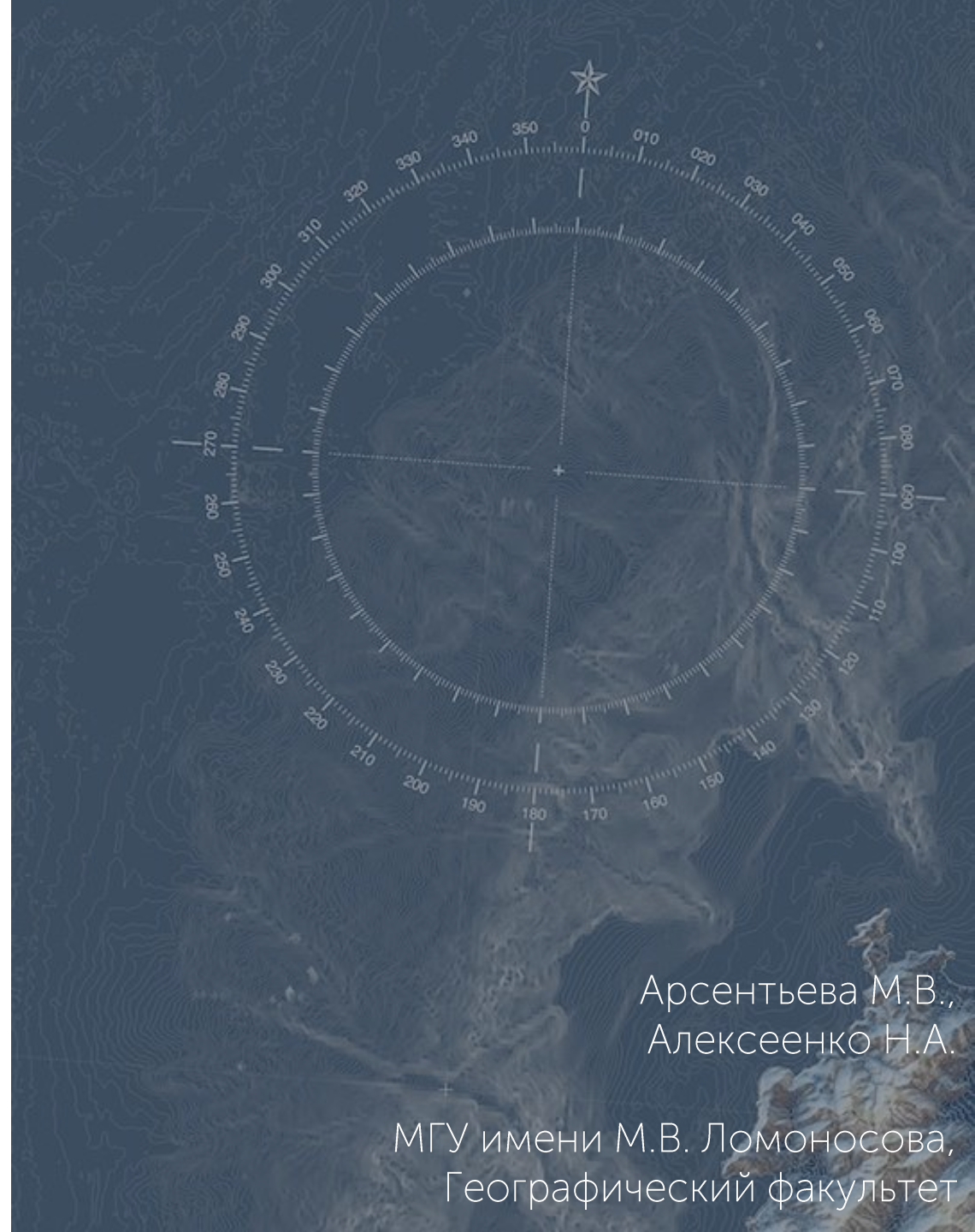


**Исследование возможности  
применения методов  
дистанционного зондирования для  
батиметрического  
картографирования северных  
акваторий и закрытых водоемов**



Арсентьева М.В.,  
Алексеев Н.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Географический факультет



# Цель:

Исследование возможностей создания батиметрических карт по космическим снимкам для северных территорий и закрытых водоемов

**Проблема:** отсутствие достаточного количества исследований применения методик создания батиметрических карт на северные территории и закрытые малые водоемы по данным дистанционного зондирования

## Задачи в рамках исследования:

- Анализ методик создания батиметрических карт по ДДЗ,
- Определение факторов, влияющих на определение глубин,
- Выбор тестовых участков,
- Изучение факторов, влияющих на определение глубин, на исследуемых тестовых участках и определение благоприятных период для ДЗЗ,
- Анализ морских навигационных карт и топографических карт на тестовые прибрежные территории,
- Отбор и обработка космических снимков на исследуемые территории,
- Анализ полученных результатов.


# Развитие методов получения данных



В истории картографирования подводного рельефа можно выделить три периода:

- 1) XVI – XVIII века – формирование морской картографии: впервые появились изобаты, как способ изображения подводного рельефа, а также первые морские и навигационные карты;
- 2) XIX век – измерения глубин механическими способами, обобщающие карты рельефа дна больших акваторий: впервые в истории при помощи метода грузила и каната собираются данные о глубине Атлантического океана и создается батиметрическая карта, затем появляется метод фортепианной веревки, первые механические аппараты измерения глубин (аппараты Томпсона и Лукаса) и, наконец, первая версия Генеральной батиметрической карты (ГЕБКО);
- 3) XX век – применение волновых колебаний разной частоты для измерения глубин; интенсивное изучение дна Мирового океана: после крушения Титаника (1912 год) создается метод эхолотирования; снаряжается множество экспедиций, нацеленных на сбор информации об океаническом рельефе; формируется представление о формах рельефа (океанических хребтах и плоских горах – гайотах); начинается использование волновой теории для определения мелководной батиметрии при помощи радиолокаторов; в 1970-ых годах на основе уже полученной батиметрической информации продолжается развитие методов картографирования морских глубин.





# Современные методы получения данных

1

Методики получения данных по космической съемке:

- David R. Lyzenga
- Richard P. Stumpf

2


Методики получения по данным беспилотной летательной съемки:

- Claude Flener
- James Thomas Dietrich

3

Программы, в рамках которых реализовано получение батиметрических данных:

- EOMAP Satellite Derived Bathymetry
- International Satellite Derived Shallow Water Bathymetry Service
- Модуль «SPEAR Relative Water Depth» для ПО «ENVI»
- Модуль «i.image.bathymetry» для открытого ПО «GRASS GIS»
- Модуль «Sen2Coral» для «SNAP»



# Факторы, влияющие на определение глубин

- 1 Наличие или отсутствие паров и облачности в атмосфере, положение солнца (процессы поглощения и рассеивания)
- 2 Примеси в воде, влияющие на цвет изображения
- 3 Зависимость интенсивности принятого сигнала от глубины

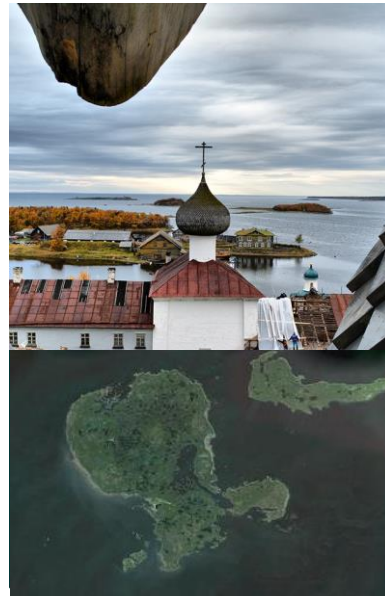
# Тестовые участки

Озеро Севан



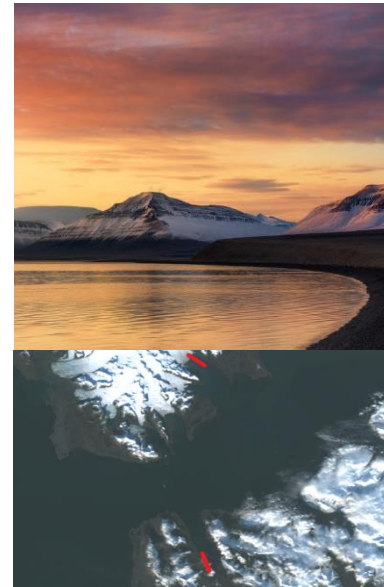
начало-середина  
марта и ноябрь

Соловецкий  
Архипелаг



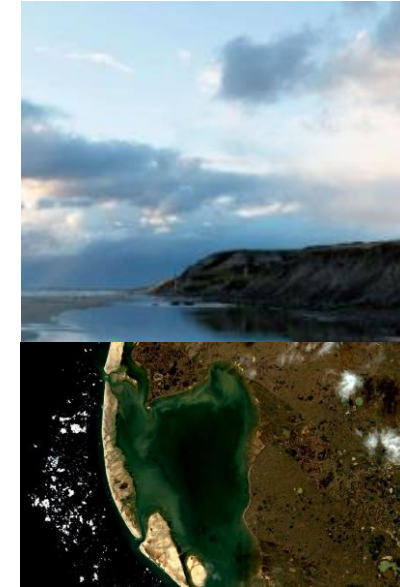
апрель, начало мая  
и середина-конец ноября

Архипелаг  
Шпицберген



начало-середина мая,  
октябрь

Залив Шарапов  
Шар



середина-конец июня



# Программная реализация в ПО «SNAP» для космической съемки

## 1 Атмосферная коррекция

Перевод значений из Top-of-Atmosphere Level 1A в Bottom-of-Atmosphere Level 2A

## 2 Кадрирование изображения

Для уменьшения времени обработки и исключения возможности экстраполяции данных

## 3 Коррекция солнечных бликов

Чтобы минимизировать влияние отражательной способности водной глади на результат

## 4 Создание маски земной поверхности

Для отделения земли от вод

## 5 Получение батиметрических данных

Получение батиметрических данных методом эмпирической батиметрии (**Richard P. Stumpf**):

$$Z = m1 \frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))} - m$$

$m1$  – коэффициент для пересчета отношения натуральных логарифмов значений отраженного излучения в паре каналов в значения глубины;

$n$  – постоянное число, на которое необходимо умножить значение отраженного излучения, чтобы натуральный логарифм был положительным;

$m0$  – коэффициент смещения для глубины 0 м.;

$Rw$  – значение отраженного излучения для пар каналов  $i$  и  $j$ .

# Используемая методика в рамках исследования

## Richard P. Stumpf

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0,$$

где:

$m_1$  – коэффициент для пересчета отношения натуральных логарифмов значений отраженного излучения в паре каналов в значения глубины;

$n$  – постоянное число, на которое необходимо умножить значение отраженного излучения, чтобы натуральный логарифм был положительным;

$m_0$  – коэффициент смещения для глубины 0 м.;

$R_w$  – значение отраженного излучения для пар каналов  $i$  и  $j$ .

В 2003 г. Stumpf R.P. была предложена методика, которая позволяет обследовать обширные территории с неизвестными условиями поверхности дна. Метод основывается на разнице в скорости уменьшения значения отраженного излучения в толще воды. Алгоритм использует отношение отраженных показателей в паре каналов и основывается на том, что свет поглощается водой экспоненциально, но значение отраженного излучения в зеленом канале уменьшается быстрее, чем в синем.

Соответственно, для получения данных о глубинах по данным Sentinel-2 использованы синий и зеленый спектральные каналы. В зависимости от используемых данных, зарегистрированная при помощи съемочной системы длина волны будет меняться.

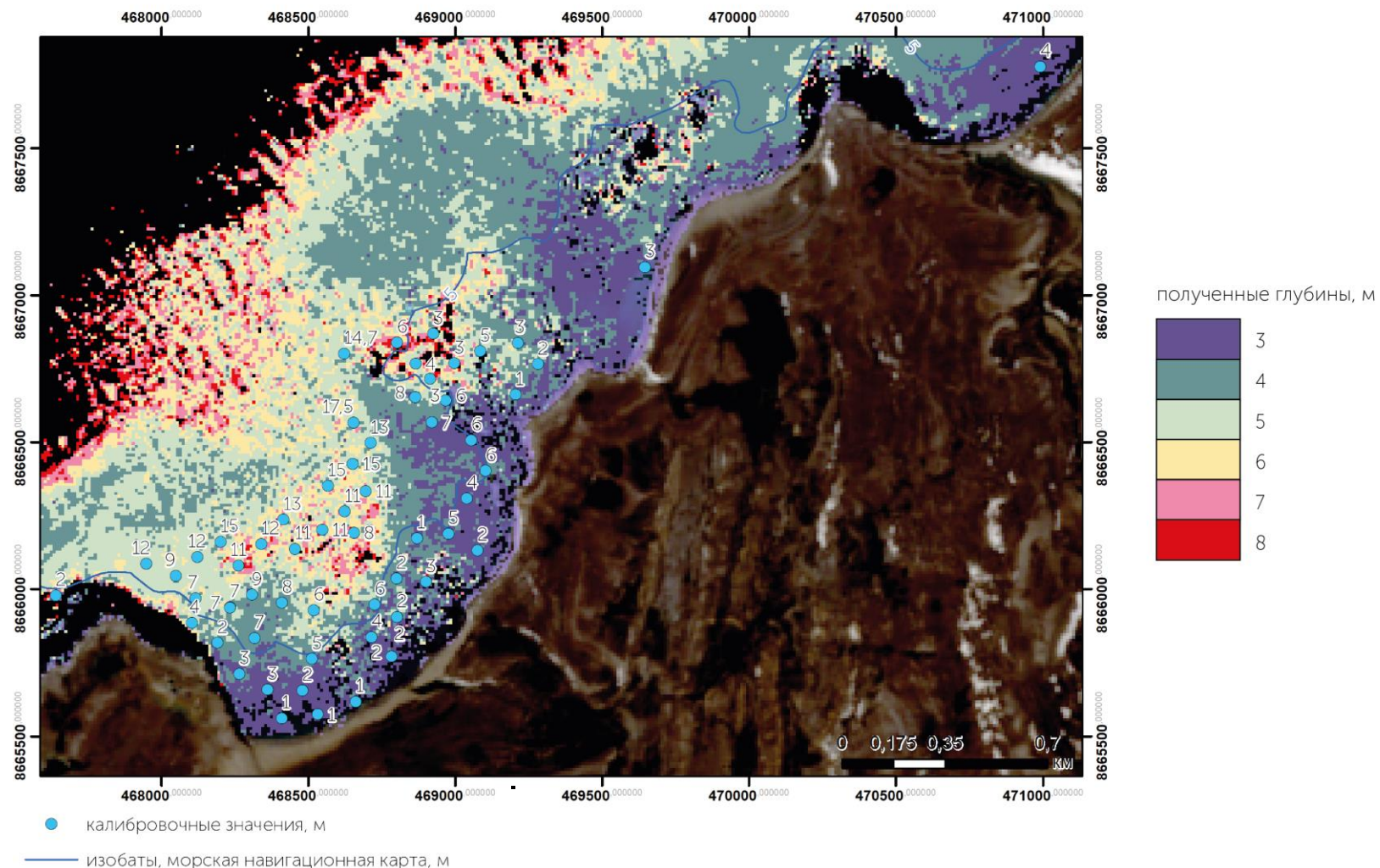


# Результаты

По данным  
Sentinel-2

1

Результат апробации метода эмпирической батиметрии  
на тестовом участке архипелаг Шпицберген

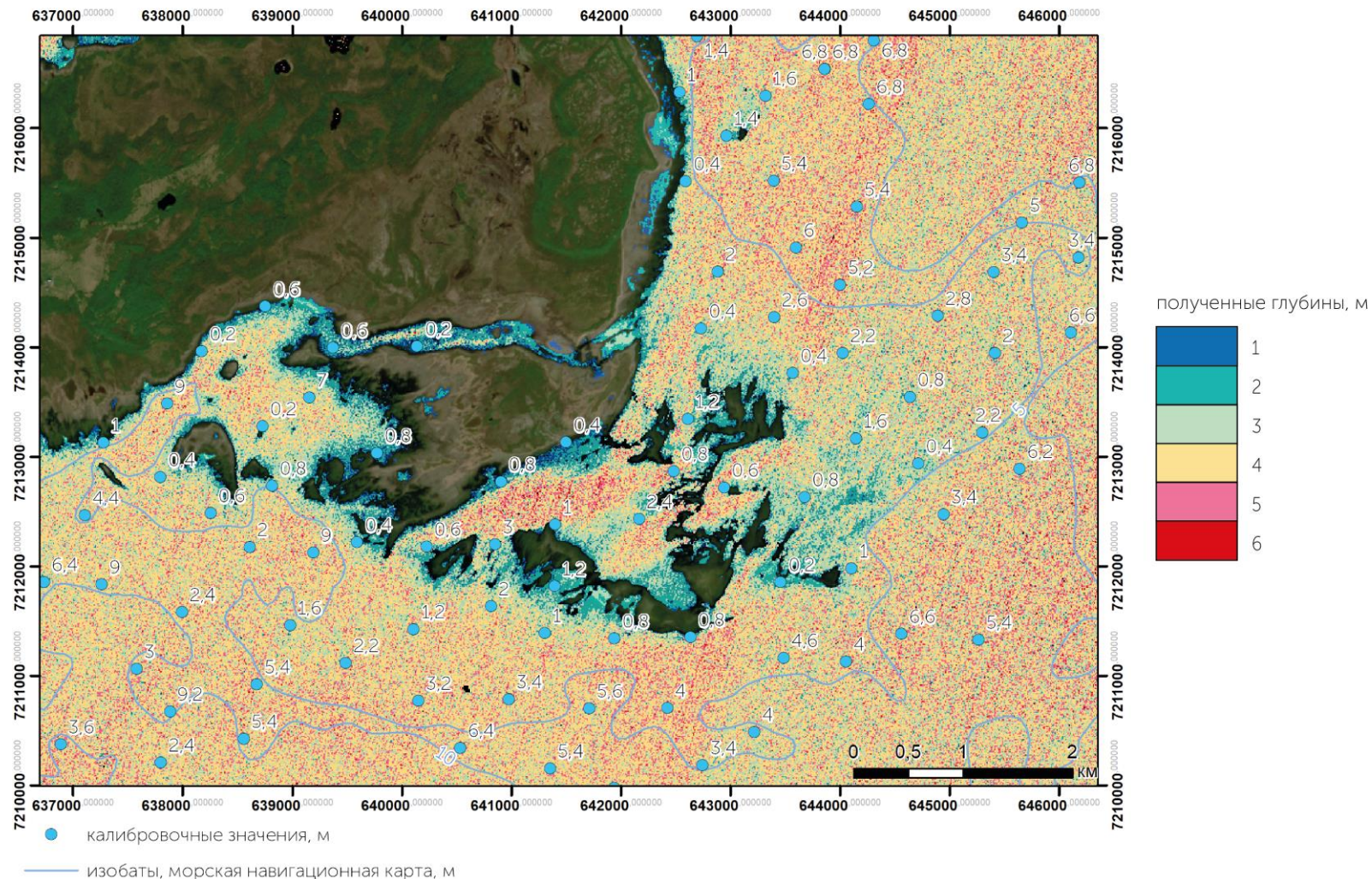


Получены глубины до 8 метров, корреляционный анализ полученных результатов показал слабую нейтральную корреляцию, однако полученные значения имеют рисунок с плавным перепадов глубин, подобные результаты могут быть связаны с тем, что период съемки был смещен на месяц из-за недостаточной освещенности



## Результаты

По данным Sentinel-2

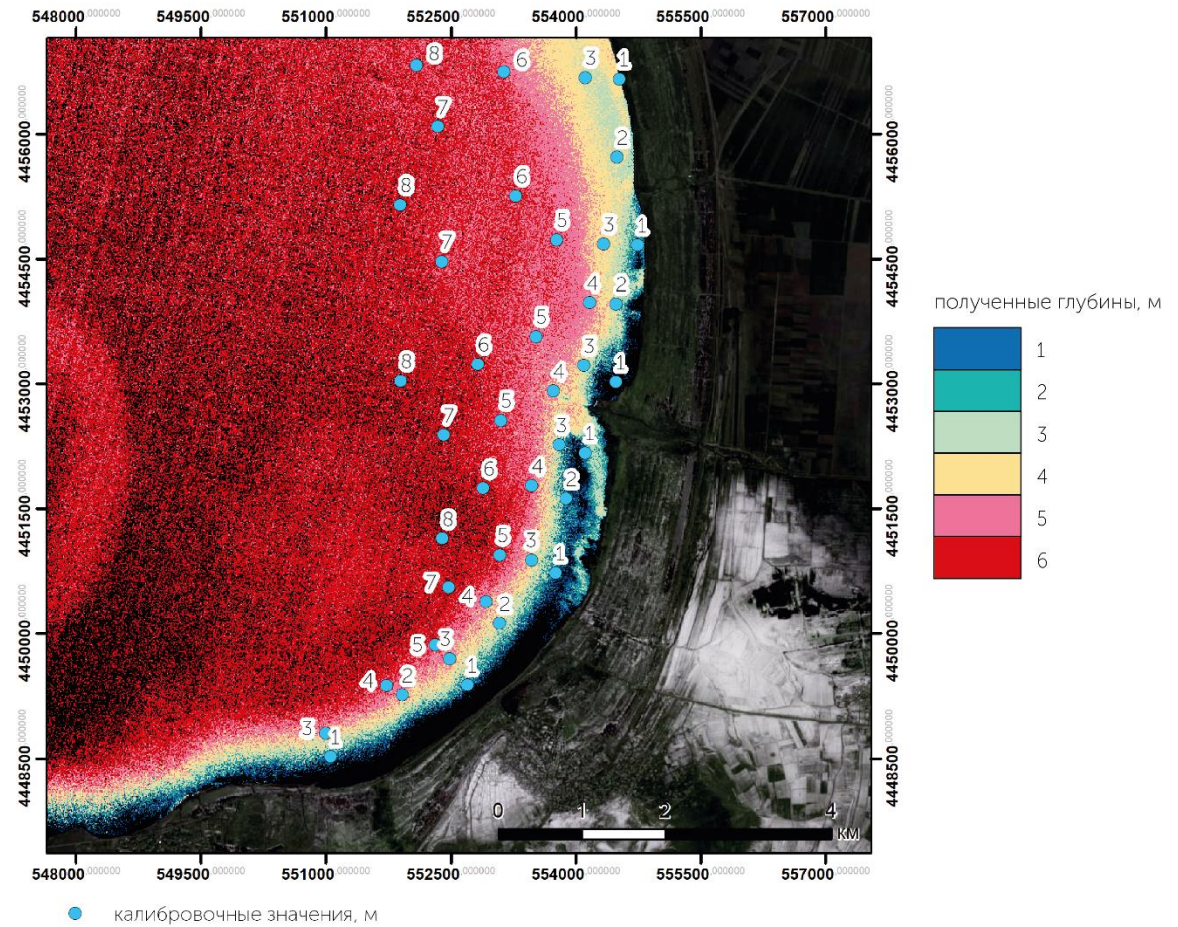


Получены глубины до 3 метров, корреляционный анализ полученных результатов показал слабую нейтральную корреляцию, наиболее правдоподобные глубины получились непосредственно у берегов, далее мы наблюдаем «шумное» изображение со значениями глубин от 4 до 6 метров, которое связано с подводной растительностью и смещением времени съемки на месяц из-за недостаточной освещенности



## Результаты

По данным Sentinel-2



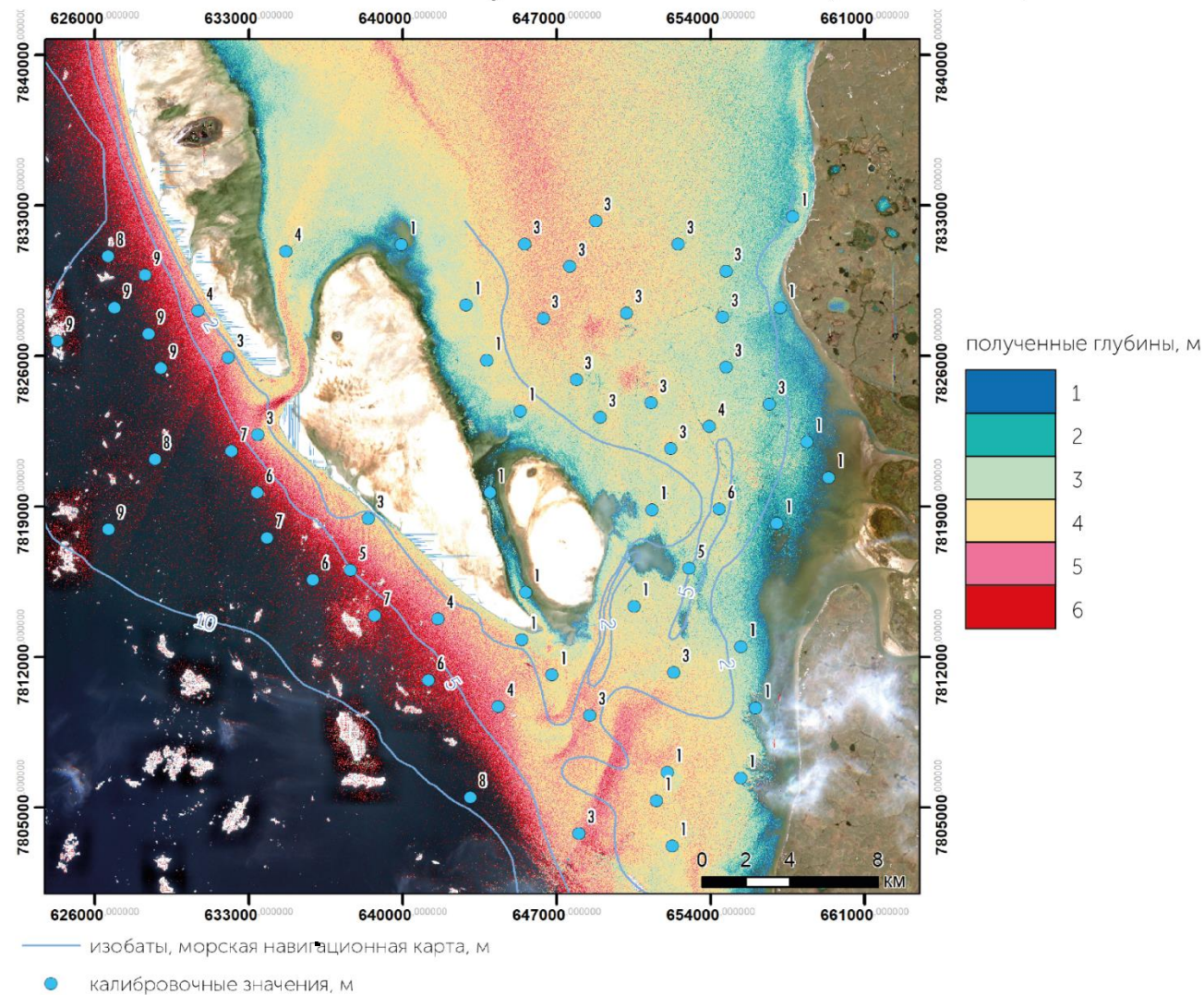
Получены глубины до 5 метров, корреляционный анализ полученных результатов показал слабую положительную корреляцию. После глубин 5 метров полученный растр демонстрирует шумное изображение. Скорее всего, если бы съемка выполнялась на десятилетия раньше, даже таких результатов не было бы получено, так как берег имел бы более крутые перепады глубин.



## Результат апробации метода эмпирической батиметрии на тестовом участке залив Шарапов Шар

# Результаты

По данным  
Sentinel-2



Получены глубины до 6 метров, корреляционный анализ полученных результатов показал сильную положительную корреляцию, однако на результирующем изображении виднеются некоторые артефакты, которые отличаются от общего рисунка, что связано со взвешенными частицами в воде

# Результаты

По данным  
Sentinel-2

Тестовый участок	Архипелаг Шпицберген	Соловецкие острова	Озеро Севан	Залив Шарапов Шар
Дата съемки	10 июня 2020 года	15 июня 2019 года	28 марта 2018 года	21 июля 2017 года
Высота солнца	56.1	42.1	43.82	50.29
Вегетационный период	Конец мая – конец сентября	Середина мая – середина и конец ноября	Конец марта – конец сентября	Начало июля – конец ноября
Наличие подводной флоры	Есть	Есть	Есть	Нет
Поверхность дна	Песок, подводная растительность	Песок, ил, подводная растительность	Песок, ил, подводная растительность	Песок
Полученные результаты	До 8 м.	До 3 м.	До 5 м.	До 6 м.
Корреляция данных	Слабая нейтральная	Слабая нейтральная	Слабая положительная	Сильная положительная
Дополнительная информация	—	—	УФ и фиолетовый лучи света проникают на глубину до 4 м.	—



# Выводы

Выделены основные проблемы при получении батиметрических данных для тестовых участков по данным с Sentinel-2

Апробация методик на северных участках и закрытом водоеме продемонстрировали возможность получения батиметрической информации, однако, для каждого из тестовых полигонов выявлены факторы, ограничивающие возможность получения информации о подводном рельефе, не связанных с данными космической съемки.

1

Для создания батиметрических карт по данным ДЗЗ требуются знания об параметрах:

- освещенности,
- прозрачности воды,
- датах съемки.

2

Наилучшие результаты возможны если территория отвечает требованиям:

- плавные перепады высот,
- дно не перекрыто подводной флорой,
- есть достаточное количество калибровочных данных.





Контакты:  
Арсентьева М.В., аспирант: [arsentyevamv@gmail.com](mailto:arsentyevamv@gmail.com)  
Алексеевко Н.А., доцент, к.г.н.: [valtuz@mail.ru](mailto:valtuz@mail.ru)