



Морской гидрофизический
институт РАН
г. Севастополь



Доклад на тему:

Использование бортовой оптической камеры БПЛА для восстановления батиметрии прибрежной акватории Черного моря

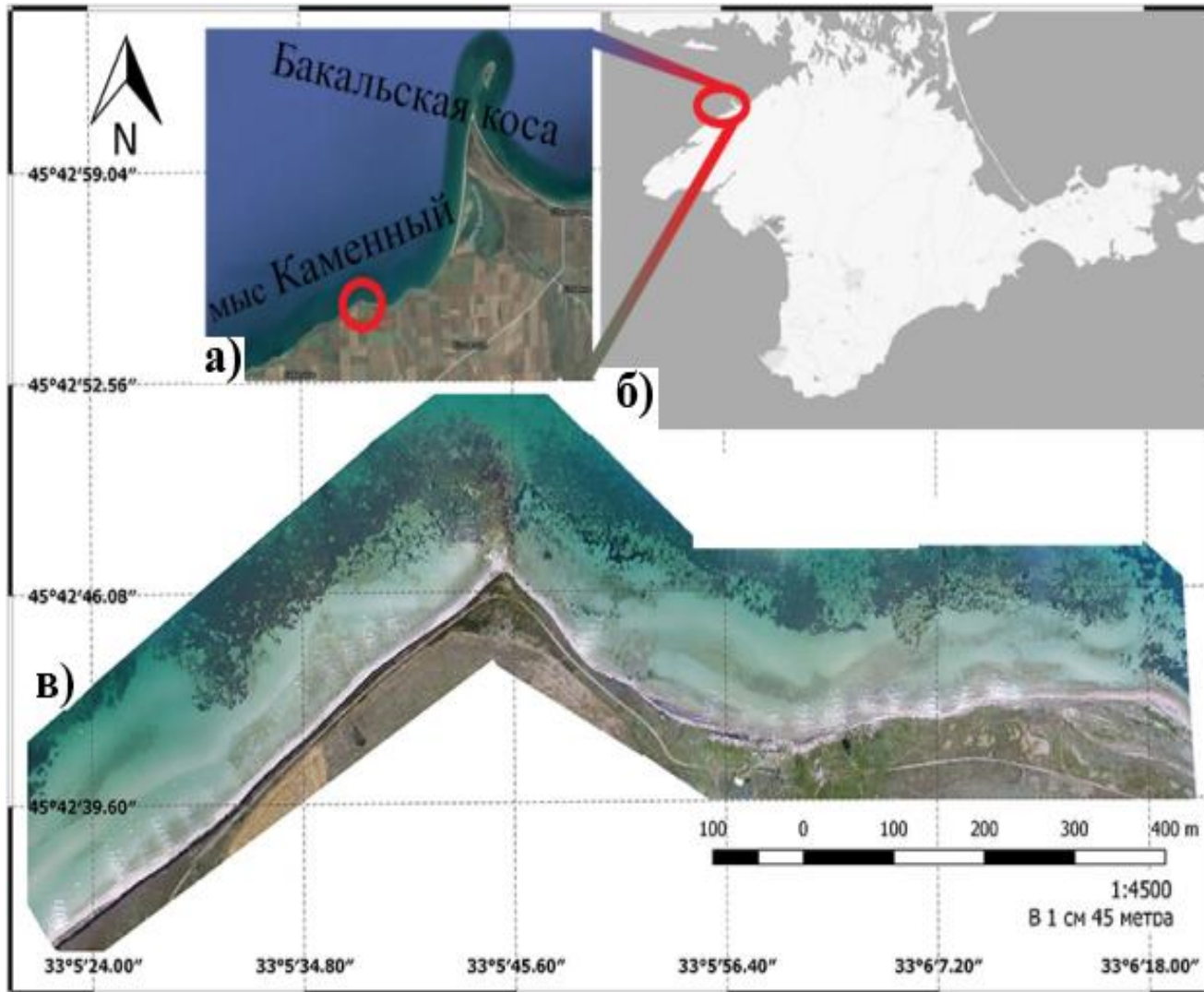
Докладчик:

Новиков Борис Александрович

Авторы:

Новиков Б.А., Кубряков А.А., Федоров С.В.

1 Введение



Рельеф дна в прибрежной мелководной зоне, играет важную роль во многих сферах жизни деятельности человека.

Прибрежная акватория является наиболее динамичной из всех частей мирового океана, именно здесь обитают большинство видов морской флоры и фауны.

Рис. 1 Ортофотоплан и расположение полигона исследований – Чёрное море, мыс Каменный

Литература

1. Панкеева Т. В., Миронова Н. В., Новиков А. Б. Картографирование донной растительности бухты Круглая (г. Севастополь, Черное море). // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, 2019. № 3, С. 61–71. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-3-61-71
2. Панкеева Т.В., Миронова Н.В., Новиков Б.А. (2020). Опыт картографирования донной растительности (на примере бухты Ласпи, Чёрное море). Геополитика и экогеодинамика регионов, 6 (4), 154-169.
3. Макаров А.В., Курков М.В., Барымова А.А. 2018. Барымова А. А., Кокорин А. И. Применение БПЛА для аэрофотосъемки с целью комплексного картирования прибрежных зон на примере литорали Карельского берега Белого моря // Материалы научной сессии УНБ «Беломорская». Санкт-Петербургский государственный университет, 2018. С. 31–32.
4. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА //Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6. – №. 2.
5. Кубряков А.А., Лишаев П.Н., Чепыженко А.И., Алескерова А.А., Кубрякова Е.А., Медведева А.А., Станичный С.В. Влияние субмезомасштабных вихрей на перенос взвешенного вещества в прибрежной зоне Крыма по данным БПЛА, спутниковых и контактных измерений // Океанология. – 2021. – Т. 61, №2. – с. 182-197. – doi: 10.31857/S0030157421020106
6. Репкина Т.Ю., Гуринов А.Л., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Луговой Н.Н., Дудоркин Е.С., Перетрухина А.О. Новые данные о строении рельефа и послеледниковых отложений побережий пролива Горло и Онежского полуострова (Белое море)// Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. №7.
7. И. Э. Мамедов (2019). Вопросы использования беспилотных летательных аппаратов для обнаружения нефтяных пятен в прибрежной части морской акватории. Проблемы региональной экологии, (4), с. 88-91. doi: 10.24411/1728-323X-2019-14088
9. Bajjouk T, Jauzein C, Drumetz L, Dalla Mura M, Duval A and Dubois SF (2020) Hyperspectral and Lidar: Complementary Tools to Identify Benthic Features and Assess the Ecological Status of *Sabellaria alveolata* Reefs. *Front. Mar. Sci.*
10. Stumpf R.P., Holderied K., Sinclair M. 2003. Determination of Water Depth with High-resolution Satellite Imagery over Variable Bottom types // *Limnol. Oceanogr.*, 48, pp. 547-556
11. Collin, A., Dubois, S., James, D., and Houet, T. (2019). Improving intertidal reef mapping using UAV surface, red edge, and near-infrared data. *Drones* 3:67.
13. Ventura, D., Bonifazi, A., Gravina, M. F., Belluscio, A., and Ardizzone, G. (2018). Mapping and classification of ecologically sensitive marine habitats using unmanned aerial vehicle (UAV) imagery and object-based image analysis (OBIA). *Remote Sens.* 10:1331.
14. Papakonstantinou, A.; Stamati, C.; Topouzelis, K. Comparison of True-Color and Multispectral Unmanned Aerial Systems Imagery for Marine Habitat Mapping Using Object-Based Image Analysis. *Remote Sens.* 2020, 12, 554

2 Цели и задачи

- **Цель работы** - разработать алгоритм, применив который, оценить возможности восстановления батиметрии в прибрежной мелководной зоне Черного моря по данным малых беспилотных аппаратов, а также чувствительность используемого алгоритма к типу подстилающей поверхности.
- **Задачи работы:**
 1. получить, с помощью БПЛА, фото или видео материал, прибрежной акватории Черного моря;
 2. выделить на изучаемом полигоне области занятые песком и бентосом ;
 3. разработать алгоритм восстановления глубины в оптически прозрачной, прибрежной воде;

3 Материалы



Рис. 2 БПЛА типа DJI Phantom 4 adv

Данные, использованные в исследовании получены с использованием:

- БПЛА - **DJI Phantom 4 adv**
- Склейка фотографий в формате **JPG** и **RAW**, ортофотоплан – **Agisoft Metashape**
- Обработка ортофотоплана, алгоритм – **MATLAB R2014a**
- Использованная исходная батиметрия полигона – **Navionics Platinum+** (рис. 3)

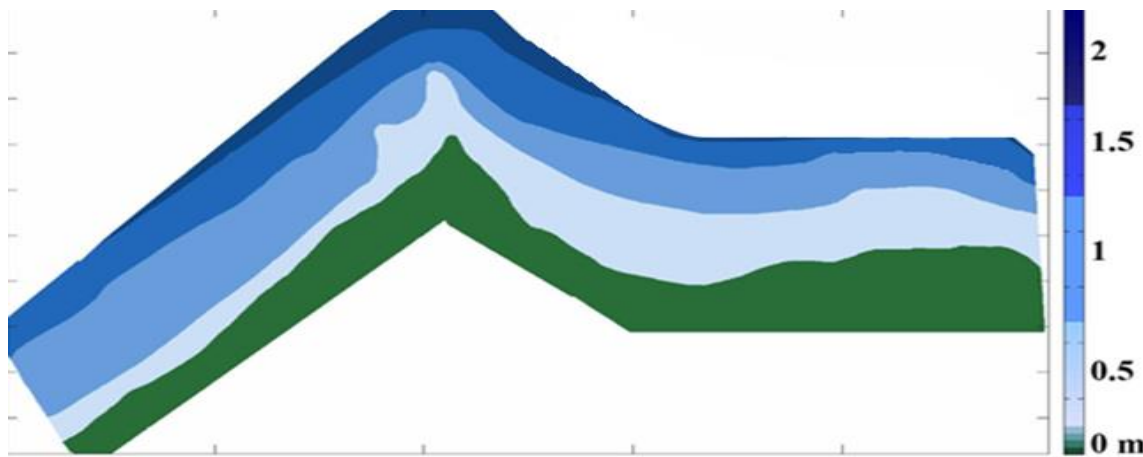


Рис. 3 Исходная батиметрия полигона, полученная с сайта Navionics

4 Методы. Получение ортофотоплана

Полет БПЛА DJI Phantom 4 adv проходил на высоте **150 метров**, продольное перекрытие снимков составило **65%**, поперечном **35%**.

Общая площадь покрытия - **0.35 кв. км**, количество снимков **60** (для полигона у мыса Каменный).

Полученные снимки разрешением 5472 на 3078 пикселей в 72dpi, формата JPG были объединены ортофотоплан разрешением 40840 на 18938 пикселей в 96 dpi. Пространственное разрешение – **1 pix = 6.1 см**



*Рис. 4
Боковой
снимок
полигона*

4 Методы. Получение ортофотоплана

Для исключения некоторых погрешностей применен алгоритм медианной фильтрации, для областей 7x7 пикселей

Кроме этого, на изображении имеются осветленные области, связанные солнечным бликом от обрушения волн в прибрежной зоне.

Эти области характеризуются белым цветом и наибольшей яркостью во всех каналах.

Блик исключался из анализа методом фильтрации значений яркости в 3х каналах



Рис. Пример результата получения ортофотоплана, красным выделены блики удаленные из анализа

4 Методы. Выделение морской флоры

Для выделения донной растительности был применен вегетационный индекс для морской среды **VDVI** (Xiaopeng Jiang, et al, 2020)

$$VDVI = \frac{2L_{green} - L_{red} - L_{blue}}{2L_{green} + L_{red} + L_{blue}}$$

Где L – коэффициенты яркости зеленого, красного и синего каналов изображения

Согласно Jiang et al., (2020), области, занятые макрофитобентосом, определяются, как те пиксели, в которых значение индекса VDVI превышает определенное, вычисленное in-situ, для конкретно рассмотренного случая оно равно 0.3.

Таким образом, применив индекс к алгоритму наложения «маски», можем выделить области занятые морской флорой, что может помочь при достижении поставленной цели или стать основой для самостоятельных исследований



Рис. 1 Пример результата выделения морской флоры на полигоне в районе Бакальской косы

4 Методы. Восстановление глубины

Согласно закона Бугера свет, проходящий поглощающую среду, ослабляется экспоненциально с глубиной:

$$L(z) = L(0) \exp(-Kz)$$

Где z – глубина; $L(0)$ – яркость на поверхности моря; K – коэффициент диффузного ослабления света.

$$L_t = L_b + L_v + L_s + L_p$$

Здесь L_s – вклад отражения от поверхности воды, L_p – вклад рассеяния в атмосфере, L_b – это яркость дна, L_v – яркость от толщи океана.

Зная эти два факта, согласно (Lyzenga, 1978; Philpot, 1989) можно оценить глубину.

$$z = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \ln[L(\lambda_i) - L_\infty(\lambda_i)]$$

Здесь $a_{0,i}$ константы, полученные эмпирическим путем.

Данный метод имеет ограничения для случаев, когда альбедо дна меньше яркости глубокой воды. В этом случае аргумент натурального логарифма получается отрицательным.

Описанные ситуации не редки и характерны, например, для дна обильно покрытого морскими водорослями. В этих случаях пиксели снимка в мелкой воде обладают меньшей яркостью

Этого недостатка лишена **нелинейная логарифмическая модель** описанная в (Stumpf et al, 2003):

$$z = m_1 \frac{\ln(nL(\lambda_1))}{\ln(nL(\lambda_2))} - m_0$$

Здесь n , m_0 , m_1 – эмпирические константы, L – яркость измеренная в двух различных каналах

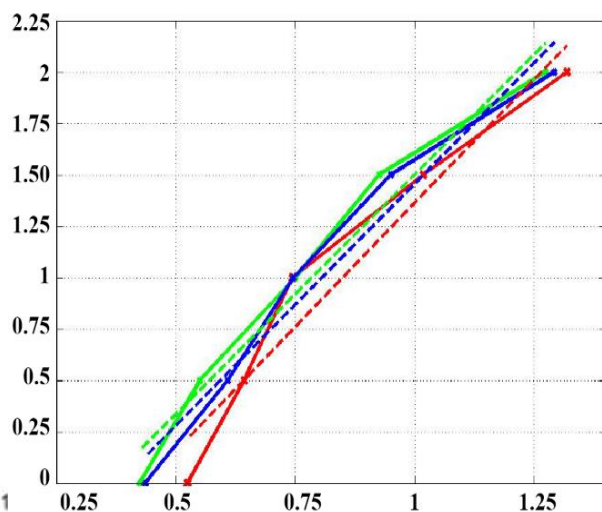
Для первичной оценки глубины дна, нахождения коэффициентов m_0 , m_1 , соответствующие далее коэффициенту K_0 , была использована батиметрия Navionics.

5 Результаты

1. Для каждого интервала глубин рассчитывалось среднее отношение логарифмов значений яркости 2 каналов:

$$A = \frac{\log(L_b)}{\log(L_r)}$$

Здесь L_b и L_r – значения яркости пикселя в синем и красном канале соответственно.



	M0	M1
Только песок	2.3796	-2.0252
Только бентос	2.3383	-1.6655
Без удаления	2.3422	-1.7589

Рис. 5 Рассчитанные в результате коэффициенты m_0 и m_1 для каждого из случаев анализа, штрихом показана аппроксимация функции

Для оценки влияния альbedo дна на восстановление глубины коэффициенты m_1 и m_0 были получены 3 разными способами: только для пикселей, соответствующие донной растительности, только песку, и для всей акватории в целом. Рассчитанные в результате коэффициенты представлены на рисунке 5.

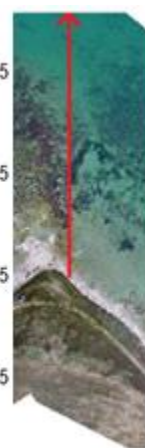
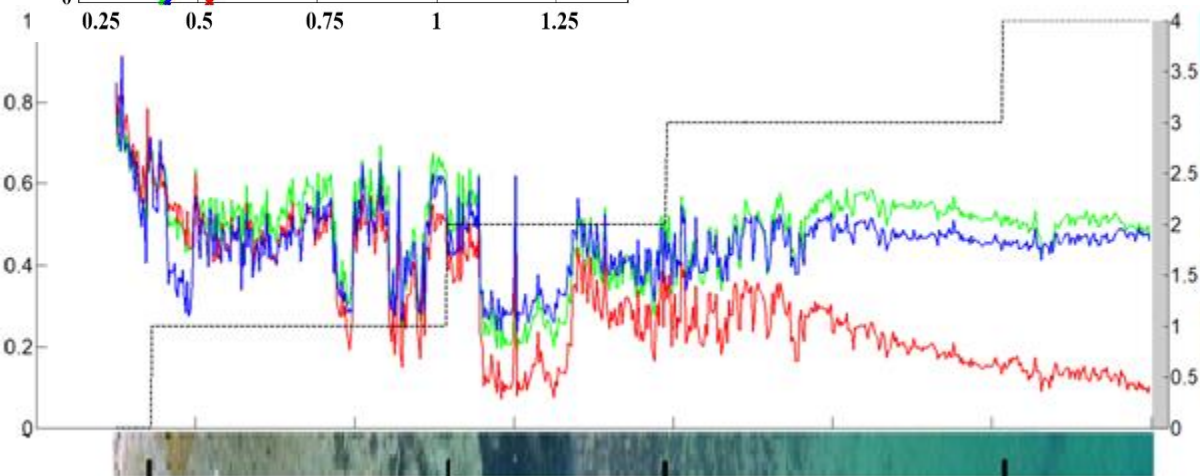


Рис. 4 График изменений яркости пикселей в красном, зеленом и синем канале вдоль разреза поперек к берегу. Чёрной линией показано изменение глубины по разрезу. Снизу и справа показаны разрезы изображения.

5 Результаты. Удаление песка, бентоса

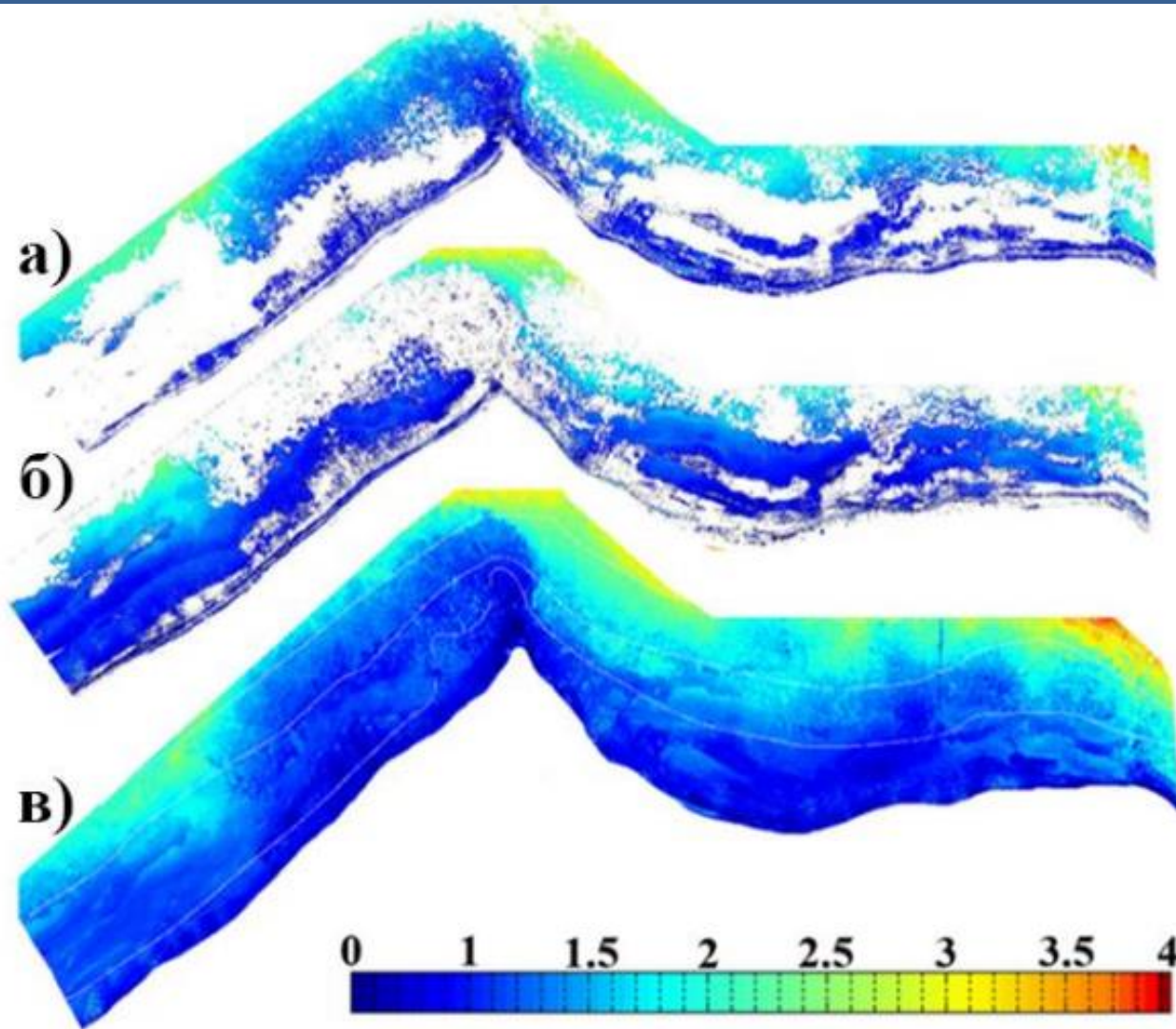
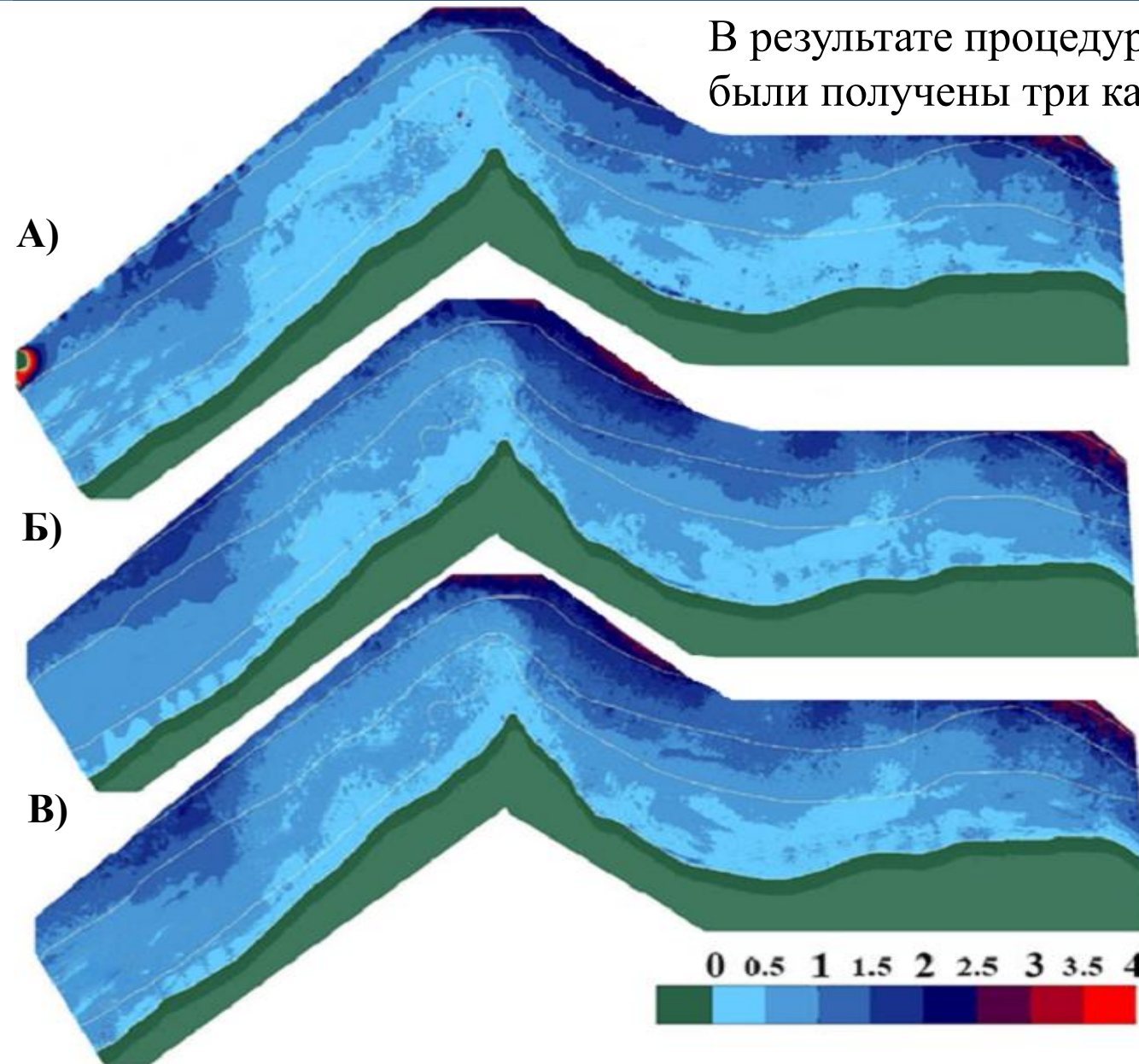


Рис. 6 Восстановленные карты глубин, полученные тремя методами: а) с удалением песка(верхняя), б) с удалением морской флоры (средняя), в) без удалений пикселей (нижняя).

5 Результаты. Интерполированные данные

В результате процедуры интерполирования, были получены три карты глубины (Рис. 6):



А) для площадей покрытых **только морской флорой;**

Б) для районов где **растительность отсутствует;**

В) карта **без удаления участков.**

5 Результаты. Восстановленная батиметрия

После применения формулы **нелинейной логарифмической модели** (Stumpf et al, 2003), с рассчитанными коэффициентами получим карту восстановленной батиметрии

**Цветом на рисунке обозначена восстановленная глубина, изобатами показана исходная глубина.*

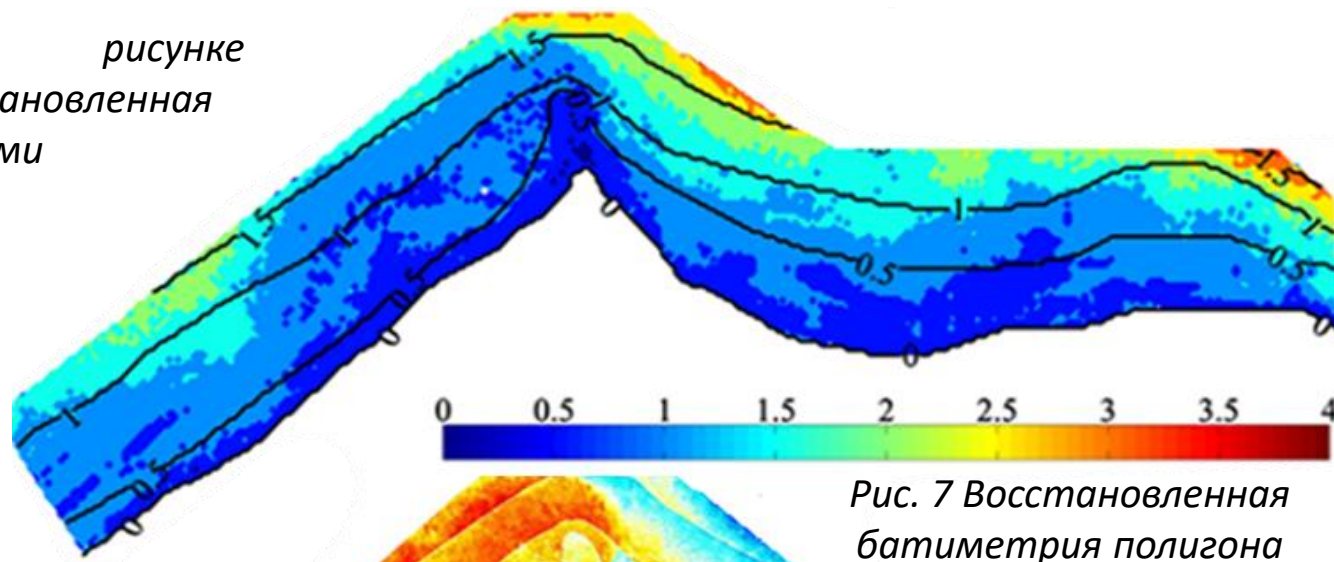


Рис. 7 Восстановленная батиметрия полигона

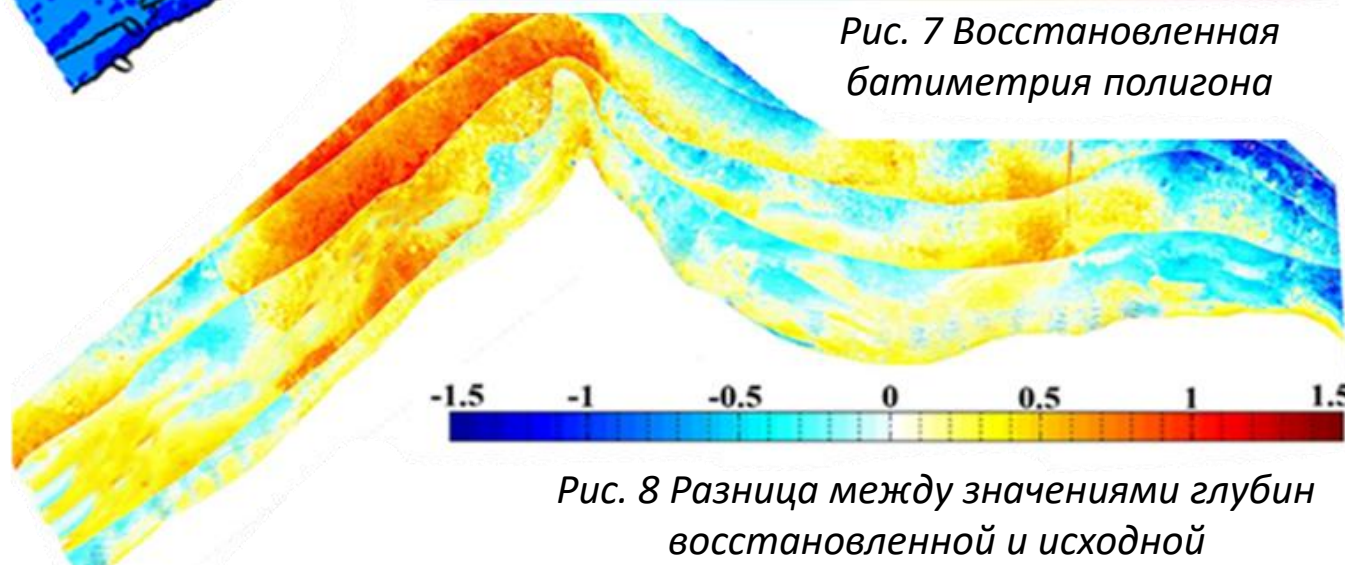
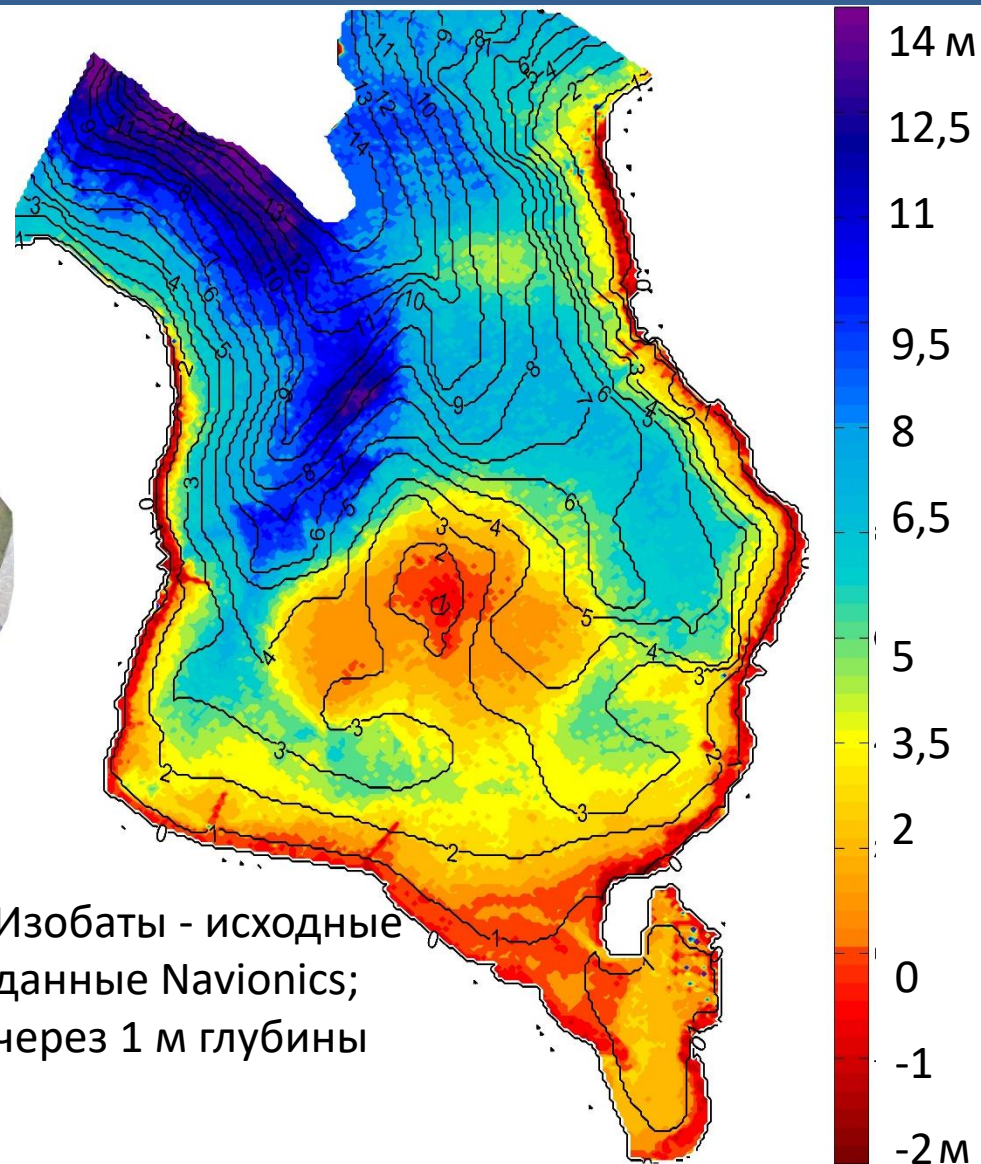


Рис. 8 Разница между значениями глубин восстановленной и исходной батиметрией, полигона

5 Результаты. Второй пример



Изобаты - исходные
данные Navionics;
через 1 м глубины

Рис. Пример восстановления батиметрии, полигон бухта Омега, Севастополь

Методы определения рельефа дна на основе данных БПЛА были впервые применены в российской практике.

- **Восстановление параметров акватории с высоким разрешением (~10 см)**
- **Простота и дешевизна измерений БПЛА** позволяют осуществлять оперативный контроль за изменением топографии дна, например, под воздействием штормовых волн, вихрей, течений, антропогенной деятельности и т.д.
- **Алгоритм выделения бентосных сообществ**, дают возможность изучения изменчивости ареалов морской флоры по пространству и по сезонам, а так же, зависимостей влияния различных гидрофизических процессов (например, штормов), что позволяет получить новые данные о закономерностях развития бентосной макрофауны
- **Высокая репрезентативность и оперативность** получаемой информации

Работа выполнена при поддержке грантов
РНФ 21-77-10052 и РФФИ 19-05-00479,
В рамках государственного задания №0555-
2021-0006



Спасибо за внимание



Контакты для связи с авторами:
Новиков Борис Александрович
E-mail: alsha996@yandex.ru