



# Моделирование древостоев для оценки видимости пламени через лесной полог с малых высот

**И.В. Мателенок, Е.А. Евдокимова, Д.А. Семенов**




Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения

---

XX Международная конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА  
(Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально  
опасных явлений и объектов)»

Москва, 14 - 18 ноября 2022 г.

- ❖ В последние годы для поиска возгораний в границах лесных массивов все активнее используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные регистрирующей аппаратурой видимого и ИК диапазонов. Выбор оптимальных решений, позволяющих добиться раннего обнаружения опасности (пожара на начальной стадии), является ключевым фактором успеха мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций такого рода.
- ❖ Разнообразие возможных вариантов реализации процедур мониторинга с помощью камер видимого и ИК диапазонов на платформах БПЛА, особенно в свете расширения использования группировок малых аппаратов, требует исследования видимости очагов горения через полог при разных схемах контроля как в натурных, так и в вычислительных экспериментах.
- ❖ При проведении вычислительных экспериментов, направленных на оценку параметров видимости, существенное значение приобретает выбор модели, воспроизводящей черты реальных растительных организмов и определяющей характер взаимодействия излучения с формируемым «виртуальным» пологом.
- ❖ В экспериментах по симуляции переноса излучения используются следующие типы трехмерных моделей растений: модели в виде структур, состоящих из распределенных в пространстве квазиоднородных блоков, модели, имитирующие особенности геометрии объектов-оригиналов, но не базирующихся на пространственных данных по конкретным растительным особям, а также модели на основе данных фотосъемки и лазерного сканирования местности.



Цель – информационная поддержка принятия решений по выбору трехмерных моделей, предназначенных для воспроизведения характеристик древостоев при симуляции переноса излучения в пологе и позволяющих проводить эксперименты по исследованию видимости пламени через кроны в виртуальных сценах.

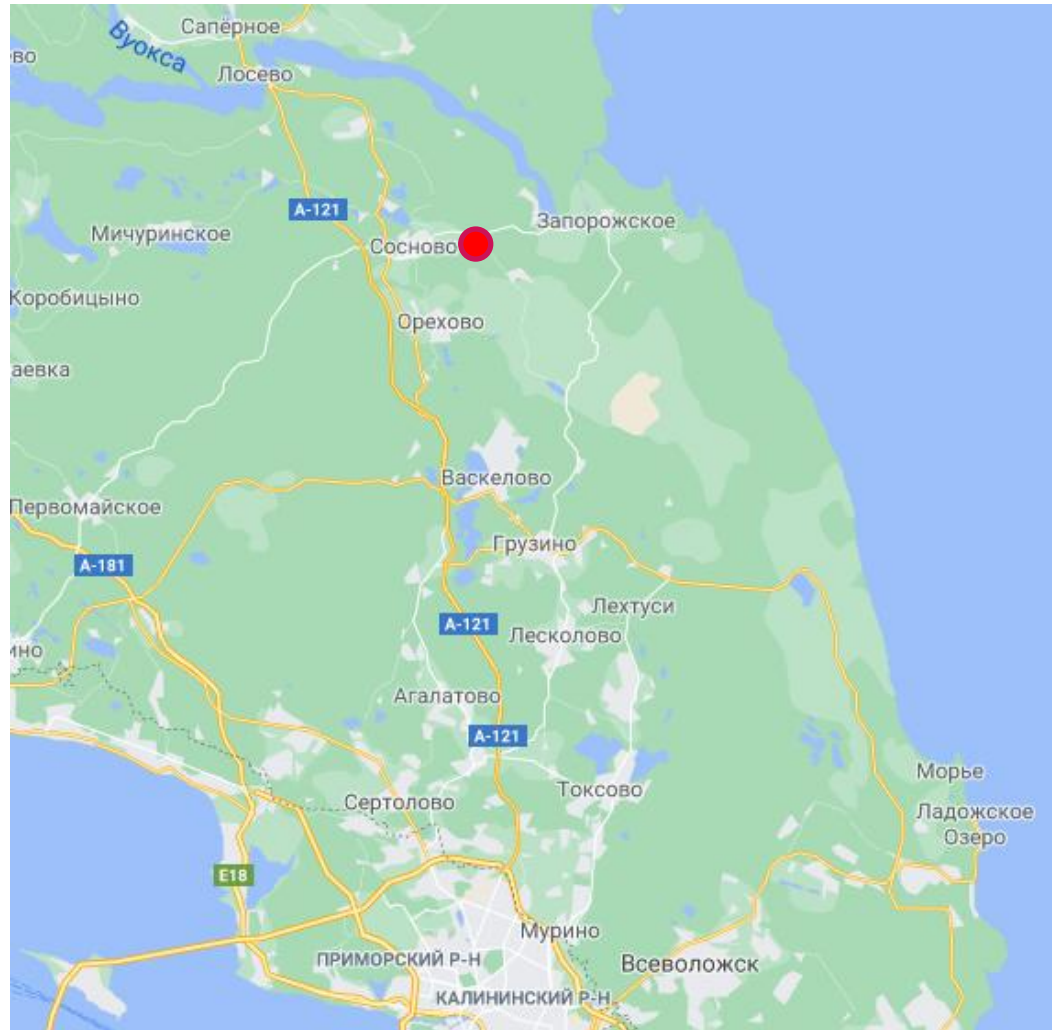


#### Задачи:

- Сбор данных о геометрических характеристиках и особенностях пространственного расположения фитоэлементов деревьев одной из распространенных на территории РФ лиственных пород – березы;
- Создание на основе полученных данных трехмерных моделей разного уровня детализации, пригодных для использования в экспериментах по симуляции переноса излучения, проводимых в виртуальных средах;
- Анализ поведения созданных моделей в серии экспериментов с оценкой значений коэффициента пропускания излучения кронами;
- Формирование предложений по использованию моделей разных типов (разного уровня детализации) в экспериментах по симуляции переноса излучения.

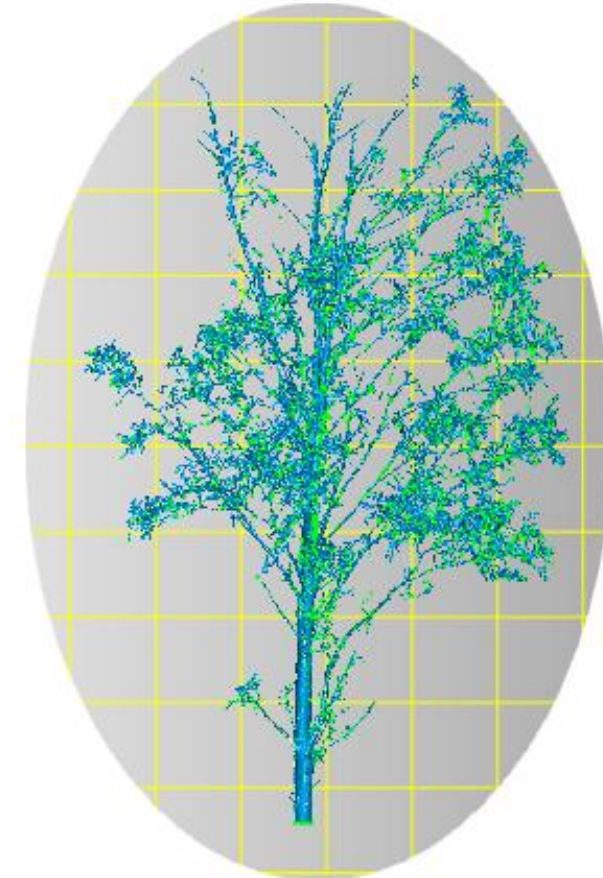
- Для сбора сведений о свойствах лесного полога, сформированного выбранной породой деревьев, использованы инструменты поиска в общедоступных отраслевых базах данных.
- Для получения данных о геометрических характеристиках (форме, размерах, взаимном расположении) фитоэлементов древостоев на конкретных участках местности применен программно-аппаратный комплекс, включающий наземный лазерный сканер Trimble X7, планшетный компьютер Trimble T10x и программное обеспечение Trimble Perspective, а также вспомогательное оборудование.
- Обработка полученных в ходе лазерного сканирования облаков точек осуществлялась с помощью программного обеспечения Cloud Compare и SAGA GIS.
- Для аналитического описания структуры полога, а также формирования и сохранения во внешние файлы итоговых трехмерных моделей его фрагментов использована среда и язык программирования R в сочетании с набором дополнительных библиотек.
- Оценка пропускания излучения очага горения пологом леса выполнена посредством моделирования переноса излучения очага горения методом фотонных карт (применено специализированное программное обеспечение для светотехнических расчетов).

- Для изучения влияния уровня детализации модельного описания на результаты экспериментов по симуляции переноса излучения видимого диапазона решено было использовать три типа трехмерных моделей деревьев:
  - ✓ **Модели в виде заполненного листовыми пластинками эллипсоида (тип I);**
  - ✓ **Модели в виде массива листовых пластинок, координированных вокруг скелета трихотомической L-системы (тип II);**
  - ✓ **Модели в виде полигональных структур на основе данных лазерного сканирования (среди них отдельно исследуются две группы моделей – с наличием (тип IIIa) и отсутствием группировки (тип IIIб) листовых пластинок).**
- В роли объектов-оригиналов для этих моделей выступают березовые древостои.
- Модели указанных типов включают в себя массивы полигональных листовых пластинок в количестве, соответствующем выбранному значению индекса листовой поверхности, но различаются способом представления стволов, ветвей, а также особенностями взаимной координации фитоэлементов.
- Для генерации массивов листовых пластинок используются значения индекса листовой поверхности из работы (Wang et al., 1995) и данные о распределении фитоэлементов по углам наклона из работы (Pisek et al., 2013).

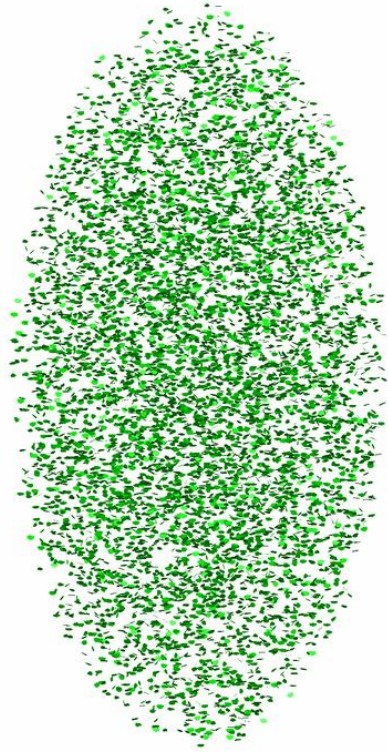


- Наземное лазерное сканирование древостоев осуществлялось в границах участка на территории Приозерского района Ленинградской области, занятого смешанным лесом и ранее использованного авторами для выполнения экспериментов по анализу видимости пламени сквозь кроны в полевые сезоны 2020-2021 гг.
- Работы на участке проводились весной-летом 2022 г.

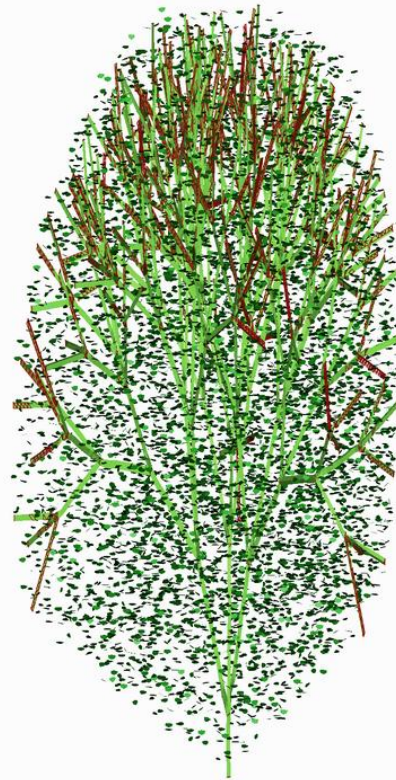




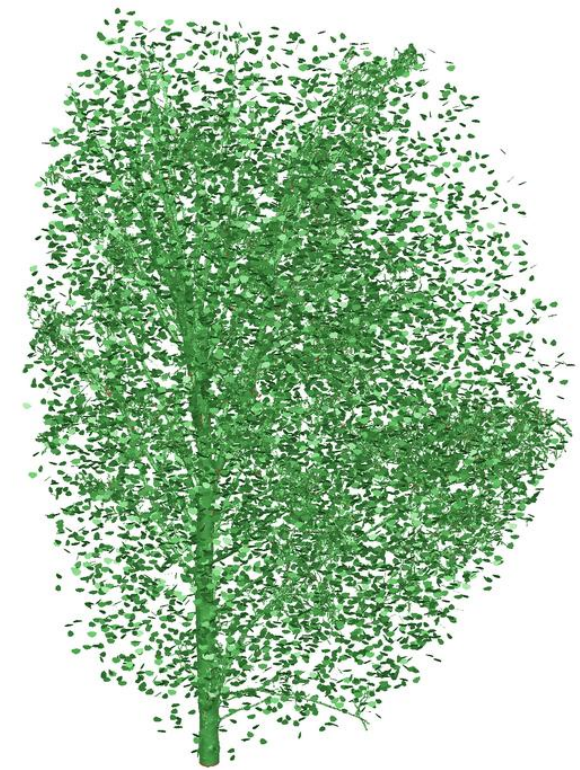
**В ходе полевых изысканий осуществлялось лазерное сканирование фрагментов полога, после чего в рамках камеральных работ производилась сшивка получаемых облаков точек и их дальнейшее преобразование с помощью программного обеспечения Cloud Compare.**



**Модель в виде  
заполненного  
листовыми пластинками  
эллипсоида (тип I)**



**Модель в виде массива листовых  
пластинок, координированных  
вокруг скелета трихотомической  
L-системы (тип II)**



**Модель в виде полигональной  
структуры на основе данных  
лазерного сканирования  
(типы IIIa, б)**



Для проведения испытаний модели трех рассматриваемых типов, различающиеся по способу представления стволов, ветвей, а также по расположению фитоэлементов, были поочередно внедрены в виртуальные сцены, содержащие также модели очага горения, модели естественного освещения и модели системы чувствительных поверхностей, регистрирующих поверхностную плотность потока излучения.

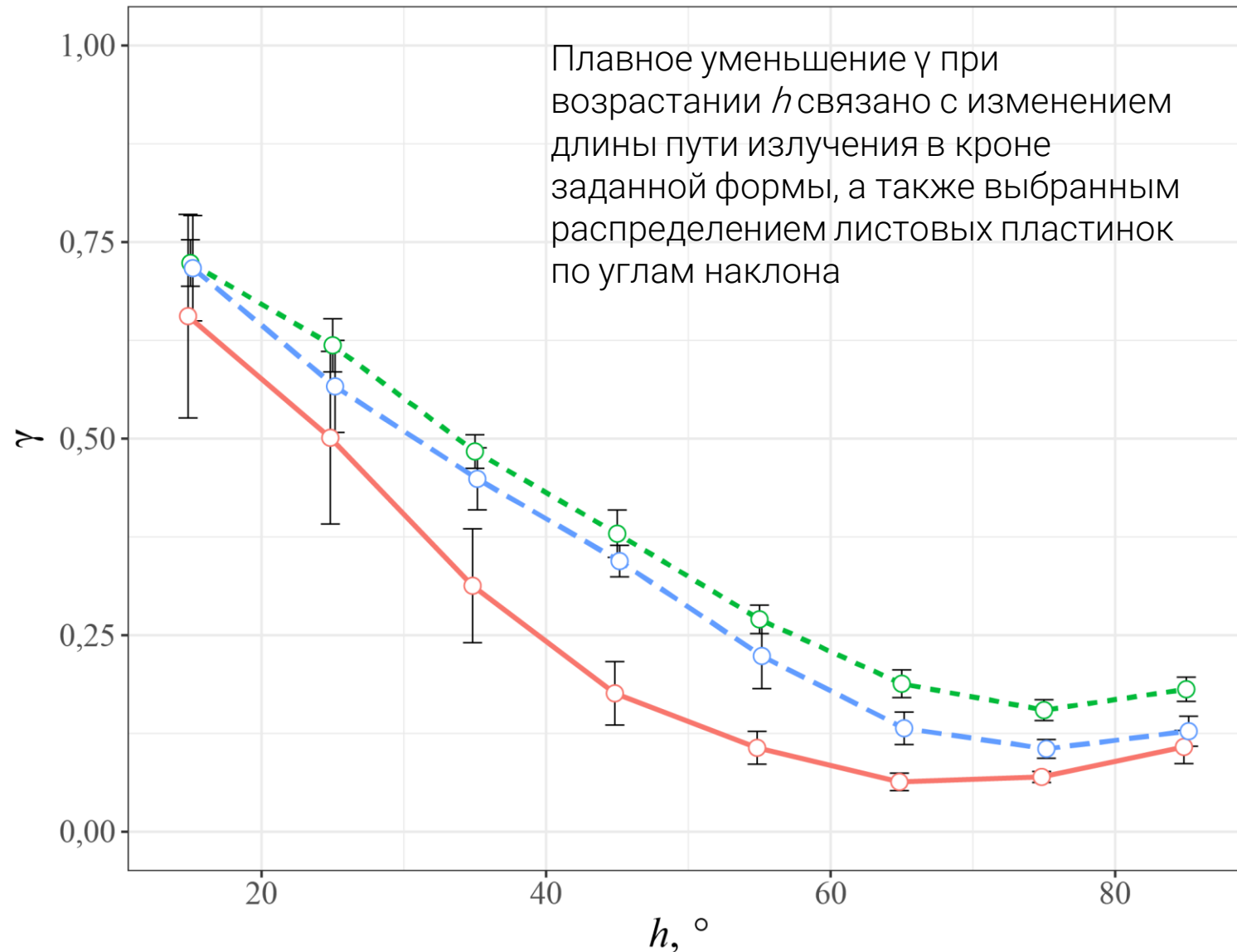
С созданными сценами проведены вычислительные эксперименты по симуляции переноса излучения от очага горения к сенсору через кроны. Моделирование распространения излучения видимого диапазона осуществлялось с помощью программного обеспечения для светотехнических расчетов, в котором реализован метод фотонных карт.

Этапы моделирования переноса излучения

1. Трассировка фотонов
2. Конструирование фотонных карт для сцены
3. Рендеринг и получение оценок поверхностной плотности потока излучения

**Обозначения:** D - прямое освещение  
 S - тени  
 I - непрямоe освещение  
 (диффузная составляющая)



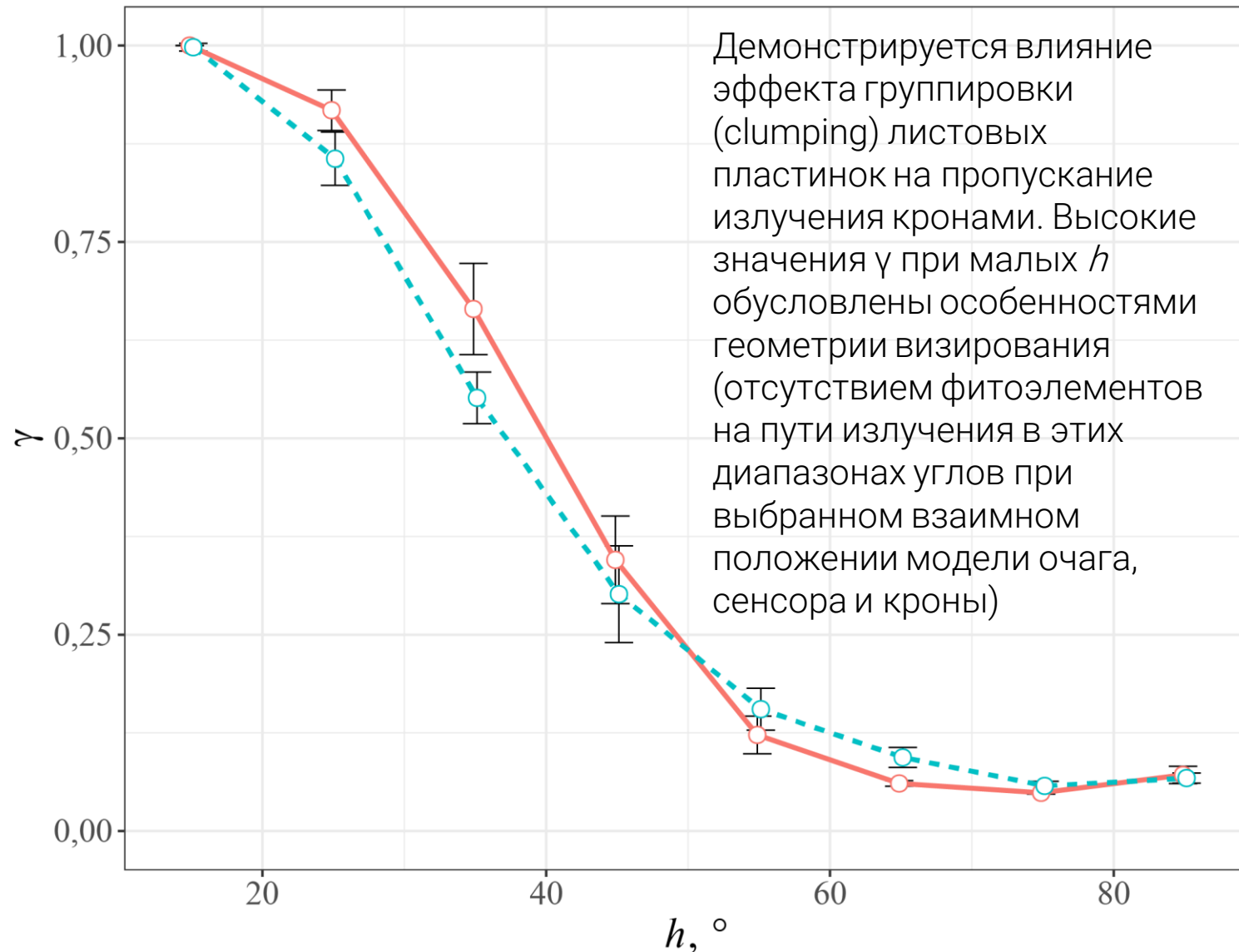


Приведены полученные угловые зависимости коэффициента пропускания  $\gamma$  для случая прохождения излучения через крону единичного дерева ( $h$  – угловая высота сенсора).

Высота дерева – 9 м,  
усредненный диаметр кроны – 5,5 м.  
LAI = 1,7.

- – Модели типа I (бескаркасные)
- – Модели типа II (на основе L-системы)
- – Модели типа III (на основе данных LiDAR)

Оценки  $\gamma$  на указанных угловых высотах для каждого типа моделей получены в серии из 9 вычислительных экспериментов методом фотонных карт.

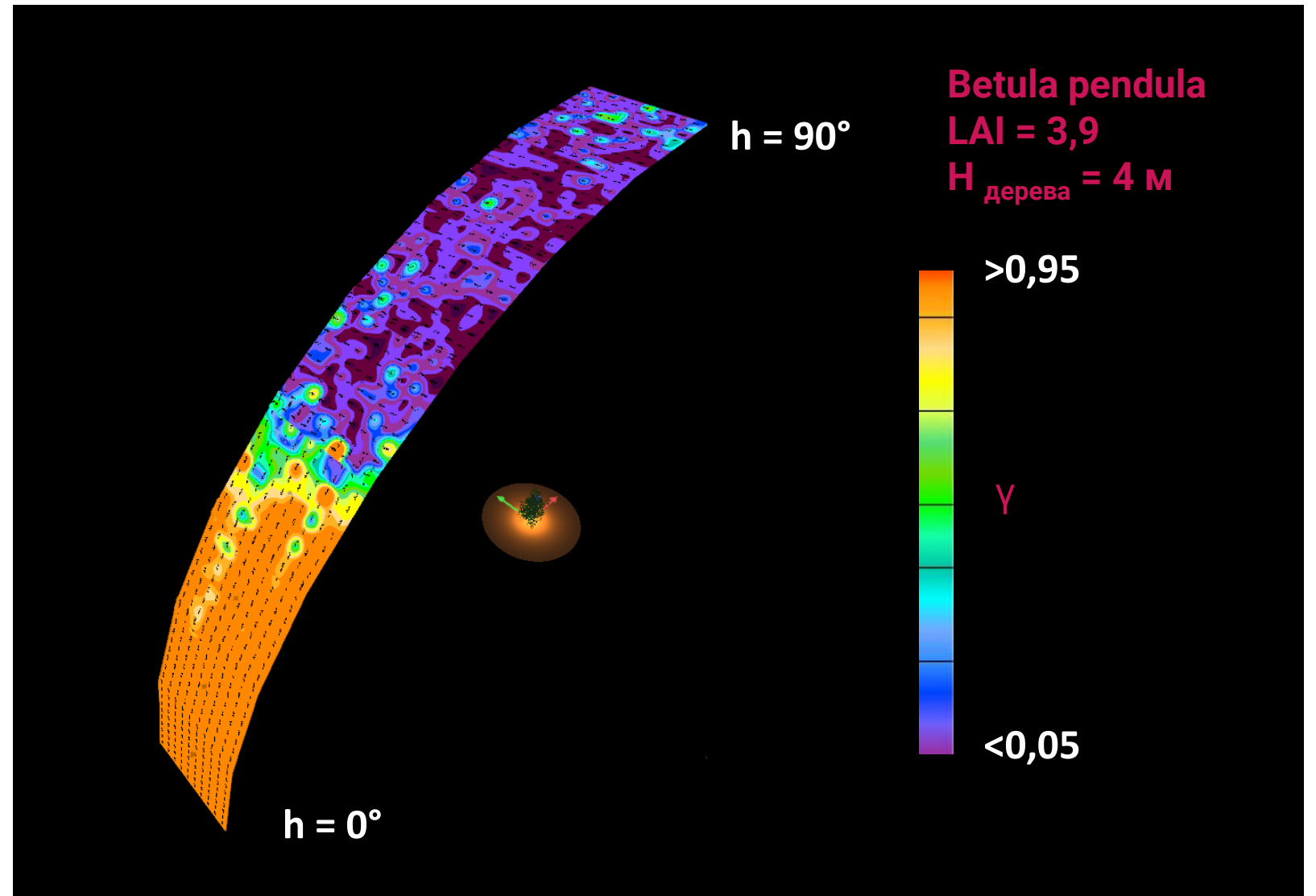
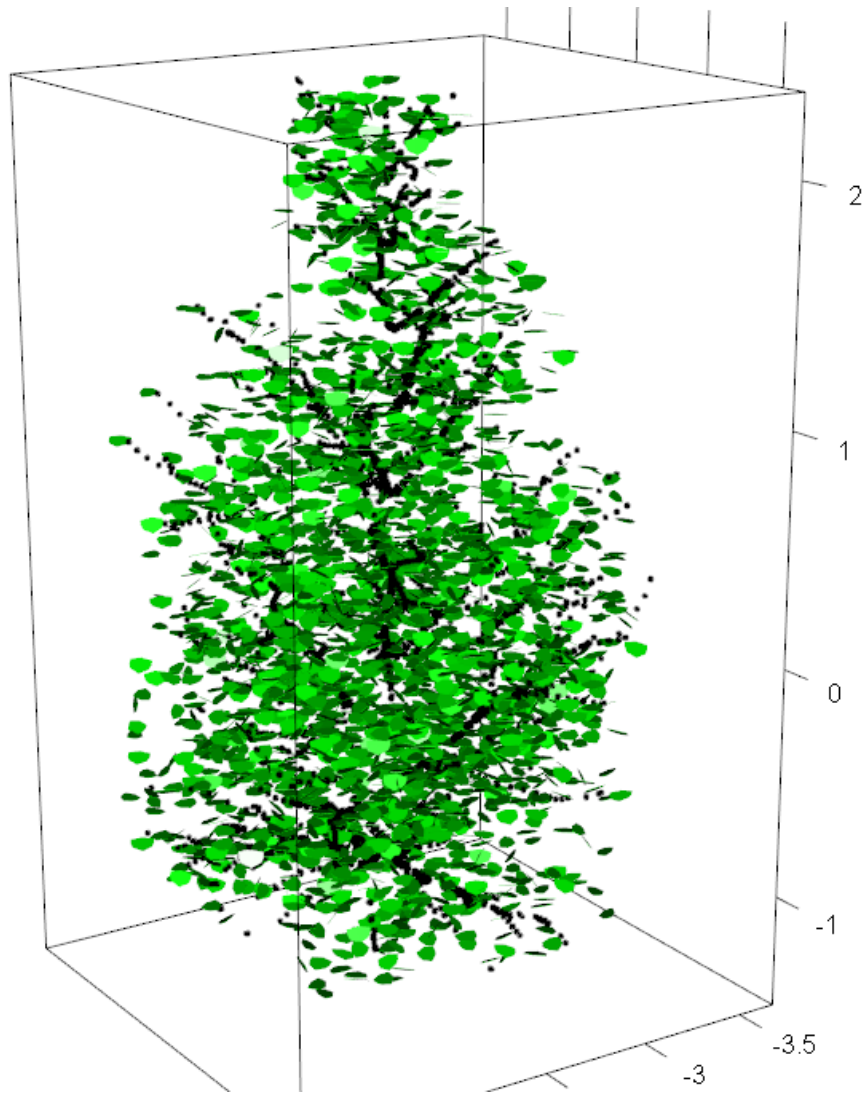


Приведены полученные угловые зависимости коэффициента пропускания  $\gamma$  для случая прохождения излучения через крону единичного дерева ( $h$  – угловая высота сенсора).

Высота дерева – 4 м,  
усредненный диаметр кроны – 2,2 м.  
LAI = 3,9.

- – Модели типа IIIa с группировкой листьев
- – Модели типа IIIб без группировки листьев

Оценки  $\gamma$  на указанных угловых высотах для данного типа моделей получены в серии из 9 вычислительных экспериментов методом фотонных карт.



Результаты симуляции распространения излучения очага горения через образец трехмерной полигональной модели типа IIIa

- Созданный комплект трехмерных моделей деревьев разной детальности позволил провести серию вычислительных экспериментов по моделированию переноса излучения видимого диапазона, испускаемого очагом горения, расположенным под пологом, и установить различия в характере отображения моделями свойств объектов-оригиналов. Далее он может быть использован для подбора геометрии визирования и определения режимов контроля возгораний.
- Согласно данным экспериментов, в области малых угловых высот ( $0 - 40^\circ$ ) для моделей II и III типа наблюдается существенный разброс значений коэффициента, связанный с эпизодами экранирования излучения источника стволами и крупными ветвями.
- Показано, что при конкретной установленной форме кроны детальные трехмерные модели III типа обеспечивают наиболее выраженное экранирование излучения, при этом наблюдается почти двукратное уменьшение коэффициента пропускания относительно значений для моделей II типа (на углах визирования  $40 - 60^\circ$ ), и еще большее – по сравнению со значениями для моделей I типа.
- Была подтверждена важность воспроизведения моделями пространственной неоднородности биомассы, отражения реального распределения листьев по углам наклона и их группировки. Эти особенности древостоев рекомендуется учитывать в алгоритмах создания моделей на этапе координации малых фитоэлементов относительно каркаса, полученного на базе облака точек или L-системы (с использованием в качестве основы для соответствующих параметрических описаний натурные данные).
- В случае необходимости проведения экспериментов для обширных участков леса за счет использования моделей I и II типов оказывается возможным обеспечить экономию вычислительных ресурсов.

# Спасибо за внимание!



Контакты:

Мателенок Игорь Владимирович

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

E-mail: [igor\\_matelenok@mail.ru](mailto:igor_matelenok@mail.ru)