

УДК: 551.468.1

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-3-31-620-629

В. В. Долотов<sup>1</sup>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАННЫХ

### АННОТАЦИЯ

Описываются геоинформационное решение, соответствующая технология и программный инструмент, разработанные для формирования информационно-поисковой коллекции геопривязанных фотографий с характеризующими их данными, снятых за длительный период различными методами. Инструмент разрабатывался с целью систематизации и поиска снимков, необходимых для оценки природных и антропогенных изменений отдельных участков берега Крыма в коллекции из многих тысяч фотографий, собранных за долгие годы исследований береговой зоны учеными-геоморфологами и другими специалистами, а также фотографами-любителями. В коллекцию предполагается включить как старинные уникальные фотографии, датирующиеся начиная с 1865 г., так и современные высококачественные снимки с квадрокоптера, полученные в результате выполнения многочисленных полетных заданий в прибрежной зоне полуострова специально с целью идентификации изменений берега на наиболее уязвимых участках побережья. Программный инструмент предполагает распределение всех снимков по геоморфологически однородным районам, включающим несколько регионов и отдельных участков. Каждый снимок характеризуется геоморфологическим типом берега и методом съемки, а также набором уникальных ключевых слов и возможным дополнительным текстовым описанием с включением графиков и таблиц. Инструмент позволяет пользователю загружать снимки по координатам, EXIF-данным или просто указав точку на высокоточной масштабируемой карте. Созданная коллекция может сохраняться на отдельный носитель и просматриваться аналогичным инструментом на другом компьютере, а также логически объединяться в единый массив. Точки на карте характеризуются краткими комментариями, в то время как непосредственно коллекцию можно просматривать по отдельным регионам и участкам в виде серии миниатюр с возможностью сохранения выбранного снимка на диск. Естественно, инструмент снабжен традиционной системой автоматической выборки снимков в соответствии с заданными критериями и ключевыми словами. Он разработан для специалистов-геоморфологов в рамках государственного задания по теме «Исследование пространственно-временной изменчивости океанологических процессов в береговой, прибрежной и шельфовых зонах Черного моря под воздействием природных и антропогенных факторов на основе контактных измерений и математического моделирования».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** картография, фотоснимки, ГИС, берега Крыма, визуализация, информационно-поисковая система

---

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

**Vyacheslav V. Dolotov<sup>1</sup>**

## **THE USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF FORMING COLLECTIONS OF SPATIALLY DISTRIBUTED DATA**

### **ABSTRACT**

The article describes a geoinformation solution, an appropriate technology, and a software tool designed for creating an information and retrieval collection of geo-linked photographs with their characteristic data, taken in different years using various methods. The tool was developed in order to systematize and conveniently search for images necessary to assess natural and anthropogenic changes in individual areas of the Crimean Coast within a collection of many thousands of photographs collected over many years of research of the coastal zone by geomorphologists and other specialists, as well as amateur photographers. The collection is expected to include both ancient and unique photographs dating since 1865, as well as modern high-quality quadcopter images obtained as a result of numerous flight missions in the coastal zone of the peninsula specifically to identify changes in the most vulnerable areas of the coast. The software tool assumes the distribution of all images by geomorphologically homogeneous areas, divided by regions and individual parcels. Each image is characterized by a geomorphological coast type and the method of shooting, as well as a set of unique keywords and a possible additional text description with the inclusion of graphs and tables. The tool allows the user to upload images by coordinates, EXIF data, or simply by specifying a point on a highly accurate, scalable map. The created collection can be saved to the separate storage medium and viewed with the same tool on another computer, as well as logically combine both collections. The points on the map are characterized by brief comments, while the collection itself can be viewed by individual regions and sites as a series of thumbnails with the ability to save the selected image to disk. Naturally, the tool includes a traditional automatic image selection system in accordance with the specified criteria and keywords. It was developed for geomorphologists within the framework of the state assignment on the topic “Study of the spatial and temporal variability of oceanological processes in the coastal and shelf zones of the Black Sea under the influence of natural and anthropogenic factors based on contact measurements and mathematical modeling”.

**KEYWORDS:** cartography, photographs, GIS, Crimea Coast, visualization, information retrieval engine

### **ВВЕДЕНИЕ**

Опыт использования геоинформационных систем в процессе изучения динамики береговой зоны Крыма в Морском гидрофизическом институте РАН (МГИ) насчитывает более 20 лет. За это время использовались как признанные профессиональные инструменты (ESRI ArcGIS, совместно с Черноморским филиалом МГУ имени М. В. Ломоносова; QGIS), так и ряд собственных разработок, использующих ГИС-технологии в вычислительных и презентационных алгоритмах. Наиболее перспективной из них оказалась собственная ГИС-оболочка в виде векторной базовой карты Крыма с максимально тщательной проработкой береговой линии по данным известного картографического портала Google Earth за 5 июня 2014 г. [Долотов, 2015]. По результатам оцифровки было получено 408 960 точек береговой линии, ограниченной с обеих сторон существующей на тот момент границей с Украиной. Учитывая ориентировочную протяженность черноморского берега Крыма без учета озер Сиваш и Донузлав в 1 463 884 м, получаем среднее расстояние между точками в 3,6 м, при

---

<sup>1</sup> Marine Hydrophysical institute, 2, Kapitanskaya str., Sevastopol, 299011, Russia,  
e-mail: [vdolotov@mail.ru](mailto:vdolotov@mail.ru)

этом наиболее динамические участки берега оцифровывались более подробно, в то время как протяженные береговые сооружения — двумя точками на линию. Последующие работы в прибрежной зоне от Евпатории до Алушты показали, что точки, измеренные на урезе воды, попадают точно на оцифрованную линию. Впоследствии базовая карта была дополнена еще несколькими векторными слоями: изобатами глубин, населенными пунктами, автомобильными дорогами, реками, озерами, лесопарковыми зонами, береговыми сооружениями. Все вышеперечисленные объекты используются в открытых форматах ESRI shape<sup>1</sup>, что обеспечивает загрузку картографической основы в любом сочетании примерно за 2 с на компьютерах офисной конфигурации. На протяжении последующих 10 лет указанная основа использовалась многократно в различных проектах и показала себя как отличная универсальная масштабируемая подложка для формирования картографических материалов различной направленности.

В 2022–2023 гг. в рамках выполнения работ по теме «Прибрежные исследования» была поставлена задача создания массива фотоматериалов по отдельным участкам береговой зоны за весь период наблюдений с целью выявления особенностей и скоростей трансформации Крымского побережья как по причине природных изменений, так и вследствие антропогенного вмешательства человека. В принципе, оценочные работы по фотографиям выполнялись во все времена, что обусловлено рядом естественных причин:

- фотоснимки являются единственным очевидным свидетельством того или иного состояния местности на момент съемки;
- фотографии крымских берегов в различных ракурсах имеются в огромном количестве, что связано с популярностью Крыма как места массового отдыха с давних времен;
- первые снимки крымского побережья датируются 1865 г.

Следует отметить, что обычно фотоснимки одного и того же участка берега бывают интересны не сами по себе, а по степени влияния каких-то (чаще антропогенных) изменений ландшафта на достаточно удаленные от объекта съемки протяженные участки. В частности, на основе этого подхода в МГИ в 2019 г. была опубликована альбом-монография [Современное..., 2015].

Однако на протяжении всех исследований было понятно, что работать с большим, даже огромным количеством фотографий чрезвычайно затруднительно, даже если они упорядочены по отдельным регионам. Отыскать известную фотографию среди большой массы снимков довольно проблематично, особенно с учетом того, что современные фотоаппараты кодируют снимки определенными символами, а старые фотографии часто вообще не имеют подписей.

Исходя из этого была поставлена цель: разработать специализированный программный инструмент для формирования коллекции сортированных фотографий с включением в их состав некоторых заранее утвержденных «метаданных», описывающих место, дату и метод съемки, характеристику берега, а также ряд ключевых слов или фраз, способствующих поиску конкретных объектов, персонажей и прочих особенностей, например обрушений, оползней и обвалов. При этом изначально было понятно, что использование разработанного инструмента в процессе поиска фотографий будет несложным, в отличие от начального процесса формирования коллекции, который должен допускать различные правки как метаданных, так и возможного расширенного описания.

<sup>1</sup> ESRI Shapefile Technical Description. An ESRI White Paper, 1998. 28 p.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С учетом наличия описанной выше картографической основы, поставленных заданием технических требований и известных публикаций по рассматриваемой тематике [Богданов, 2009; Тарасов, 2013; Bentley, 1979; Witten, 1999] авторами не использовались какие-либо готовые решения по данному направлению. Основные задачи включали: комплектование коллекции фотоизображений береговой зоны Крыма на основе их географического расположения и даты/сезона съемки, реализацию возможности сохранения метаданных, включающих характеристики берегового участка и метода съемки, краткого комментария объекта, ключевых слов для поиска и подробного описания участка съемки при его наличии. Помимо этого необходимо было реализовать возможность логического распределения снимков по создаваемым пользователем *регионам*, а также более мелким *участкам* внутри них. В процессе и после комплектования коллекции точки съемок должны отображаться на масштабируемой карте, а также в виде списка и набора фото-миниатюр на отдельной вкладке. Также должен быть реализован и основной алгоритм поиска снимков по любым заданным критериям из списка метаданных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве основы коллекции была использована картографическая оболочка (рис. 1), разработанная в виде desktop-приложения для операционной системы Windows с использованием объектно-ориентированного приложения Delphi. В отличие от большинства других подобных реализаций, карта расположена на одной из двух центральных вкладок; другая же вкладка предназначена для вывода коллекций фото-миниатюр, отображаемых в соответствии с выбором пользователя. Карта является масштабируемой, и по желанию пользователя автоматически смещается на участок, включающий все выбранные точки съемки.

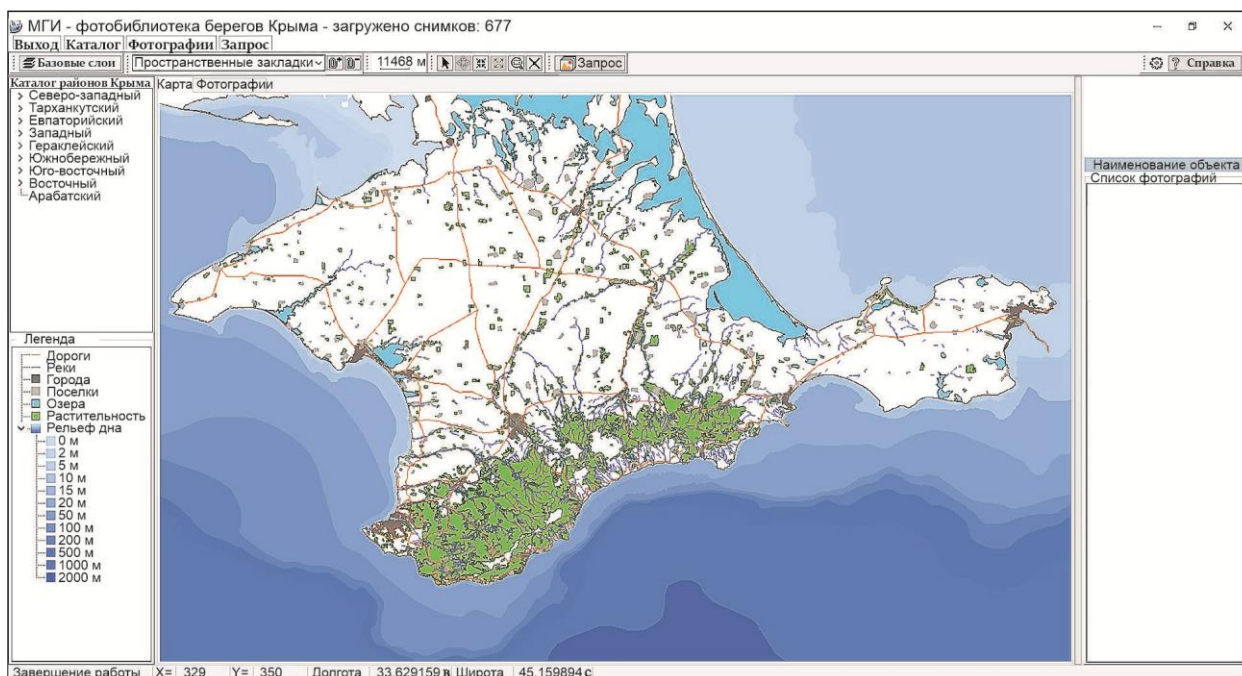


Рис. 1. Внешний вид интерфейса пользователя программы  
 Fig. 1. The main user interface

Слева от карты расположена панель содержания коллекции, в которой вначале жестко зафиксированы 9 *районов* Крыма, различающихся своими морфометрическими характеристиками [Современное..., 2015; *Игнатов*, 2016]. Пользователю же доступна возможность создания внутри *районов* неограниченного количества логических *регионов* и региональных *участков*, которые и предполагают расположение в их границах отдельных точек съемки. Таким образом, структурная схема всей коллекции искусственно ограничена тремя уровнями, способствующими ее логическому пространственному восприятию (например, «Западный район – г. Саки – пляж санатория Полтава – Крым»). Алгоритмы инструмента включают также возможность перемещения наименований *регионов* и *участков* в пределах их «родительского» узла в соответствии с естественной географической последовательностью расположения.

Схожая панель справа от карты предназначена для представления списка всех загруженных фотографий с единственной отмеченной (выбранной в настоящий момент) фотографией, отображаемой в виде миниатюры в верхней части панели. В качестве примера на рис. 2 представлен вариант отображения старинных снимков начала XX в. для *региона* г. Евпатории в формате карты, а на врезке — в формате миниатюр. Здесь будет своевременно отметить, что точки на карте отображаются тремя цветами, определяемыми пользователем в зависимости от того, позиционированы они EXIF-метаданными фотографии либо вручную. Третий цвет выделяет текущую точку съемки выбранной фотографии. Указание на любую точку курсором мыши приводит к отображению соответствующей снимку миниатюры вместе с характеризующим ее *комментарием* из коллекции метаданных, щелчок же на точке приводит к ее выбору и синхронному перестроению списка справа и смене выбранной миниатюры. В свою очередь, щелчок по миниатюре вызывает полноэкранное отображение снимка в отдельном окне с возможностью сохранения на внешний носитель.

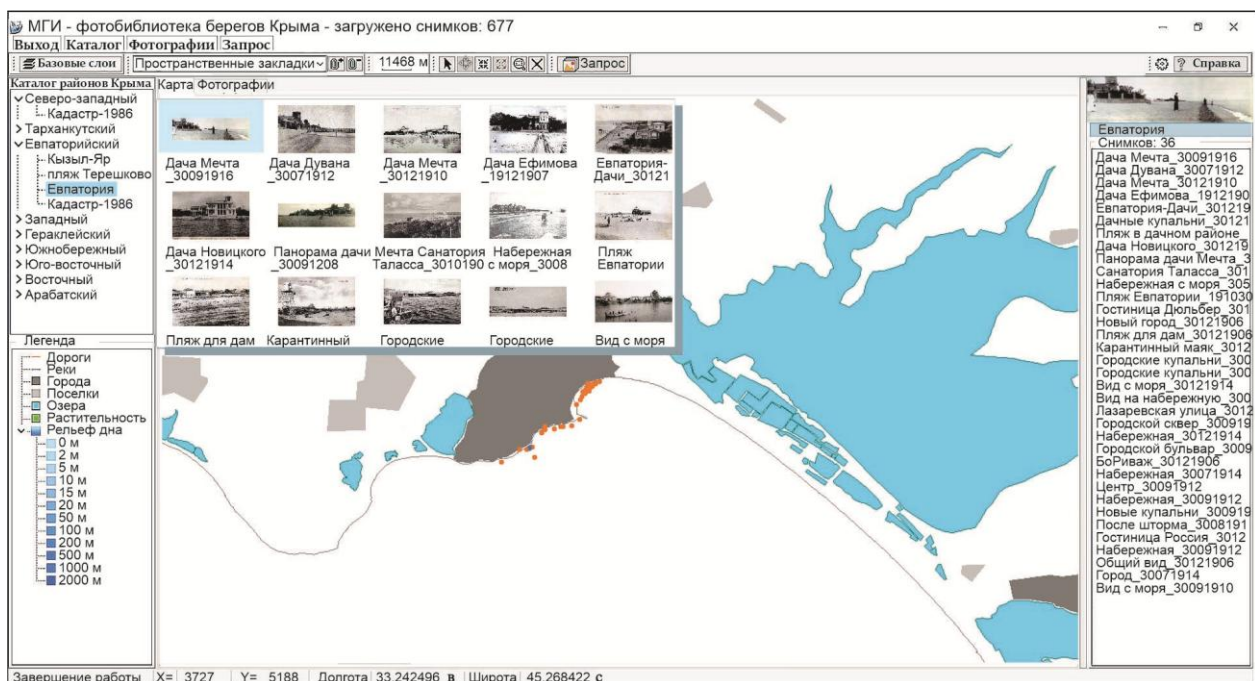


Рис. 2. Визуализация коллекции фотографий начала XX в. для региона г. Евпатории на карте (врезка — на вкладке миниатюр)

Fig. 2. Visualization of the image collection from the beginning of the 20th century for the region of Eupatoria city on the map (frame — on the thumbnail's page)

Далее следует обратить внимание на основную проблему работы с программой — трудоемкость формирования самой коллекции. На первом этапе разработки был реализован традиционный алгоритм загрузки снимков и ввода характеризующих их данных, т. е. выбор снимка из каталога на компьютере и последующего заполнения специализированной формы (рис. 3), включающей всю необходимую метайнформацию о снимке. При этом, если фотография имеет включенные в ее состав EXIF-данные, то они заполняют необходимые поля автоматически. В основном это — дата/время и координаты, по которым автоматически определяется и сезон. Полностью EXIF-информация выводится в правой колонке, которую можно скрыть за ненадобностью. Заполнение формы не требует комментариев, однако в случае отсутствия EXIF-данных возникают естественные сложности в определении координат. Поначалу координаты определялись с использованием картографических Интернет-порталов, но при большом количестве снимков стала назревать необходимость дополнительной автоматизации.

Рис. 3. Интерфейс загрузки фотографии  
 Fig. 3. Image load interface

Результатом стал дополнительно разработанный алгоритм загрузки фотографий по точке на карте, который по щелчку на контуре берега Крыма предлагает использовать указанную точку в качестве точки привязки фотографии, после чего в вышеприведенную форму автоматически записываются координаты и дополнительно определяется один из районов на панели содержания. Далее, с учетом того, что точки съемки не могут быть связаны с крупными районами, открывается дополнительное окно, которое отображает копию основного дерева каталога, отмечает выбранный район и позволяет создавать внутри

него *регионы* и *участки* для пространственной привязки загружаемого снимка. Все изменения в копии основного каталога синхронизируются с основным его экземпляром и после закрытия дополнительного окна вызывается уже знакомый интерфейс ввода метаданных, представленный выше на рис. 3. На последнем следует пояснить кнопку «Описание точки съемки», при нажатии на которую вызывается специализированное окно текстового редактора, в который можно вводить или вставить из буфера обмена любую подробную информацию о точке съемки, включая имеющиеся результаты измерений, графики и пр. При наличии такой информации указанная кнопка в дальнейшем подсвечивается.

В заключение следует привести некоторые сведения о структуре основного каталога, включающего все снимки и данные. С учетом того факта, что используемый `<.jpg>` формат фотографий максимально сжат и программа предназначена для индивидуального пользователя, который и загружает все снимки, никаких шифров и паролей она не использует, единственное ограничение от несанкционированного редактирования данных включается установленным параметром при загрузке. В целом расположение снимков соответствует вложенной файловой структуре операционной системы компьютера, включая дополнительно создаваемый подкаталог фото-миниатюр и файлы метаданных для всех, находящихся в каждом каталоге фотографий.

Уже без подробного описания следует отметить некоторые дополнительные функции программы, реализованные по необходимости в процессе ее эксплуатации. Помимо возможностей сдвига точек на карте, при их первоначально неверном расположении (при этом снимается отметка EXIF и, соответственно, изменяется цвет точки) были реализованы следующие возможности:

1. При обнаружении факта неверного «попадания» точки на карте в соответствующий ей *район* или *регион*, есть возможность перенести ее со всеми метаданными в нужное место каталога.
2. При загрузке фотографий несколькими пользователями одновременно у каждого из них на компьютере образуется индивидуальный набор точек и фотографий. В этом плане реализован алгоритм переключения каталога с основного на любой выбранный, а также слияния двух каталогов в рамках основного с проверкой имеющихся *регионов* и *участков*.
3. Поскольку при загрузке каждой фотографии в структуре файлов появляется достаточно сложная запись, была реализована процедура автоматического сохранения резервной версии каталога, которые используются при слиянии нескольких каталогов в единый основной и самоуничтожаются после месяца хранения.

И наконец, еще одна интересная возможность принятой концепции обнаружилась неожиданно. В распоряжении автора оказался набор фотографий, отснятых в 1986–1988 гг. в процессе выполнения государственного задания сотрудниками Института минеральных ресурсов [Романюк, 1989]. Были изучены все берега Крыма с подробным описанием точек съемки и характеристик береговых участков. Поскольку указанных участков было свыше 400, то организовывать для каждого отдельный *участок* в структуре каталога хоть и было возможно, но более перспективным представлялось решение о создании «виртуальных» *регионов*, по одному для каждого из 9 *районов* коллекции. Все они получили одинаковое наименование «Кадастр-1988» и представляют собой не физический *регион*, а отдельную тематическую коллекцию в составе общей структуры каталога. Таким же образом можно выделять и виртуальные периоды, например «1900–1920 гг.», хотя не менее удобно получить все данные виртуальных каталогов простым формированием полноценного запроса по форме рис. 4.

**Запрос по фильтру** ✕

**Регионы**

- Северо-западный
- Тарханкутский
- Евпаторийский
- Западный
- Гераклеийский
- Южнобережный
- Юго-восточный
- Восточный
- Арабатский

**Морфология**

- Абразионно-обвальный
- Абразионно-аккумулятивный
- Абразионно-оползневой
- Аккумулятивный
- Антропогенный
- Абразионно-эрозионный
- Абразионно-денудационный
- Абразионный
- Аккумулятивный отступающий

**Способ съемки**

- Коптер
- Самолет
- Наземный
- Спутниковый
- Съемка с воды

**Ключевые слова:**  [\(очистить историю\)](#)

**Логика:**

Все слова

Любое

**Период (годы):**

Весна  Осень

Лето  Зима

**Поиск:**

по всей карте Крыма  по видимому на карте пространству

Выбрать все

Очистить все

Запомнить выбор

Рис. 4. Форма запроса фотографий для выборки  
 Fig. 4. Photo selection request form

В алгоритме поиска снимков по принятым критериям известная фасетная классификация [Ранганатан, 1970] не использовалась по причине их неравнозначности. Использование неравнозначности критериев позволяет выбирать снимки, которые не полностью отвечают заданным критериям, а лишь сходны с ними, как это часто используется в поисковых запросах браузеров. Так, с учетом того факта, что в наборе ключевых слов практически всегда указывается наименование места съемки, ключевые слова имеют приоритет перед всеми остальными критериями, что иногда позволяет выявлять ошибки в метаданных. Для соблюдения корректности выборки снимков указанная особенность поиска используется лишь с разрешения пользователя.

В результате выбранные по запросу снимки выводятся в формате, представленном на рис. 2. Первые этапы использования инструмента показали его устойчивость и отсутствие критических замечаний, которые устранялись ранее по мере их появления.

## ВЫВОДЫ

В результате разработан программно-информационный инструмент для формирования коллекции фотографий прибрежной зоны Крыма, позволяющий с наименьшими усилиями оператора загружать снимки различных размеров в специализированную информационную систему, включающую также их характеристические метаданные и даже возможные объемные информационные блоки. С учетом огромного количества уже имеющихся снимков, инструмент ориентирован на обеспечение выборки фотографий из общего массива на основе формирования поисковых запросов, базирующихся на их характеристических данных и ключевых словах. Инструмент позволяет оперативно находить необходимые для анализа фотографии в процессе подготовки презентационных материа-

лов, а также в процессе выработки качественных предложений по охране и восстановлению природной среды, т. е. по обеспечению ее устойчивого развития.

Подобная методика использовалась ранее при создании альбома-монографии [Современное..., 2015], в которой представлено около 200 парных и тройных фотографий, характеризующих различные участки береговой зоны, подбиравшихся в течение нескольких лет. Указанная монография имела большой успех у специалистов и руководства Крыма, а авторы его второго издания в 2019 г. получили Государственную премию Республики Крым. Полученная высокая оценка и послужила поводом для разработки описываемого инструмента, с использованием которого результаты будут получаться более оперативно вслед за динамическими изменениями малоустойчивых и преобразуемых динамических образований.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках темы № FNNN-2024-0016 «Исследование пространственно-временной изменчивости океанологических процессов в береговой, прибрежной и шельфовых зонах Черного моря под воздействием природных и антропогенных факторов на основе контактных измерений и математического моделирования». Автор также выражает благодарность к. г.-м. н. О. С. Романюк за предоставленные фотографии и материалы исследований, выполненных в период 1986–1988 гг.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the state task on the theme No. FNNN-2024-0016 “Investigation of the Spatial and Temporal Variability of Oceanological Processes in the Coastal and Shelf Zones of the Black Sea Under the Influence of Natural and Anthropogenic Factors Based on Contact Measurements and Mathematical Modeling”. The author also expresses his gratitude to O. S. Romanyuk, PhD, for the photographs and research materials provided during the period 1986–1988.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богданов Д. В.* Оптимальный способ хранения и обработки древовидных структур в базах данных. Программные продукты и системы, 2009. № 1. С. 140–142.
- Игнатов Е. И., Лукьянова С. А., Соловьева Г. Д.* Морские берега Крыма. Геоморфология и палеогеография, 2016. № 1. С. 55–62. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-1-55-63.
- Маннинг К. Д., Прабхакар Р., Шютце Х.* Введение в информационный поиск. М.: Вильямс, 2011. 520 с.
- Ранганатан Ш. Р.* Классификация двоеточием. Основная классификация. М.: ГПНТБ СССР, 1970. 422 с.
- Романюк О. С., Покровский А. Э.* Составление кадастра надводной части берегов Крыма, применительно к масштабу 1:200 000. Симферополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1989. 214 с.
- Современное состояние береговой зоны Крыма. Севастополь: ЭКОСИ-гидрофизика, 2015. 249 с.
- Тарасов С. В., Бураков В. В.* Способы реляционного моделирования иерархических структур данных. Информационно-управляющие системы, 2013. № 6. С. 58–66.
- Черный А. И.* Введение в теорию информационного поиска. М.: Наука, 1975. 238 с.
- Bentley J. L., Friedman J. H.* Data Structures for Range Searching. ACM Computing Surveys, 1979. V. 11. Iss. 4. P. 397–409. DOI: 10.1145/356789.356797.

*Dolotov V. V., Dolotov A. V.* Monitoring System Conception of Anthropogenic Impacts on the Sea Shelf Areas. *Physical Oceanography*, 2015. No. 6. P. 31–38. DOI: 10.22449/1573-160X-2015-6-31-38.

*Witten I. H., Moffat A., Bell T. C.* Managing Gigabytes: Compressing and Indexing Documents and Images. 2nd edition. Morgan Kaufmann, 1999. 519 p.

#### REFERENCES

*Bentley J. L., Friedman J. H.* Data Structures for Range Searching. *ACM Computing Surveys*, 1979. V. 11. Iss. 4. P. 397–409. DOI: 10.1145/356789.356797.

*Bogdanov D. V.* The Optimal Way to Store and Process Tree Structures in Databases. *Software & Systems*, 2009. No. 1. P. 140–142 (in Russian).

*Cherny A. I.* Introduction to the Theory of Information Search. Moscow: Nauka, 1975. 238 p. (in Russian).

The Current State of the Coastal Zone of Crimea. Sevastopol: ECOSI-Hydrophysic, 2015. 249 p. (in Russian).

*Dolotov V. V., Dolotov A. V.* Monitoring System Conception of Anthropogenic Impacts on the Sea Shelf Areas. *Physical Oceanography*, 2015. No. 6. P. 31–38. DOI: 10.22449/1573-160X-2015-6-31-38.

*Ignatov E. I., Lukyanova S. A., Sololieva G. D.* The Seashores of the Crimea. *Geomorfologiya i Paleogeografiya (Geomorphology and Paleogeography)*, 2016. No. 1. P. 55–62 (in Russian). DOI: 10.15356/0435-4281-2016-1-55-63.

*Manning K. D., Prabchakar R., Schutze Kh.* Introduction to Information Search. Moscow: Williams, 2011. 520 p. (in Russian).

*Ranganatan Sh. R.* Classification by Colon. Main Classification. Moscow: State Public Scientific and Technical Library of USSR, 1970. 422 p. (in Russian).

*Romanuk O. S., Pokrovsky A. E.* Compilation of the Cadaster of the Surface Part of the Crimean Coast, in Relation to the Scale 1:200 000. Simferopol: ECOSI-Hydrophysic, 1989. 214 p. (in Russian).

*Tarasov S. V., Burakov V. V.* Methods of Relational Modeling of Hierarchical Data Structures. *Information and Control Systems*, 2013. No. 6. P. 58–66 (in Russian).

*Witten I. H., Moffat A., Bell T. C.* Managing Gigabytes: Compressing and Indexing Documents and Images. 2nd edition. Morgan Kaufmann, 1999. 519 p.