

УДК 550.382; 550.389; 527.6

© Ю. А. Копытенко¹, А. А. Петрова¹, Л. И. Августов²

¹Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
Российской академии наук
office@izmiran.spb.ru

²АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», г. Раменское, Московская область
l_avgustov@rpkb.ru

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Статья поступила в редакцию 24.03.2016, после доработки 22.12.2016.

Рассмотрено применение современной модели магнитного поля Земли для обеспечения автономной корреляционно-экстремальной навигации в Мировом океане. Проведена количественная оценка информативности и качества модели магнитного поля Земли с целью получения представления о его навигационной информативности и возможностей применения для автономной навигации в океанах. Рассчитаны показатели информативности модуля вектора магнитного поля Земли, в качестве которых использованы статистические характеристики его аномалий на контрольном интервале в скользящем режиме. Представлены результаты оценки навигационной информативности модуля вектора магнитного поля Земли по данным модели Санкт-Петербургского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн эпохи 2015 г. на примере экспериментальных акваторий Атлантического океана. На основе проведенного исследования показано, что более высокой информативностью обладает совокупная навигационная информативность магнитного поля Земли в виде дисперсии, интервала корреляции и градиентного индекса. Для повышения насыщенности навигационными ориентирами магнитного поля Земли с целью определения текущего местоположения предлагается районирование Мирового океана в зависимости от специфики зон спрединга, что обеспечит значимость параметров навигационной информативности магнитного поля для автономной корреляционно-экстремальной навигации в океанических бассейнах.

Ключевые слова: магнитное поле Земли, навигационная информативность, линейные магнитные аномалии, автономная корреляционно-экстремальная навигация.

Yu. A. Kopytenko¹, A. A. Petrova¹, L. I. Avgustov²

¹Pushkov institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation of RAS St.-Petersburg Filial

²Ramenskoye Design Company, Ramenskoye, Moscow region

ANALYSIS OF THE INFORMATION OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD FOR OFFLINE CORRELATION-EXTREME NAVIGATION

Received 24.03.2016, in final form 22.12.2016.

A quantitative assessment of the quality and informational content of the Earth's magnetic field's model is provided to get an idea of its navigation informational content inventories and possibilities of its application for autonomous navigation in the ocean. The indicators of the informational content of the Earth's magnetic field vector's module, which are used as the statistical characteristics of the anomalies of inventories in the control interval in the sliding mode, are calculated. The results of the evaluation of the navigation informational content of the module of the Earth's magnetic field's vector according to the model of St.-Petersburg Filial of the Pushkov institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation of RAS of era 2015 as an example of the experimental waters of the Atlantic Ocean are submitted. On the basis of the research it is shown that the higher informational content has combined navigation descriptiveness of the Earth's magnetic field anomalies in the form of dispersion, correlation interval and gradient index. The division

Ссылка для цитирования: Копытенко Ю.А., Петрова А.А., Августов Л.И. Анализ информативности магнитного поля Земли для автономной корреляционно-экстремальной навигации // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10, № 1. С. 61—67.

For citation: Kopytenko Yu. A., Petrova A. A., Avgustov L. I. Analysis of the information of the Earth's magnetic field for offline correlation-extreme navigation. *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika*. 2017, 10, 1, 61—67.

DOI: 10.7868/S2073667317010075.

of the World's ocean into parts to increase saturation the Earth's magnetic field navigational landmarks is proposed. It allows determine the current location depending on the specifics of spreading zones. This provides meaningful information content navigation parameters of the Earth's magnetic field for correlation-extreme autonomous navigation in the ocean basins.

Key words: the Earth's magnetic field, the information content navigation, linear magnetic anomalies, correlation-extreme autonomous navigation.

В настоящее время суда всех типов (надводные и подводные) оснащены, кроме гирокомпасов и систем типа ГЛОНАСС, GPS магнитными компасами и магнитометрами, которые используются для ориентирования судов по магнитным навигационным картам в случае отсутствия связи со спутниковыми навигационными системами и при сбоях работы гирокомпасов. Мировые магнитные карты компонент магнитного поля Земли (МПЗ) используются в морской и воздушной магнитной навигации, включая экстремальные условия.

Основной объем работ по картографированию МПЗ выполнен в те времена, когда не было спутника и привязка по координатам замеров поля производилась по данным радиотехнической системы дальней навигации (РСДН), погрешность которой составляла около 600 м (2σ). После появления спутниковых систем навигации (СНС) привязка измерений может производиться по её данным с погрешностью 30 м (2σ).

Задача создания автономных систем навигации, удовлетворяющих совокупности требований в части глобальности, автономной точности и помехозащищенности решается на пути создания корреляционно-экстремальных систем навигации с комплексным использованием информации о пространственных геофизических полях.

Измеряемые параметры пространственных геофизических полей:

— для МПЗ — модуль вектора магнитной индукции и составляющие вектора (северная, восточная и вертикальная);

— для гравитационного поля Земли (ГПЗ) — 1-е производные гравипотенциала (3 компоненты ускорения силы тяжести) и 2-е производные гравипотенциала (9 компонент градиента силы тяжести). МПЗ ГПЗ используется в перспективных системах автономной навигации и управления мобильных объектов [1—4].

Информативность аномалий ГПЗ слабее информативности аномалий МПЗ при достигнутом уровне точности картографирования ГПЗ. Пока что использование ГПЗ для навигации сдерживается отсутствием бортовых датчиков. Определенным плюсом ГПЗ является отсутствие вариаций и точность плановой привязки модели ГПЗ, которая составляет около 30 м. Взаимосвязь параметров информативности ГПЗ и МПЗ в статистическом плане слабая.

Для корреляционно-экстремальной навигации в океанах по параметрам МПЗ необходимо иметь возможность сопоставить в пространственной области такие обобщенные показатели, совокупная навигационная информативность которых позволит обозначить навигационные ориентиры.

Для пользования навигационной информативностью МПЗ с целью определения местоположения оценивается идентичный состав измеряемых на носителе параметров МПЗ, точность, дискретность, интервал усреднения измеряемой информации, а также допустимые точностные характеристики обобщенных показателей используемой модели МПЗ с учетом трудоемкости численной реализации.

По результатам моделирования на приведенных участках точность автономной навигации находится в пределах погрешности картографирования в плане, т. е. 500—600 м (2σ). Основным средством автономной навигации является инерциальная навигационная система (ИНС). Но её погрешности нарастают во времени и в лучшем случае составляют 0.5 мили (900 м) за 1-й час работы.

Проведенные исследования показали возможность использования МПЗ для обеспечения автономной корреляционно-экстремальной навигации на примере зоны линейных магнитных аномалий срединно-океанического хребта акватории Атлантического океана. Навигационная информативность линейных магнитных аномалий оценивалась по компонентной модели Санкт-Петербургского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (СПбФ ИЗМИРАН) эпохи 2015 г. [5—8].

В данной статье приведены материалы расчетов параметров навигационной информативности, вычисленных по значениям модуля вектора МПЗ для площадей в виде субширотных полос, секущих зоны спрединга в северной и южной части Атлантического океана.

Методика оценки навигационной информативности по значениям модуля МПЗ. Для оценки информативности МПЗ с точки зрения возможности ее применения для автономной корреляционно-экстремальной навигации в условиях Мирового океана проведены расчеты навигационных параметров на основе статистических характеристик магнитного поля по модели МПЗ СПбФ ИЗМИРАН [5—8]. Оценка магнитометрической базы по полноте и качеству картографической изученности МПЗ выполнена для уровня океана. В качестве оцениваемой величины на участках Атлантического океана взят модуль вектора T МПЗ.

Полнота картографической изученности выбранных районов определена наличием в магнитометрической базе СПбФ ИЗМИРАН информации в пределах экспериментальных полос шириной ± 100 км в виде данных маршрутных и площадных модульных съемок разных лет (1999—2008). Погрешность по величине модуля МПЗ на выбранных участках составляет ± 10 — 20 нТл, плановая привязка — около ± 500 — 600 м.

Для выделенных площадей выполнен расчет полных значений модуля T на эпоху 2015 г. и построены матрицы МПЗ в географических координатах. Размер дискретности поля выбран в соответствии со степенью изученности МПЗ и равен 0.025 градуса.

Для удобства проведения расчетов статистических характеристик в скользящем режиме вдоль параллельных маршрутов полные значения модуля T МПЗ внутри экспериментальных полос сформированы в узловых точках частноортодромической системы координат (рис. 1, 2, см. вклейку). Значения автокорреляционных функций вдоль маршрутов вычислены по формулам [9—12]. В качестве навигационных характеристик МПЗ использовались параметры автокорреляционной функции — дисперсия и интервал корреляции. Качество навигационной информации обеспечивается точностью картографирования модуля вектора магнитной индукции $MTЗ$ внутри полосы шириной ± 100 км в плане и по величине, а также шагом скольжения (20 км).

Статистические характеристики аномалий модуля МПЗ (дисперсия ($R_{hh}(0)$) и интервал корреляции аномалий ($r_{кор}$)) вычислены на базе 100 км в «скользящем» режиме с интервалом скольжения 20 км на сечениях поля, параллельных осевой линии (рис. 1, 2, серая линия в центре площади). Расчеты проведены по 21 параллельному сечению, которые расположены равномерно с интервалом 10 км по всей ширине полосы ± 100 км. Диапазон изменения характеристик аномалий dT МПЗ на базе 100 км для северной ($dT-n$) и для южной ($dT-s$) части приведены в табл. 1.

Для усиления количественной оценки навигационной информативности МПЗ, кроме дисперсии $R_{hh}(0)$ и интервала корреляции $r_{кор}$ аномалий, дополнительно введен градиентный индекс K . Градиентный индекс K равен отношению квадратного корня из значений дисперсии к интервалу корреляции. Индекс K имеет размерность нТл/км. Максимальные значения градиентного индекса K внутри полосы шириной ± 100 км наглядно выделяют области максимальных значений дисперсии в сочетании с минимальными значениями интервала корреляции (рис. 2, δ , e).

Расчеты параметров совокупной навигационной информативности модуля МПЗ ($R_{hh}(0)$, $r_{кор}$, K) выполнены по полным значениям модуля T модели МПЗ эпохи 2015 г. вдоль направлений, секущих линейные магнитные аномалии срединно-океанического хребта в северной и южной части Атлантического океана. Параметры совокупной навигационной информативности представлены в виде матриц в пределах полосы шириной ± 100 км относительно осевой линии. Результаты визуализации совокупной

Таблица 1

Статистические характеристики аномалий МПЗ в исследуемых районах

Параметр	Значение			
	Минимальное	Максимальное	Среднее	Сигма
$dT-n$, нТл	–500	615	1.0	50
$dT-s$, нТл	–330	370	–1.0	65

навигационной информативности ($R_{hh}(0)$, $r_{кор}$, K) показаны на примере двух участков через зоны спрединга в северной (рис. 2, а, в, д) и южной (рис. 2, б, г, е) частях акватории Атлантического океана.

Информативными для задач навигации могут быть только районы с достаточно высокой контрастностью навигационных параметров. По ориентировочным оценкам, учитывающим точностные характеристики измерений модуля МПЗ на носителе в морских условиях пороговое значение дисперсии составляет 200 нТл². С учетом отсечки пороговых значений дисперсии расчеты показали, что пороговое значение градиентного индекса $K \leq 1$ нТл/км. Статистические характеристики навигационной информативности МПЗ в виде дисперсии и градиентного индекса K приведены в табл. 2.

Пороговые значения интервала корреляции ограничены с обеих сторон — по минимальным и максимальным значениям. Принимая во внимание требования к точности решения навигационных задач, минимальное пороговое значение интервала корреляции должно быть достаточно малым, т. к. информативными могут быть только районы с высокой изменчивостью аномалий. Минимальное пороговое значение интервала корреляции зависит от шага выборки матрицы аномальных значений магнитного поля и глубины океана [12—13]. Оценки показали, что в случае акватории Атлантического океана оно составляет около 5 км. Максимальное пороговое значение интервала корреляции ограничено навигационными задачами и составляет 25 км.

Таким образом, произведена обобщенная оценка совокупной навигационной информативности по статистическим характеристикам аномальных значений модуля МПЗ СПБФ ИЗМИРАН (дисперсии, интервалу корреляции и градиентному индексу K) для автономной корреляционно-экстремальной навигации в Атлантическом океане.

Результаты расчетов совокупной информативности МПЗ для зоны спрединга. Постоянное магнитное поле континентов и океанов вблизи поверхности Земли имеет сложную структуру, обусловленную случайным распределением магнитных пород в физически неоднородной среде земной коры и верхней мантии. Интенсивность магнитных аномалий зависит от магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности геологических образований, формы и глубины залегания магнитовозмущающих пород.

Однако аномальное магнитное поле океанической коры имеет отличительную особенность в виде линейной упорядоченности магнитных аномалий. Зоны чередования положительных и отрицательных линейных аномалий в океанах простираются на тысячи километров коллинеарно осевым зонам спрединга. Причиной происхождения полосовых магнитных аномалий является процесс рождения океанической коры в зонах спрединга срединно-океанических хребтов, когда излившиеся базальты при остывании ниже точки Кюри в МПЗ, приобретают остаточную намагниченность. Направление намагниченности совпадает с направлением МПЗ, однако вследствие периодических инверсий МПЗ излившиеся базальты образуют чередующиеся полосы с прямым направлением намагниченности, совпадающим с современным направлением МПЗ и обратным [14—15].

Линейное простираание аномалий нарушается трансформными разломами. Магнитные положительные и отрицательные аномалии срединно-океанического хребта, расположенные параллельно оси рифтовых зон, образуют отдельные сегменты, разграниченные трансформными разломами. Они пересекают оси срединно-океанических хребтов через каждые 50—100 км и имеют длину от первых километров до нескольких тысяч километров.

В разных сегментах вдоль простираания хребта отмечается изменение рельефа дна и состава мантийных и коровых пород, что отражается в структуре магнитного поля изменением интенсивности и спектральных свойств аномалий магнитного поля океанической коры [13]. Как показали проведенные исследования на экспериментальных участках Атлантического океана, эти особенности строения

Таблица 2

Характеристики навигационной информативности МПЗ исследуемых районов

Район	Дисперсия, нТл ²				Градиентный индекс K , нТл/км			
	Мин.	Макс.	Среднее	Сигма	Мин.	Макс.	Среднее	Сигма
Северный	200	32 700	2900	3400	1.0	11.0	2	1.26
Южный	200	25 000	4200	4600	1.0	13.6	3.6	2.98

срединно-океанических хребтов проявляются в статистических характеристиках МПЗ, что позволяет их использовать в качестве параметров навигационной информативности МПЗ (дисперсии, интервале корреляции и градиентном индексе K).

Субширотный участок исследований в Северной Атлантике проходит через несколько сегментов Северо-Атлантического хребта (рис. 1).

Кроме того, участок работ пересекает линейные магнитные аномалии, простирающиеся, в основном, в северо-восточном направлении. Однако угол простираения меняется в зависимости от возраста образования аномалий. На западе участка коллинеарно берегу расположены древние линейные аномалии мезозойского возраста, имеющие более 120—140 млн лет. Простираение линейных аномалий Северо-Атлантического хребта с возрастом менее 60 млн лет, сегментарно разворачивается в северном направлении (рис. 1, 2). Эти изменения разновозрастных аномалий нашли отражение в распределении информативных параметров на площади, проявившись в величине значений статистических характеристик навигационной информативности магнитного поля (табл. 3).

В табл. 3 приведены основные диапазоны навигационных параметров $R_{hh}(0)$, $r_{кор}$, K и глубины океана H зон линейных аномалий разного времени заложения. Исследования показали, что навигационные параметры линейных магнитных аномалий в северном районе Атлантического океана превышают пороговые значения навигационной информативности модуля МПЗ и тем самым создают навигационные ориентиры.

В границах выбранной акватории линейные аномалии срединного хребта нарушаются тремя трансформными разломами: Океанограф (35° с.ш.), Хейс (33° с.ш.), Атлантис (30° с.ш.) со смещениями по ним до 150 км. Северо-Атлантический хребет нарушен также нетрансформными поперечными разломами, которые вместе с первыми пересекают хребет через каждые 20—100 км. Детальные исследования структуры магнитного поля показали, что эта сегментация заметно влияет на изменение параметров навигационной информативности по простираению хребта, вычисленных в скользящем режиме.

В западной части северного района Атлантического океана помимо линейных магнитных аномалий дополнительные навигационные ориентиры создают две цепи магнитных аномалий разломных структур древнего заложения, пересекающих линейные аномалии мезозойского возраста в юго-восточном направлении. Значения дисперсии этих аномалий находятся в диапазоне 3000—10000 нТл², интервал корреляции — 9—20 км, градиентный индекс K — 2—6 нТл/км. Все статистические параметры магнитных аномалий разломных структур древнего заложения превышают пороговые значения навигационной информативности модуля МПЗ и являются навигационными ориентирами.

Западнее мезозойских магнитных аномалий исследуемый участок пересекает подводную Северо-Американскую котловину. Глубина котловины составляет свыше 5000 м. Расчеты показали, что в котловине дисперсия имеет величину ниже порогового значения ($R_{hh}(0) \leq 200$ нТл²), интервал корреляции возрастает до значений $r_{кор} \geq 25$ км, градиентный индекс $K \leq 1$. Таким образом, в Северо-Американской котловине на этом участке значения навигационной информативности модуля МПЗ выходят за пределы допустимых пороговых значений и не представляют интереса для экстремальной глобальной навигации.

В Южной Атлантике широтная полоса экспериментальной акватории охватывает два сегмента линейных аномалий (рис. 1, б, в). При этом осевая линия площади проходит вблизи зоны трансформного разлома. В табл. 4 приведены основные диапазоны навигационных параметров $R_{hh}(0)$, $r_{кор}$, K и глубины

Таблица 3

Статистические характеристики разновозрастных аномалий МПЗ северного района акватории Атлантического океана

Параметр	Диапазон значений, млн лет			
	120—140	60—80	30—50	0—25
$R_{hh}(0)$, нТл ²	2000—10000	5000—15 000	5000—20 000	10 000—34 000
$r_{кор}$, км	10—20	10—20	10—20	8—20
K , нТл/км	2—4	2—5	3—5.5	4—11
H , м	4600—5300	5600	4800	1800—3000

**Статистические характеристики разновозрастных аномалий МПЗ южного района акватории
Атлантического океана**

Параметр	Диапазон значений, млн лет		
	60—80	30—50	6—25
$R_{hh}(0)$, нТл ²	3000—10000	10000—25000	10000—25000
$r_{кор}$, км	9—20	9—15	8—15
K , нТл/км	3—8	6—9	8—13
H , м	4700	4800	2800—3400

океана H зон линейных аномалий Южно-Атлантического хребта разного времени заложения — от 6 до 80 млн лет (рис. 1, б, г; рис. 2, б, г, е). Исследования показали, что навигационные параметры разновозрастных линейных магнитных аномалий в южном Атлантическом океане превышают пороговые значения навигационной информативности модуля МПЗ и создают навигационные ориентиры.

Особенности трансформной зоны, разграничивающей разновозрастные сегменты линейных аномалий, нашли четкое отражение в параметрах навигационной информативности. В пределах исследуемой полосы выделены отдельные особенности размером от 40 до 200 км, которые могут представлять пространственные ориентиры в зоне трансформного разлома. Однако в целом зона трансформного разлома незначительно превышает пороговые значения навигационной информативности модуля МПЗ. Дисперсия меняется от 1000 до 4000 нТл², интервал корреляции составляет 8—15 км, градиентный индекс $K \geq 3$.

Самый западный участок южной экспериментальной полосы проходит через подводную Аргентинскую котловину [16]. Глубина котловины составляет около 4700 м. Расчеты показали, что в котловине дисперсия имеет величину ниже порогового значения ($R_{hh}(0) \leq 200$ нТл²), интервал корреляции возрастает до значений $r_{кор} \geq 25$ км, градиентный индекс $K \leq 1$. Таким образом, в Аргентинской котловине на этом участке значения навигационной информативности модуля МПЗ выходят за пределы допустимых пороговых значений и не представляют интереса для экстремальной глобальной навигации.

В работе показана возможность автономной корреляционно-экстремальной навигации в акватории Мирового океана с использованием показателей совокупной навигационной информативности значений модуля МПЗ на основе магнитометрической модели СПбФ ИЗМИРАН.

Совокупная навигационная информативность МПЗ (дисперсия, интервал корреляции и градиентный индекс K) представляется в виде матриц в пределах полосы шириной ± 100 км относительно осевой линии маршрута. В качестве ориентиров для автономной глобальной навигации могут быть использованы области максимальных значений дисперсии в сочетании с минимальными значениями интервала корреляции.

Для определения географического местоположения в Мировом океане аналогичные показатели совокупной навигационной информативности измеряемых на носителе значений элементов МПЗ (дисперсии, интервала корреляции и градиентного индекса K) могут обеспечить поиск соответствующих навигационных ориентиров, вычисленных по модели МПЗ.

Для улучшения условий автономной глобальной навигации представляется целесообразным районирование акватории Мирового океана как вероятного региона применения систем экстремальной навигации. Районирование должно учитывать значимость параметров навигационной информативности МПЗ в зависимости от специфики зон спрединга океанических бассейнов и предусматривать возможность выбора направлений движения вкострест простирания линейных магнитных аномалий.

Районирование акватории Мирового океана повысит насыщенность навигационными ориентирами по параметрам навигационной информативности МПЗ для автономной корреляционно-экстремальной навигации.

Литература

1. Белоглазов И. Н., Джанджгава Г. И., Чигин Г. П. Основы навигации по геофизическим полям. М.: Наука, 1985. 328 с.

2. Непоклонов В. Б. Компьютерные модели аномального гравитационного поля Земли // Изв. вузов. Геодезия и аэрофото-съемка. 1998. № 6. С. 104—106.
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. Конешов В. Н., Непоклонов В. Б., Августов Л. И. Оценка информативности аномального гравитационного поля Земли для экстремальной навигации // Авиакосмическое приборостроение. 2016. № 3. С. 22—30.
5. Копытенко Ю. А., Петрова А. А. Магнитные карты нового поколения для целей морской магнитной навигации // Труды XII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2014). СПб.: Нестор-История, 2014. С. 258—261.
6. Копытенко Ю. А., Петрова А. А. Результаты разработки и применения компонентной модели магнитного поля Земли в интересах магнитной картографии и геофизики // Фундаментальная и прикладная геофизика. 2016. Т. 9, № 2. С. 88—106.
7. Петрова А. А. Цифровые карты компонент вектора индукции магнитного поля // Сб. трудов ИЗМИРАН. М., 2015. С. 412—418.
8. Копытенко Ю. А., Петрова А. А. Мировые карты компонент магнитного поля Земли эпохи 2015 г. // Сборник трудов IV Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». СПб. ВКА им. Можайского, 2016. С. 21—26.
9. Луговенко В. Н. Статистический анализ аномального магнитного поля. М.: Наука, 1974. 190 с.
10. Петрова А. А. Методика спектрально-корреляционного анализа аномального геомагнитного поля: Автореферат дис.: канд. физ.-мат. наук. М.: ИЗМИРАН, 1976. 25 с.
11. Серкерев С. А. Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке. М.: Недра, 1986. 247 с.
12. Мирлин Е. Г., Мелихов В. Р., Вержбицкий Е. В. Статистические характеристики аномального магнитного поля центральной части Атлантического океана // Океанология. 1972. Т. XIII, Вып. 3. С. 437—444.
13. Петрова А. А., Карасик А. М. Статистическая зависимость параметров спектральной структуры магнитного поля от рельефа магнитного фундамента Северного Ледовитого океана // Океанология. 1979. Т. XIX, № 3. С. 526—528.
14. Verhoef J., Roest W. R., Macnab R., Arkani-Hamed J. et al. Magnetic anomalies of the Arctic and North Atlantic Oceans and adjacent land areas; GSC Open File 3125, Parts a and b; Geological Survey of Canada, Dartmouth NS, 1996.
15. Seton M. et al. Community infrastructure and repository for marine magnetic identifications // Geochem. Geophys. Geosyst. 2014. V. 15. P. 1629—1641. doi: 10.1002/2013GC005176.
16. Instituto Antartico Argentine [Электронный ресурс]. URL: <http://ggt.conae.gov.ar/iaa/pietr2002> (Дата обращения: 22.03.2016).

К статье Копытенко Ю.А. и др. Анализ информативности...

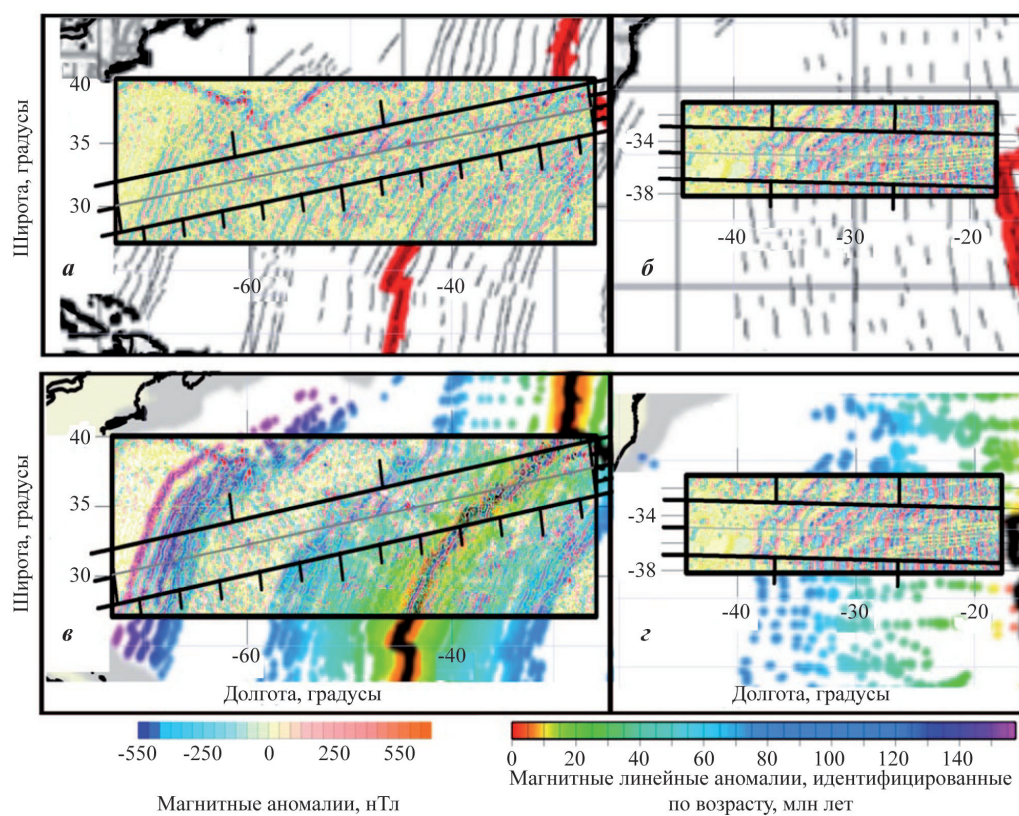


Рис. 1. Аномалии модуля МПЗ и положение экспериментальных полос в северной (а, в) и южной (б, з) части Атлантического океана.

К статье Копытенко Ю.А. и др. Анализ информативности...

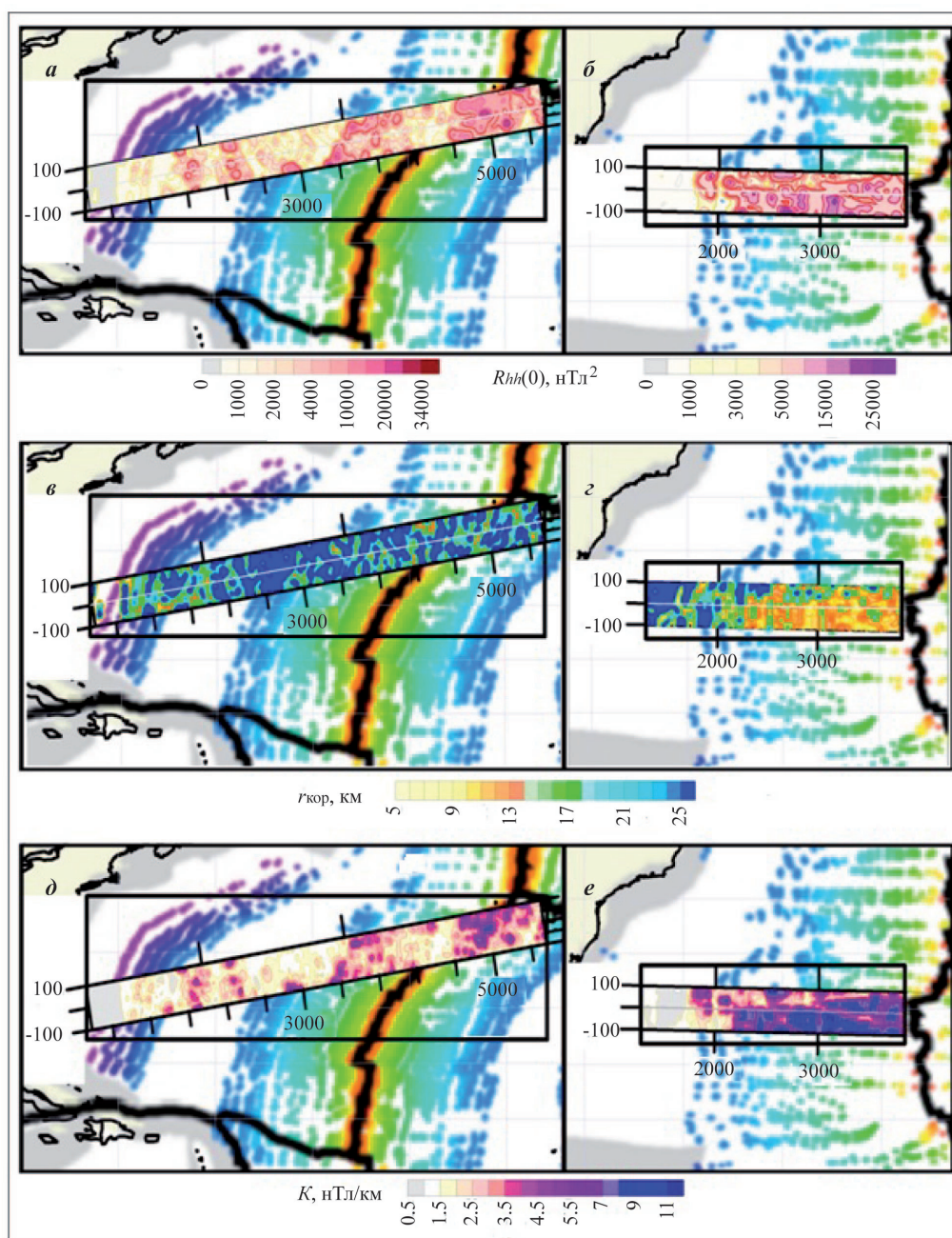


Рис. 2. Площадное распределение в зонах спрединга дисперсии, интервала корреляции и градиентного индекса K в северной (а, в, д) и в южной части (б, г, е) Атлантического океана.