



ГУАП

Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения

Особенности активного зондирования покрытых снегом поверхностей в коротковолновом инфракрасном диапазоне

Мателенок И. В., Агафонов А. Е., Пономарева Е. Д.

XXII международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»



11 - 15 ноября 2024 г., Москва



- Широко используемым методом мониторинга состояния и исследования изменчивости природных образований и технических систем является активное зондирование в оптическом диапазоне электромагнитного спектра (т.н. лидарное зондирование).
- Зондирование объектов с целью оценки их геометрии во временные периоды, когда исследуемые поверхности оказываются покрыты снегом, сопряжено с рядом трудностей, особенно при использовании лазерных сканеров с длиной волны излучения около 1550 нм (т.е. относящегося к коротковолновому инфракрасному диапазону).
- К факторам, отрицательно влияющим на качество собираемых данных, относится как малая отражательная способность снежного покрова в указанном диапазоне, так и значительная изменчивость его физических и, соответственно, оптических свойств.
- Полученные рядом исследователей (среди которых Кринов Е. Л., Песчанский И. С., Deems J. S., Painter T. H., Finnegan D. C., Dozier J.) данные об отражательных свойствах снега в коротковолновом инфракрасном диапазоне не позволяют составить полное представление об особенностях взаимодействия снежного покрова с излучением при наземном лазерном сканировании и обозначить связанные с ними ограничения.

Цель исследования:

Настоящая работа направлена на получение данных о влиянии геометрии сканирования на возможность оценки положения и размеров объектов, покрытых снегом, при использовании распространенных наземных лазерных сканеров коротковолнового инфракрасного диапазона.

Задачи исследования:

- планирование и организация эксперимента по определению характера связи между ориентацией покрытых снегом поверхностей объектов относительно направления визирования и интенсивностью отраженного сигнала при лазерном сканировании;
- постановка натурных опытов с применением ранее созданной экспериментальной установки и наземного лазерного сканера;
- обработка полученных данных и их интерпретация.

Исследование включало в себя этапы полевых работ (натурных опытов) и камеральных работ.

Использованное в натурных опытах оборудование:

- наземный лазерный сканер Trimble X7;
- мобильный компьютер Trimble T100x;
- комплект отражательных пластин и вех;
- уровень и лазерный дальномер Bosch GLM80;
- укрытие из алюминиевого каркаса и полимерной пленки;
- экспериментальная установка, состоящая из силового каркаса и ориентированных под разными углами относительно горизонта пластин из ПВХ.

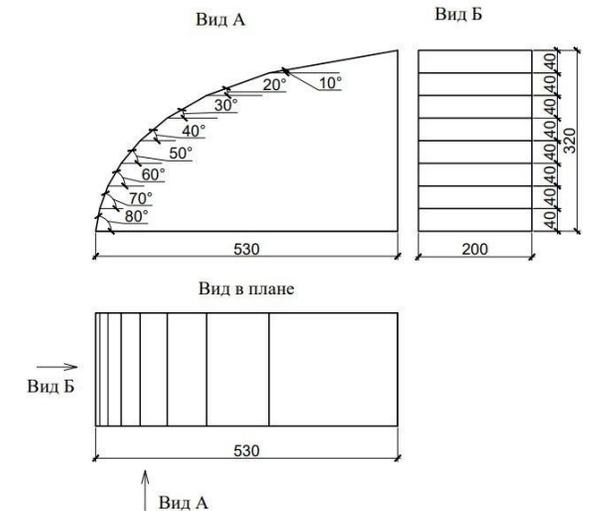
Для работы с полученными данными использовалось следующее программное обеспечение (ПО):

- Trimble Perspective;
- CloudCompare;
- RStudio (язык R).

Технические характеристики лазерного сканера	
Длина волны лазера	1550±20 нм
Частота сканирования	до 500 кГц
Уровень шума	< 2,5 мм на 30 м
Дальность	0,6 – 80 м
Точность измерения расстояний	2 мм
Угловая точность	21"



Общий вид лазерного сканера Trimble X7



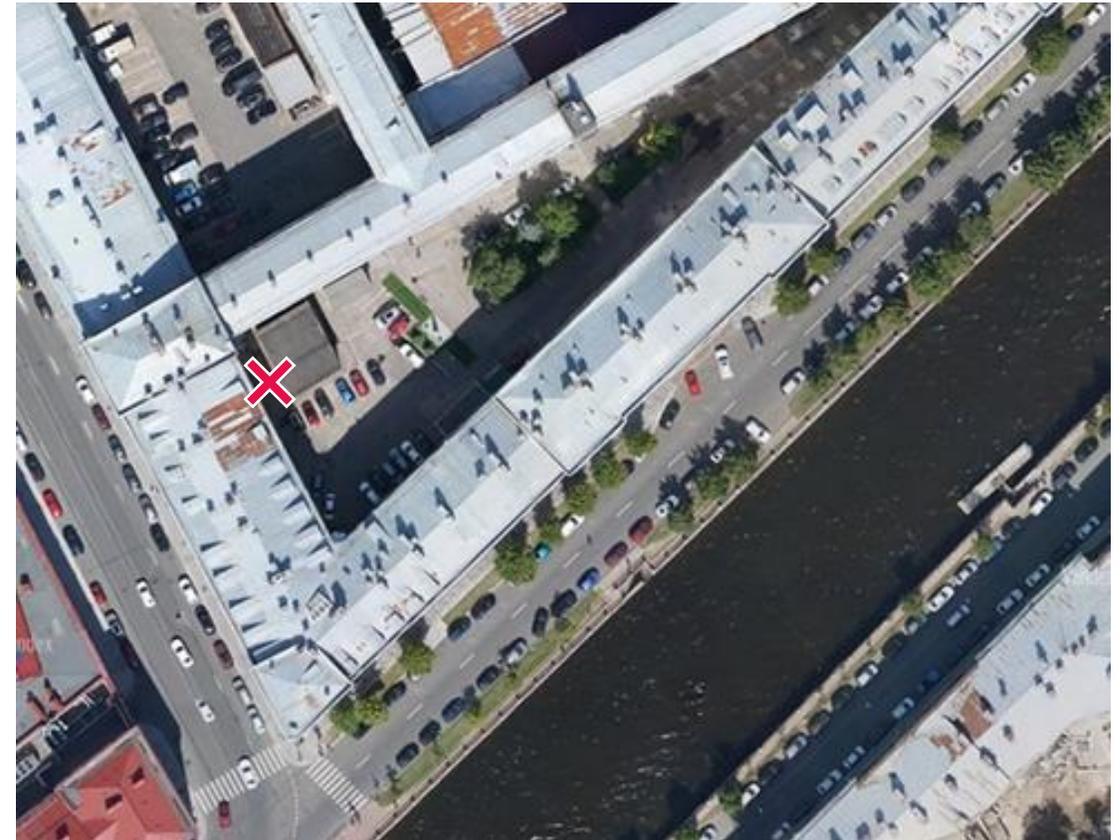
Эскизы экспериментальной установки

Натурный эксперимент, объединяющий две серии опытов, был поставлен на территории учебного корпуса ГУАП по адресу ул. Большая Морская, 67 в защищенном от ветра месте

Установка в месте проведения натурального эксперимента



Сканер в месте проведения натурального эксперимента



✗ Место проведения натурального эксперимента, отмеченное на растровой подложке Яндекс Карты

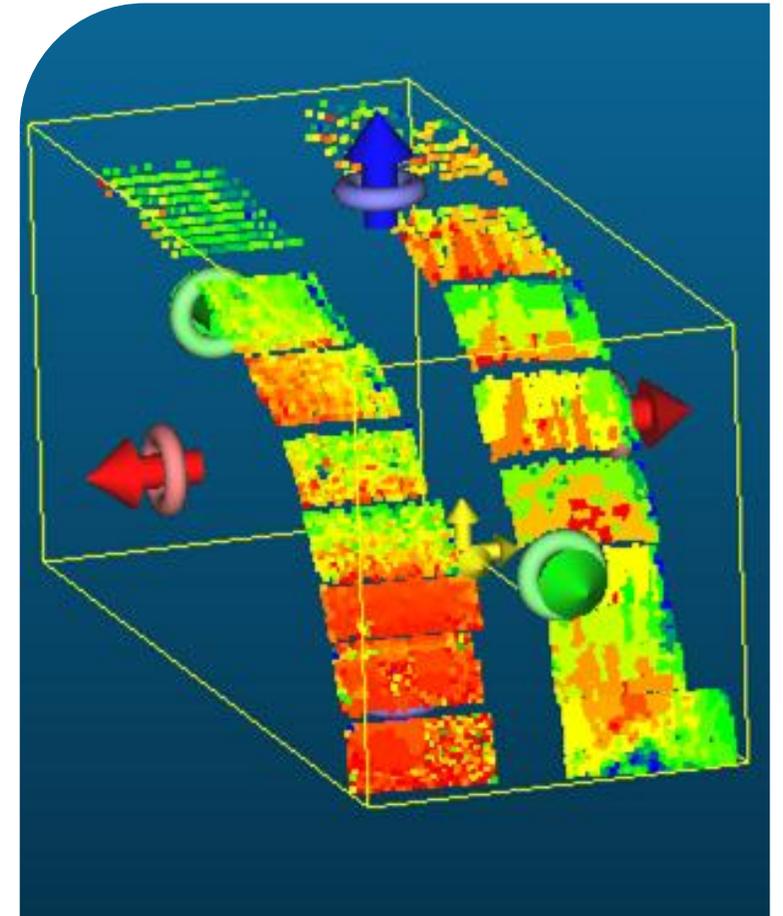
До начала опытов оборудование длительное время выдерживалось на открытом воздухе для адаптации к условиям окружающей среды, после чего было размещено в намеченных точках (с горизонтированием экспериментальной установки и корректировкой ее местоположения для обеспечения необходимой геометрии визирования).

Далее выбранные зоны пластин ПВХ были естественным образом покрыты снегом, другие зоны остались свободными от него (и поддерживались в таком состоянии). После достижения толщины снежного покрова 1,5 см были инициированы опыты.

Сканирование проводилось во время (1 серия опытов) и по прошествии (2 серия опытов) снегопада в период 18:00 – 21.00 по местному времени. Краткая сводка информации о метеоусловиях в день проведения эксперимента представлена справа.

пятница, 19 апреля			
Местное время, ч	15	18	21
Погодные условия			
Температура, °С	-3	-3	-2
Давление, мм.рт.ст.	749	747	746
Влажность, %	88	90	89
Точка росы, °С	-4	-4	-4
Скорость ветра, м/с	6	6	6
Направление	С	С	С
Порывы, м/с		11	
Облачность, %	100	100	100
Видимость, м	1900	1700	900
УФ индекс	0,74	0,29	

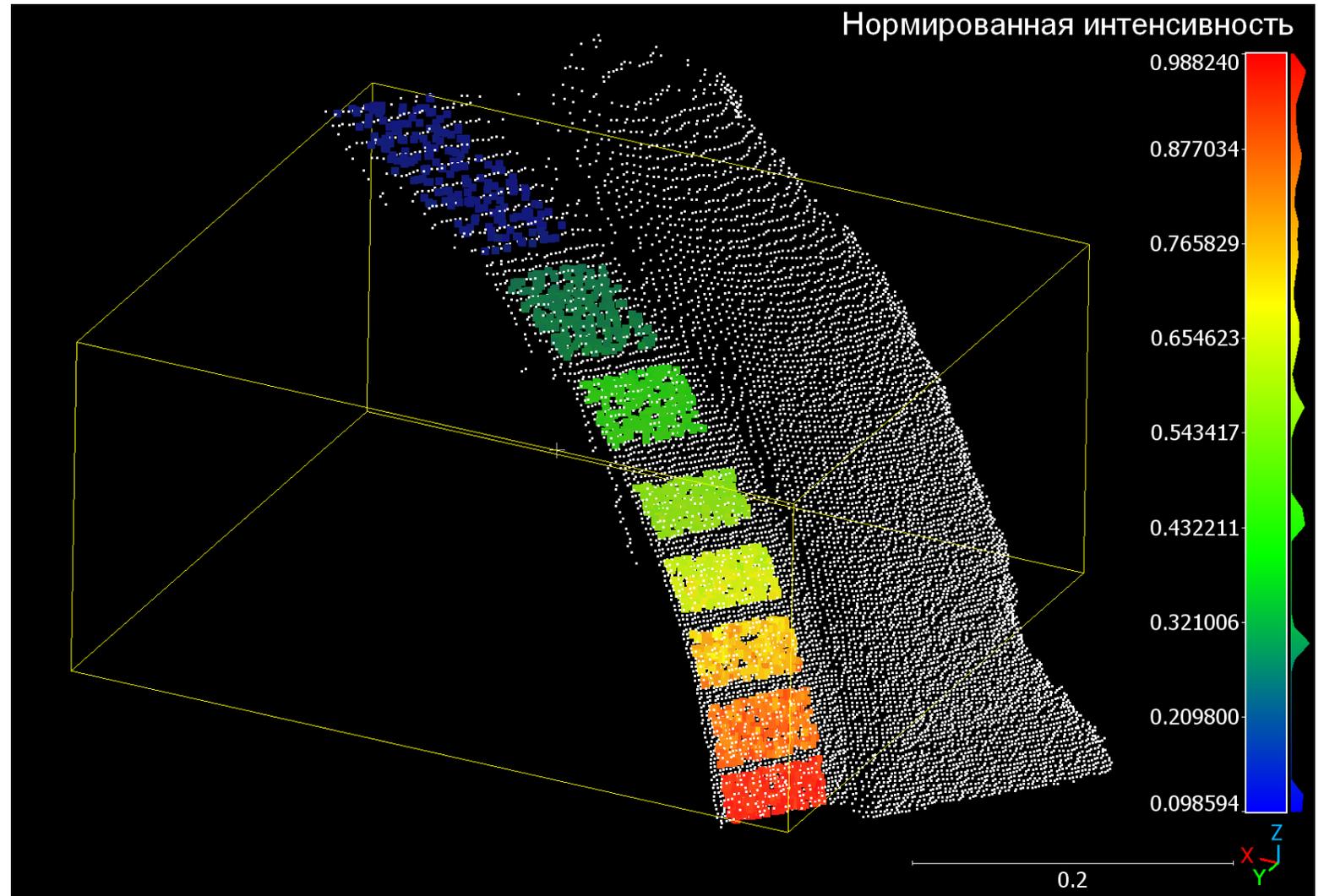
- С помощью ПО CloudCompare из полученного в ходе сканирования в каждом опыте облака точек были выделены фрагменты, представляющие ориентированные определенным образом пластины, покрытые и не покрытые снегом.
- Фрагменты были подвергнуты дополнительным преобразованиям с целью устранения высокочастотного шума, в результате чего получены производные облака точек, адекватно воспроизводящие геометрию покрытых и не покрытых снегом поверхностей пластин.
- Для каждой точки (окрестности) было определено значение угла визирования (угла между нормалью к поверхности пластины в данной точке и сканирующим лучом).
- Полученные облака точек со скалярными полями (атрибутами) были сохранены в текстовые файлы и импортированы в среду разработки RStudio, где и осуществлялся дальнейший анализ данных.
- Далее были вычислены средние значения угла визирования и нормированной интенсивности отраженного сигнала по отдельным пластинам (их зонам, покрытым и не покрытым снегом), исследованы распределения величин. Построен набор диаграмм, позволяющих сделать выводы о характере изменчивости отражательных свойств снега применительно к лазерному сканированию.



Вырезанные из исходного облака фрагменты, соответствующие отдельным зонам пластин

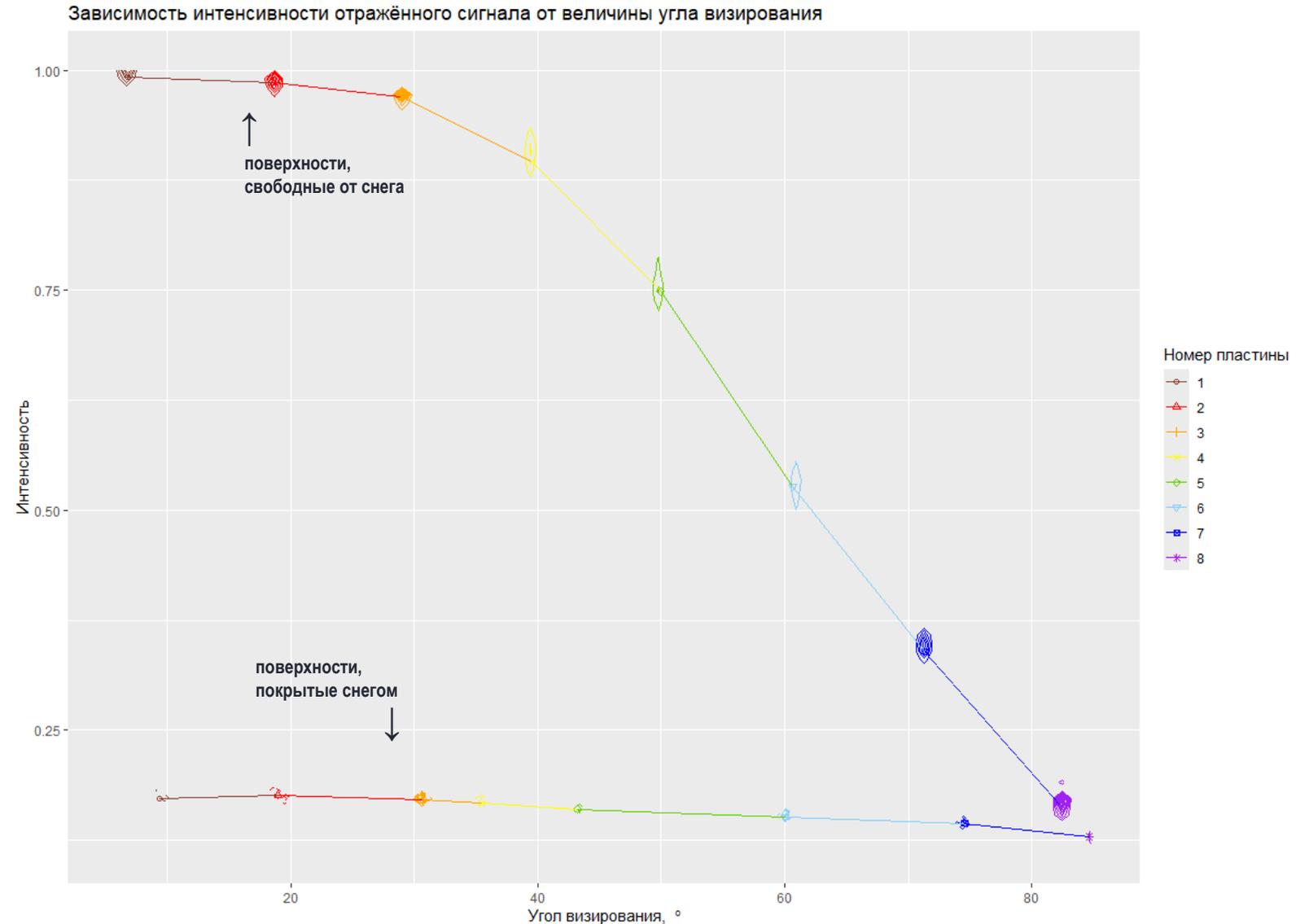
Пример: пространственная изменчивость нормированной интенсивности отраженного сигнала в границах свободных от снега пластин ПВХ (колоризованные производные облака точек).

Белые точки представляют исходное облако точек, полученное в ходе опыта №16 (2 серия).



Восстановленная по экспериментальным данным форма зависимости нормированной интенсивности отражённого сигнала от величины угла визирования для покрытых снегом и свободных от снега фрагментов пластин на основе скана №1 (1 серия).

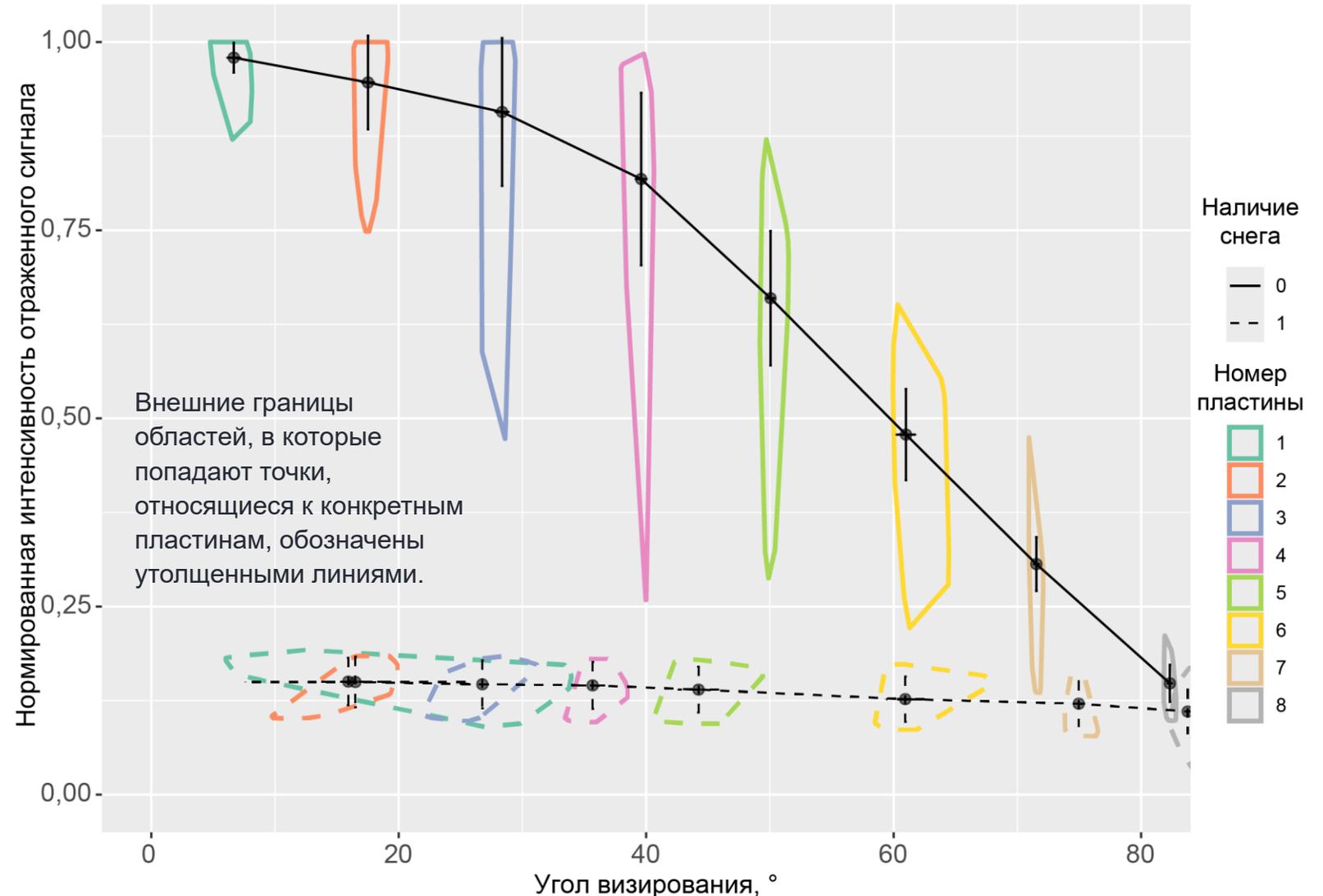
Выраженное сгущение изолиний плотности вероятности вблизи точек, представляющих средние значения угла визирования и нормированной интенсивности, позволяет говорить о малом разбросе значений интенсивности внутри зоны каждой пластины, свободной от снега.



Форма зависимости нормированной интенсивности отражённого сигнала от величины угла визирования для покрытых снегом и свободных от снега фрагментов пластин, полученная на основе полного массива экспериментальных данных.

Наблюдается большая вариабельность значений нормированной интенсивности по сравнению с выявленной в единичных опытах.

Интенсивность отраженного сигнала для покрытых снегом пластин слабо зависит от их ориентации по отношению к сканирующему лучу.



В ходе анализа полного массива данных обнаружены существенные различия в положении кривых зависимости нормированной интенсивности от угла визирования между опытами из разных серий.

Это связано как со свойствами формируемого снежного покрова (для заснеженных зон пластин), так и с опосредованным влиянием изменений температуры воздуха и поверхностной плотности потока солнечного излучения (через особенности подстройки параметров сигнала, осуществляемой в ходе автокалибровки сканера, исходя из условий окружающей среды).

Таким образом, прямое сравнение угловых зависимостей, восстановленных по данным опытов разных серий, оказывается затруднено. Для сопоставления результатов рекомендуется использовать отношение нормированной интенсивности сигнала для снега к таковой для эталонного материала (в проведенном эксперименте – ПВХ).

- При сканировании на длине волны 1550 нм интенсивность отраженного сигнала свежеснежного покрова естественного сложения оказывается мала.
- Форма угловой зависимости интенсивности отраженного сигнала указывает на преобладание диффузного механизма рассеяния. Это дает возможность сканировать заснеженные поверхности под разными углами (существенное отклонение угла падения лазерного луча на участок поверхности снега от нормали практически не затрудняет координирование).
- Результаты проведенного анализа подтверждают сделанные авторами в предыдущих работах выводы, основанные на выборке экспериментальных данных меньшего объема.
- Сканирование с помощью Trimble X7 в режиме высокой чувствительности и максимального разрешения позволяет надежно оценивать расстояние до фрагментов поверхности снега на дистанциях до 20 м.



ГУАП

<https://guap.ru>



Спасибо за внимание!

E-mail: igor_matelenok@mail.ru