



## ПЕРСПЕКТИВЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

В.Т. Минлигареев, А.В. Алексеева, Ю.М. Качановский, В.Л. Кравченко,  
Е.А. Панышин, В.В. Трегубов

В статье приведены исследования картографического обеспечения аномальной составляющей магнитного поля Земли (АМПЗ) для решения прикладных задач. Исследованы имеющиеся картографические базы данных (БД) с целью формирования карт АМПЗ. Разработаны предложения по созданию единой базы данных цифровых магнитометрических данных МПЗ для практического применения.

**Ключевые слова:** магнитное поле Земли, аномальная составляющая, картографическое обеспечение, карты магнитного поля, магнитометрическая навигационная система, база эталонных магнитометрических данных.

### ВВЕДЕНИЕ

Геофизические поля Земли, которые в перспективе могут быть использованы в современных технических средствах и системах в целях навигации и позиционирования известны - это рельеф местности, магнитное и гравитационное поле. В отличие от поверхностных полей (рельеф местности, радиотепловое и радиолокационное) пространственные (магнитное, гравитационное) являются глобальными, трехмерными геофизическими полями, зависящими от высоты. Измерять параметры этих полей можно только в точке, где находится датчик. В статье исследовано магнитное поле Земли (МПЗ). В качестве геоподосновы навигации и позиционирования рассмотрена аномальная составляющая МПЗ.

По современным представлениям МПЗ в любой точке земной поверхности и в околоземном пространстве можно представить в виде трех составляющих: главного (нормального) поля (ГП), полей вариаций и магнитных аномалий (рис. 1,2):

$$T = T_0 + T_m + \Delta T_a + \delta T \quad (1),$$

где:  $T_0$  - дипольная составляющая ГП (однородная намагниченность Земли);

$T_m$  - недипольная составляющая ГП (взаимодействие внутренних оболочек Земли – поле Мировых аномалий);

$\Delta T_a$  - аномальное магнитное поле (АМПЗ) (обусловлено намагниченностью верхних частей земной коры) – АМПЗ;

$\delta T$  - магнитное поле вариации (внешние воздействия на Землю от космических лучей)

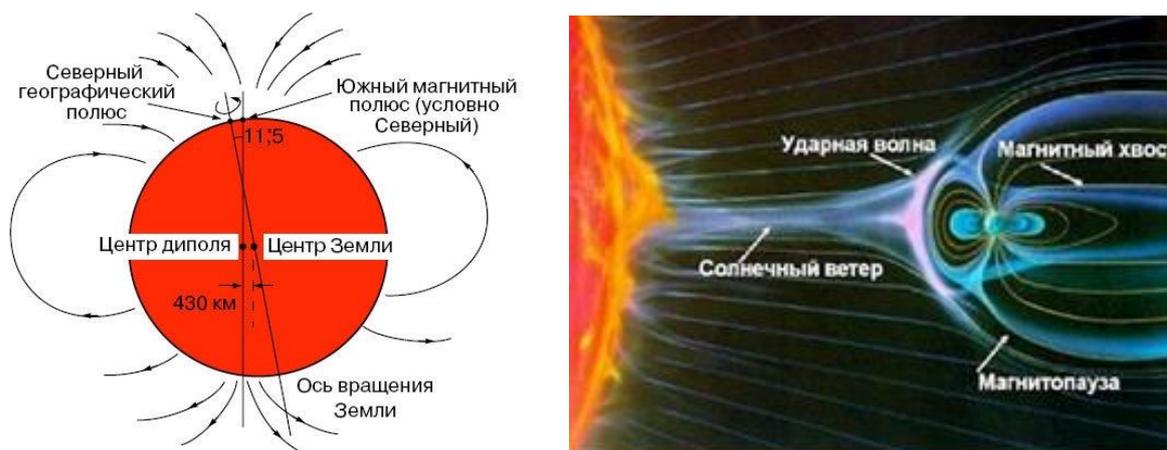


Рис. 1. - Главное МПЗ (слева), вариации МПЗ – (справа).

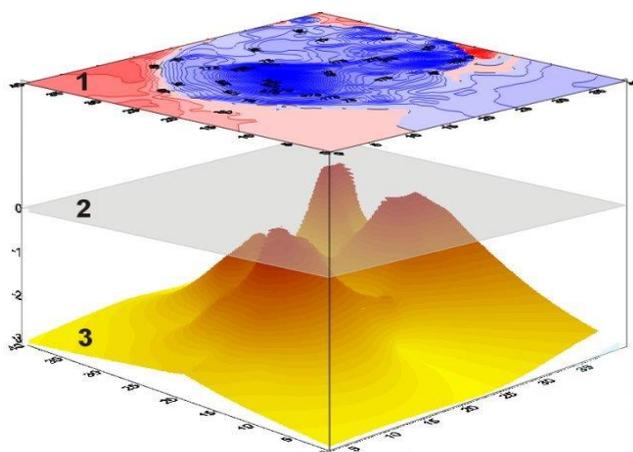
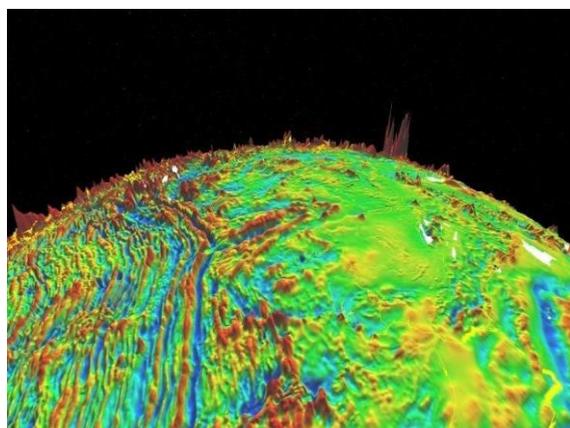


Рис. 2. - Аномальное МПЗ  $\Delta T_a$ . Слева - 3D модель АМПЗ с ярко выраженной курской магнитной аномалией. Справа – технология составления карт АМПЗ по намагниченности земной коры (1-карта АМПЗ, 2- высота аэромагнитной съемки, 3 - земная кора).

Земля, как космическое тело определенного внутреннего строения, генерирует постоянное магнитное поле, называемое главным или нормальным – это первичное поле. Многие горные породы и руды обладают магнитными свойствами и способны под воздействием этого поля приобретать намагниченность и создавать аномальные или вторичные магнитные поля. Вариации МПЗ возникают из-за спорадических воздействий солнечных и галактических космических лучей (СКЛ, ГКЛ). Источники ГП находятся в земном ядре. Вклад ГП в МПЗ для большинства районов Земли является определяющим и варьируется в пределах от 80 до 98 %.

Исследования показали, что *ГП подтверждено временным изменениям, для него характерно наличие вековых вариаций*. Определение ГП в мире производится по различным моделям: ИЗМИРАН, IGRF (International geomagnetic reference field, Международное эталонное геомагнитное поле). В настоящее время для расчета ГП используется, например, модель IGRF12 для эпохи 2015 г.

Источники поля вариаций МПЗ находятся в ионосфере, магнитосфере и частично в земной коре. Характерная особенность этой составляющей – довольно быстрое изменение ее во времени. Вклад поля вариаций в МПЗ может достигать 5-10 %. Поле вариаций определяется по данным сети магнитовариационных станций, основной из которых является Государственная наблюдательная сеть (ГНС) Росгидромет. Головным научно-исследовательским учреждением по магнитным наблюдениям на ГНС является Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова (ФГБУ «ИПГ») г. Москва.

Аномальная составляющая магнитного поля Земли  $\Delta T_a$  (АМПЗ) – магнитное поле региональных и локальных магнитных аномалий, источники которого находятся в земной коре. Это поле обусловлено намагниченностью пород земной коры, отражает распределение магнитных масс в

земной коре и связано с ее геологическим строением. Это наиболее стабильная во времени составляющая магнитного поля, которая может измениться только в результате тектонических процессов или антропогенной деятельности (например, при разработке полезных ископаемых, строительстве крупных железобетонных сооружений, заводов, протяженных трубопроводов, линий электропередач). Исследование структуры АМПЗ может быть использовано для изучения геологического строения земной коры, а также для создания систем навигации нового поколения. Для этого необходимо иметь цифровые карты АМПЗ, привязанные к модели главного магнитного поля современной эпохи (ИЗМИРАН, IGRF и др.).

В настоящее время перспективными являются методы коррекции навигационных параметров движущихся объектов по информации о физических полях Земли, так называемые корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС). Основными преимуществами КЭНС являются автономность и точность определения навигационных параметров в режиме реального времени, независимо от внешнего воздействия. В 90-х годах развитие глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) снизило интерес к применению КЭНС, однако в последнее время из-за угрозы несанкционированных воздействий и влияния космической погоды требование автономности работы навигационных систем вышло на первое место. КЭНС в основном разрабатывались для летательных аппаратов, при этом исследовалось использование как пространственных (магнитного, гравитационного полей), так и поверхностных (поля рельефа, радиотеплового и радиолокационного) физических полей Земли [1-4]. Применение методов экстремальной коррекции, прежде всего по МПЗ потребовало дополнительных исследований, связанных с адаптацией алгоритмов корреляционно-экстремальной обработки для летательных аппаратов, а также с комплексным использованием картографического и программного обеспечения. На основании таких исследований необходима выдача рекомендаций для их применения в магнитометрических навигационных системах (МНС).

Например, известно, что с ростом высоты меняется характер АМПЗ – неоднородно уменьшается полезный сигнал. Поэтому необходимо знать модуль АМПЗ в любой точке по эшелонам высот. Для этого разрабатываются различные программы пересчета АМПЗ по высоте (Geosoft, REIST и др.). Валидация расчетных характеристик может быть проведена практической проверкой с пролетом на всех эшелонах исследуемого участка.

*Выделение этих аномальных полей из наблюдаемого или суммарного МПЗ и использование их в виде карт, баз геоданных, с целью навигации является подосновой создания МНС.*

Необходимо отметить, что единых специализированных баз данных АМПЗ в Российской Федерации не существует. Особенностью наполняемости баз геоданных является то, что за период выполнения магнитных съемок, охватывающий несколько десятилетий, МПЗ значительно изменяется, и соответственно необходимо постоянное обновление баз данных АМПЗ.

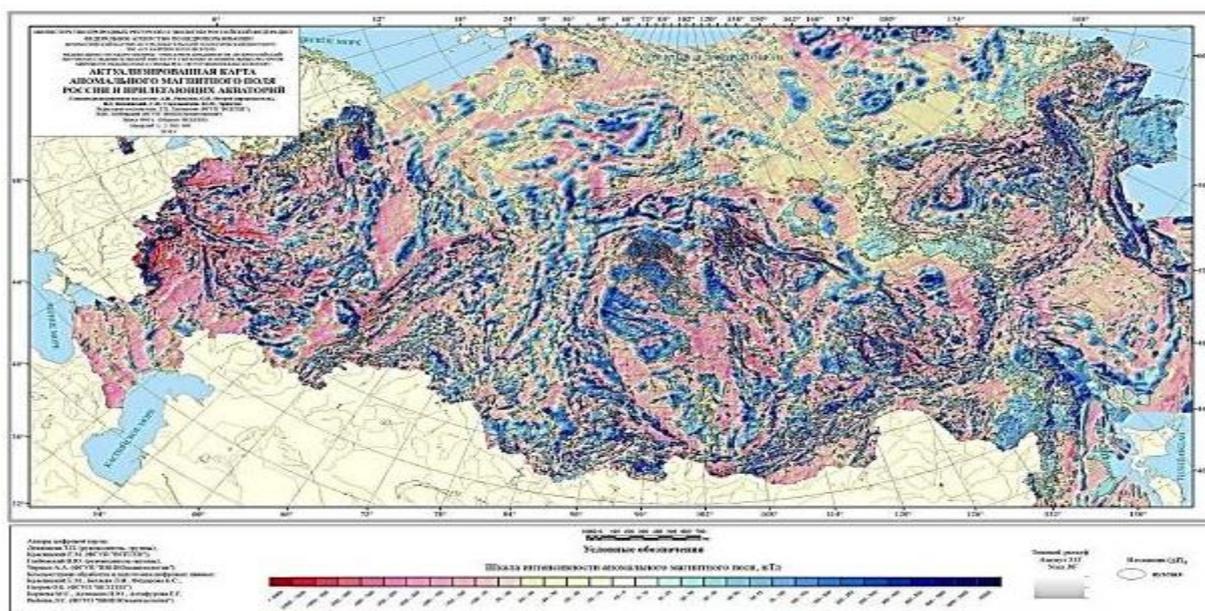


Рис. 3. Аналоговая карта аномального магнитного поля РФ и прилегающих акваторий (по результатам съемок 60-80 гг., 1:2 500 000, 2015) [5].

Проведённый анализ изученности территории страны по данным картографирования в части АМПЗ, показал следующее:

- карты АМПЗ территории РФ были составлены до введения в аэрогеофизическую практику в 90-х годах XX века системы спутниковой навигации и являются устаревшими (условно - некондиционными). Для 80-90 % существующей картографической продукции отсутствует исходный материал в цифровой форме (рис. 3) [6,7];

- применение этих карт для магнитной навигации при использовании в качестве нормального магнитного поля модели IGRF12 [8] соответствующей эпохи возможно только после пересчета их относительно нормального магнитного поля эпохи 1965 года (модель ИЗМИРАН), либо при условии использования модели нормального магнитного поля ИЗМИРАН эпохи 2015 г.;

- определение АМПЗ на территории страны с использованием современной магнитоизмерительной аппаратуры (квантовые и протонные магнитометры) и спутниковой навигации относительно нормального магнитного поля модели IGRF выполнено фрагментарно. Только 10-20 % территории страны засняты высокоточным оборудованием, данные которых могут быть использованы для работы МНС (рис. 4) [6, 7].

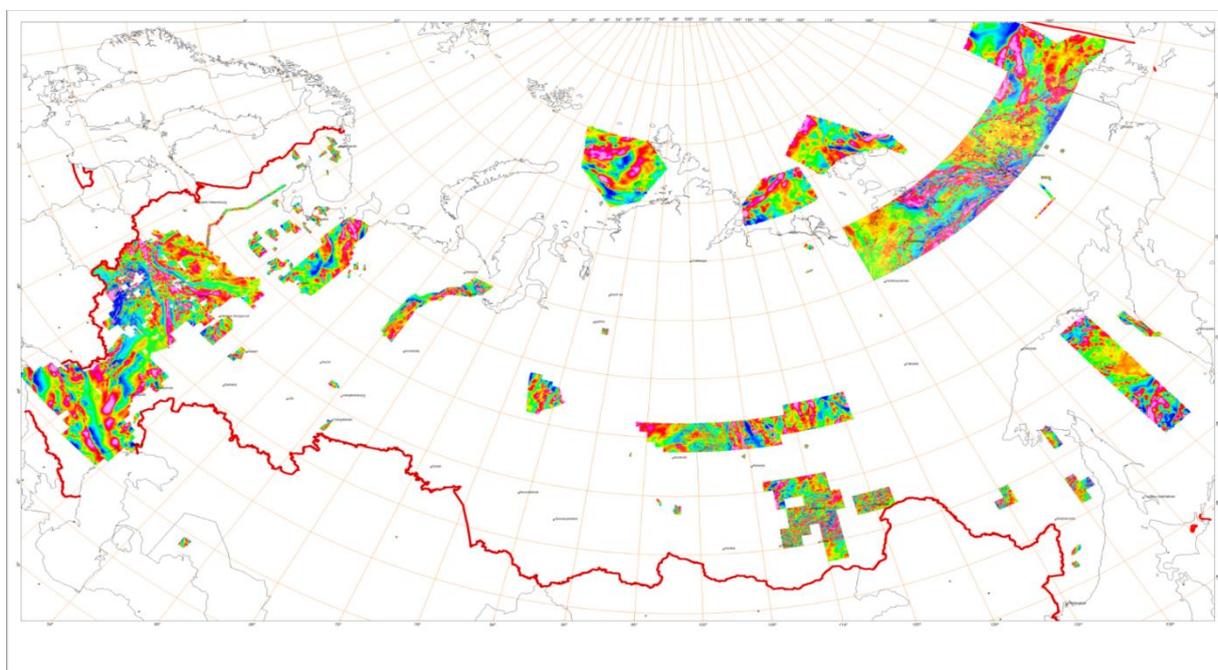


Рис. 4. - Карта современной высокоточной аэромагнитной съёмки АМПЗ.

Таким образом, ввиду отсутствия цифровой закартографированности основной части территории Российской Федерации и прилегающих территорий по МПЗ, для обеспечения информацией о характеристиках магнитного поля необходимо провести комплексную геофизическую (в том числе магнитную) съёмку на территории Российской Федерации и прилегающих акваториях, включающую высокоточную аэромагнитную компонентную съёмку специализированной геофизической авиацией, используя спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС/GPS и соответствующую наземную поддержку магнитовариационными комплексами.

Для учета вариаций магнитного поля необходимо проводить непрерывные наземные наблюдения вариаций магнитного поля в опорных и мобильных точках на геофизических полигонах и специально оборудованных судах. Наземная поддержка съёмки обеспечивается стационарными и мобильными обсерваториями государственной сети геомагнитных наблюдений Росгидромета и экспедициями по магнитной съёмке.

Для обеспечения достоверности и точности магнитных наблюдений планируется метрологическое сопровождение всего комплекса работ с использованием рабочих эталонов, в том числе переносных мер магнитной индукции.

Для проведения исследований работоспособности МНС с КЭНС необходимо создать магнитный полигон с низко-, средне- и высокоинформативными участками и современным высокоточным картографированием.

Для создания базы магнитометрических данных АМПЗ необходимо разработать программно - математическое обеспечение.

Перспективами картографического обеспечения АМПЗ является создание геоподосновы МНС для различных производителей, а также централизация и использование цифровой картографической продукции в целях навигации, геологоразведочных работ, различных исследований в области наук о Земле.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигин Г.П. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
2. Белоглазов И.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
3. Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Августов Л.И. Навигация и наведение по пространственным геофизическим полям //Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 74-84.
4. Джанджгава Г.И. Августов Л.И. Навигация по геополям. Научно – методические материалы. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2018. 296 с.
5. Сайт «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» - ВСЕГЕИ. [Электронный ресурс]. 2016. URL: <http://www.vsegei.ru/tu/> (дата обращения: 10.12.2018).
6. Картографическое обеспечение альтернативной навигации по геофизическим полям Земли// Минлигареев В.Т., Алексеева А.В., Алексеев В.Ю. [и др.]/ DOI: 10.25791/aviakosmos.11.2018.258. Авиакосмическое приборостроение- 2018. -№ 11. (С 18-22).
7. Картографическое обеспечение альтернативной навигации по геофизическим полям Земли// Минлигареев В.Т., Алексеева А.В., Алексеев В.Ю., [и др.]/ Справочник инженера. 2018. -№ 5. Тезисы докладов Всероссийской конференции «Измерения. Испытания. Контроль» 23-25 октября 2018 г., г. Москва, МВЦ Крокус Экспо (С 47-49).
8. Fournier et al. A candidate secular variation model for IGRF-12 based on Swarm data and inverse geodynamo modelling. Earth, Planets and Space, 2015.

## PROSPECTS OF THE CARTOGRAPHIC SUPPORT OF THE ANOMALOUS COMPONENT OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD TO SOLVE APPLIED TASKS

V.T. Minligareev, A.V. Alekseeva, Yu.M. Kachanovsky, V.L. Kravchenok, E.A. Panshin, V.V. Tregubov

The article presents the study of cartographic support for anomalous component of the earth's magnetic field for solving application tasks. The available cartographic databases were studied in order to form Magnetic anomaly maps. Developed proposals for the creation of a unified database of digital magnetometric data for inventories for practical use.

**KEYWORDS:** EARTH'S MAGNETIC FIELD, MAGNETIC ANOMALOUS COMPONENT, CARTOGRAPHIC SOFTWARE, MAGNETIC FIELD MAPS, MAGNETOMETRIC NAVIGATION SYSTEM, BASE OF REFERENCE MAGNETOMETRIC DATA.