

# Специфика фотограмметрической обработки БВС-съемки айсбергов

Ведущий специалист АО Ракурс

Соискатель кафедры фотограмметрии МИИГАиК

Смирнов Алексей Владимирович



Совместная Международная научно-техническая конференция

«ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: космические и пространственные данные, технологии обработки»

6–9 сентября, 2021 | Иркутск, Россия

## Цели работы

- Продемонстрировать особенности (специфику) и возможности автоматической обработки материалов аэрофотосъемки, выполненной с беспилотного воздушного судна движущихся высококонтрастных объектов на примере айсбергов.

## Актуальность темы

- Россия занимает доминирующие географические позиции в Арктике
- Высокая конкуренция в международной арктической политике
- Обеспечение стабильного транспортного потока по СМП, сокращение экономических издержек
- Добывающие компании заинтересованы в решении задачи прогнозирования движения айсбергов



Специфика работы БВС-съемки в Арктике заключается в сложных климатических условиях, движении объектов на воде и прозрачности их поверхности

# Параметры съемки исследуемого айсберга

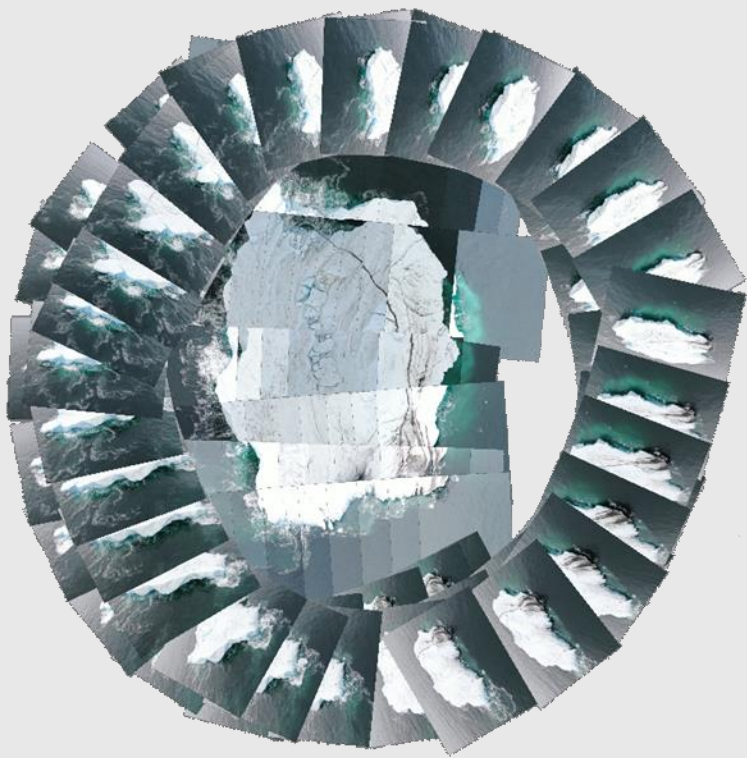


Схема блока снимков (122 изображения) по элементам внутреннего и внешнего ориентирования, PHOTOMOD UAS



БВС DJI Mavic 2 Zoom

| Параметр                 | Значение    |
|--------------------------|-------------|
| Размер кадра, пикс       | 4000 x 3000 |
| Физ. размер пикселя, мкм | 1.6         |
| Фокусное расстояние, мм  | 4.386       |
| ЭВО из EXIF (СКО) м      | 3           |

Размеры айсберга ~75 x 100 м  
Средний размер пикселя порядка - 2 см

# Специфика БВС – съёмки айсбергов



- Съёмка подвижного объекта. Центры фотографирования приобретают систематическую ошибку относительно "неподвижного" айсберга
- Высококонтрастные бликующие/засвеченные фрагменты айсберга снижают надежность фототриангуляции
- Попадание в кадр других айсбергов движущихся в ином направлении
- Отсутствует возможность закрепить опорные/контрольные точки непосредственно на самом айсберге

# Результаты внутреннего ориентирования



| Параметры калибровки    | PHOTOMOD UAS    | Context Capture | Metashape       |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| F, мм                   | 4.5687          | 4.5800          | 4.5795          |
| Главная точка (X/Y), мм | -0.040 / 0.012  | -0.037 / 0.011  | -0.040 / 0.010  |
| K1                      | -0.001023759    | -0.0009896791   | -0.001115824    |
| K2                      | 0.00008595947   | 0.00006326551   | 0.00008335028   |
| K3                      | -0.000004125824 | -0.000002821416 | -0.000003776889 |
| P1                      | -0.0002939165   | -0.0002272833   | -0.0002769634   |
| P2                      | 0.0003397502    | 0.0003382623    | 0.0002904311    |
| B1                      | -0.001563081    | Не калибровался | -0.001691996    |
| B2                      | 0.00001496024   | Не калибровался | -0.00003177994  |

# Построение фотограмметрической сети



| Параметры                            | PHOTOMOD UAS | Context Capture | Metashape |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|-----------|
| Количество связующих точек в проекте | 11759        | 14011           | 90940     |
| Ср. ошибка на снимках проекта, пикс  | 0.54         | 0.59            | 1.35      |
| Количество исключенных снимков       | 12           | 36              | 7         |

- При измерении связующих точек программы автоматически исключили из обработки набор снимков (у каждого ПО различные наборы), содержащих засвеченные части айсберга и воду
- Параметры по умолчанию автоматических алгоритмов каждого ПО не подходят для обработки съемки айсбергов
- PHOTOMOD UAS есть возможность ручного редактирования на каждом этапе обработки

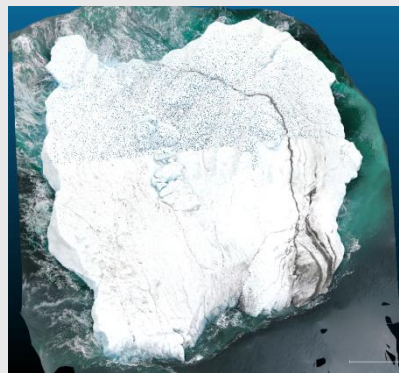


# Автоматическое построение поверхности айсберга

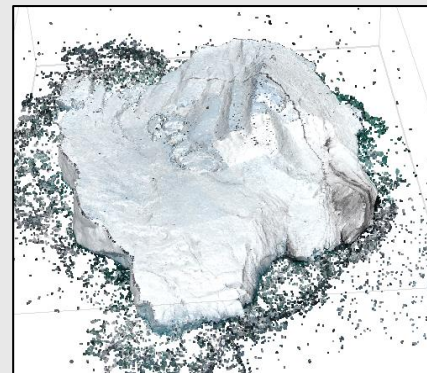
PHOTOMOD UAS



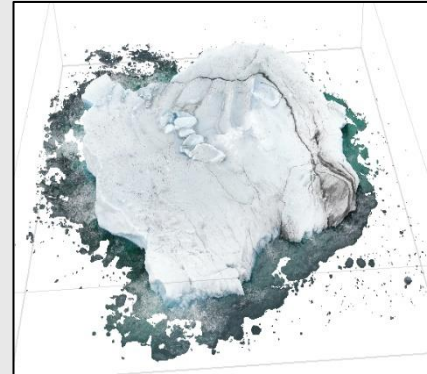
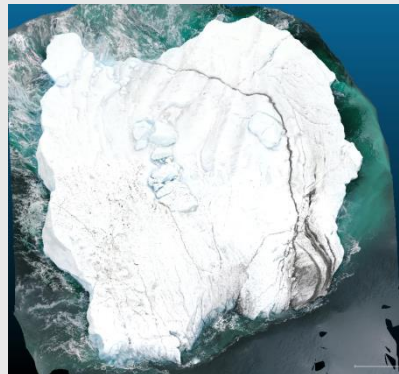
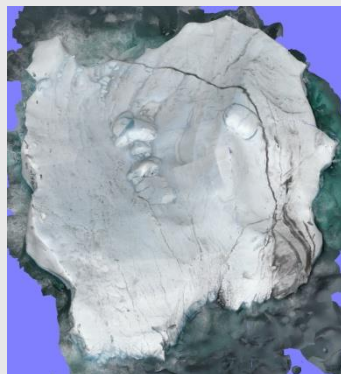
Context Capture



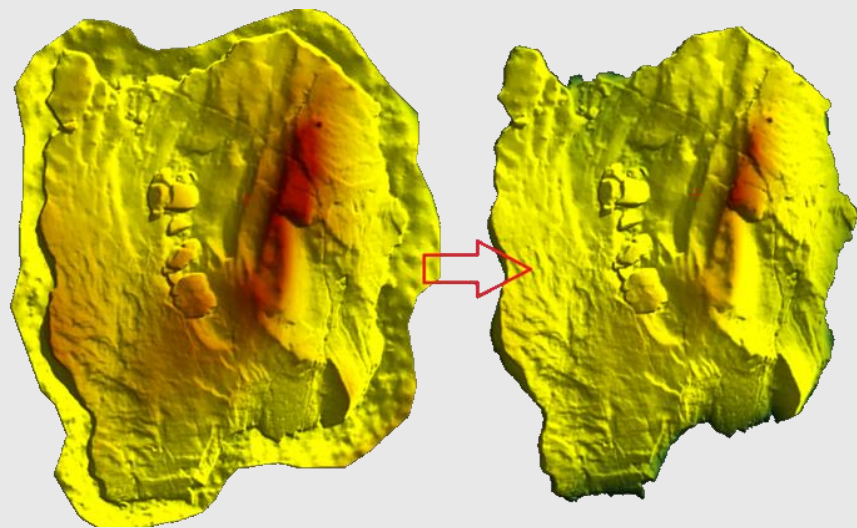
Metashape



Плотное облако  
точек LAS



Текстурированная  
3D модель  
(3DTIN)



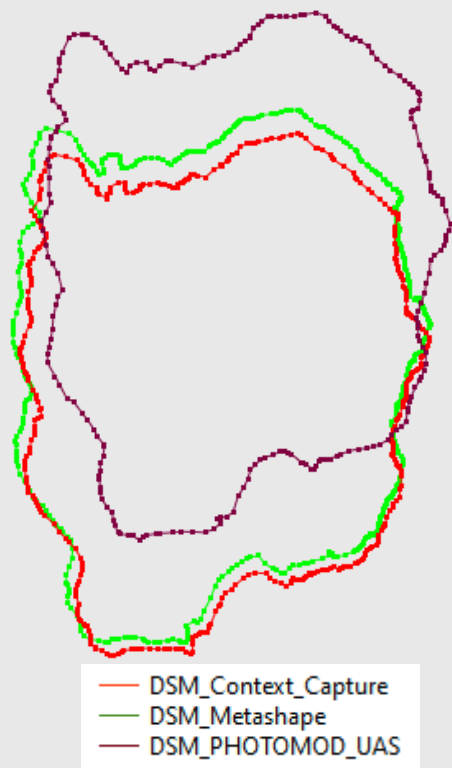
Независимо от выбора ПО:

- Вода - прозрачная, поэтому видна подводная граница айсберга. Необходимо выделить именно надводную часть.
- Волнение воды, пена от столкновения с айсбергом и т.п., приводит к ошибкам авто выделения надводной части.

Ввиду выше указанных причин выделение границы проводилось вручную.



# Согласование моделей поверхности



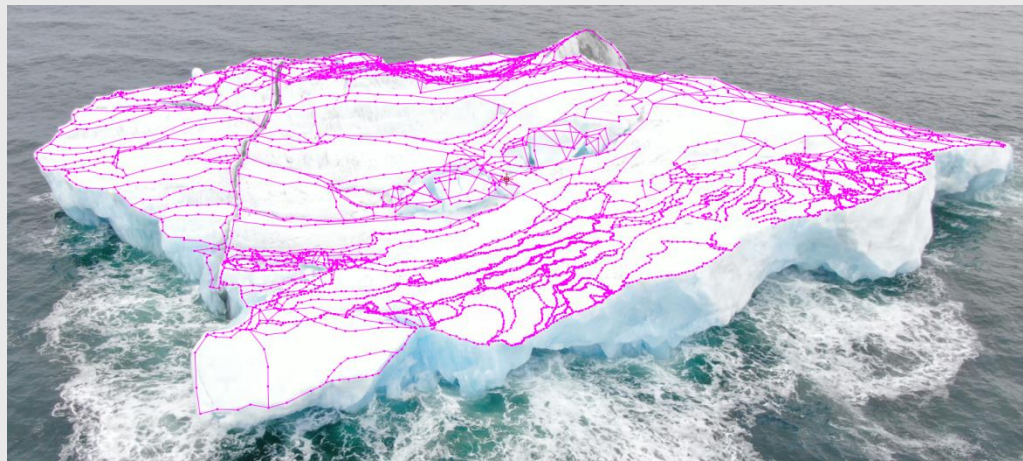
| Программа                    | Систематическая ошибка |      |      |            |                        |
|------------------------------|------------------------|------|------|------------|------------------------|
|                              | X, м                   | Y, м | Z, м | Поворот, ° | Масштабный коэффициент |
| PHOTOMOD UAS-Metashape       | 20.0                   | 3.5  | 0.1  | -1°04'     | 1.018                  |
| PHOTOMOD UAS-Context Capture | 24.6                   | 4.2  | 1.4  | -0°37'     | 0                      |
| Context Capture-Metashape    | 1.5                    | -5.3 | 2.0  | 0°27'      | 1.018                  |

Из-за движения айсберга, некалиброванной камеры, отсутствия наземных опорных точек модели поверхности айсбергов построенные в разных ПО имеют взаимные смещения, повороты и масштабный коэффициент. Также различается форма поверхности айсберга.

Все модели были совмещены с моделью PHOTOMOD UAS

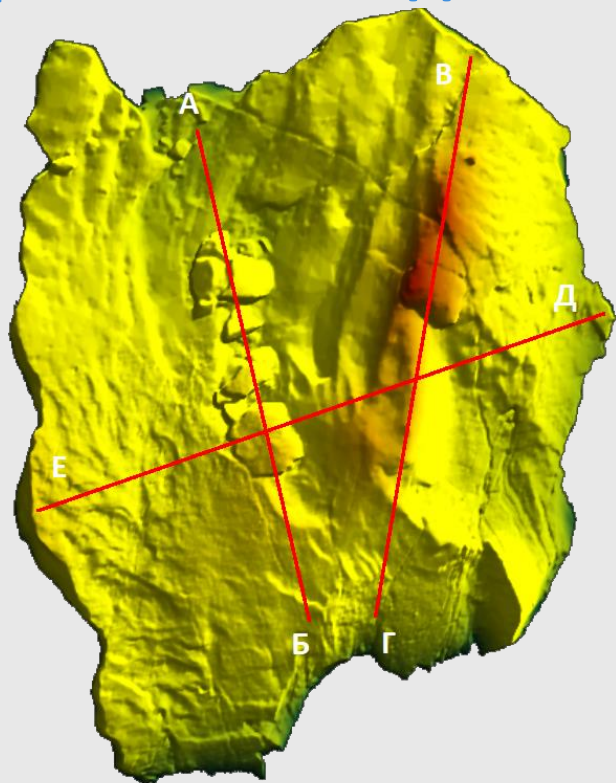
# Стереовекторизация поверхности айсберга

- Произведена ручная векторизация характерных форм поверхности айсберга в PHOTOMOD UAS
- Сравнение моделей (Metashape, Context Capture и PHOTOMOD UAS) выполнялось после их совмещения
- В результате ручной векторизации проведен контроль поверхности по векторным объектам каждой приведенной модели (более 5000 точек)

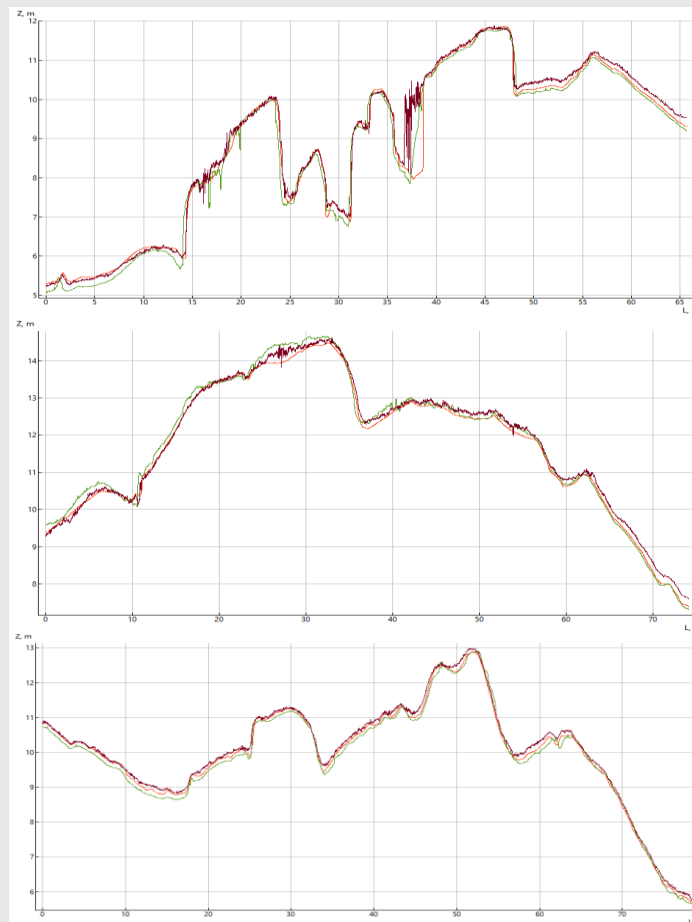


|                        | СКО, м | Средняя ошибка, м | Максимальная ошибка, м |
|------------------------|--------|-------------------|------------------------|
| <b>PHOTOMOD UAS</b>    | 0.224  | 0.111             | 3.133                  |
| <b>Context Capture</b> | 0.405  | 0.169             | 6.767                  |
| <b>Metashape</b>       | 0.286  | 0.191             | 5.959                  |

# Сравнение моделей на основе профилей



— DSM\_Context\_Capture  
— DSM\_Metashape  
— DSM\_PHOTOMOD\_UAS

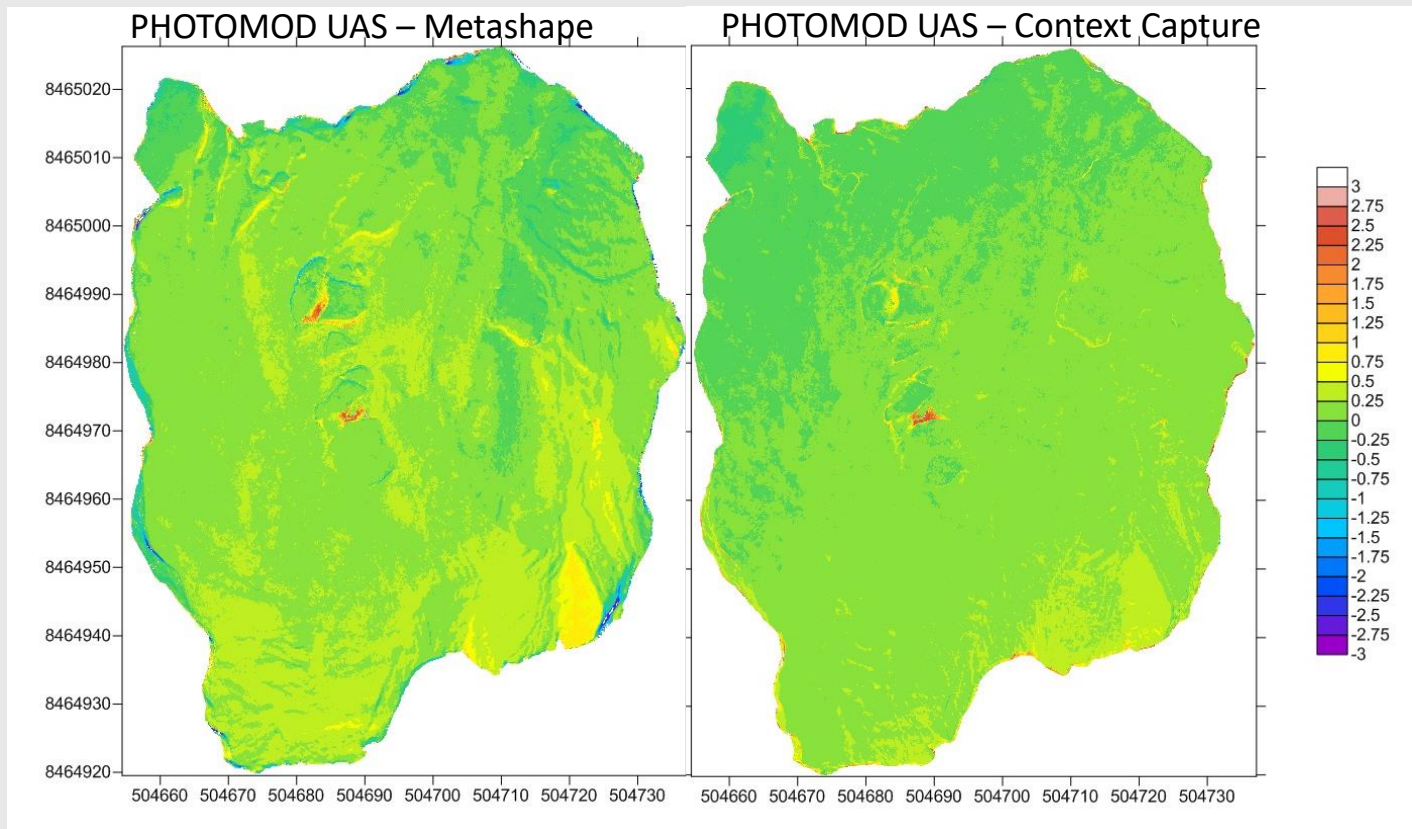


А - Б

В - Г

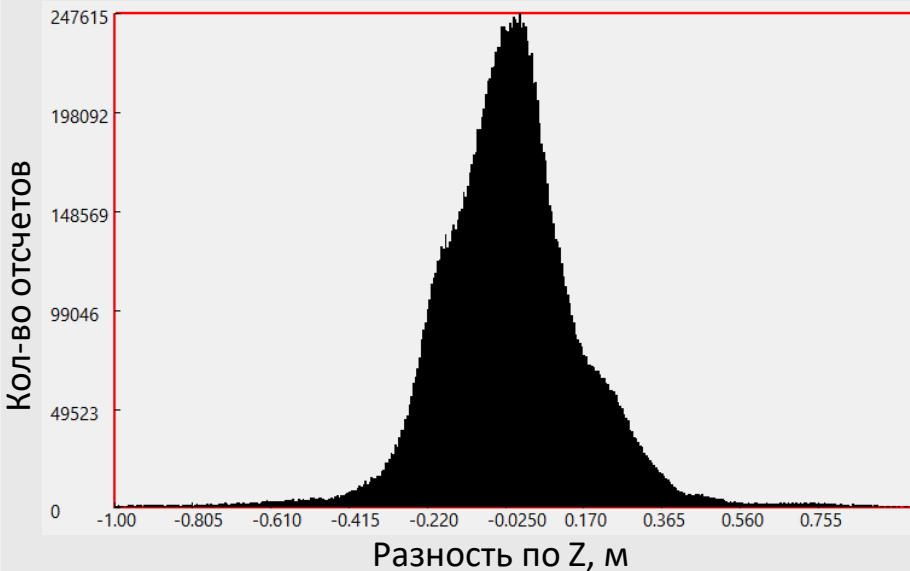
Д - Е

# Построение матриц разностей



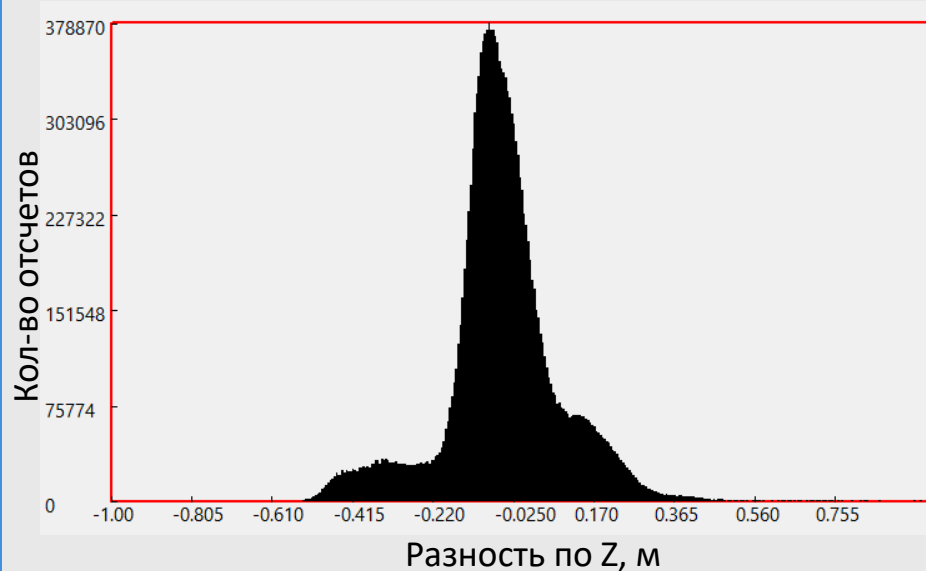
# Сравнение моделей на основе матрицы разностей

## PHOTOMOD UAS – Metashape



| Средняя<br>ошибка | Ср. модуль | СКО   | Станд.<br>отклонение |
|-------------------|------------|-------|----------------------|
| М                 |            |       |                      |
| -0.009            | 0.136      | 0.190 | 0.190                |

## PHOTOMOD UAS – Context Capture



| Средняя<br>ошибка | Ср. модуль | СКО   | Станд.<br>отклонение |
|-------------------|------------|-------|----------------------|
| М                 |            |       |                      |
| -0.0456           | 0.116      | 0.161 | 0.155                |



# Вычисление объемов

| Программа       | Объем надводной части айсберга в м <sup>3</sup> |                  |
|-----------------|---|------------------|
|                 | До совмещения                                   | После совмещения |
| PHOTOMOD UAS    | 42752.074                                       | 42752.074        |
| Metashape       | 45993.647 (7%)                                  | 41821.966 (2%)   |
| Context Capture | 41741.729 (2,5%)                                | 41739.026 (2,5%) |

Объемы надводной части айсбергов различаются на 2-2,5 %. Если исходить из пропорций, что нижняя часть айсберга много больше верхней части, разница в объеме моделей может быть больше.



# Преимущества ЦФС PHOTOMOD UAS



Без помощи ЦФС PHOTOMOD UAS данный анализ был бы невозможен.

PHOTOMOD UAS содержит необходимый функционал для ведения научно-практической деятельности

Для изучения поверхности айсбергов в PHOTOMOD UAS есть:

- возможность оцифровки характерных граней и контура айсберга в стереорежиме,
- построения трехмерных плотных моделей в виде облака точек, матрицы высот, горизонталей и 3D TIN модели,
- функции сдвига, поворота и масштабирования векторных объектов
- вычисления и компенсации систематических сдвигов матриц поверхности,
- построения профилей,
- построения и анализ матриц разности,
- импорт/экспорт матриц высот, векторов и геопривязанных растров + их использование и контроль
- вычисление объемов по матрицам высот и TIN

## Выводы

- В рамках данной работы, используя автоматические алгоритмы построения поверхности айсберга, получается поверхность с относительной точностью около 0.5 м. (при условии использования некалиброванной фотокамеры и одночастотного бортового GPS - приемника)
- Для повышения точности вычисления объемов надводной части айсбергов требуются рекомендации по технологии проведения аэрофотосъемочных и фотограмметрических работ
- Ни одна из созданных матриц поверхности не является точной и не может считаться эталоном
- Разные результаты фототриангуляции повлияли на положение и масштаб матриц поверхности
- Причинами таких результатов может быть движение айсберга во время фотосъемки
- Чтобы перейти от ручной векторизации поверхности айсберга в качестве контроля к автоматической обработке, требуется усовершенствование алгоритма построения поверхности айсберга

# Работа выполнена при участии



Генеральный директор «ВИЗАРД», Москва, Россия  
Зубков Сергей Андреевич



К.т.н., доцент кафедры фотограмметрии МИИГАиК  
Скрипицына Татьяна Николаевна



Студентка кафедры фотограмметрии МИИГАиК  
Воробьева Любовь Сергеевна

# Спасибо за внимание!

6–9 сентября, 2021 | Иркутск, Россия

info@racurs.ru  
<https://racurs.ru>

Т : +7 495 720-51-27  
Ф: +7 495 120-40-17

129366, г. Москва, ул. Ярославская,  
д. 13А, 3 этаж, оф. 15