



УДК 550.389

## ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ АНОМАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРЫМСКОГО РЕГИОНА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ ПО РЕТРОСПЕКТИВНЫМ ДАНЫМ

Е. Н. Хотенко<sup>1</sup>, А. А. Брагина<sup>1</sup>, Д. А. Арутюнян<sup>1</sup>, А. Д. Шклярчук<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва, Россия

В статье приведены результаты работ по построению цифровой модели аномального магнитного поля Крымского региона и прилегающих акваторий по ретроспективным данным, представленным скан-образами картографических материалов съемок прошлых лет. Описаны основные этапы исследований, приведены промежуточные результаты с их описанием и анализом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АНОМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ (АМПЗ), КРЫМСКИЙ РЕГИОН, ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ, ОЦИФРОВКА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

<https://elibrary.ru/gojitv>

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В ходе анализа магнитометрической изученности Крымского региона и прилегающей акватории было установлено, что в фондах отсутствуют цифровые материалы по аномальному магнитному полю Земли (АМПЗ). Исследования структуры магнитного поля являются весьма актуальными и информативными с точки зрения изучения геологического строения данного региона. Таким образом, задача построения цифровой модели является крайне важной.

Рассмотрим основные этапы, необходимые для реализации поставленной задачи:

- сбор материалов. Необходимо провести оценку доступности ретроспективных данных о магнитном поле Крымского региона и прилегающей акватории. Этот этап был реализован в предыдущей статье [Хотенко и др., 2023а];
- анализ данных. Необходимо провести оценку качества материалов, полученных на предыдущем этапе и сделать выводы о возможности их применения. Этот этап был реализован в предыдущей статье [Хотенко и др., 2023б];
- построение цифровой модели и анализ результатов. На основе полученных материалов необходимо осуществить построение цифровой модели магнитного поля Крымского региона и его акватории и провести анализ полученных результатов путем сравнения с другими моделями АМПЗ. Этот этап описан в данной статье;

Электронная почта авторов для переписки:

Хотенко Елена Николаевна, e-mail: [khotenko@ipg.geospace.ru](mailto:khotenko@ipg.geospace.ru)  
Брагина Анастасия Андреевна, e-mail: [bragina@ipg.geospace.ru](mailto:bragina@ipg.geospace.ru)  
Арутюнян Давид Артурович, e-mail: [arutyunyan@ipg.geospace.ru](mailto:arutyunyan@ipg.geospace.ru),  
Шклярчук Алексей Дмитриевич, e-mail: [shklyaruk@ipg.geospace.ru](mailto:shklyaruk@ipg.geospace.ru)



<https://elibrary.ru/gojitv>

Адрес редакции журнала  
«Гелиогеофизические исследования»:

ФГБУ «ИПГ»  
129128; Россия, Москва  
ул. Ростокинская, 9.  
e-mail: [vestnik@ipg.geospace.ru](mailto:vestnik@ipg.geospace.ru)

- интерпретация данных. На основе анализа результатов моделирования можно уточнить информацию о тектонической структуре региона, наличии месторождений полезных ископаемых и других интересующих геологических процессов.

Работы по созданию цифровой модели магнитного поля Крымского региона и прилегающей акватории по ретроспективным данным представляют собой важный шаг в изучении геологического строения данного региона, а также могут быть полезны для других областей, смежных с геологией и геофизикой.

На основании проведенного сбора ретроспективных данных исследований аномального магнитного поля Крымского региона и прилегающих акваторий, проведен анализ картографической продукции Крымского региона и прилегающих акваторий. По отобранным материалам в последующем была воспроизведена цифровая версия АМПЗ Крымского региона и прилегающих акваторий.

Непосредственно сам процесс оцифровки состоит из следующих шагов:

1. Координатная привязка растровых изображений картографической продукции.
2. Построение схемы изолиний АМПЗ по привязанным картографическим материалам.
3. Преобразование схем изолиний в сеточные грид-файлы.
4. Сравнение с эталонными цифровыми моделями АМПЗ для данной территории.
5. Анализ полученных результатов.

## 2. ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для процедуры оцифровки были рассмотрены картографические материалы, полученные в ФГБУ «Росгеолфонд» [Хотенко и др., 2023б]. В фондах хранились карты разных масштабов и времени съемок. Вся печатная продукция была просмотрена и зафиксирована в электронном формате в виде растровых изображений. Список используемых карт представлен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень используемых картографических материалов

№ п/п	Название	Год	Масштаб	Составлена	Организация	Кол-во листов
1	2	3	4	5	6	7
1	Карта магнитного поля юга УССР	1975	1:500 000	Котляр А.И., Ахматова В.В.	Министерство геологии УССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 209/74	1
2 <sup>1</sup>	Сводная карта изодинам ΔТа равнинного Крыма и Керченского полуострова	1974	1:200 000	Котляр А.И., Ахматова В.В.	Министерство геологии УССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 209/75	4

<sup>1</sup> Для построения сводной карты использовались: 1962 г. Котляр А.И., Кившик Т.Г. КГП. Масштаб 1: 50 000; 1965 г. Котляр А.И. КГЭ. Масштаб 1: 50 000; 1965 г. Котляр А.И. КГЭ. Масштаб 1: 50 000; 1966 г. Котляр А.И., Ахматова В.В. КГЭ. Масштаб 1: 50 000; 1967 г. Котляр А.И., Шут А.Ф. КГЭ. Масштаб 1: 50 000; 1968 г. Котляр А.И., Шут А.Ф., Ахматова В.В. Масштаб 1: 50 000; 1969 г. Котляр А.И., Шут А.Ф. КГЭ. Масштаб 1: 50 000; 1969 г. Шевченко Б.Г., Вахний И. А., Ясинский П.Д. ДСГЭ. Масштаб 1:50 000; 1970 г. Мальмет Ж.Г., Храмова Т.Н. ДСГЭ. Масштаб 1:50 000; 1971 г. Мальмет Ж.Г., Храмова Т.Н. ДСГЭ. Масштаб 1:50 000; 1948 г. ГСГТ Краснодарское отделение Курнышев А.Г. Масштаб 1: 200 000; 1963 г. Аэрогеофиз. экспед. трест «Укргеофизразведка», Нечаев В.В., Тесленко Д.В. Масштаб 1: 200 000; 1973 г. Сев. - Кавказ НИИ природных газов Краснодарский отдел, Ус. Е.М., Шпаков З.П. Масштаб 1: 200 000; 1973 г. НПО «Южморгео», Харламов О.В. Масштаб 1: 500 000.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
3	Сводная карта магнитного поля Крымского полуострова	1979	1:200 000	Голубев Л.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 211/79	1
4	Карта изодинам ΔТа горного Крыма	1977	1:200 000	Голубев Л.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 212/76	1
5	Карта изодинам ΔТа, восточной части горного Крыма	1978	1:200 000	Голубев Л.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 212/77	1
6	Карта аномального магнитного поля ΔТа, участок Горный	1971	1:50 000	Прогрущенко П.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 215/70	1
7	Карта изодинам ΔТа, Горного и Белогорского участка	1973	1:50 000	Байко З.А.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 214/72	1
8	Карта изодинам ΔТа, участок Южный	1975	1:50 000	Байко И.П., Литвинов В.И., Байко З.А	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 213/74	1
9	Карта изодинам ΔТа Салгирского участка	-	1:50 000	Богданова Н.А.	Главгеология СССР трест "Укреофизразведка" Днепропетровская геофизическая экспедиция Крымская геофизическая партия	1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
10	Карта изодинам $\Delta T_a$ , участок Старо-Крымский	1978	1:25 000	Голубев Л.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 212/77	3
11	Карта изодинам $\Delta T_a$ , участок Белогорский	1977	1:25 000	Голубев Л.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 212/76	3
12	Карта аномального магнитного поля $\Delta T_a$ , участок Куйбышевский	1971	1:25 000	Прогрущенко П.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 215/70	1
13	Карта изодинам $\Delta T_a$ Белогорского участка	1973	1:25 000	Байко З.А.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 214/72	1
14	Карта изодинам $\Delta T_a$	1979	1:25 000	Голубев Л.В.	Министерство геологии СССР Объединение "Крымморгеология" Крымская геофизическая экспедиция Опытно-методическая партия 211/78	3
15	Карта изодинам $\Delta T_a$ , участок Южный	1975	1:25 000	Голубев Л.В.	-	1
16	Карта изодинам $\Delta T_a$ Альминская площадь	-	1:10 000	Богданова Н.А.	Главгеология СССР трест "Укреофизразведка" Днепропетровская геофизическая экспедиция Крымская геофизическая партия	1

### 3. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ИЗОЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРЫМСКОГО РЕГИОНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

Первый шаг данного этапа работ – координатная привязка растровых изображений, которая осуществлялась в программном обеспечении ArcGIS. В качестве основы для координатной привязки был взят набор векторных геоданных (система координат WGS 1984), включающий в себя:

- гидросеть, озёра и крупные реки;
- береговые линии;
- населенные пункты;
- административные границы;
- схемы транспортных путей;
- территорию суши и водной поверхности.

Процесс привязки заключался в сопоставлении нанесенных на печатные материалы топографических объектов с их положением на цифровой основе. Для имеющихся материалов сопоставление происходило преимущественно по расположению населенных пунктов и положению береговой линии. Для материалов с отсутствием опорных топографических объектов привязка производилась по совпадающим с другими картами изолиниям.

На следующем этапе осуществлялся перенос положения, формы и значений изолиний с привязанных изображений на цифровую основу. При наложении привязанных участков изолинии проводились с приоритетом на более поздние материалы или на материалы с большим числом опорных для привязки объектов (более высокое качество привязки). По итогам были сформированы файлы формата \*.shp, содержащие положение изолиний с присвоенные им значениями.

Согласно описанному алгоритму, была построена общая схема изолиний  $\Delta T_a$  магнитного поля Крымского полуострова (рис. 1).

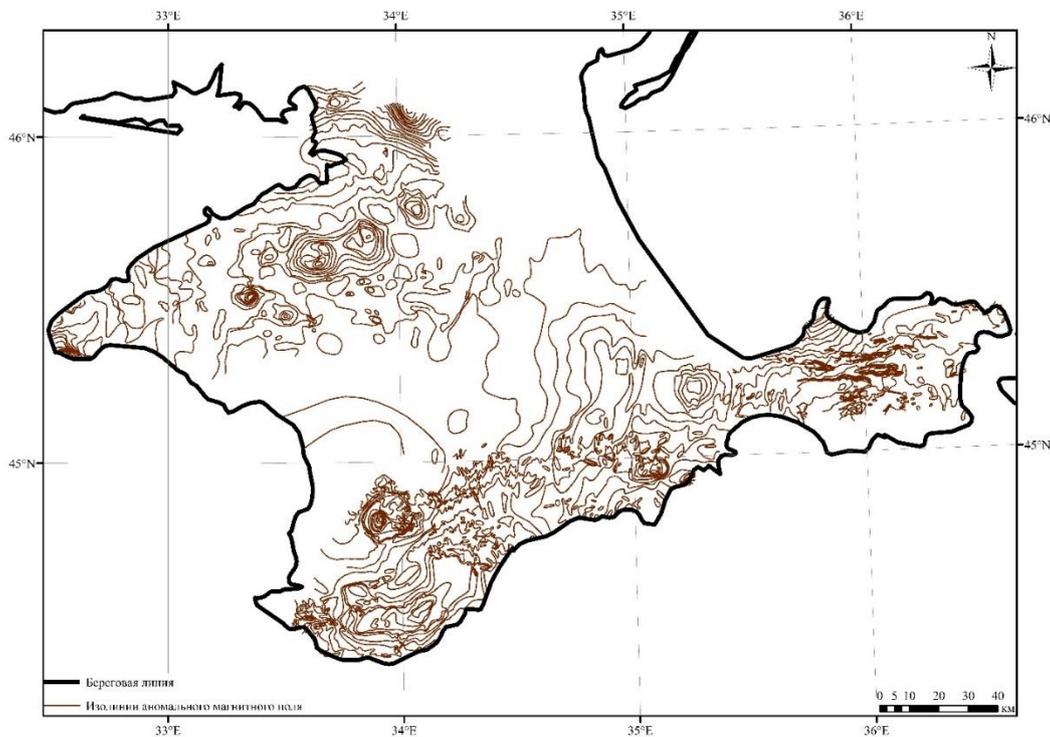


Рис. 1. Схема изолиний компоненты  $\Delta T_a$  Крымского региона, построенная по данным печатных картографических материалов

Также была построена общая схема изолиний  $\Delta T_a$  магнитного поля прилегающих акваторий (рис. 2). Картографические материалы, по которым осуществлялась оцифровка для части акваторий Черного и Азовского морей, составлены по различному набору данных.

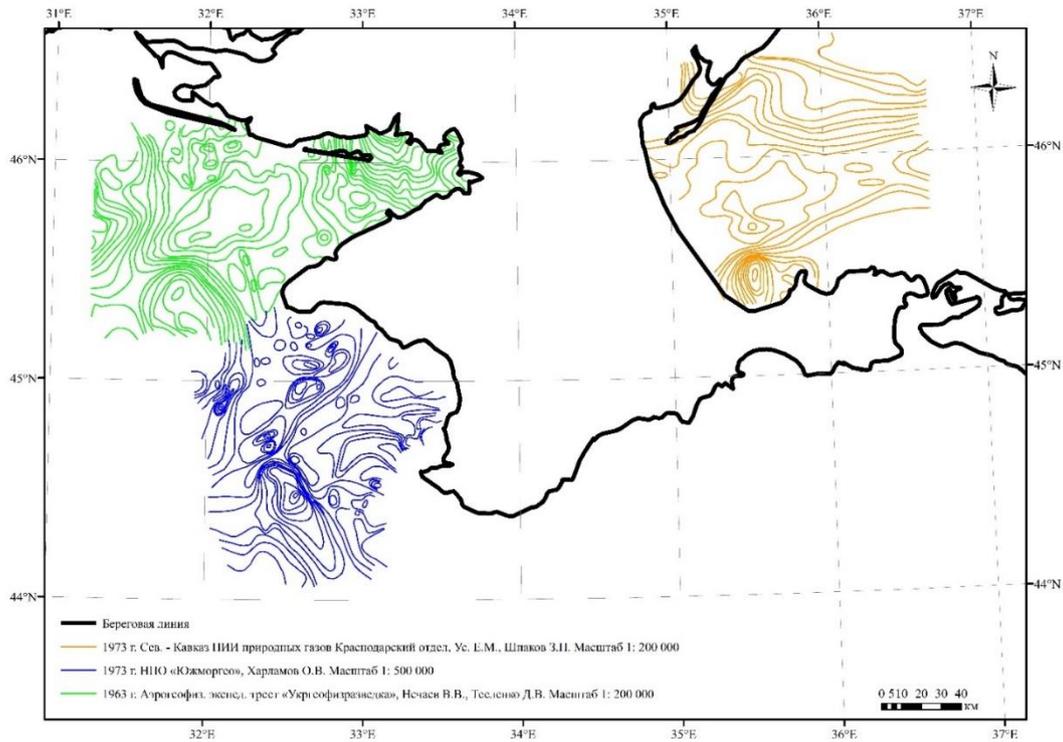


Рис. 2. Схема изолиний компоненты  $\Delta T_a$  прилегающих акваторий Крымского региона, построенная по данным печатных картографических материалов

#### 4. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ КАРТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРЫМСКОГО РЕГИОНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ ПО ДАННЫМ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Перед началом работы над построением цифровых моделей пространственные данные схем изолиний были переведены из географической в проекционную систему координат WGS84 UTM 36N. На следующем шаге произведено преобразование \*.shp файлов в сеточные файлы формата \*.grd в программном обеспечении Geosoft Oasis Montaj.

Первоначально была преобразована схема изолиний компоненты  $\Delta T_a$  Крымского региона, т.е. территории суши. Выбранный способ построения сети – метод минимальной кривизны. Параметры ячеек подбирались автоматически, исходя из диапазона по координатам X и Y и общего числа значений. Результаты показаны на рисунке 3.

Так как схема изолиний магнитного поля прилегающих акваторий Крымского региона построена по данным съемок разных лет и разных масштабов, построенные по отдельности сеточные файлы было необходимо увязать по одному уровню и после этого объединить в единый файл. Увязка осуществлялась путем удаления поверхности тренда. Результаты показаны на рисунке 4.

Для уточнения достоверности результатов было проведено качественное сравнение полученных карт с существующими материалам по Черноморскому региону. В качестве альтернативных моделей АМПЗ были взяты следующие материалы:

- модель АМПЗ EMAG2v3 (рис. 5) [Meyer et al., 2017];
- аномальное магнитное поле Азово-Черноморского региона  $\Delta T_a$  (рис. 6) [Мелихов и др., 2006].

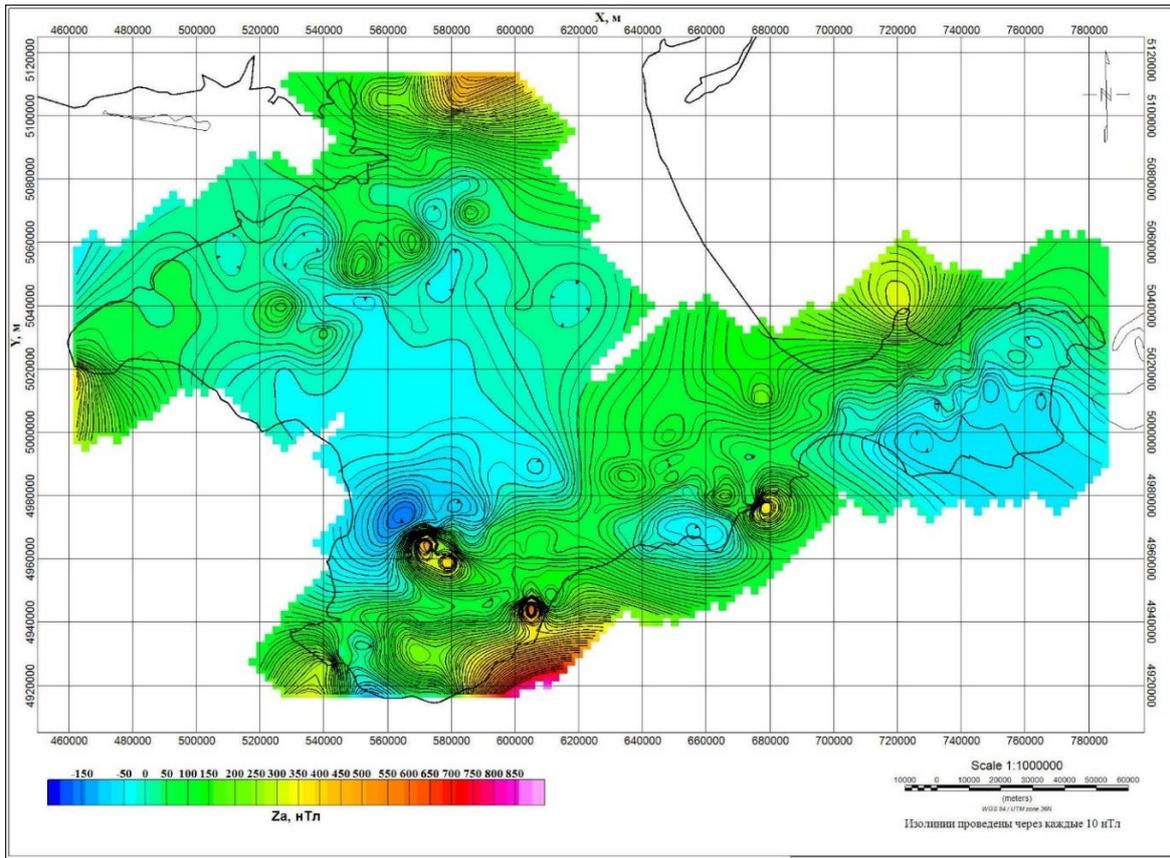


Рис. 3. Карта компоненты  $\Delta T_a$  Крымского региона

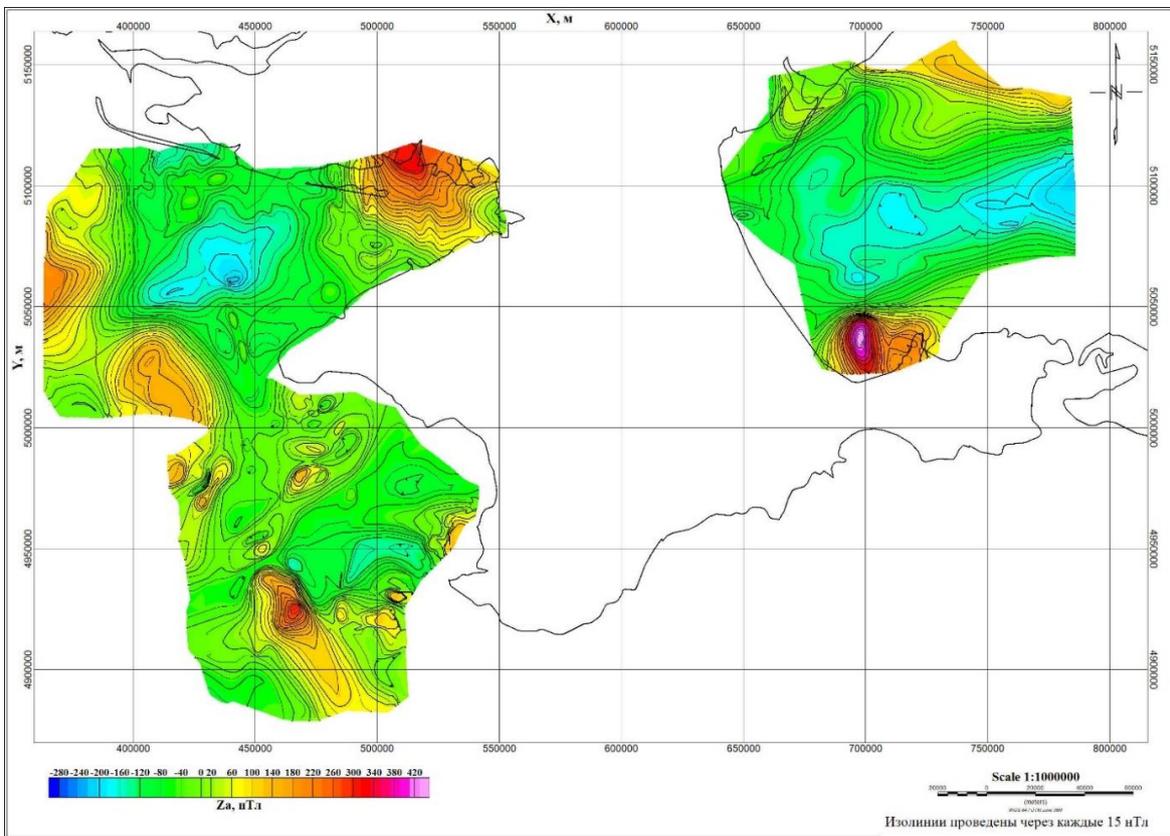


Рис. 4. Карта компоненты  $\Delta T_a$  прилегающих акваторий Крымского региона

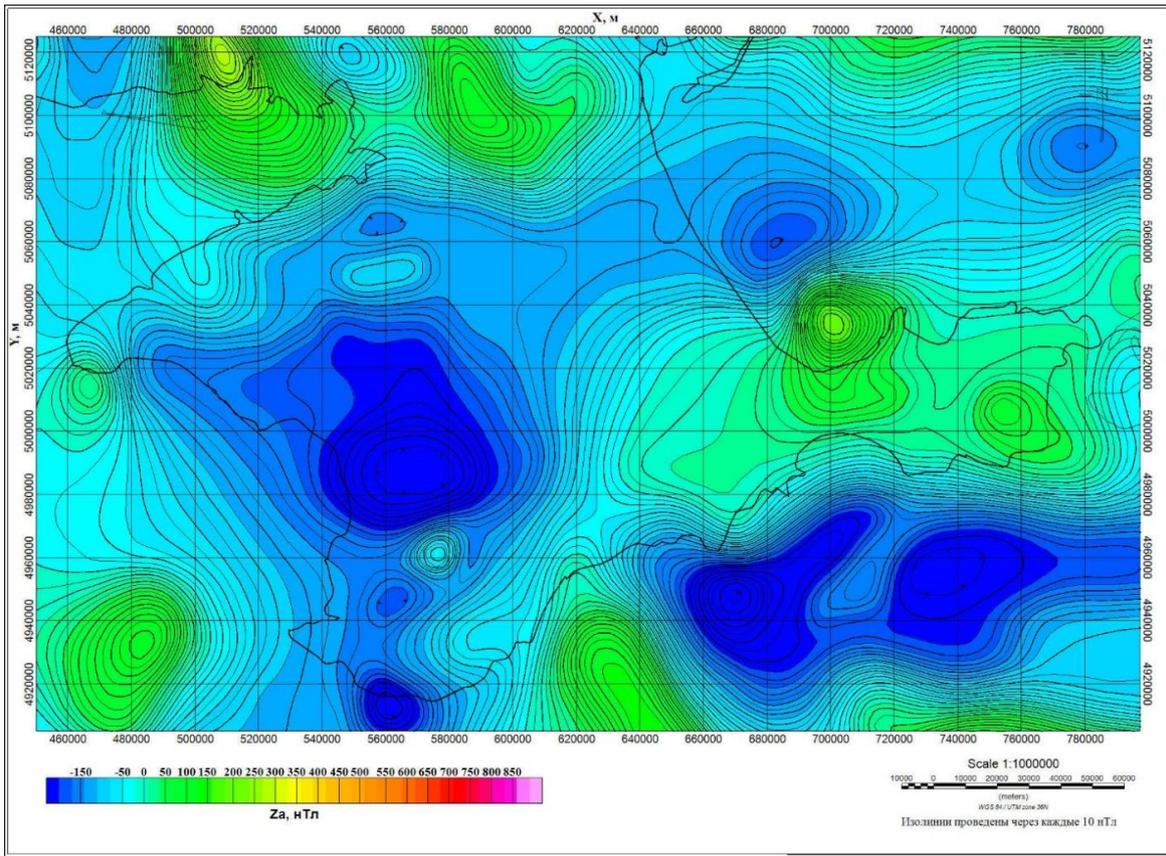


Рис. 5. Модель АМПЗ EMAG2v3 для Крымского региона и прилегающих акваторий

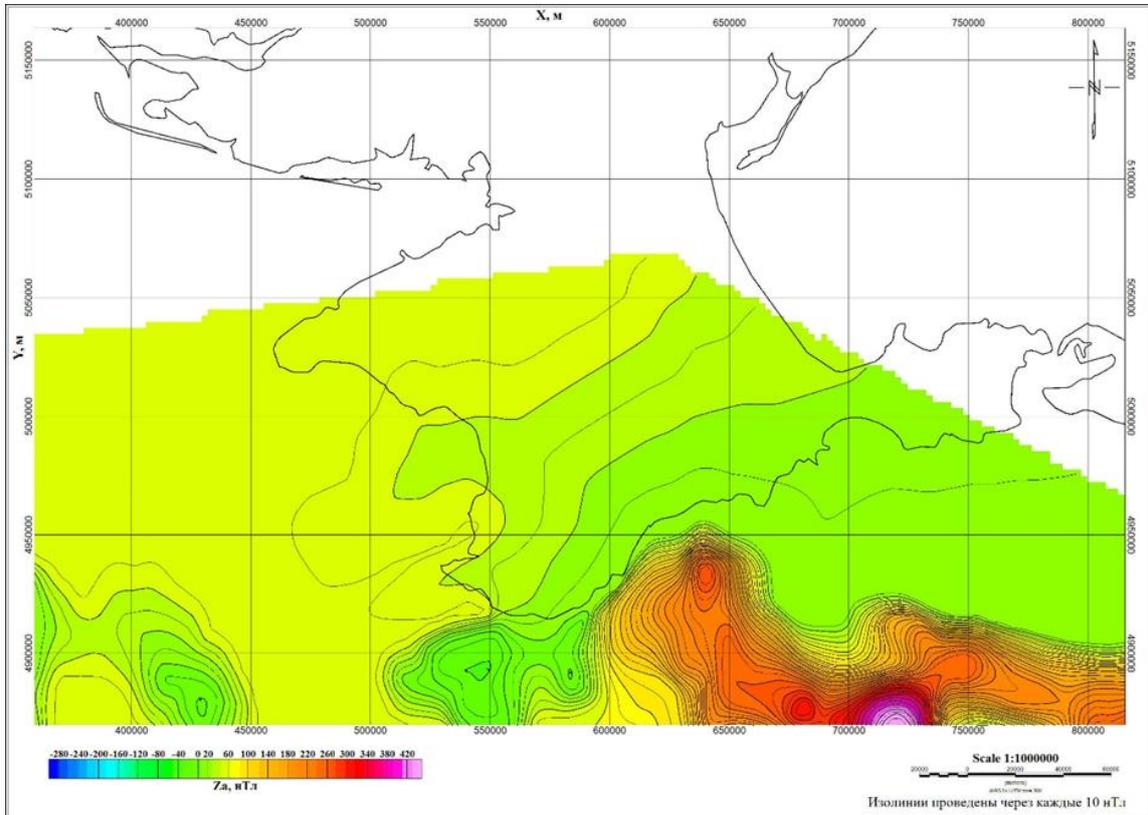


Рис. 6. Аномальное магнитное поле Азово-Черноморского региона  $\Delta T_a$

Рассматриваемые материалы обладают различными параметрами точности и разрешения, что делает возможным провести только качественную оценку сопоставимости данных.

Расчетная высота для модели EMAG2v3 составляет 4 км. Для сравнения с модельными данными взяты карты  $\Delta T_a$  Азово-Черноморского региона и  $\Delta T_a$  Крымского региона и прилегающих акваторий после процедуры пересчета вверх на высоту 4 км. Для визуальной оценки сопоставимости данных составлено изображение пересчитанных вверх анализируемых данных и изолиний АМПЗ модели EMAG2v3 (рис. 7, 8). Рассматриваемые данные хорошо сопоставляются по общему характеру поля, выделяются отдельные аномалии, совпадающие по положению экстремумов и форме.

Для оценки статистических характеристик были посчитаны разностные карты модели EMAG2v3 с картами, построенными в ходе оцифровки, а также картами магнитного поля Азово-Черноморского региона. Для разностных карт были рассчитаны значения среднего и среднеквадратичного отклонений. Результаты представлены в таблице 2.

Исходя из оценки статистических характеристик все материалы в равной степени сопоставимы с моделью EMAG2v3. Важными факторами, которые также необходимо учесть при формулировке выводов, являются вопросы о разрешении итоговой модели и о достаточном покрытии территорий данными.

Таблица 2. Статистические характеристики ретроспективных данных и модели EMAG2v3

Материалы	Среднеквадратичное отклонение, нТл	Среднее отклонение, нТл
Разностная компонента $\Delta T_a$ на суше (пересчет вверх на 4 км)	$\pm 97.03$	$\pm 69.86$
Разностная компонента $\Delta T_a$ в акватории (пересчет вверх на 4 км)	$\pm 67.95$	$\pm 50.56$
Разностная компонента $\Delta T_a$ магнитного поля Азово-Черноморского региона (пересчет вверх на 4 км)	$\pm 68.48$	$\pm 52.31$

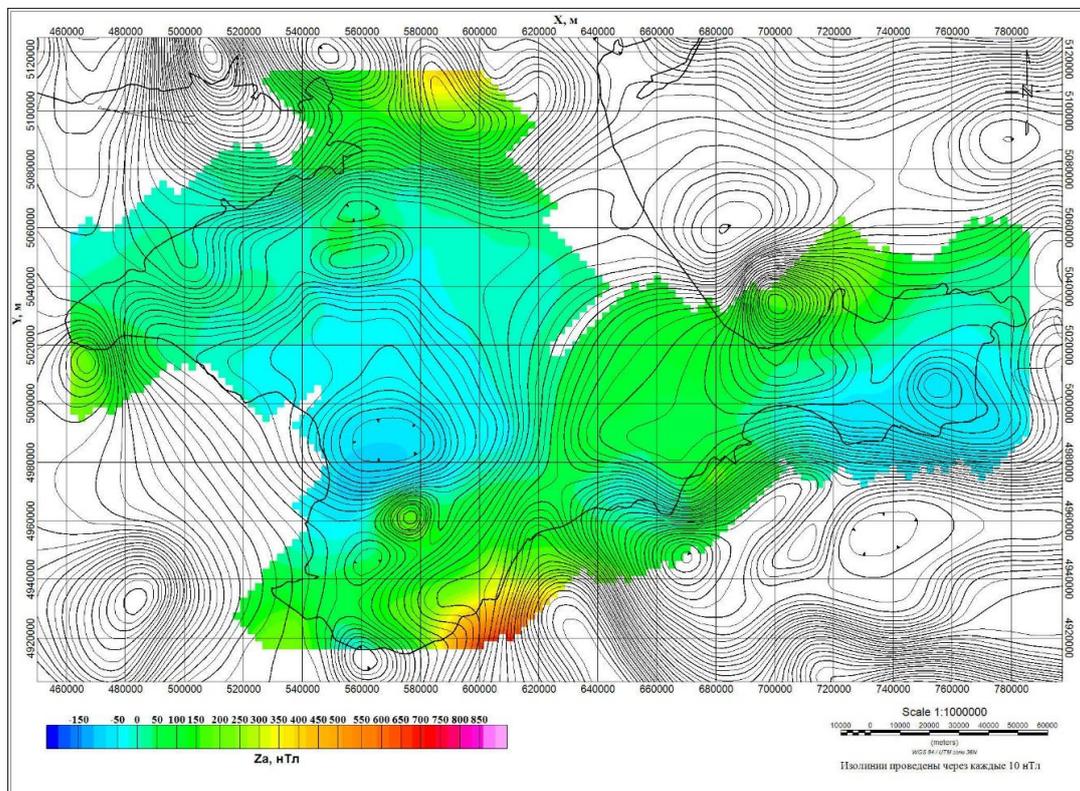


Рис. 7. Карта компоненты  $\Delta T_a$  Крымского региона (пересчет вверх на 4 км) с нанесенными поверх изолиниями АМПЗ модели EMAG2v3

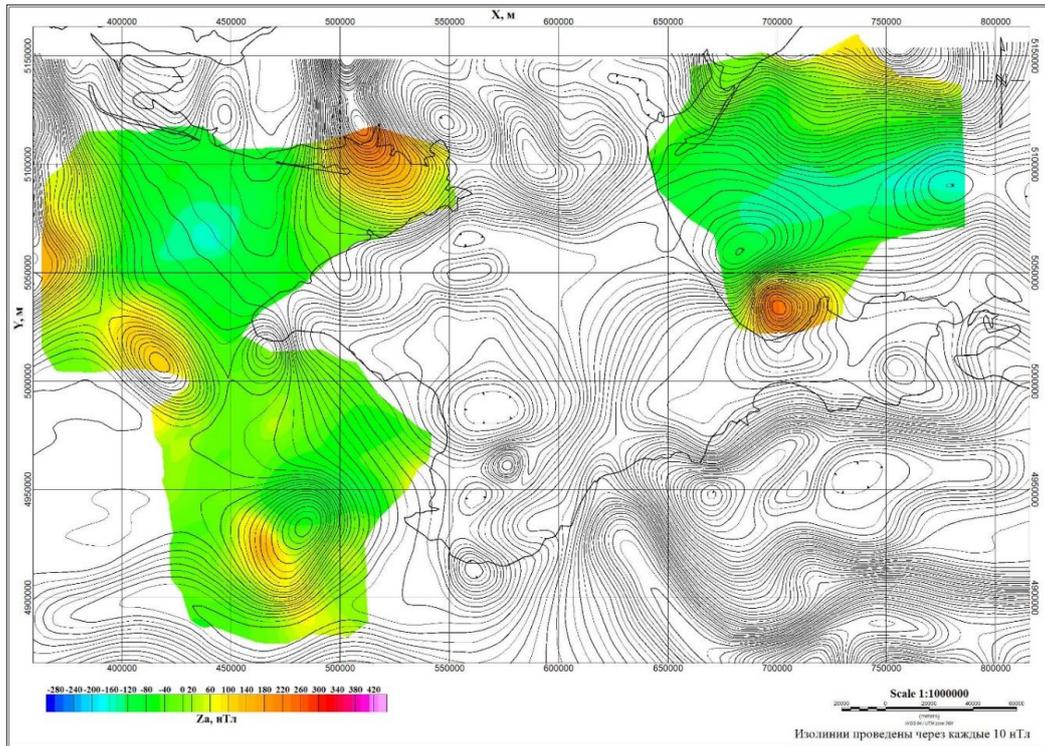


Рис. 8. Карта компоненты  $\Delta T_a$  прилегающих акваторий Крымского региона (пересчет вверх на 4 км) с нанесенными поверх изолиниями АМПЗ модели EMAG2v3

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным печатных картографических материалов 1971-1979 годов были получены цифровые версии аномального магнитного поля ( $\Delta T_a$ ) Крымского региона и прилегающих акваторий. В ходе сравнения полученных данных с эталонным полем – моделью EMAG2v3, была произведена качественная оценка сопоставимости материалов и возможности дальнейшего их использования.

Модель EMAG2v3 построена по данным преимущественно спутниковых съемок, уровень приведён к высоте 4 км. Для интерпретации локальных геологических или тектонических структур данная модель не является пригодной, так как отражает по большей части региональную составляющую АМПЗ. Для анализа локальных аномалий, которые зафиксированы съемками непосредственно Крымского региона, модель не подходит.

Карта аномального магнитного поля Азово-Черноморского региона была также построена по ретроспективным данным, но основной упор сделан на исследование структуры магнитного поля Черного моря. Для исследования Крымского полуострова и прилегающих акваторий карта также не является пригодной, так как захватывает не всю часть территории и также не отражает локальные неоднородности поля.

По результатам оцифровки ретроспективных данных получена карта аномального магнитного поля Крымского региона и прилегающих акваторий, которая на данный момент является оптимальной моделью для проведения геологических исследований. Тем не менее, модель требует дополнений и актуализации, так как регион не полностью покрыт съемочными данными.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00311, <https://rscf.ru/project/23-29-00311/> «Исследование аномального магнитного поля Крымского региона и прилегающих акваторий по ретроспективным данным геофизических съемок».

**ЛИТЕРАТУРА**

- Мелихов В. Р., Лыгин И. В., Лыгин В. А., Куприн П. Н., Булычев А. А., Андреева О. И., Шрейдер А. А. Альбом электронных карт геофизических аномалий Азово-Черноморского региона и их геологическое истолкование // Вестник Московского университета. Серия 4, Геология: научный журнал. - М.: МГУ, 2006. - 80 с.
- Хотенко Е. Н., Арутюнян Д. А., Вишняков Д. Д., Шклярук А. Д. Оценка изученности аномального магнитного поля Крымского региона и прилегающих акваторий// Гелиогеофизические исследования: научный электронный журнал. 2023 № 38 С. 30-39.
- Хотенко Е. Н., Арутюнян Д. А., Шклярук А. Д., Вишняков Д. Д. Оценка качества магнитометрической информации крымского региона и прилегающих акваторий по материалам ФГБУ «Росгеолфонд»// Гелиогеофизические исследования: научный электронный журнал. 2023 № 41 С. 34-41.
- Meyer B., Saltus R., and Chulliat A. EMAG2v3: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution). Version 3. NOAA National Centers for Environmental Information, 2017.

**CONSTRUCTION OF A DIGITAL MODEL OF THE ANOMALOUS MAGNETIC FIELD OF THE CRIMEAN REGION AND THE ADJACENT WATER AREA BASED ON RETROSPECTIVE DATA**

Khotenko E.N., Bragina A.A., Arutyunyan D.A., Shklyaruk A.D.

The article presents the results of work on the construction of a digital model of the anomalous magnetic field of the Crimean region and adjacent waters based on retrospective data provided by scans of cartographic materials from surveys of previous years. The main stages of the research are described, intermediate results are presented with their description and analysis.

**KEYWORDS:** ANOMALOUS EARTH MAGNETIC FIELD (EMF), CRIMEAN REGION, GLOBAL MODELS, DIGITIZATION OF BITMAP IMAGES