

УДК: 004.942 (551.468.1)

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-632-643

В.В. Долотов<sup>1</sup>, А.В. Долотов<sup>2</sup>

## КОНЦЕПЦИЯ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЛЬЕФА НА ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ, СКЛОННЫХ К ОБРУШЕНИЮ И ПЛЯЖНЫХ УЧАСТКАХ БЕРЕГА

### АННОТАЦИЯ

В работе описывается концепция построения специализированного геоинформационного инструмента, предназначенного для автоматизированного выполнения ряда операций, связанных с проведением расчетов по оценке изменения рельефа отдельных участков прибрежной зоны моря. Инструмент используется для мониторинга малоустойчивых, склонных к проявлению оползневых и обвальных процессов участков, а также пляжей с количественной оценкой их пространственно-распределенных объемных изменений. Исходными данными для расчетов являются массивы, формируемые программой обработки аэрофотоснимков, полученных с использованием квадрокоптеров в режиме фотограмметрии. Алгоритмической основой инструмента является известный геоинформационный инструмент Cut&Fill, используемый совместно с базой данных по расположению и геометрии большого количества участков западного побережья Крыма. Последовательность операций подразумевает выборку из двух и более массивов точек по заданному для них пространственному расположению, выполнение вертикального выравнивания по контрольным точкам, выполнение интерполяции в регулярную сетку индивидуального для каждого участка размера, расчеты и представление результатов в табличном и графическом видах. Все полученные результаты сохраняются для повторного использования и, кроме этого, возможен их графический анализ на предмет пространственного и вертикального выравнивания. Возможно также построение вертикальных сечений по любому ряду или колонке регулярной сетки. Практическое тестирование инструмента выполнено для трех съемок оползнеопасного участка в районе м. Толстый за год до катастрофического оползня 18.01.2019 г., непосредственно после события и в 2021 г. по результатам последующего мониторинга. Оценка оперативности показала, что все операции по выполнению расчетов по двум сеткам проводились в течение часа после съемки с получением подробных и достоверных результатов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** картография, Крым, прибрежная зона, моделирование рельефа, геоинформационный инструмент, автоматизированные операции, фотограмметрия

---

<sup>1</sup> ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, Севастополь, Россия; e-mail: vdolotov@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, Севастополь, Россия; e-mail: dolotov\_a\_v@mhi-ras.ru

Vyacheslav V. Dolotov<sup>1</sup>, Andrey V. Dolotov<sup>2</sup>

## THE CONCEPT AND SOME RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF AN OPERATIONAL ASSESSMENT TOOL, RELIEF CHANGES IN LANDSLIDE-PRONE, PRONE TO COLLAPSE AND BEACHES

### ABSTRACT

The paper describes the concept of building a specialized geoinformation tool designed for automated execution of a number of operations related to the implementation of calculations to assess changes in the relief of individual sections of the coastal zone of the sea. The tool is used for monitoring areas with low stability, prone to landslide and landslide processes, as well as beaches with a quantitative assessment of their spatially distributed volume changes.

The initial data for calculations are arrays generated by the program for processing aerial photographs obtained with drones in photogrammetry mode. The algorithmic basis of the tool is the well-known geoinformation tool named Cut&Fill, used in conjunction with a database on the location and geometry of a large number of sections of the western coast of Crimea. The sequence of operations involves sampling from two or more arrays of points according to a given spatial location, performing vertical alignment with use the number of ground control points, performing interpolation into a regular grid of the size accepted for each section, calculations and presenting the results in tabular and graphical form. All the results obtained are saved for reuse and, in addition, their graphical analysis for spatial and vertical alignment is possible. It is also possible to build vertical sections on any row or column of a regular grid. Practical testing of the instrument was performed for three surveys of a landslide-prone area in the area of Tolstoy Cape a year before the catastrophic landslide on 18.01.2019, immediately after the event and in 2021 as a result of monitoring program. The operational assessment showed that all operations for performing calculations on two grids were performed within one hour after the survey with detailed and reliable results.

**KEYWORDS:** cartography, GIS, Crimea, coastal zone, automated operations, terrain modeling, photogrammetry

### ВВЕДЕНИЕ

Изучению состояния берегов Крымского полуострова уделяется значительное внимание с давних пор [Зенкович, 1960, 1962; Лонгинов, 1963; Романюк, 1967; Геология..., 1982; Шуйский и др., 1984; Шуйский, 1986; Багрова и др., 2001; Пешков, 2003]. Понятно, что это связано с объективной целесообразностью использования прибрежной зоны Крыма в целях рекреации. В последнее десятилетие количество наблюдений за состоянием крымских берегов значительно увеличилось, что обусловлено как повышением интенсивности развития Крыма после его вхождения в состав России, так и использованием новых средств наблюдений, в первую очередь высокоточных приборов глобального позиционирования и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Последнее обстоятельство значительно увеличило количество и точность получаемых данных, что, естественно, привело и к росту числа публикаций [Гафуров, 2017; Стешин, 2017; Силаев, 2018; Крыленко и др., 2018; Панкеева и др., 2019; Burdziakowski, 2017; Calina et al., 2018; Miřijovský et al., 2011; Müller et al., 2017; Krylenko et al., 2020].

---

<sup>1</sup> FRC Marine Hydrophysical Institute RAN, Kapitanskaya str., 2, 299011, Sevastopol, Russia; e-mail: vdolotov@mail.ru

<sup>2</sup> FRC Marine Hydrophysical Institute RAN, Kapitanskaya str., 2, 299011, Sevastopol, Russia; e-mail: dolotov\_a\_v@mhi-ras.ru

Однако, как часто отмечается, не все берега Крыма требуют одинакового внимания. Так, наибольшую тревогу вызывают оползнеопасные и обвалоопасные участки, а также песчаные пляжи, расположенные, в основном, на западном берегу Крыма от м. Коса Северная и до района Саки – Евпатория. Эти берега изобилуют высокими клифами, за счет разрушения которых поддерживается состояние близлежащих пляжей, и в то же время необдуманными проектами застройки побережья, что чревато небезопасными происшествиями, чаще всего, обвалами [Горячкин, 2019]. Такие участки требуют постоянного контроля за их состоянием и оперативной оценки изменения рельефа местности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из подходящих инструментов для оценки изменений рельефа является алгоритм Cut&Fill, реализованный большинством ГИС. Алгоритм расчета основан на сравнении двух регулярных сеточных модельных поверхностей одинаковой размерности. Результатом анализа являются количественные характеристики объемов изъятия и пополнения грунта одновременно с картиной их пространственного распределения. При этом необходимые регулярные сетки рассчитываются методом интерполяции по результатам измерений на местности.

Результаты измерений на местности с учетом необходимого для построения рельефа возвышения уровня до недавнего времени получали геодезическими приборами, либо высокоточными GPS, например фирмы EFT в режиме RTK [Долотов, 2015]. Работы подобного рода достаточно затратны по времени и не всегда выполнимы в принципе. Последнее замечание касается измерений на участках обрушения и клифах с отвесными и даже отрицательными уклонами. В настоящее время с этой целью используются БПЛА, чаще всего квадрокоптеры с высококачественной камерой. При этом съемка небольших (до 2 км) участков занимает обычно около одного часа, и в сочетании с программой обработки снимков Agisoft Metashape за несколько часов возможно получить достаточно подробный рельеф, в том числе текстурированный изображениями со снимков. Однако, если не ставить целью получение презентабельной модели, а ограничиться лишь подробной сеточной моделью, то временные затраты значительно сокращаются. Практика показывает, что получение разреженного облака точек, т.е. точек, сгенерированных из совпадения отдельных элементов снимков, выполняется за несколько минут. В то же время плотность такого предварительного массива достаточно высока и вполне достаточна для последующей интерполяции. Так на примере рисунка 1 количество точек составляет 110 390 шт.

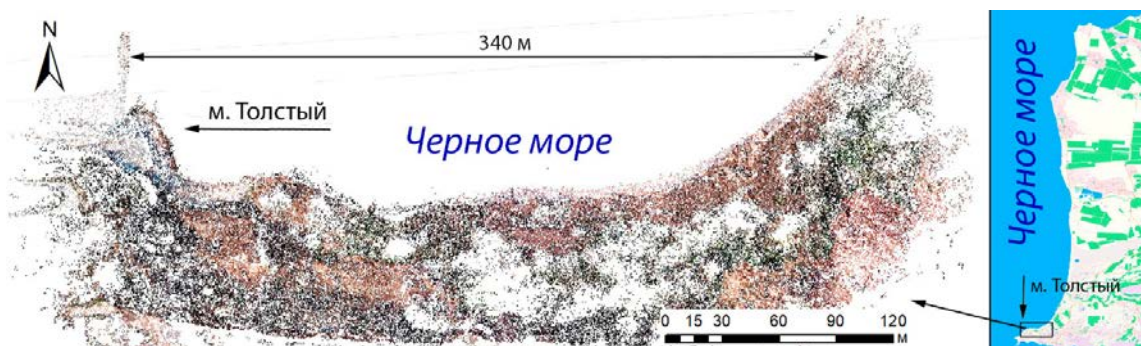


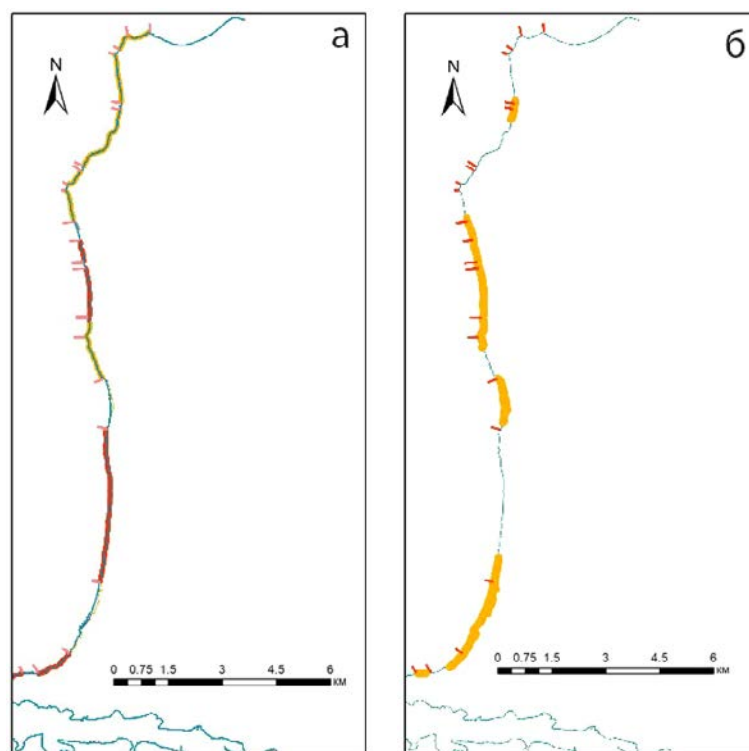
Рис. 1. Пример представления разреженного облака точек, сформированного программой Agisoft Metashape для оползнеопасного участка на м. Толстый Севастопольского региона Крыма

Fig. 1. An example of a representation of a rare point cloud formed by the Agisoft Metashape program for a landslide-prone area on the Tolstoy Cape of the Sevastopol region of Crimea

Таким образом, общая последовательность операций по подготовке сеточного регулярного массива для анализа включает:

- натурную съемку участка;
- генерирование разреженного облака точек (при использовании квадрокоптера);
- расчет регулярного массива методом интерполяции с заданными параметрами (границами участка и размерностью массива).

Далее полученный массив сравнивается с аналогичным массивом, рассчитанным ранее, и методом Cut&Fill выполняется построение соответствующих пространственных распределений. Технология несложная, если ее выполнять нечасто и для небольшого количества объектов. Однако это не совсем оправдано для процесса непрерывного мониторинга в целом по западному побережью Крыма, наиболее подверженному оползнеопасным и обвалоопасным процессам и, одновременно, представленным большим количеством протяженных песчаных пляжей. Помимо этого, ситуацию усугубляют процессы антропогенного преобразования побережья, часто без каких-либо согласований.



*Рис. 2. Схемы расположения оползне- и обвалоопасных участков (а) и пляжей (б) на Северной стороне Севастопольского региона*

*Fig. 2. Location schemes of landslide and landslide-prone areas (a) and beaches (b) on the Northern side of the Sevastopol region*

В этих случаях оценка объемов изъятых грунтов позволяет рассчитать текущий и перспективный ущерб природе от изъятия пляжеобразующего материала и ожидаемые потери площадей рекреационных зон пляжей. На рисунке 2 представлены схемы пространственного распределения этих природных объектов только для западного берега Севастопольского региона. Как видно, часто они накладываются друг на друга, что в теории недопустимо. Несмотря на это, на практике никакие запреты нахождения в обвалоопасных районах не помогают, что иногда приводит к катастрофическим явлениям, в том числе с человеческими жертвами (рис. 3а).

Для предотвращения таких случаев реализуются различные проекты, в частности, террасирование склонов (рис. 3б, в), что также требует тщательной оценки объемов извлеченного грунта, в том числе по отдельным фракциям. На рисунке 3в отчетливо видно три ступенчатые террасы высотой около 4 м.

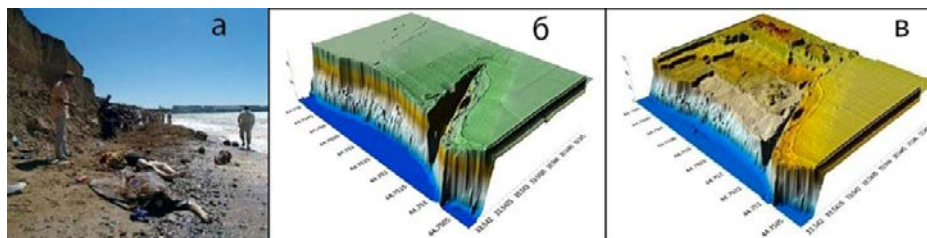


Рис. 3. Катастрофические последствия обвала в пос. Кача (а) и результаты террасирования берега от исходного состояния (б) до результирующего (в)

Fig. 3. Catastrophic consequences of the collapse in the village. Kacha (a) and the results of terracing the shore from the initial state (b) to the resulting (c)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всего в поле зрения постоянного мониторинга расположено 23 участка с периодичностью выполнения наблюдений от одного до нескольких раз в год. В этом случае напрашивается разработка программного инструмента, не только выполняющего описанные выше процедуры построения сеточных модельных поверхностей, но и сохраняющего в специализированной базе данные по границам исследуемых участков, а также сведения об их характеристиках, включая размерность сеток, определяемых, в некоторой степени, протяженностью участков. Интерфейс пользователя может включать полный список участков и дат выполнения съемок по примеру кадастра пляжей Крыма (рис. 4) [Горячкин, 2019]. На выходе имеем табличное и графическое представление результатов сравнения, что позволяет выполнять весь комплекс работ даже техническому персоналу.

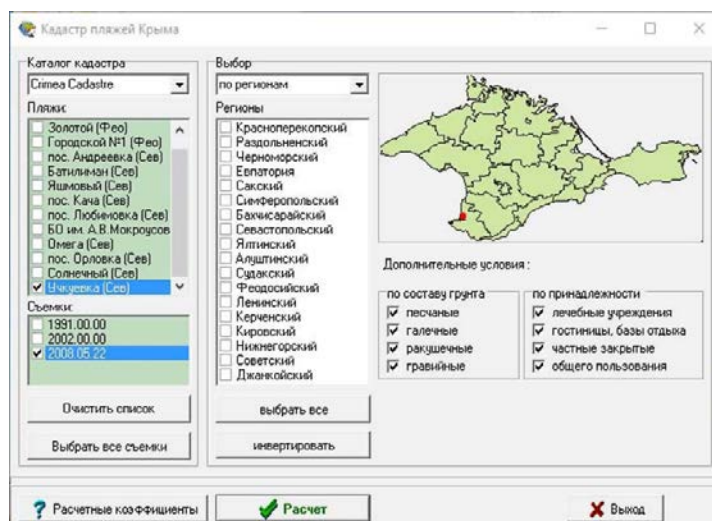


Рис. 4. Пример представления списка пляжей в системе кадастровой оценки рекреационных ресурсов Крыма

Fig. 4. An example of presenting a list of beaches in the Crimea cadastral of recreational resources assessment system

Разрабатываемый инструмент анализировался поэтапно на примере съемок оползнеопасного участка в районе м. Толстый после схода значительного массива в 2019 г. с обрушением хозяйственных построек (рис. 5), расположенных прямо на клифе и значительно менее заметного в 2021 г., в сравнении с 2018 г. При этом использовались три массива точек, сгенерированных программой Agisoft Metashape, один из которых представлен выше на рисунке 1.



*Рис. 5. Последствия проявления одного из оползней Севастопольского региона*  
*Fig. 5. Consequences of the manifestation of one of the landslides of the Sevastopol region*

На этапе генерирования массивов необходимо принимать меры к совмещению данных в вертикальной плоскости. Дело в том, что БПЛА во время съемки не всегда запускается с одной точки и на одну фиксированную высоту полета, поэтому данные по уровню каждой точки после выравнивания снимков могут значительно различаться, как в качестве примера показано в таблице 1. При этом отрицательные значения высоты второй съемки формируются при запуске БПЛА с бровки клифа в то время, как первая выполнялась с уровня пляжа.

*Табл. 1. Фрагменты данных, полученных с квадрокоптера в результате двух съемок*  
*Table 1. Fragments of data obtained from a copter as a result of two surveys*

Камеры	Долгота	Широта	Высота, м	Камеры	Долгота	Широта	Высота, м
DJI_0001	33.524795	44.637698	54.208	DJI_0585	33.524255	44.637834	-30.743
DJI_0002	33.524833	44.637697	54.208	DJI_0586	33.524528	44.637880	-30.843
DJI_0003	33.525181	44.637755	54.108	DJI_0587	33.524792	44.637926	-30.043
DJI_0004	33.525185	44.637933	53.708	DJI_0588	33.525060	44.637972	-30.143
DJI_0005	33.525185	44.638105	54.008	DJI_0589	33.525323	44.638013	-30.143

Традиционно с целью вертикального выравнивания используются контрольные точки, характеризующиеся известными координатами и значением возвышения уровня. В случае изучения прибрежных зон используется благоприятный природный фактор – наличие линии уреза воды, положение которой по вертикали принимается за нулевую отметку. Помимо этой линии, включающей множество точек, могут использоваться и другие, расположенные на неподвижных объектах и характеризующиеся известной высотой (буны, перекрестки дорог, люки и др.). При этом погрешность может достигать 0.1–0.2 м, что вполне достаточно при измерениях, кратных 1 м.

В процессе автоматической обработки выполняется сравнение всех контрольных точек, в том числе всех точек береговой линии с соответствующими точками разреженного массива, вычисляются отклонения и их среднее значение. Затем значения высот всех точек анализируемых массивов пересчитываются с учетом среднего и генерированием откорректированных вариантов, после чего выполняется их преобразование в регулярные массивы простейшим методом интерполяции, выражающемся чаще всего в простом вычислении среднего значения всех точек каждой ячейки. Размер ячеек предпочтительно выбирать в  $1 \times 1$  м, однако для значительных по размеру участков он может быть увеличен. Преобразования градусной меры координат в метрические выполняется методом хаверсинусов [Subhan и др., 2017], хорошо зарекомендовавшим себя в прежних геоинформационных расчетах.

После получения регулярных массивов можно проконтролировать пространственное положение соответствующих вертикальных сечений для разных съемок путем вычленения данных по строкам или колонкам. Результирующие графики представляются в формате рисунка 6, соответствующего сравнению съемок 2017 и 2021 гг.

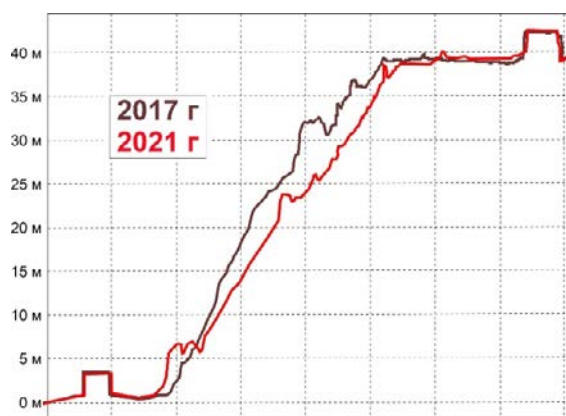


Рис. 6. Пример графической визуализации вертикальных сечений рельефов

Fig. 6. Example of graphical visualization of vertical sections of reliefs

И наконец, финальная стадия визуализации результатов обработки выполняется в двух вариантах: табличном и графическом. Для этого рассчитываются отдельно суммы отрицательных и положительных величин с сохранением их значений для каждой ячейки регулярного массива (табл. 2). Дополнительно можно оценить общий объем грунта в пределах участка, ограниченного по вертикали плоскостью, проходящей через линию уреза воды, т.е. выше уровня моря (табл. 3).

Табл. 2. Объемы грунта, добавленные (+) и удаленные (–) за период,  $m^3$

Table 2. Volumes of soil added (+) and deleted (–) during the period,  $m^3$

Период	+	–	Разность
2019–2018	105343	57362	+47981
2021–2019	23904	122077	–98173
2021–2018	37082	87080	–49998

Табл. 3. Объемы грунта над уровнем моря в границах участка, м<sup>3</sup>  
 Table 3. The volumes of soil above sea level within the area boundaries, m<sup>3</sup>

Период	Объем, м <sup>3</sup>
2018	951806
2019	1002066
2021	906776

При необходимости могут быть рассчитаны суммы площадей соответствующих ячеек в плане и трехмерном представлении. Пример формирования табличного варианта результирующих данных представлен в таблицах 4, 5.

Табл. 4. Планарные площади, соответствующие добавленным (+) и удаленным (–) объемам грунта за период, м<sup>2</sup>

Table 4. Planar sites corresponding to the added (+) and removed (–) volumes of soil for the period, m<sup>2</sup>

Период	+	–
2019–2018	37520	19290
2021–2019	13597	43195
2021–2018	22376	34393

Табл. 5. Площади поверхности, соответствующие добавленным (+) и удаленным (–) объемам грунта за период, м<sup>2</sup>

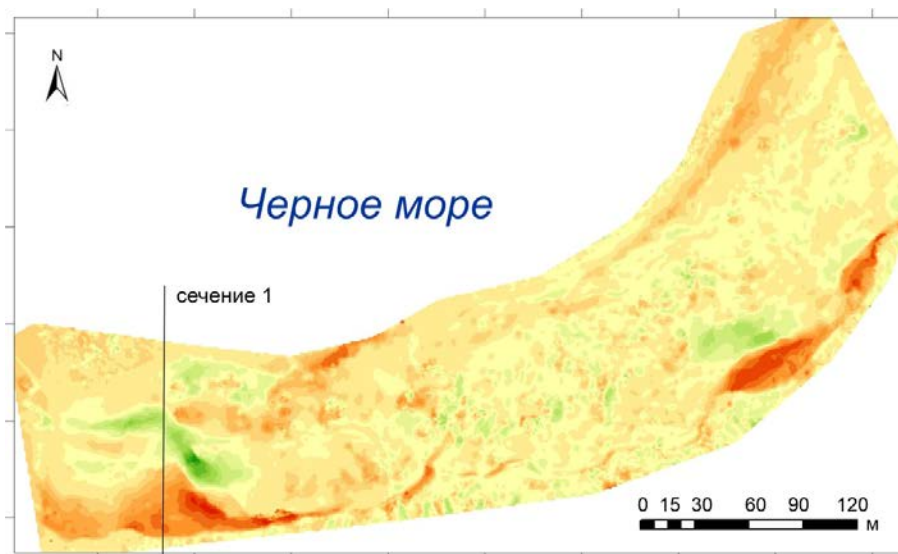
Table 5. Surface areas corresponding to the added (+) and removed (–) volumes of soil for the period, m<sup>2</sup>

Период	+	–
2019–2018	55569	33524
2021–2019	23912	63948
2021–2018	35265	55950

В графическом же варианте наиболее перспективным показалось традиционное представление в виде пространственной схемы в трехцветном варианте, называемом «светофором», где красный цвет характеризует ячейки с убылью материала, зеленый – с его пополнением и желтый соответствует незначительным изменениям. Так на рисунке 7 представлены цифровые суммарные изменения рельефа, произошедшие в период 2018–2021 гг. на метровой сеточной модели, при этом сечение, представленное на рисунке 6, соответствует сечению 1 на рисунке 7. Общий размер сетки при этом составил 277×462 ячейки.

В заключение следует отметить, что подробные особенности проявления рассматриваемых в работе геоморфологических процессов для каждого исследуемого участка береговой зоны предполагается обсуждать отдельно. При этом очевидно, что все описанные выше операции могут быть выполнены с привлечением различного программного обеспечения, однако нет сомнения и в том, что эти работы потребуют значительно большего времени и вряд ли смогут быть отнесены к разряду «оперативных оценок».





*Рис. 7. Сеточное градиентное представление результатов расчетов изменений рельефа на оползневом участке за период 2018–2021 гг.*

*Fig. 7. Grid gradient representation of the results of calculations of relief changes in the landslide area for the period 2018–2021*

Оперативный же анализ показывает (табл. 2), что в результате обвала 2019 г. от клифа отделилось около 48 тыс. м<sup>3</sup> грунта, распредившегося на примерно 70-метровой зоне до уреза воды. При этом обвальные процессы проявились как на западном, так и на восточном участках оползня. Позже основная масса обвалившейся породы была вынесена в море, о чем свидетельствуют как цифры, так и соответствующие снимки, например, рисунок 8, что привело к восстановлению и даже ожидаемому некоторому уменьшению общего объема грунта в исследуемых границах.



*Рис. 8. Визуальная фиксация последствий проявления оползня 2019 г.*

*Fig. 8. Visual fixation of the consequences of the 2019 landslide*

## ВЫВОДЫ

Предложенный в работе вариант реализации некоторых программных алгоритмов в виде инструмента для анализа изменений рельефа отдельных участков местности реально позволяет выполнять задачу в оперативном режиме. С учетом встроенной базы данных, описывающей пространственные характеристики отдельных участков мониторинга, выполнение расчетов доступно даже для технического персонала. Результаты расчетов характеризуются достаточной точностью и презентабельностью, что позволяет включать их в отчетные материалы непосредственно после получения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Багрова Л.А., Боков В.А., Багров Н.В.* География Крыма. Киев: Лыбидь, 2001. 304 с.
2. *Гафуров А.М.* Возможности использования беспилотного летательного аппарата для оценки почвенной и овражной эрозии. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. № 4. С. 654–667.
3. Геология шельфа УССР: Среда. История и методика изучения. Киев: Наукова думка, 1982. 175 с.
4. *Горячкин Ю.Н., Долотов В.В.* Морские берега Крыма. Севастополь: Колорит, 2019. 256 с.
5. *Долотов В.В., Шкляр А.А.* Объемный метод оценки временной динамики состояния пляжей. Международная конференция ИнтерКарто. ИнтерГИС 21. 16–19 ноября 2015 г. Краснодар, 2015. С. 416–419.
6. *Зенкович В.П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря. М.: АН СССР, 1960. Т. 1. 216 с.
7. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов. М.: АН СССР, 1962. 278 с.
8. *Крыленко В.В., Руднев В.И.* Методика аэрофотосъемки Бакальской косы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 4. С. 59–64.
9. *Лонгинов В.В.* Динамика береговой зоны бесприливных морей. М.: АН СССР, 1963. 379 с.
10. *Панкеева Т.В., Миронова Н.В., Новиков Б.А.* Картографирование донной растительности бухты Круглая (г. Севастополь, Черное море). Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 3. С. 61–71.
11. *Пешиков В.М.* Береговая зона моря. Краснодар: Лаконт, 2003. 350 с.
12. *Романюк О.С.* Генезис крымских пляжей. Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР. 1967. Вып. 1. С. 178–182.
13. *Силаев А.В.* Исследование возможности применения материалов дистанционного зондирования Земли совместно с данными, полученными с беспилотных летательных аппаратов. Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 112–114.
14. *Стешин И.С.* Технология создания трехмерной модели местности на основе данных дистанционного зондирования Земли с беспилотного летательного аппарата в сервисе Maps Made Easy. Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. 2017. № 1. С. 12.
15. *Шуйский Ю.Д., Выхованец Г.В., Карасев Л.М., Макеев И.А.* Морфология и динамика берегов Юго-западной части Крымского полуострова. Физическая география и геоморфология. 1984. Вып. 31. С. 83–88.
16. *Шуйский Ю.Д.* Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 240 с.

17. *Burdziakowski P.* Evaluation of open drone map toolkit for geodetic grade aerial drone mapping – case study. 17-th International a Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 2017. 2017. P. 101–110.
18. *Calina J., Calina A., Badescu G., Croitoru A.C., Vangu G.M.* Research on Realizing Thematic Digital Maps Using Drone Assisted Scanning Technology. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 2018. 2018. P. 369–376.
19. *Krylenko M., Krylenko V.* Methodological Features of Aerial Survey of Coast Relief by UAV. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 8. Sep. Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, RSCy 2020. 2020. P. 115241W.
20. *Miřijovský Ja., Brus Ja., Pechanec V.* Utilization of a Small-Format Aerial Photography from Drone Pixy Concept in the Evaluation of the Landscape Changes. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 2011, 2011. P. 345–354.
21. *Müller D., Walter T.R., Witt T., Steinke B., Schöpa A., Gudmundsson M.T., Dürig T.* High Resolution Digital Elevation Modelling from TLS and UAV Campaign Reveals Structural Complexity at the 2014/2015. Holuhraun Eruption Site, Iceland. *Frontiers in Earth Science*. 2017. Vol. 5. P. 59.
22. *Subhan Hartanto, Mhd. Furqan, Andysah Putera Utama Siahaan, Wirda Fitriani* Haversine Method in Looking for the Nearest Masjid. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*. 2017. Vol. 3. Iss. 8. P. 186–195. DOI: 10.23883/IJRTER.2017.3402.PD61H.

#### REFERENCES

1. *Bagrova L.A., Bokov V.A., Bagrov N.V.* Crimea Geography. Kiev: Lybid, 2001. 304 p. (in Russian).
2. *Burdziakowski P.* Evaluation of open drone map toolkit for geodetic grade aerial drone mapping – case study. 17-th International a Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017, 2017. P. 101–110.
3. *Calina J., Calina A., Badescu G., Croitoru A.C., Vangu G.M.* Research on Realizing Thematic Digital Maps Using Drone Assisted Scanning Technology. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 2018. P. 369–376.
4. *Dolotov V.V., Shklyar A.A.* A volumetric method for estimating the temporal dynamics of the state of beaches. International Conference InterCarto. InterGIS 21, 16–19 Nov. 2015. Krasnodar, 2015. P. 416–419 (in Russian).
5. *Gafurov A.M.* The possibility of using an unmanned aerial vehicle to assess soil and gully erosion. Scientific notes of Kazan University. Series: Natural Sciences. 2017. Vol. 159. No. 4. P. 654–667 (in Russian).
6. *Goryachkin Yu.N., Dolotov V.V.* Sea Coasts of Crimea. Sevastopol: Colorit, 2019. 256 p. (in Russian).
7. *Krylenko M., Krylenko V.* Methodological Features of Aerial Survey of Coast Relief by UAV. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 8. Sep. “Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, RSCy 2020”. 2020. P. 115241W.
8. *Krylenko V.V., Rudnev V.I.* Aerial photography technique of the Bakal spit. Environmental safety of the coastal and offshore zone of the sea. 2018. No. 4. P. 59–64 (in Russian).
9. *Longinov V.V.* Dynamics of the coastal zone of tidal seas. Moscow: Academy of Science of USSR, 1963. 379 p. (in Russian).

10. *Miřijovský Ja., Brus Ja., Pechanec V.* Utilization of a Small-Format Aerial Photography from Drone Pixy Concept in the Evaluation of the Landscape Changes. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2011, 2011. P. 345–354.
11. *Müller D., Walter T.R., Witt T., Steinke B., Schöpa A., Gudmundsson M.T., Dürig T.* High Resolution Digital Elevation Modelling from TLS and UAV Campaign Reveals Structural Complexity at the 2014/2015. Holuhraun Eruption Site, Iceland. *Frontiers in Earth Science*. 2017. Vol. 5. P. 59.
12. *Pankeeva T.V., Mirovova N.V., Novikov B.A.* Mapping of bottom vegetation of Kruglaya Bay (Sevastopol, Black Sea). *Environmental safety of the coastal and offshore zone of the sea*. 2019. No. 3. P. 61–71 (in Russian).
13. *Peshkov V.M.* Coastal zone of the sea. Krasnodar: Lakont, 2003. 350 p. (in Russian).
14. *Romanuk O.S.* The genesis of the Crimean beaches. *Geology of the coast and bottom of the Black and Azov Seas within Ukraine*. 1967. Vol. 1. P. 178–182 (in Russian).
15. *Silaev A.V.* Investigation of the possibility of using Earth remote sensing materials together with data obtained from unmanned aerial vehicles. *The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2018. P. 112–114 (in Russian).
16. *Steshin I.S.* Technology for creating a three-dimensional terrain model based on remote sensing data from an unmanned aerial vehicle in the service Maps Made Easy. *Scientific Review. International Scientific and Practical Journal*. 2017. No. 1. P. 12 (in Russian).
17. *Shuysky Yu.D., Vychovanets G.V., Karasyov L.M., Makeev I.A.* Morphology and dynamics of the shores of the southwestern part of the Crimean Peninsula. *Physical geography and geomorphology*, 1984. Vol. 31. P. 83–88 (in Russian).
18. *Shuysky Yu.D.* Problems of sediment balance research in the coastal zone of the seas. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1986. 240 p. (in Russian).
19. *Subhan Hartanto, Mhd. Furqan, Andysah Putera Utama Siahaan, Wirda Fitriani.* Haversine Method in Looking for the Nearest Masjid. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*. 2017. Vol. 3. Iss. 8. P. 186–195. DOI: 10.23883/IJRTER.2017.3402.PD61H.
20. *Ukrainian Shelf Geology: Nature. History and methods of study*. Kiev: Naukova Dumka, 1982. 175 p. (in Russian).
21. *Zenkovitch V.P.* Morphology and dynamics of the Soviet shores of the Black Sea. Vol. 1. Moscow: Academy of Science of USSR, 1960. 216 p. (in Russian).
22. *Zenkovitch V.P.* Fundamentals of the doctrine of the development of seashores. Moscow: Academy of Science of USSR, 1962. 278 p. (in Russian).