярного рассеяния на длинах волн 0,355 и 0,532 мкм приведены в Таблице 2.

**Таблица 2** Показатель молекулярного рассеяния

|                              |                      |                       |
|------------------------------|----------------------|-----------------------|
| $\lambda$ , мкм              | 0,355                | 0,532                 |
| $\beta_M$ , км <sup>-1</sup> | $6,86 \cdot 10^{-2}$ | $1,369 \cdot 10^{-2}$ |

Основной вклад в молекулярное поглощение на длинах волн 0,355 и 0,532 мкм вносит озон. Рисунок 2 [13] показывает зависимость показателя ослабления атмосферы в спектральном диапазоне 0,2 – 0,55 мкм из-за молекулярного рассеяния и поглощения ( $\alpha = k + \beta_M$ ) в приземной чистой атмосфере при метеорологической дальности видимости 100 км (практически в отсутствие аэрозольного рассеяния).



**Рисунок 2** - Зависимость суммарного показателя ослабления атмосферы из-за молекулярного рассеяния и поглощения

Значения суммарного показателя ослабления атмосферы из-за молекулярного рассеяния и поглощения на длинах волн 0,355 и 0,532 мкм приведены в Таблице 3.

**Таблица 3** Суммарный показатель ослабления атмосферы из-за молекулярного рассеяния и поглощения

|                             |                   |                      |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|
| $\lambda$ , мкм             | 0,355             | 0,532                |
| $\alpha$ , км <sup>-1</sup> | $2 \cdot 10^{-1}$ | $1,37 \cdot 10^{-2}$ |

Основным фактором, влияющим на распространение в земной атмосфере лазерного излучения на длинах волн 0,355 и 0,532 мкм, является рассеяние излучения аэрозольными частицами.

Для сравнительной оценки показателей аэрозольного ослабления и рассеяния для длин волн 0,355 и 0,532 мкм воспользуемся имеющимися в научно-технической литературе численными моделями оптических свойств атмосферы.

Значение показателя аэрозольного ослабления  $\epsilon$  и показателя рассеяния «назад»  $\beta_\pi = \beta\chi_\pi$  в приземном слое атмосферы на длинах волн 0,355 и 0,532 мкм приведены в Таблицах 4-6 для трех моделей атмосферы. В Таблице 4 приведены данные для модели

континентального аэрозоля [14] (эта модель соответствует оптическому состоянию атмосферы с метеорологической дальностью видимости  $\sim 15$  км). В Таблице 5 - данные для среднециклической модели аэрозоля [15] (эта модель соответствует оптическому состоянию атмосферы с метеорологической дальностью видимости  $\sim 35$  км). В Таблице 6 - данные для фоновой модели аэрозоля [15] (эта модель соответствует оптическому состоянию атмосферы с метеорологической дальностью видимости  $\sim 60$  км).

**Таблица 4** Показатели аэрозольного ослабления для модели континентального аэрозоля

|                                                 |                      |                     |
|-------------------------------------------------|----------------------|---------------------|
| $\lambda$ , мкм                                 | 0,355                | 0,532               |
| Показатель ослабления, $\text{к М}^{-1}$        | 0,337                | 0,26                |
| Показатель рассеяния «назад», $\text{к М}^{-1}$ | $7,69 \cdot 10^{-3}$ | $4,9 \cdot 10^{-3}$ |

**Таблица 5** Показатели аэрозольного ослабления для среднециклической модели аэрозоля

|                                                 |                      |                      |
|-------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| $\lambda$ , мкм                                 | 0,355                | 0,532                |
| Показатель ослабления, $\text{к М}^{-1}$        | 0,13                 | 0,108                |
| Показатель рассеяния «назад», $\text{к М}^{-1}$ | $1,11 \cdot 10^{-3}$ | $1,03 \cdot 10^{-3}$ |

**Таблица 6** Показатели аэрозольного ослабления для фоновой модели аэрозоля

|                                                 |                     |                     |
|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| $\lambda$ , мкм                                 | 0,355               | 0,532               |
| Показатель ослабления, $\text{к М}^{-1}$        | 0,077               | 0,069               |
| Показатель рассеяния «назад», $\text{к М}^{-1}$ | $5,1 \cdot 10^{-4}$ | $5,9 \cdot 10^{-4}$ |

Расчеты зоны засветки проводились для разных типов ФЭУ. В Таблице 7 приведены значения спектральной чувствительности  $S_k$  для нескольких типов модулей ФЭУ [12] (для которых проводились расчеты зоны засветки).

**Таблица 7** Значения спектральной чувствительности  $S_k$  ФЭУ

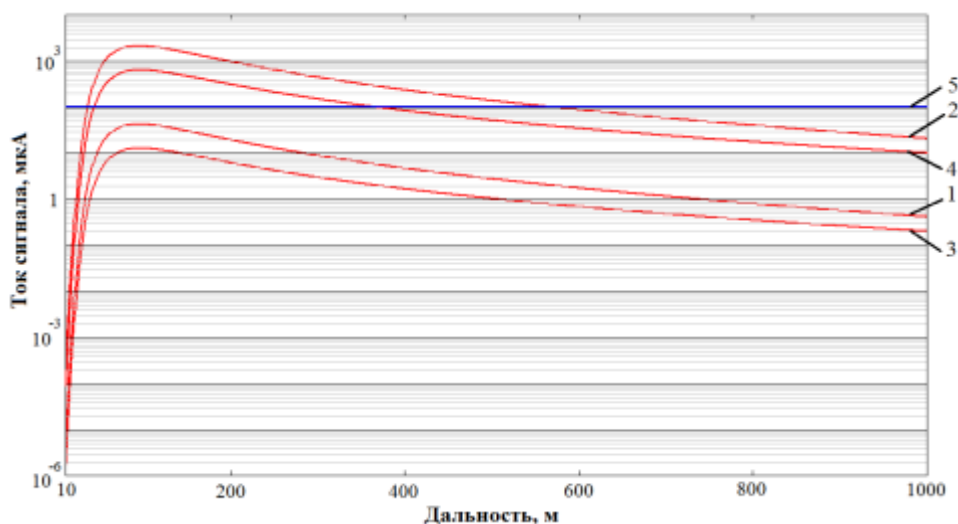
| Тип ФЭУ                                                                 | Модуль ФЭУ<br>Н10721-210 | Модуль ФЭУ<br>Н9305-03 | Модуль ФЭУ<br>Н7422-40 |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Длина волны максимума спектральной катодной чувствительности            | 400                      | 450                    | 580                    |
| Спектральная катодная чувствительность в максимуме, мА/ Вт              | 130                      | 105                    | 176                    |
| Спектральная катодная чувствительность на длине волны 0,355 мкм, мА/ Вт | 100                      | 90                     | 60                     |
| Спектральная катодная чувствительность на длине волны 0,532 мкм, мА/ Вт | 70                       | 100                    | 160                    |

На рисунках 3-14 показаны результаты расчетов зоны засветки приемника лоатора для разных параметров лоатора и аэрозольной атмосферы в УФ и видимом спектральных диапазонах.

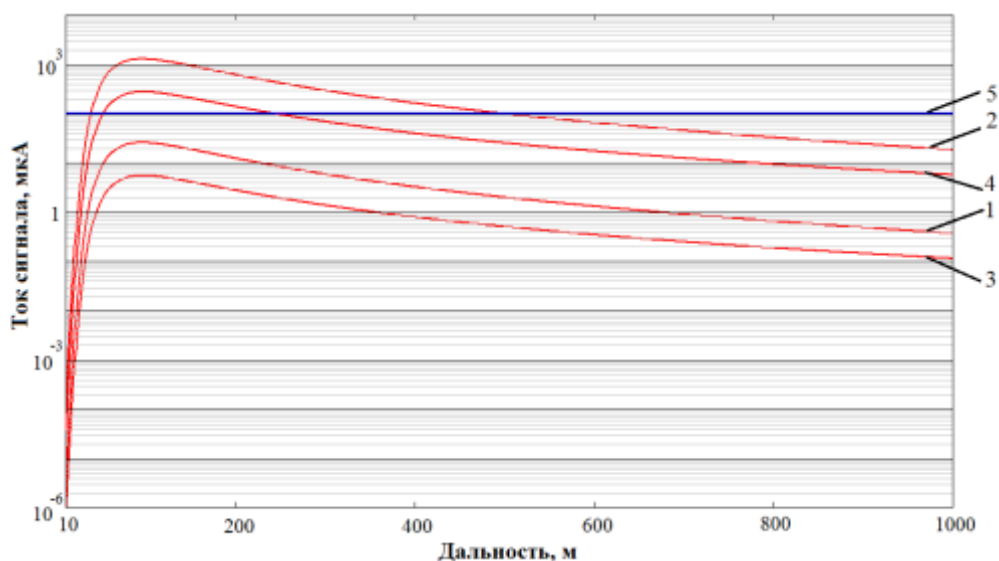
Рисунки 3-8 соответствуют относительно небольшой базе (между оптическими осями источника и приемника) –  $b = 0,25$  м, а рисунки 9-14 показывают результаты расчет для достаточно большой базы –  $b = 2,0$  м.

Рисунки 3-5 и 9-11 (для баз  $b = 0,25$  м и  $b = 2,0$  м, соответственно) приведены для модуля ФЭУ Н10721-210, а рисунки 6-8 и 12-14 – для модуля ФЭУ Н9305-03.

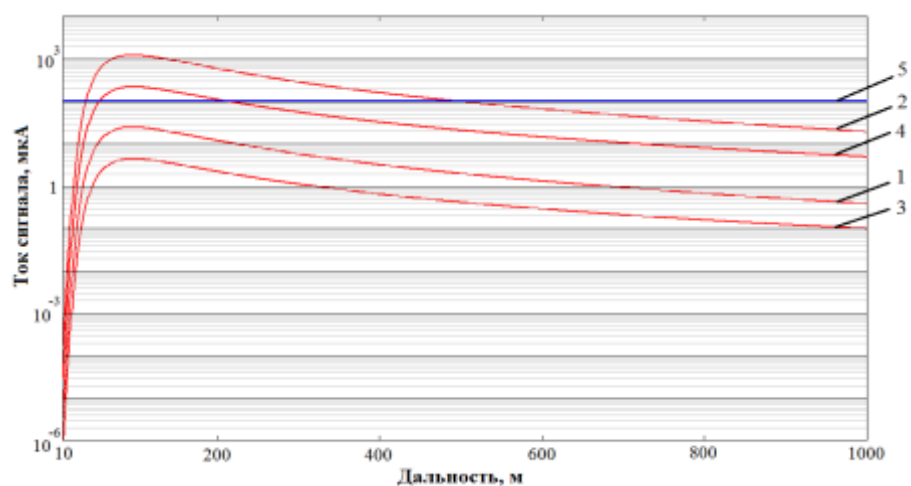
На рисунках 3, 6, 9, 12 показаны результаты расчетов для модели континентального аэрозоля, на рисунках 4, 7, 10, 13 - результаты расчетов для среднециклической модели аэрозоля, на рисунках 5, 8, 11, 14 - для фоновой модели аэрозоля.



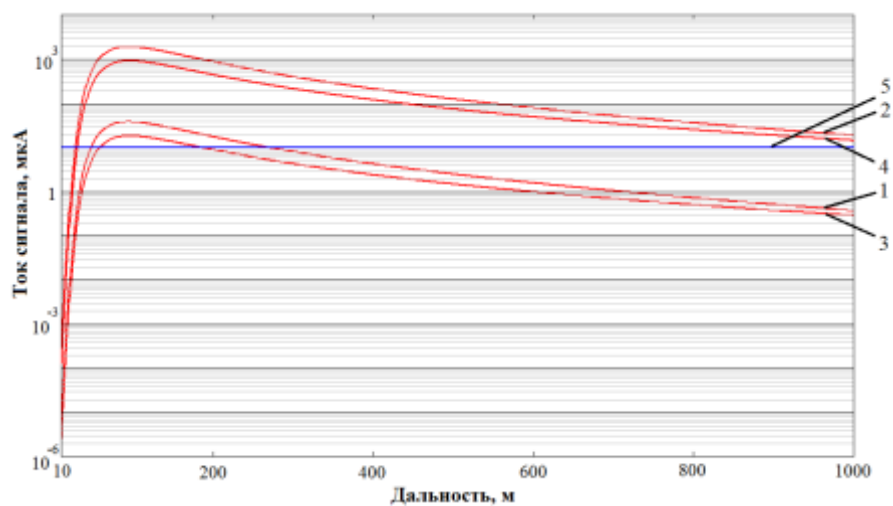
**Рисунок 3** – Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Модель континентального аэрозоля. Модуль ФЭУ Н10721-210. База  $b = 0,25$  м.



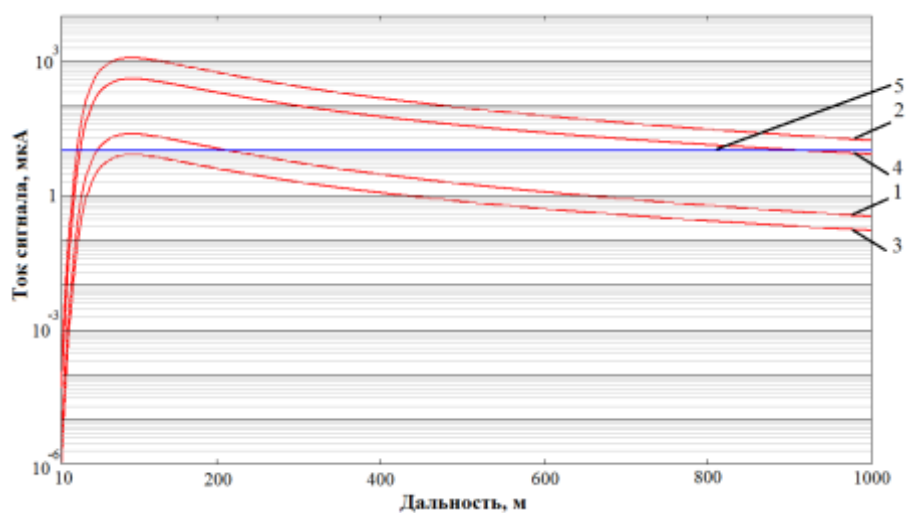
**Рисунок 4** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Среднециклическая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ Н10721-210. База  $b = 0,25$  м.



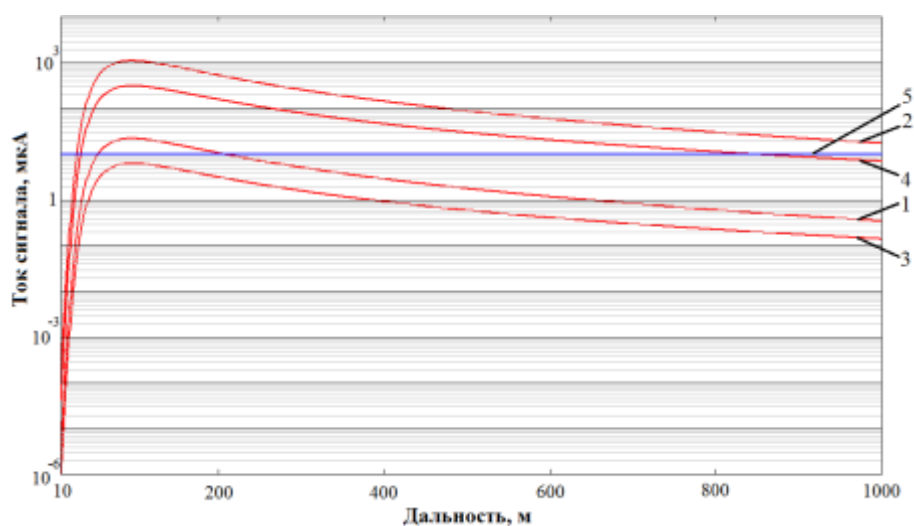
**Рисунок 5** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Фоновая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ Н10721-210. База  $b = 0,25$  м.



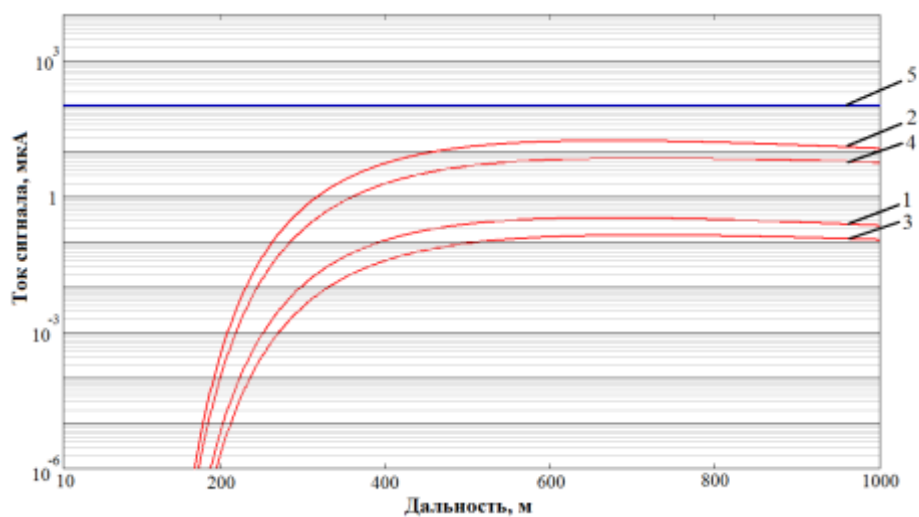
**Рисунок 6** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Модель континентального аэрозоля. Модуль ФЭУ Н9305-03. База  $b = 0,25$  м.



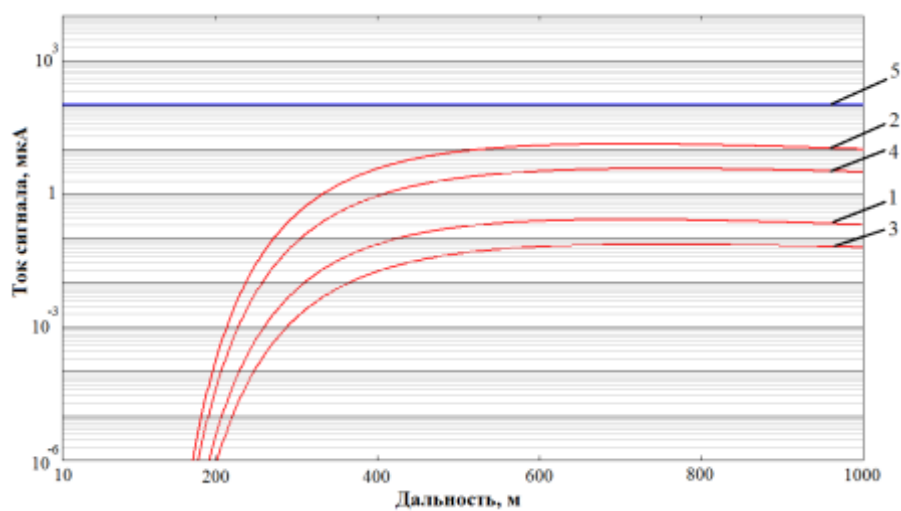
**Рисунок 7** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Среднециклическая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ Н9305-03. База  $b = 0,25$  м.



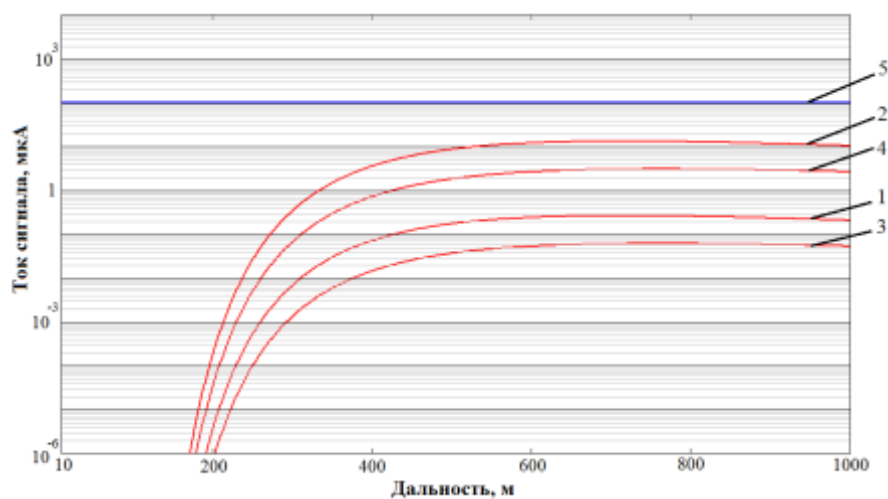
**Рисунок 8** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Фоновая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ ФЭУ Н9305-03. База  $b=0,25$  м.



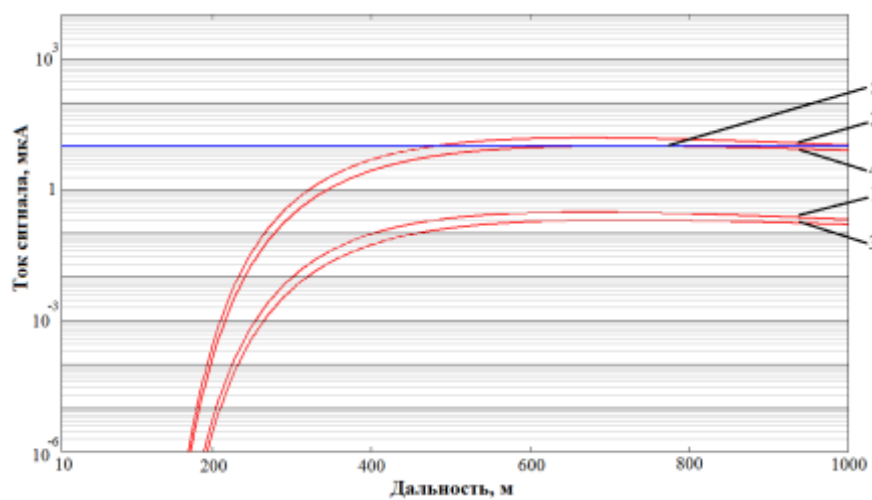
**Рисунок 9** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Модель континентального аэрозоля. Модуль ФЭУ Н10721-210. База  $b=2$  м



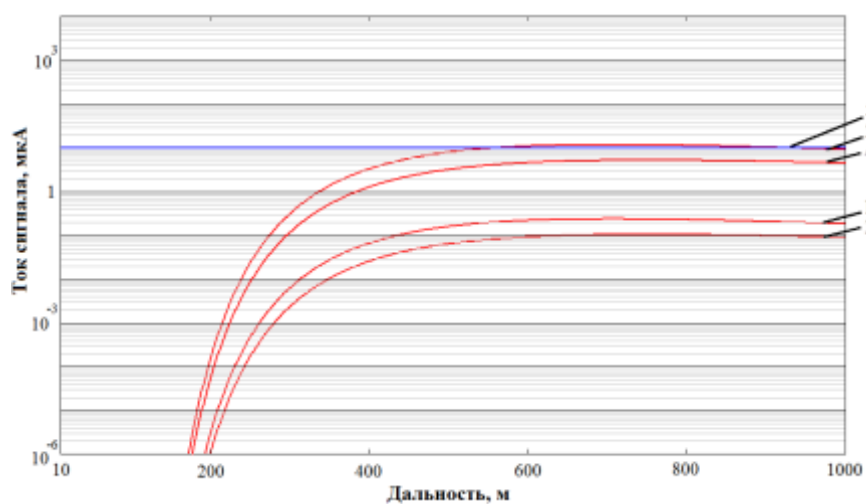
**Рисунок 10** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Среднecиклическая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ Н10721-210. База  $b=2$  м.



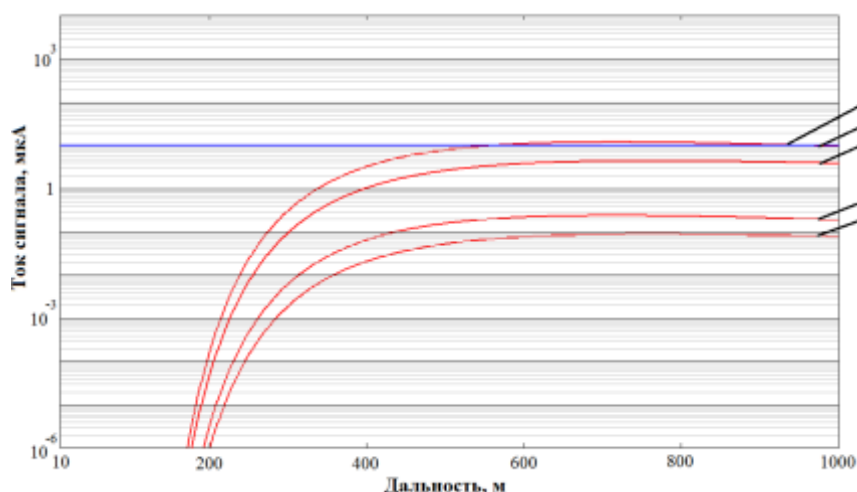
**Рисунок 11** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Фоновая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ Н10721-210. База  $b=2$  м.



**Рисунок 12** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Модель континентального аэрозоля. Модуль ФЭУ Н9305-03. База  $b=2$  м.



**Рисунок 13** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Среднециклическая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ Н9305-03. База  $b=2$  м.



**Рисунок 14** - Зависимость анодного тока ФЭУ от дальности. Фоновая модель аэрозоля. Модуль ФЭУ ФЭУ Н9305-03. База  $b=2$  м.

Кривые 1,2 на каждом рисунке соответствуют длине волны 0,355 мкм (1- относительно небольшой коэффициент усиления ФЭУ -  $G=2 \cdot 10^3$ , 2 - большой коэффициент усиления ФЭУ -  $G=10^5$ ), а кривые 3,4 на каждом рисунке соответствуют длине волны 0,532 мкм (3- коэффициент усиления ФЭУ -  $G=2 \cdot 10^3$ , 4 - коэффициент усиления ФЭУ -  $G=10^5$ ).

Расчеты для рисунков 3-14 проводились при следующих значениях параметров:  $K_r = 0,1$ ;  $K_t = 0,85$ ;  $r_r = 0,05$  м;  $r_t = 0,0015$  м;  $\alpha_r = 2,5$  мрад;  $\alpha_t = 0,5$  мрад;  $\tau_t = 14$  нс;  $P_0 = 0,28$  МВт.

На рисунках 3-14 диапазон дальностей, для которых анодный ток ФЭУ (кривые 1-4) больше максимального выходного тока ФЭУ (линия 5), соответствует зоне засветки приемника локатора.

Результаты, приведенные на рисунках, показывают, что при небольшой базе ( $b=0,25$  м) в зависимости от параметров ФЭУ (коэффициента усиления, максимального анодного тока) и параметров атмосферы могут реализовываться условия появления зоны засветки приемника локатора. В более прозрачной атмосфере, при меньшем усилении ФЭУ и при большем значении максимального анодного тока ФЭУ размеры зоны засветки меньше (или ее нет). На длине волны 0,355 мкм размер зоны засветки в большинстве случаев больше, чем на длине волны 0,532 мкм.

При большой величине базы (см. рисунки для большой базы  $b=2$  м) в подавляющем большинстве случаев зона засветки отсутствует. Таким образом, по результатам расчетов можно выбрать величину базы, обеспечивающую отсутствие зоны засветки для конкретного ФЭУ в определенном диапазоне коэффициентов усиления ФЭУ при любых (реаль-

ных) параметрах атмосферы. Однако, выбор величины базы, конечно, должен быть согласован с требованиями на габаритные размеры лоатора.

### Заключение

В работе впервые проведен анализ зависимости зоны засветки приемника от параметров атмосферы и лазерного лоатора в УФ спектральном диапазоне. Показано, что при небольшой базе между оптическими осями источника и приемника условия появления зоны засветки приемника лазерного лоатора могут реализовываться при разных атмосферы и фотодетектора лоатора. В более прозрачной атмосфере, при меньшем усилении и при большем значении максимального анодного тока ФЭУ размеры зоны засветки меньше. На длине волны 0,355 мкм размер зоны засветки в большинстве случаев больше, чем на длине волны 0,532 мкм.

С увеличением базы между оптическими осями источника и приемника зона засветки уменьшается и по результатам расчетов можно выбрать величину базы, обеспечивающую отсутствие зоны засветки в определенном диапазоне значений параметров ФЭУ и земной атмосферы.

### Список литературы

1. Карасик В.Е., Орлов В.М. Локационные лазерные системы видения. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 478 с.
2. Оптическая локация // Laser-Portal.ru: Лазерный Портал. Режим доступа: [http://www.laserportal.ru/content\\_686](http://www.laserportal.ru/content_686) (дата обращения 12.01.2016).
3. Барышников Н.В. Исследование пространственных характеристик пучка излучения лазера в ближней зоне при его нелинейном взаимодействии со средой распространения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2011. № 2 (83). С. 3-15. Режим доступа: <http://vestnikprib.ru/catalog/laser/hidden/40.html> (дата обращения 01.02.2016).
4. Лазерная локация, доплеровские изображения и синтез апертуры // GT: сайт. Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/262188/> (дата обращения 12.01.2016).
5. Кириллов Н.С., Самохвалов И.В. Применение электрооптических модуляторов для подавления помехи от «ближней зоны» при лазерном поляризационном зондировании // Academia: сайт. Режим доступа: [www.academia.edu/8884331/](http://www.academia.edu/8884331/) (дата обращения 12.01.2016).
6. Бычков В.В., Пережогин А.С., Шевцов Б.М., Маричев В.Н., Новиков П.В., Черемисин А.А. [Сезонные особенности появления аэрозольного рассеяния в стратосфере и мезосфере Камчатки по результатам лидарных наблюдений в 2007-2009 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 5. С. 653-659.](#)
7. Невзоров А.В. Автоматизированное зеркало стратосферного аэрозольного лидара для вывода лазерного излучения в атмосферу // Rusnauka.com: сайт. Режим доступа: [http://www.rusnauka.com/20\\_DNII\\_2012/Phisica/7\\_114113.doc.htm](http://www.rusnauka.com/20_DNII_2012/Phisica/7_114113.doc.htm) (дата обращения 12.01.2016).

8. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Основы импульсной лазерной локации. 2-е изд., доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 572 с.
9. Самохвалов И.В. Исследование атмосферы методом лазерного поляризационного зондирования // БШФФ: сайт. Режим доступа: <http://bsfp.media-security.ru/bsff2/bb02an4.htm> (дата обращения 12.01.2016).
10. Сибирская лидарная станция ИОА СО РАН // Институт оптики атмосферы: сайт. Режим доступа: <http://www.iao.ru/ru/resources/equip/sls/> (дата обращения 12.01.2016).
11. Лазерное зондирование атмосферы // Образовательный блог – все для учебы: сайт. Режим доступа: <http://all4study.ru/raznoe/lazernoe-zondirovanie-atmosfery.html> (дата обращения 12.01.2016).
12. Hamamatsu: company website. Режим доступа: <http://www.hamamatsu.su/spravochniki/168-fotoelektronnye-umnozhiteli-feun> (дата обращения 12.01.2016).
13. Козинцев В.И., Белов М.Л., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Расчет яркости фона и ослабления лазерного излучения в ультрафиолетовой области спектра. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 66 с.
14. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 256 с.
15. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 198 с.

## **Analysis of Lidar Receiver Saturation Zone Versus Atmosphere and Lidar Parameters in UV Spectral Band**

**P.A. Filimonov<sup>1,\*</sup>, M.L. Belov<sup>1</sup>,**

**<sup>\*</sup>[filimonov@bmstu.ru](mailto:filimonov@bmstu.ru)**

**V.A. Gorodnichev<sup>1</sup>, S.E. Ivanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

---

**Keywords:** location and remote sensing laser systems, lidar near zone clutter; ultraviolet spectral band, visible spectral band

---

One of the problems of location and remote sensing laser systems is the overload of photo-receiver because of the intensive clutter from the backscatter (towards the lidar) signal in the lidar "near zone". The intensive clutter arises from elastic scattering of laser radiation by aerosol particles, which are always available in the earth's atmosphere.

To solve this problem the long-range high-speed laser systems use mechanical shutters to disable physically a receiving optical channel for a time of the possible arrival of the backscatter signal from the "near zone". The easiest way to solve the problem of the photo-receiver overload in the "near zone" here is to use a biaxial circuit of location where a laser beam comes in sight of photo-receiver only within a certain predetermined range. This location circuit allows us to reduce the intensity of the atmospheric aerosol-based radiation scattered in the lidar "near zone" and avoid the clutter of the photo-receiver.

The size of the lidar clutter zone can be estimated by comparing a detected signal, caused by scattering the atmospheric aerosol laser pulse of lidar, with a maximum output current of the photo-receiver.

The clutter zone (and its size) depends on many factors, namely: factors that are directly or indirectly dependent on the wavelength of the radiation (atmospheric factors, i.e. index of attenuation and scattering of the atmosphere, scattering indicatrix, radiation energy of the laser pulse, the photo-receiver parameters - spectral sensitivity, gain, maximum output current, etc.) as well as geometric factors (distance between the optical axes of the source and the receiver, divergence of laser radiation, fields in sight of photo-receiver, size of transmitting aperture and receiving lens).

The calculation results of UV and visible spectral bands show that with a small base, depending on the photomultiplier (PMT) parameters (gain, maximum anode current) and the atmosphere parameters, conditions for arising clutter zone of lidar photo-receiver may be implemented or not. In the more transparent atmosphere at a lower PMT gain and a higher value of the

PMT maximum anode current the sizes of the clutter zone are less (or it is absent). At a wavelength of  $0.355\ \mu$  the size of the clutter zone is mostly more than at the wavelength of  $0.532\ \mu$ .

With increasing base between the optical axes of the source and receiver the clutter zone is reduced, and the results of calculations enable selecting a base value to ensure a lack of the clutter zone in a certain range of parameter values of the PMT and the Earth's atmosphere.

## References

1. Karasik V.E., Orlov V.M. *Lokatsionnye lazernye sistemy videniya* [Locational laser systems of vision]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 478 p. (in Russian).
2. *Opticheskaya lokatsiya* [Optical location]. Laser-Portal.ru: Laser Portal. Available at: [http://www.laserportal.ru/content\\_686](http://www.laserportal.ru/content_686) , accessed 12.01.2016. (in Russian).
3. Baryshnikov N.V. Study of Spatial Characteristics of Laser Radiation Beam in Near-Field Zone in Its Nonlinear Interaction with Medium of Propagation. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*, 2011, no. 2, pp. 3-15. Available at: <http://vestnikprib.ru/catalog/laser/hidden/40.html> , accessed 01.02.2016. (in Russian).
4. *Lazernaya lokatsiya, doplerovskie izobrazheniya i sintez apertury* [Laser location, doppler images and synthesis of aperture]. GT: website. Available at: <http://geektimes.ru/post/262188/> , accessed 12.01.2016. (in Russian).
5. Kirillov N.S., Samokhvalov I.V. *Primenenie elektroopticheskikh modulyatorov dlya podavleniya pomekhi ot "blizhnei zony" pri lazernom polyarizatsionnom zondirovanii* [Use of electro-optic modulators for suppression of interference from "near zone" by laser polarization sensing]. Academia: website. Available at: [www.academia.edu/8884331/](http://www.academia.edu/8884331/) , accessed 12.01.2016. (in Russian).
6. Bychkov V.V., Perezhogin A.S., Shevtsov B.M., Marichev V.N., Novikov P.V., Cheremisin A.A. [Seasonal features of the appearance of aerosol scattering in the stratosphere and mesosphere of Kamchatka from the results of lidar observations in 2007-2009. \*Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana = Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics\*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 653-659. DOI: 10.1134/S0001433811050033](#) (in Russian).
7. Nevzorov A.V. *Avtomatizirovannoe zerkalo stratosfernogo aerol'nogo lidara dlya vyvoda lazernogo izlucheniya v atmosferu* [Automated mirror of stratospheric aerosol lidar for output laser radiation in the atmosphere]. Rusnauka.com: website. Available at: [http://www.rusnauka.com/20\\_DNII\\_2012/Phisica/7\\_114113.doc.htm](http://www.rusnauka.com/20_DNII_2012/Phisica/7_114113.doc.htm) , accessed 12.01.2016. (in Russian).
8. Kozintsev V.I., Belov M.L., Orlov V.M., Gorodnichev V.A., Strelkov B.V. *Osnovy impul'snoi lazernoi lokatsii* [Basics of pulsed laser location]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 572 p. (in Russian).
9. Samokhvalov I.V. *Issledovanie atmosfery metodom lazernogo polyarizatsionnogo zondirovaniya* [Study of the atmosphere by method of laser polarization sensing]. BSFP:

- website. Available at: <http://bsfp.media-security.ru/bsff2/bb02an4.htm> , accessed 12.01.2016. (in Russian).
10. *Sibirskaya lidarnaya stantsiya IOA SO RAN* [Siberian Lidar Station]. V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics: website. Available at: <http://www.iao.ru/ru/resources/equip/sls/> , accessed 12.01.2016. (in Russian).
  11. *Lazernoe zondirovanie atmosfery* [Laser sounding of the atmosphere]. Educational blog – all for study: website. Available at: <http://all4study.ru/raznoe/lazernoe-zondirovanie-atmosfery.html> , accessed 12.01.2016. (in Russian).
  12. Hamamatsu: company website. Available at: <http://www.hamamatsu.ru/spravochniki/168-fotoelektronnye-umnozhiteli-feun> , accessed 12.01.2016. (in Russian).
  13. Kozintsev V.I., Belov M.L., Gorodnichev V.A., Strelkov B.V. *Raschet yarkosti fona i oslableniya lazernogo izlucheniya v ul'trafioletovoi oblasti spektra* [Calculation of brightness of the background and weakening of laser radiation in ultraviolet region of spectrum]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 66 p. (in Russian).
  14. Zuev V.E., Krekov G.M. *Opticheskie modeli atmosfery* [Optical models of the atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 256 p. (in Russian).
  15. Krekov G.M., Rakhimov R.F. *Optiko-lokatsionnaya model' kontinental'nogo aerolya* [Optical-locational model of continental aerosol]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 198 p. (in Russian).