

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта

В.М.Гордин

**ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ
ГЕОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Москва
2004

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта

В.М.Гордин

**ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ
ГЕОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Рекомендовано Учёным советом Геологического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова в качестве учебного пособия по курсам “маг-
ниторазведка” и “история и методология геологических наук” для
студентов, обучающихся по специальности “геофизика”*

Москва
ИФЗ РАН
2004

УДК 550.380

Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. – М.: ИФЗ РАН, 2004. – 162 с.
ISBN

Целевая функция монографии – исследование историко-научных аспектов развития магнитометрии. В первых трех очерках освещены и кратко прокомментированы события и факты, отразившие в себе эволюцию взглядов на предмет, методы и результаты геомагнитных измерений – от первых определений магнитного склонения до космических магнитных съемок. Наиболее подробно рассмотрены последние полвека – переход от классических (гауссовых) представлений к современным. Результаты анализа служат фактологической базой для периодизации истории магнитометрии, обсуждения сходств-различий реального процесса познания с известной схемой Т.Куна. Демонстрируется плодотворность идей Б.М.Кедрова о циклическом чередовании периодов дивергенции и конвергенции знаний, как основы для прогноза дальнейших геомагнитных исследований в краткосрочной и долгосрочной перспективах.

Книга написана магнитометристом и адресована, прежде всего, коллегам по изучению магнитного поля Земли, а также магистрантам и аспирантам вузов, готовящимся к преподавательской деятельности. Заключительный очерк, по-видимому, будет интересен более широкому кругу специалистов в области наук о Земле, а также историкам естествознания.

Научный редактор
доктор физ.-мат. наук **В.О. Михайлов**

ISBN

© В.М.Гордин, 2004
© ИФЗ РАН, 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. КОМПАС И ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО СКЛОНЕНИЯ	7
1.1. Предыстория	7
1.2. Изобретение сухого компаса и открытие пространственной изменчивости геомагнитного поля	8
1.3. Геомагнитные измерения XVI века	9
1.4. Измерения склонения в XVII–XVIII веках. Открытие вековых и суточных вариаций склонения	11
1.5. Начало геомагнитных исследований в России	12
1.6. Измерения магнитного склонения в XIX веке	14
1.7. Изучение вариаций магнитного склонения и ретроспективные исследования	17
1.8. Девиация магнитного компаса и влияние морского волнения на его показания	19
1.9. Изучение магнитного склонения в XX веке	22
2. ИЗМЕРЕНИЯ НАКЛОНЕНИЯ И СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ	26
2.1. Предварительные замечания	26
2.2. Открытие наклона	27
2.3. Исследования XVII–XVIII веков	28
2.4. Открытие закона Кулона	30
2.5. Первые измерения силовых элементов земного магнетизма	31
2.6. Электричество и магнетизм	33
2.7. Эпоха Гаусса	34
2.8. Измерения наклона и силовых элементов магнитного поля во второй половине XIX века	36
2.9. Зарождение магниторазведки и сейсмомagnetизма	39
2.10. Магнитное приборостроение второй половины XIX века	41
2.11. Магнитные измерения начала XX века. Морские и сухопутные съемки	44
2.12. Магнитные измерения начала XX века в обсерваториях	46
2.13. Становление магниторазведки	48
2.14. Аппаратурный парк магнитометрии начала XX века	51
3. РЕВОЛЮЦИЯ В МАГНИТОМЕТРИИ	55
3.1. Кризисные явления в магнитометрии XX века	55
3.2. Абсолютные геомагнитные измерения. Ядерно-прецессионные и атомно-прецессионные магнитометры	56
3.3. Новые приборы и методы относительных геомагнитных измерений. Феррозондовые магнитометры	59
3.4. Ханле-магнитометры и СКВИДы	62
3.5. Прогресс в технологии геомагнитных измерений. Аэромагнитные съемки ...	63
3.6. Прогресс в технологии геомагнитных измерений. Морские магнитные съемки	65
3.7. Орбитальные (спутниковые) магнитные съемки	69
3.8. Изучение магнитных полей планет	71
3.9. Прогресс в изучении переменных составляющих геомагнитного поля. Вариационные аномалии	73

3.10. Новые возможности магниторазведки. Изучение глубинного строения земной коры и металлогеническое районирование	75
3.11. Новые возможности магниторазведки при поисках рудных месторождений	77
3.12. Новые возможности магниторазведки при поисках месторождений нефти и газа	79
3.13. Аномалии векового хода. Сейсмо- и тектономагнетизм	81
3.14. Прогноз землетрясений	83
4. НЕКОТОРЫЕ ИНДУКТИВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КОНКРЕТНЫЕ ПРИМЕРЫ	86
4.1. История магнитометрии в контексте истории естествознания	86
4.2. Периодизация истории магнитометрии	87
4.3. О научных революциях и эффекте заметания следов	89
4.4. Прогресс науки. Влияние социально-политических факторов.....	92
4.5. Прогресс науки. Человеческий фактор	94
4.6. Прогресс науки. Фактор случайности	97
4.7. Эпохи дивергенции и конвергенции знаний	99
4.8. О модельном подходе	102
4.9. Попытка прогноза	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
Приложение 1. Основные события в развитии и магнитометрии	108
Приложение 2. Основные экспедиции и морские съемки	110
ЛИТЕРАТУРА	112
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	150

ВВЕДЕНИЕ

Чтение всех историй требует некоторого терпения, более или менее вознаграждаемого удовольствием.

Р.Дж.Коллингвуд

В течение последнего десятилетия автору довелось читать студентам-выпускникам и магистрантам кафедры геофизики Геологического факультета МГУ курс лекций “Дополнительные главы магниторазведки”. Примерно треть лекционного времени отводилась вопросам истории магнитометрии. Материалы, собранные в процессе подготовки этого раздела курса, легли в основу четырех предлагаемых вниманию читателей очерков.

“Наука – писал известный историк и философ Р.Дж.Коллингвуд [1980, с.322] – не набор истин, которые устанавливаются одна за другой, а организм, в каждой части которого по мере развития происходят непрерывные изменения”. Конкретизируя эту мысль на примере магнитометрии, автор не стремился к сколько-нибудь подробному изложению ее многовековой истории. Цель очерков гораздо скромней: наметить общую канву событий и кратко прокомментировать лишь те моменты, в последовательности которых наиболее полно отразилась эволюция взглядов на задачи, методы и результаты измерений магнитного поля Земли.

Сообразно с замыслом, изложение построено в форме коротких хронологических цепочек событий и фактов, нередко несопоставимых по значимости, но так или иначе повлиявших на развитие магнитометрии, как основы учения о земном магнетизме. В совокупности они образуют довольно запутанную, но, как мне кажется, реалистичную картину, не отягощенную умозрительными причинно-следственными связями. Отказ от жесткой систематизации фактов, от встраивания их в некий безальтернативный историко-магнитометрический сценарий не случаен. По разумению автора, это, если не единственный, то по крайней мере простейший способ уклониться от догматических “правил игры”, от уподобления истории диспозициям прусских генералов, над которыми иронизировал Лев Толстой: “Die erste Kolonne marschirt, die zweite Kolonne marschirt...” и т.д. с неукоснительностью железнодорожного расписания.

Первый очерк посвящен измерениям магнитного склонения, которые в течение многих веков не только играли основополагающую роль в морской навигации, но и служили главным источником информации о пространственно-временной структуре геомагнитного поля. Это дань уважения нашим предшественникам, их прозрениям и заблуждениям, образующим живую ткань учения о земном магнетизме, и в то же время это демонстрация того, что результаты давних, казалось бы, несовершенных измерений сохраняют непреходящую ценность, как единственный прямой источник информации о протекании вековых геомагнитных вариаций в историческое время.

Во втором очерке обсуждаются измерения наклона и силовых элементов геомагнитного поля. В отличие от измерений склонения история отвела им роль стимулятора теоретического осмысления эмпирических фактов и формирования понятийной базы геомагнитологии. Это, во-первых, работы Уильяма Гильберта – автора первой всесторонне обоснованной теории земного магнетизма; во-вторых, эксперименты Шарля Огюстена Кулона с крутильными весами, которые привели к открытию основного закона магнитостатики; в-третьих, работы Карла Фридриха Гаусса, положившие начало аналитическому моделированию геомагнитного поля и созданию электромагнитной системы единиц CGSM. На рубеже XIX–XX веков измерения силовых элементов земного магнетизма легли в основу методов геологического истолкования геомагнитных данных и становления магниторазведки.

Содержание третьего очерка отражает глубочайшие изменения в физических основаниях, технике и методике геомагнитных измерений, произошедшие в середине и второй половине XX века. Изобретение феррозондовых, ядерно-прецессионных (протонных) и атом-

но-прецессионных (квантовых) магнитометров, переход от точечных измерений к непрерывным, создание мобильных систем аэромагнитных, гидромагнитных и спутниковых магнитных наблюдений, радикально расширили поисково-картировочные возможности магнитометрии. Повышение точности и скважности измерений привело к возникновению новых прикладных направлений: сейсмомагнетизма, магнитной дефектоскопии, магнитобиологии и т.п.

В заключительном очерке предпринимается попытка периодизации истории магнитометрии, обсуждается степень ее согласия (адекватности) с последовательной сменой парадигм по Т.Куну и с идеями Б.М.Кедрова о циклическом развитии науки. Основой рассмотрения этих сложных вопросов служат два, на первый взгляд, взаимоисключающих, а по сути, взаимодополняющих подходов. С одной стороны, это избирательная детализация данных, которая в какой-то мере устраняет фрагментарность предшествующего изложения и позволяет выявить в цепи событий типичные элементы и связи. С другой стороны, это генерализация фактологии; если угодно, – “погружение” магнитометрической проблематики в контекст общей истории естествознания или, что будет точнее, – в контекст авторских представлений об истории естествознания. Последняя оговорка необходима, чтобы подчеркнуть дискуссионный характер выдвигаемых концепций, ориентацию на читателя, обладающего не только усидчивостью (см. эпиграф), но и критическим мышлением.

Основной текст дополняют хронологические таблицы основных событий в области геомагнитологии и магнитометрии (Приложение 1) и наиболее крупных морских и сухопутных экспедиций (Приложение 2), а также именной указатель. Список литературы включает в себя почти 1000 названий.

И последнее: общие проблемы магнитологии и магнитометрии заинтересовали автора еще в 1978–1979 гг., благодаря беседам и творческому сотрудничеству с Александром Николаевичем Пушкиным и Татьяной Николаевной Симоненко. В годы перестроечного упадка этот интерес поддерживало общение с Галиной Николаевной Петровой. Память об этих замечательных людях стала, быть может, главным стимулом к завершению начатого труда. С вариантом неопубликованной статьи, которая затем трансформировалась в эту серию очерков, еще в 1987 г. ознакомился доктор физ.-мат. наук (ныне академик РАН) В.Н.Страхов; черновую рукопись прочитал доктор геол.-мин. наук Д.М. Печерский. Замечания обоих, несомненно, способствовавшие устранению дефектов изложения и уточнению авторских позиций по дискуссионным вопросам, были с благодарностью приняты. Большую помощь при окончательной подготовке и редактировании очерков оказал кандидат физ.-мат. наук С.А. Тихоцкий.

1. КОМПАС И ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО СКЛОНЕНИЯ

Недаром еще давно неким мудрецом сказано: “Компас инструментик маленький, но если бы его не было, Америка не была бы открыта”.

А.Н. Крылов

1.1. Предыстория

“Моряки во время плавания, когда не могут ориентироваться по солнцу из-за пасмурной погоды или когда мир погружен в темноту ночи, или когда они не знают, в каком направлении держать путь, пользуются свободно вращающейся стрелкой, один конец которой показывает на север”. Эту цитату из сочинения английского монаха Св. Альбана Александра Нэкема “De Rerum Naturis” (1187 г.) большинство историков науки считает первым достоверным сообщением о применении магнитного компаса в морской навигации.

Более ранние упоминания об изобретении и применении компасов обычно приписываются древним китайцам. Этот китайский след в истории магнитологии восходит к 1834 г., когда знаменитый естествоиспытатель барон Александр фон Гумбольдт опубликовал адресованное ему письмо Китаевода Клапрота. В нем Клапрот, ссылаясь на китайские летописи, утверждал, что полярность магнита и способность намагниченной стрелки указывать направление на юг было достоверно известно еще в 120 г. до н.э. Более того, Клапрот предполагал, что задолго до этого в 2364 г. до н.э. император Хуанг-Ти в сражении со своим соперником Чжи-Су успешно использовал “путеуказательные повозки”, снабженные фигуркой воина (или жреца), протянутая рука которого указывала на юг. Собственно компас, по мнению Клапрота, был изобретен императором Чжеу-Кунгу, жившим за 1100 лет до н.э. [Крылов, 1947а].

В подтверждение китайского следа В.П. Карцев [1972; с.13-14] без ссылок на первоисточник приводит красочное описание каравана, шествующего в бескрайних гобийских песках: “Направо, налево, куда ни кинь взор – унылые желтые барханы... Далекий путь из императорских пагод на берегу Янцзы до минаретов кушанских царств. Трудно пришлось бы караванщикам, если бы не было в караване белого верблюда с его бесценным грузом... Защищенный деревянной резной клеткой между горбами белого верблюда совершал свой путь через пустыню глиняный сосуд, в котором на пробке плавал в воде небольшой продолговатый кусок намагниченного железа. Края сосуда были выкрашены в четыре цвета. Красный обозначал юг, черный – север, зеленый – восток, а белый – запад. Глиняный сосуд с кусочком железа в нем был примитивным древним компасом, указывающим караванщикам путь в бескрайних песках”.

Исследования английских историков показали, что древность китайского следа в магнитологии сильно преувеличена. Согласно А. Кричтону Митчеллу [Mitchell, 1939] первое ясное и подробное описание измерений склонения с помощью деклинатора со стрелкой, подвешенной на нити, содержится в китайской энциклопедии “Мун Ки Пи Тан”, опубликованной в 1093 г. н.э. Его оригинальность не вызывает сомнений, так как в Европе приборы такого типа начали применяться только в XVIII веке. П.Смит и Дж.Нидхем [Smith, Needham, 1967] указывают на более раннее измерение склонения, произведенное И.Суном в 720 г. н.э. У.Паркинсон [1986] ссылается на П.Смита [Smith, 1970], по мнению которого изобретение компаса в Китае, возможно, относится к I веку н.э. Однако упоминания о нем в китайской литературе появляются только в XI веке, а свидетельства применения компаса в навигации – в XIII веке, т.е. примерно в то же время, что и в Европе. Вывод о зарождении магнитометрии в XI–XIII веках содержится также в недавно опубликованной статье Д.Штерна, символически названной “A Millennium of Geomagnetism” [Stern, 2002].

1.2. Изобретение сухого компаса и открытие пространственной изменчивости магнитного склонения

Компас XII–XIII веков представлял собой продетую сквозь соломину или закрепленную на кусочке пробки намагниченную иглу, свободно плавающую в цилиндрическом сосуде с водой. Помимо уже упоминавшегося трактата Александра Нэкема, сведения о его применении в морском деле содержатся в поэме знаменитого трубадура Гийома Прованского “La Bible” (1206 г.) и в изданной в 1218 г. книге адмирала де Витри о путешествии в Палестину [Калашиников, 1956].

Идея радикального усовершенствования этого простейшего инструмента, – по существу, его превращения в измерительный прибор – была выдвинута французским фортификатором и естествоиспытателем Пьером де Марикуром, вошедшим в историю науки под именем Петриус Перегрин (Petrius Perigrinus). В датированном 1269 г. частном письме, адресованном некоему Симону де Фукокуру, он предложил объединить компас с морской астролябией, снабженной градуированной (градусной) шкалой и базисной линейкой для производства отсчетов [Schück, 1915]. Сведений о технической реализации компаса Перегрин история не сохранила¹. Знаменитое письмо в течение почти трех веков распространялось в рукописи и было издано под названием “Epistola de Magnete” в Аугсбурге только в 1558 г.

Изобретение конструктивно близкого к современному “сухого” компаса со стрелкой, помещенной на острие, и неподвижной картушкой долгое время приписывалось жившему в начале XIV века итальянскому моряку из Амальфи Флавио Джойя. Ему же приписывалась идея разбиения шкалы картушки на 32 румба, получивших поэтичное название “розы ветров”. Многие исследователи однако считают это изобретение более ранним, относя его к XI–XII векам². То, что компасная роза ветров была известна европейцам по крайней мере со второй половины XIII века убедительно продемонстрировал Н.В.Куланин [1991]. Анализируя опубликованные в атласе А.Норденшельда [Nordenskiöld, 1897] средневековые итальянские и каталонские мореходные карты – портуланы, он пришел к выводу, что нанесенные на портуланы навигационные линии фактически являются линиями склонения. Затем, сопоставляя картографические оценки склонения с археомагнитными данными, Куланин вычислил “время запаздывания” между производством измерений и изданием карт. Для портулана Андже-ло Дульчерта (1339 г.) это время составило примерно 90 лет; для портулана Конте Фердуччи (1475 г.) – 170 лет, откуда следовало, что учтенные измерения начались не позднее 1250–1300 гг.

В арабской литературе первые упоминания о компасе появляются в XV веке у Аль-Идриси в трактате “Утеха для жаждущего пересечения горизонтов” и в морской энциклопедии Ахмада ибн Маджида – лоцмана португальской экспедиции Васко да Гама, который называл компас “домом иглы” [Хребтов и др., 1988]. Более подробные сведения о конструкции и применении компасов в XII–XV веках можно найти в опубликованном в начале XX века двухтомнике [Schück, 1911, 1915].

Одно из самых замечательных событий в предыстории магнитологии – первое путешествие генуэзца Христофора Колумба в Новый Свет. Замеченное 14 сентября 1492 г. через неделю после отплытия от Канарских островов и зарегистрированное в судовом журнале “Санта Марии” отклонение магнитной стрелки от направления на астрономический север стало первым документальным свидетельством пространственной изменчивости магнитного

¹ По всей вероятности, изобретение Перегриня осталось “бумажным”. Косвенным образом это подтверждает градуирование компасной картушки. Перегрин предлагал использовать для этой цели восходящую к арабским источникам двенадцатиричную (градусную) систему, тогда как картушки реальных компасов, применявшихся моряками европейских стран, вплоть до XV–XVI веков градуировались в румбах (см. ниже).

² По-видимому, первым сомнения в приоритете Джойя высказал итальянский историк Т. Бертелли [Bertelli, 1903].

склонения. По словам Б.М. Яновского [1964, с.10], “...с этого времени, собственно говоря, и начинается наука о земном магнетизме”.

Комментируя открытие Колумба, нужно подчеркнуть, что оно относится к пространственной изменчивости магнитного склонения, а не к самому склонению, как таковому. О несовпадении направлений на астрономический и магнитный север в отдельных пунктах было известно задолго до плаваний в Новый Свет. У. Паркинсон [1986] полагает, что англичанин Роджер Бэкон знал о таких несовпадениях еще в 1266 г.

Интересно отметить также, что с точки зрения условий эксперимента маршрут Колумба был далеко не оптимален. В центральной Атлантике аномалия склонения в XV веке не превосходила 15° (примерно 1.5 румба), тогда как в районе мыса Доброй Надежды, открытого в 1486 г. португальцем Бартоломео Диасом, она достигала 25° . При всем несовершенстве навигационной техники того времени трудно предположить, что опытейшие португальские мореплаватели “не заметили” этого явления. Скорее всего, его сочли возможным (или необходимым) сохранить в тайне от конкурентов.

1.3. Геомагнитные измерения XVI века

Хотя ни один из судовых журналов Колумба в XV–XVI веках не публиковался, прикладное значение его открытия для морской навигации современники осознали удивительно быстро. Пространственную изменчивость склонения в Европе выявил викарий собора Св. Себастьяна из Нюрнберга Георг Хартман, произведя в 1510 г. измерения в Нюрнберге. В последующие десятилетия ее подтвердили измерения Иоганна Георга Танштеттера в Вене (1520 г.), Петруса Апинуса в Баварии (1524 г.), Франсиско Криго в Дьеппе (1534 г.), Мауро во Флоренции (1537 г.), Педро Нуньеса в Лиссабоне (1538 г.), Георга Ретикуса в Данциге (1539 г.) и др. [Hellmann, 1889]. Найденные ими значения склонения варьировали от 4° до 13° в.д.

Гораздо позднее было осознано мировоззренческое значение открытия Колумба, как прямого указания на несостоятельность общепринятых в те времена “антинаучных” представлений о притяжении компасной стрелки Полярной звездой. Приписываемую Колумбу гипотезу о кратковременных смещениях Полярной звезды вряд ли стоит принимать всерьез из-за отсутствия астрономических подтверждений, а главное, из-за повторяемости этого удивительного явления во всех плаваниях через Атлантику. Поскольку в незнании астрономии, равно как и в отсутствии здравого смысла, Колумба заподозрить трудно, разумно предположить, что, так называемая, гипотеза была выдвинута лишь для успокоения бунтующего экипажа¹.

Для упрощения технологии определений склонения на море аптекарь из Севильи Филипп Гуиллен предложил совместить компас с солнечными часами, что позволяло находить полуденный магнитный азимут, не прибегая к астрономическим наблюдениям. Сконструированный на основе этого предложения прибор Гуиллен в 1525 г. подарил португальскому королю Жоао Третьему. Впоследствии Педро Нуньес усовершенствовал прибор Гуиллена, снабдив его устройством для определения высоты Солнца [*Chapman, Bartels, 1940*].

В 1535 г. увидело свет первое наставление по определению магнитного склонения на море. Автором этого выдающегося произведения был португалец Франсиско Фалеро, изложивший в нем два способа вычисления склонения: по магнитному пеленгу Солнца в истинный полдень и по двум пеленгам, отвечавшим равновысотным положениям светила, в част-

¹ Н.В. Куланин [1991; с.48] придерживается на этот счет противоположной точки зрения, считая, что “... примат правильности ориентации магнитной стрелки над правильностью положения Полярной звезды утверждается здесь (в судовых журналах Колумба) не столько потому, что первое необходимо для успешного плавания, но, скорее, под влиянием по меньшей мере двухвекового опыта навигации с опорой на магнитные азимуты”. На мой взгляд, примат астрономических определений неоспорим, хотя бы потому, что их применение в навигационной практике восходит к временам античности.

ности, по пеленгам в моменты восхода и захода Солнца. Второй способ, не требующий точного определения времени пеленгации, оказался наиболее практичным и прочно укоренился в навигационной практике. Почти два века спустя измерения по способу Фалеро производил англичанин Эдмунд Галлей в своей знаменитой экспедиции на судне “Перамур Пинк” (1700 г.), а еще столетием позже этот способ применялся в первой русской кругосветной экспедиции И.Ф.Крузенштерна и Ю.Ф.Лисянского на шлюпах “Надежда” и “Нева”.

В наставлении Фалеро содержалась также блестящая догадка, предвосхитившая открытие наклона дипольной магнитной оси Земли. Зная, что склонение на меридиане Азорских островов близко к нулю, Фалеро утверждал, что оно близко к нулю и на противоположном меридиане и достигает максимумов на расстоянии 90° между ними [Паркинсон, 1986]. По свидетельству Ю.Д.Калинина [1984, с.63], задачей определения положения магнитного полюса по измерениям склонения в двух точках в конце XVI века занимался также знаменитый фламандский картограф Герхард Меркатор.

В 1538–1541 гг. соотечественник Фалеро Жоао де Кастро тщательно исследовал метрологические характеристики прибора Нуньеса и выполнил с его помощью первую серию систематических морских измерений склонения в 43-х пунктах во время плавания к западным берегам Индостана и в Красное море [Hellmann, 1889]. Резко усилился интерес к производству компасов. Ведущая роль здесь, по-видимому, принадлежала испанцам и португальцам. Технологии изготовления стрелок для магнитных измерений был посвящен специальный трактат Педро де Медина “Arte de Nauegar”, изданный в Вальядолиде в 1561 г. [Калашиников, 1956].

Установленные в XVI веке факты изменения склонения в Атлантике от восточного у побережий Европы до нулевого – в районе Азорских островов и западного вблизи Америки привели к тривиальной, но, как выяснилось впоследствии, ошибочной мысли о совпадении линий равного склонения с меридианами. Тем не менее она стимулировала дальнейшие исследования, так как открывала перспективы решения труднейшей навигационной задачи – определения долготы места. По свидетельству У. Паркинсона [1986, с.440], это предложение активно поддерживал знаменитый английский мореплаватель Себастьян Кабот.

Из других событий XVI века необходимо упомянуть создание первой из дошедших до нас карт магнитного склонения на море. Ее составил в 1550 г. испанец Алонсо де Санта Крус на основании информации, которая “... была собрана испанскими и португальскими моряками, и охранялась так же строго, как секреты торговых операций” [Паркинсон, 1986; с.441].

В России первые определения склонения в Холмогорах, устье Печоры, на островах Вайгач и Новая Земля были произведены в 1556–1557 гг. английскими моряками под командованием Стефана Борроу, искавшими в то время кратчайший путь северным морем в Китай [Поморцев, 1900]. По-видимому, именно от англичан русские поморы узнали о земном магнетизме и, в свою очередь, положили начало отечественному магнитному приборостроению, создав “матку” – не имевший зарубежных аналогов компас с костяной картушкой. Первые магнитные измерения в Астрахани и Дербенте относятся к 1580 г. [Вейнберг, 1929].

В том же 1580 г. англичане Роберт Норман и Уильям Борроу произвели определение склонения в Лондоне и нашли, что оно составляет $+11,3^\circ$. Годом позже (по другим данным – в 1585 г.) Борроу опубликовал специальный трактат “A Discours of the Variation”, в котором тщательно исследовал погрешности этого определения и, по-видимому, первым обратил внимание на зависимость периодических изменений склонения от высоты Солнца [Поморцев, 1900, с.98].

1.4. Измерения склонения в XVII-XVIII веках. Открытие вековых и суточных вариаций склонения

Рубеж XVI–XVII веков ознаменовала публикация в 1600 г. трактата придворного врача английской королевы Елизаветы I Уильяма Гильберта “De Magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure” – первой научной теории земного магнетизма, развитой не умозрительно, а на основании прямых экспериментов с однородно намагниченными шарами – терреллами [Гильберт, 1956]. Уподобление Земли однородно намагниченному шару лишило учение о земном магнетизме всякого налета мистицизма и стало прочным фундаментом для последующих исследований и обобщений. По авторитетному мнению А.Н. Крылова [1947а, с.11]: “Насколько он опередил свое время, ... можно видеть по тому, что в это учение в течение почти двух столетий не было прибавлено почти ничего существенного, чего не было бы в книге Гильберта и что не являлось бы или повторением, или развитием сделанного им”.

Натурные эксперименты Гильберта на рудниках привели его к выводу, что “...железная игла рыскает и ищет железные жилы в коях”. По всей вероятности, это первое указание на возможность применения магнитного метода при поисках железных руд, а в более широком плане – на возможность геологического истолкования магнитных наблюдений. Уже в середине XVII века магнитопоисковые идеи Гильберта были подтверждены производственной практикой, благодаря изобретению горным советником Д.Тиласом шведского рудничного компаса и успешному его применению для обнаружения залежей железных руд в Южной Швеции.

К немногочисленным заблуждениям Гильберта следует отнести истолкование пространственной изменчивости магнитного склонения, причины которой он связывал с притяжением континентов. Единодушно констатируя ошибочность этого утверждения, историки науки, как мне кажется, упускают из вида содержащееся в ней рациональное зерно, а именно – тезис об отражении структурной неоднородности лика Земли в неоднородности геомагнитного поля, возрожденный полтора века спустя М.В.Ломоносовым и воплощенный в конкретные исследования лишь в XX веке. Во всяком случае, публикация “De Magnete” блестяще подтвердила практичность хороших теорий, оказав мощное стимулирующее влияние на развитие магнитологии и морской магнитометрии, расширение географии исследований, систематизацию и теоретическое осмысление результатов геомагнитных наблюдений.

О внимании к систематизации магнитометрической информации свидетельствует издание в 1620 г. карты магнитного склонения в Средиземноморье. Ее составил миланец Христофоро Борри, обобщивший многочисленные и многолетние наблюдения в этом регионе. Огромную работу проделал немецкий естествоиспытатель Атанасиус Кирхер – автор первого Мирового магнитного каталога, включавшего в себя свыше 500 определений склонения на море, в том числе, данные экспедиций, снаряженных в 1594–1598 гг. герцогом Маврикием Оранским и измерения адмирала де Белье, выполненные в 20-е годы XVII века в плаваниях из Европы в Ост-Индию [Вейнберг, 1937]. Труд Кирхера под названием “Magnes sive de arta magnetica” был опубликован в Риме в 1654 г. Тремя годами позднее Эдвард Райт опубликовал еще один каталог, содержащий 287 морских определений склонения [Иванов, 1966].

Этапным событием XVII века стали исследования английского астронома Генри Геллибранда. Сопоставляя три измерения склонения в Лондоне – Нормана и Борроу 16 октября 1580 г. ($D=+11,3^\circ$), Э. Гюнтера 13 июня 1622 г. ($D=+6,0^\circ$) и собственное измерение 16 июня 1634 г. ($D=+4,1^\circ$) – он пришел к выводу о существовании вековой вариации склонения. Датой открытия последней принято считать 1635 г., когда увидела свет работа Геллибранда “A discourse mathematical on the variation of the magnetic needle”. Сомнения на этот счет высказаны в работе [Калашиников, 1956], где со ссылкой на статью [Olczak, 1955] указывается, что

польские естествоиспытатели Петр Крюгер и Ян Гевелий, наблюдая в течение многих лет склонение в Гданьске, обнаружили его вековые изменения еще в 1628 г. Проверить это предположение, к сожалению, чрезвычайно трудно, поскольку Гевелий сообщил о своем открытии секретарю Королевского общества в Лондоне Генри Ольденбургу только в 1670 г.

Суточные вариации склонения через сто лет после Борроу наблюдал француз Гюи Ташар в Сиаме в 1682 г., однако и его наблюдения долгое время оставались неизвестными [Розе и др., 1934]. В 1722 г. суточные вариации в очередной раз были “переоткрыты” Дж. Грэхемом в Лондоне и А. Цельсиусом в Упсале, а четверть века спустя ассистент Цельсиуса Олаф Хиортер впервые обратил внимание на синхронность максимальных компасных возмущений с полярными сияниями [Паркинсон, 1986, с.443].

Важный вклад в изучение склонения на море внес знаменитый английский астроном Эдмунд Галлей, – организатор первых специализированных магнитных экспедиций на судне “Перамур Пинк” в Атлантику, осуществленных в 1698–1700 гг. [Chapman, 1943; Stern, 2002]. Во время этих плаваний Галлей, следуя рекомендациям Фалеро, определял склонение по пеленгам Солнца в моменты его восхода и захода и достиг весьма высокой точности. По ретроспективным оценкам Л.Бауера [Bauer, 1896, 1913] погрешности измерений на “Перамур Пинк” не превосходили $\pm 0,5-1,0^\circ$.

Измерения Галлея окончательно подтвердили ошибочность представлений Гильберта о магнитном притяжении континентов. Однако наиболее известным и несомненно важнейшим итогом плаваний на “Перамур Пинк” стало предложенное Галлеем универсальное решение проблемы графического изображения результатов геофизических съемок – изобретение способа изолиний. Он применил этот способ для составления карты изогон (линий равного склонения) в Атлантике (1700 г.), а затем и первой мировой карты изогон (1702 г.), положившим начало морской магнитной картографии¹.

В течение XVIII века морские магнитные исследования проводились в прогрессирующих масштабах. Магнитное склонение измерялось в кругосветных плаваниях англичан Вуда Роджерса (1708–1810 гг.), Джорджа Ансона (1740–1742 гг.), Джона Байрона (1762–1764 гг.) и Самюэля Уоллиса (1766–1768 гг.), голландца Якоба Роггевена (1721–1723 гг.), француза Луи-Антуана Бугенвилля (1766–1769 гг.) и многих других экспедициях. О размахе съемочных работ свидетельствует тот факт, что уже к середине века У.Маунтайну и Дж.Додсону [Mountaine, Dodson, 1757] удалось составить каталог усредненных по сетке $5^\circ \times 5^\circ$ значений склонения в Атлантическом и Индийском океанах, обобщивший наблюдения примерно в 50 000 пунктах². В последующие годы большой объем магнитных измерений в малоизученных районах южного полушария был выполнен в экспедициях Британского адмиралтейства на судах “Эндивур” (1768–1771 гг.), “Резолюшн” и “Адвенчер” (1772–1775 гг.), “Резолюшн” и “Дискавери” (1776–1779 гг.) под командованием капитана Джеймса Кука [Bloxham, Gubbins, 1985].

1.5. Начало геомагнитных исследований в России

В России осуществление первых морских и сухопутных экспедиций, снаряжаемых на правительственные средства, связано с реформаторской деятельностью Петра Первого. В 1711 г. немецкий философ и математик Готфрид Лейбниц в беседах с русским Императором и письмах, касавшихся распространения знаний в России, обратил внимание Петра на важность гидрографического и магнитного изучения акваторий внутренних и окраинных морей [Ильина, 1986]. Ему же принадлежит идея регулярной магнитной службы страны. Как писал впоследствии А.Я.Купфер: “Лейбниц первый признал важность магнитных исследований в

¹ На ранее изданных картах до Санта Круса, Борри и др. информация о склонении наносилась в цифровой форме [Hellmann, 1909], а на средневековых портуланах – в виде сетки навигационных линий [Куланин, 1991].

² По мнению М.М.Иванова [1966], эта цифра представляется сомнительной.

России и, когда Петр Великий советовался с ним о средствах, необходимых для того, чтобы Россия могла пользоваться благоденствиями европейской цивилизации, то между другими предложениями, представленными им великому монарху, он предложил также создать сеть магнитных обсерваторий на всем протяжении империи” [Пасецкий, 1984, с.50].

Воплощая рекомендации Лейбница в жизнь, промерные работы и определения склонения у западных берегов Каспийского моря в 1717–1720 гг. проводил Федор Соймонов – автор первого гидрографического атласа этого моря (1731 г.), составленного им на основании собственных наблюдений и материалов Восточно-Каспийской экспедиции А.Бековича-Черкасского. В 1734 г. Соймонов издал гидрографический атлас Балтийского моря.

Дальнейшая карьера основоположника русской гидрографии, к сожалению, традиционна для отечественной истории. После обвинений в антиправительственном заговоре, казни и ссылки Соймонова в 1742 г. признали невиновным. В 1757 г. он занял высокий пост генерал-губернатора Сибири и был инициатором ряда экспедиций по исследованию побережий Северного Ледовитого и Тихого океанов.

Достойный вклад в дело изучения магнитного поля этих побережий внесли “птенцы гнезда петрова” – участники Великой северной экспедиции 1733–1743 гг.: Витус Беринг, Дмитрий и Харитон Лаптевы, Степан Малыгин, Федор Минин, Дмитрий Овцын, Василий Прончищев, Георг Стеллер, Семен Челюскин, Алексей Чириков и др. Благодаря их усилиям были произведены первые определения магнитного склонения в устьях сибирских рек, в Беринговом проливе, на Камчатке и острове Кадьяк у берегов Аляски. Результаты наблюдений Камчатской экспедиции Беринга были опубликованы полтора века спустя в отчете Береговой и Геодезической службы США в связи с изучением вековых изменений склонения в этом регионе [Schott, 1892].

В 1759 г. М.В.Ломоносов в трактате “Рассуждение о большей точности морского пути” не только высказал ряд соображений по усовершенствованию конструкции компасов – применению самописцев для регистрации рысканья судна по курсу [Калашиников, 1950], – но и пришел к смелому заключению, что геомагнитное поле порождает множество разноориентированных мельчайших магнитов, в совокупности образующих неоднородно намагниченный шар. “Итак, – писал Ломоносов – положим, что Земля магнит из разных великих частей разной доброты составленной, или из многих магнитов разной силы в один сложенной, которые по своему положению и крепости сил действуют; то необходимо следует, что на ней по разности мест должно быть разное магнитной стрелки склонение” [Ломоносов, 1955]. Таким образом, идея Гильберта о магнитной неоднородности земных недр приобрела у Ломоносова гораздо более современное звучание. Понадобилось однако еще почти 150 лет для того, чтобы эта неоднородность стала предметом целенаправленных научных исследований¹.

В 1785–1793 гг. работы по геомагнитному изучению северо-восточных берегов Сибири и Алеутских островов продолжила экспедиция, возглавляемая Иосифом Биллингсом и Гавриилом Сарычевым.

Наряду с морскими исследованиями в течение XVIII века Российской Академией наук был организован ряд сухопутных, так называемых, “физических” экспедиций в различные районы страны, включая Сибирь, Европейский север, Урал, Поволжье и Кавказ. Из полученных ими результатов выделим измерения магнитного склонения в Центральной России, выполненные в 1783 г. П.Б.Иноходцевым [1785]. Они привели к открытию уникальной маг-

¹ То, что представления Ломоносова опережали свою эпоху легко уяснить, сравнивая их с взглядами современников, например, итальянца Джиницели, считавшего, что “компас притягивается большими холмами массивного железняка на северном полюсе” [Паркинсон, 1986, с.220]. Как тут не вспомнить средневековые легенды о странах гиперборейских, где “есть такие магнитные скалы, приближение к которым губительно для судов с железными креплениями: они либо притягиваются скалами, либо из обшивки выдираются гвозди и суда гибнут”. По мнению А.Н.Крылова [1947а, с.7], из такого рода легенд проистекала традиция предков Ломоносова строить поморские шитики, не прибегая к железным креплениям.

нитной аномалии, за которой после многократных “переоткрытий” закрепилось название Курской [Малинина, 1978].

1.6. Измерения магнитного склонения в XIX веке

К числу наиболее важных событий последней четверти XVIII века следует отнести работы Шарля Кулона – изобретение способа относительных измерений напряженности магнитного поля и открытие основного закона магнитостатики. Эпоха изучения земного магнетизма исключительно по угловым элементам поля – наклонению и склонению – закончилась. Начался медленный, но неуклонный рост экспериментальных исследований, направленных на изучение силовых элементов. Тем не менее, еще в течение ста с лишним лет магнитное склонение продолжало оставаться основной измеряемой величиной и основным источником информации о пространственно-временной структуре магнитного поля Земли [Ильина, 1986; Гордин, 1997].

Начало XIX века ознаменовало резкое расширение географии как сухопутных, так и морских магнитных исследований. В 1799–1804 гг. выдающийся немецкий естествоиспытатель Александр Гумбольдт предпринял крупную экспедицию в малоизученные районы Южной Америки, во время которой произвел измерения трех элементов земного магнетизма относительно базового пункта Макуипампа (Перу), расположенного на магнитном экваторе. Спустя четверть века (1828–1830 гг.) дефицит сведений о магнитном поле внутренних районов Сибири восполнила экспедиция, руководимая директором обсерватории в Христиании Х.Ганстиным. Два ее отряда под началом лейтенанта норвежского флота К.Дуэ и немецкого магнитолога А.Эрмана посетили Томск, Обдорск, Красноярск, Енисейск, Туруханск, Иркутск, Вилюйск, Якутск, Киренск, Олекминск и другие города Сибири, выполнив за два года работы по измерению склонения в 430-ти пунктах [Erman, 1841; Hansteen, Due, 1863]. К этому же времени относятся первые измерения магнитного склонения в Центральной Азии. Их произвели астроном Г.Фусс и наблюдатель А.Бунге, которые были прикомандированы к русской дипломатической миссии, следовавшей в 1830–1832 гг. из Сибири в Бейпин [Фусс, 1838].

Ведущая роль в морских магнитных исследованиях принадлежала морякам великих морских держав: англичанам, французам и нашим соотечественникам – участникам многочисленных кругосветных, полукругосветных и полярных экспедиций. “В первое тридцатилетие XIX века Россия – по словам Пасецкого [1984, с.68] – пережила своего рода географический взрыв, который оказал заметное влияние на развитие наук о Земле, прежде всего, геофизики”.

Провозвестницей этого взрыва стала кругосветная экспедиция на шлюпах “Надежда” и “Нева” под командованием И.Ф.Крузенштерна и Ю.Ф.Лисянского (1803–1806 гг.). Измерявшиеся во время похода и в портах Нагасаки и Петропавловск-Камчатский значения магнитного склонения вошли затем в Мировой каталог Ганстина [Hansteen, 1819].

Аналогичные измерения производились в кругосветных плаваниях В.М.Головнина на шлюпах “Диана” (1807–1809 гг.) и “Камчатка” (1817–1819 гг.), М.П.Лазарева на “Суворове” (1813–1816 гг.), О.Е.Коцебу на бриге “Рюрик” (1815–1818 гг.), Л.В.Гагенмайстера на “Кутузове”, М.Н.Васильева и Г.С.Шишмарева на шлюпах “Открытие” и “Благонамеренный” (1819–1821 гг.). В инструкции капитан-лейтенанту Васильеву тогдашний морской министр адмирал И.И.Траверсе писал: “По физической части путешественники обязаны делать наблюдения до сего предмета касающиеся, к числу коих относится изменение компаса. Любопытно было бы испытать магнитную силу в тех пунктах, где есть наибольшее и наименьшее склонение магнитной стрелки” [Лазарев, 1950, с.80].

В плавании Ф.Ф.Беллинсгаузена и М.П.Лазарева на шлюпах “Восток” и “Мирный” (1818–1821 гг.) участвовал профессор Казанского университета И.М.Симонов, который осуществил первые определения магнитного склонения у берегов Антарктиды и составил

затем подробное описание всех астрономических и физических наблюдений этой экспедиции [Симонов, 1828].

В 1820–1824 гг. усилиями лейтенантов (будущих адмиралов) русского флота Ф.П.Литке, Ф.П.Врангеля и П.Ф.Анжу были начаты систематические гидрографические и геофизические исследования в Арктике. Экспедиционный отряд, работавший на бриге “Новая Земля” в Белом и Баренцевом морях возглавлял Литке. Несмотря на сложные погодные условия, ему удалось провести необходимые астрономические и магнитные измерения и определить склонение в Архангельске, Мурманске, районе острова Олений, в устьях рек Харловка и Теребинка и в проливе Маточкин Шар. Магнитные съемки отрядов Врангеля и Анжу дали ценную информацию о склонении у северо-восточных берегов Сибири между устьями рек Оленек, Индигирка и Колыма, в море Лаптевых, на Новосибирских и Медвежьих островах.

В 1828–1832 гг. исследования в Белом море возобновила экспедиция Гидрографического департамента, возглавляемая будущим директором этого департамента – М.Ф.Рейнеке. В результате проведенных работ был составлен “Атлас Белого моря и Лапландского берега”, включавший в себя подробные гидрографические описания побережий и систематизированные данные о магнитном склонении [Рейнеке, 1836]. В методическом плане важным итогом Беломорской экспедиции стало “Наставление для делания метеорологических наблюдений в военных портах и об исправлении погрешностей корабельных компасов”, опубликованное Рейнеке сначала в Санкт-Петербурге [Рейнеке, 1843], а затем в Англии и во Франции. В 1832–1838 гг. сведения о магнитном склонении в районе архипелага Новая Земля были уточнены экспедициями П.К.Пахтусова и А.К.Циволько, закончившимися, к сожалению, трагической гибелью обоих исследователей [Ильина, 1986].

Всего за первую треть XIX века русские моряки 26 раз обогнули земной шар, собрали обширную океанографическую, метеорологическую и геофизическую информацию и внесли тем самым весомый вклад в дело изучения Мирового океана. Непреходящую ценность имели данные, относящиеся к тихоокеанскому региону, особенно, к его редко посещавшимся ранее южному и северо-западному секторам.

Из других исследований этого периода упомянем французские океанографические экспедиции Фрейсине и Араго на “Урании” (1817–1820 гг.), Дюперре на судне “Кокий” (1822–1825 гг.), Дюмон д’Юрвиля на “Астролябе” (1826–1829 гг.). В 1833 г. была издана мировая карта изогон Барлоу, которая вместе с картами изоклин Хорнера и изодинам Сэбина стала основой для создания общей теории земного магнетизма К.Гаусса, а еще год спустя в 1834 г. по инициативе Гумбольдта, Гаусса и Вебера было учреждено первое международное сотрудничество магнитологов разных стран – Геттингенский Магнитный Союз (Magnetischer Verein).

Важной вехой в дальнейшем изучении пространственно-временной изменчивости геомагнитного поля стал состоявшийся в октябре 1839 г. конгресс Магнитного Союза, который наметил обширную программу морских и синхронных обсерваторских наблюдений. Было условлено, что аппаратное обеспечение и методика наблюдений должны быть единообразными; достигнута договоренность о регулярном обмене научной информацией.

Геттингенский конгресс рассмотрел и одобрил программу британской антарктической экспедиции, в задачу которой входило “... разыскание на счет положения магнитного полюса южного полушария и выяснение всего того, что может касаться теории земного магнетизма” [Пасецкий, 1984, с.102]. Экспедиция была осуществлена в 1839–1843 гг. на судах “Эребус” и “Террор” под командованием Дж. Росса. Одновременно с ней в антарктических водах работала американская экспедиция на судне “Винсент”, возглавляемая лейтенантом Ч.Уилксом [Ennis, 1935], а в 1845 г. эти работы продолжили англичане Мур и Клерк на судне “Пагода”.

Ценную информацию о магнитном склонении в малоизученных районах Мирового океана удалось получить в двух кругосветных экспедициях: шведской (1851 – 1853 гг.) на

судне “Евгения” и австрийской (1857–1859 гг.) на фрегате “Новара” [Пасальский, 1901]. Материалы последней из них содержали результаты магнитных измерений на 15 береговых станциях и в 370 морских пунктах. В 1855–1860 гг. мичман Русского флота И.Диков произвел первую магнитную съемку в северной части Черного моря, которая привела к открытию Одесской аномалии магнитного склонения с амплитудой порядка $6-7^\circ$ [Диков, 1861, 1863].

Огромную работу по систематизации морских магнитных наблюдений, выполненных за период 1820–1870 гг., проделал британский гидрограф адмирал Эдвард Себин. В опубликованных им в течение многих лет под общим названием “Contribution to terrestrial magnetism” каталогах содержалось свыше 3000 определений склонения [Sabine, 1849-1877].

В последующие десятилетия магнитная изученность Мирового океана росла как за счет отдельных измерений, производившихся штурманами торговых и военных флотов, так и благодаря работе специализированных океанографических экспедиций. В числе наиболее значительных из них плавания: Уайвилла Томсона на “Челленджере” (1872–1876 гг.), Шлейница на “Газелле” (1874–1876 гг.), Баркера на “Энтерпрайзе” (1883–1886 гг.), Крика на “Пингвине” (1890–1893 гг.), Креха и Шотта на “Вальдивии” (1898–1899 гг.). Упомянем кроме того магнитные наблюдения известного русского гидрографа А.И.Варнека, произведенные в 1883–86 гг. в кругосветном плавании на клипере “Опричник” [Варнеке, 1887].

Особое внимание в 70–90-х гг. XIX века уделялось изучению магнитного поля побережий и акваторий внутренних и окраинных морей. В многочисленных публикациях сообщалось о результатах магнитных съемок у берегов Северной Европы: в Великобритании [Evans, 1872], в западной Лапландии [Forschman, 1871], в Северном море и на его берегах [Schück, 1886; 1893; Eschenhagen, 1888; Duderstedt, 1889], на Балтике в районе о-ва Борнхольм [Hammer, 1893; Paulsen, 1896] и многих других. Столь же многочисленными были сообщения о магнитных измерениях в Средиземноморье [Kersten, 1874; Müller, 1874; Bernardiere, 1879; Lephay, 1890; Duderstedt, 1892; и др.]. Магнитные карты изогон для западной части Средиземного моря опубликовал директор Парижской обсерватории Т.Муро [Moureaux, 1888].

Усилия русских моряков были также направлены на изучение акваторий омывающих Россию морей. В 1875–1882 гг. сведения о магнитном поле восточной части Балтийского моря дополнили наблюдения Н.Пущина [1884]. Затем их продолжили П.Шубин [1888], обследовавший Кронштадтские рейды, и выдающийся русский гидрограф М.Е.Жданко – автор карты изогон Балтийского моря для эпохи 1889 г. При составлении этой карты Жданко, по видимому, впервые в отечественной практике применил технологию полиномиальной (параболической) аппроксимации склонения с коэффициентами, определяемыми методом наименьших квадратов [Жданко, 1890]. Влиянию местных аномалий на определения склонения в прибрежных районах была посвящена работа В.Зарудного [1870].

Магнитные съемки в Азово-Черноморском регионе проводили И.Диков [1876], продолжавший исследования Одесской аномалии, и Э.Майдель [1883, 1890]. По материалам этих и предшествующих наблюдений Дикова Жданко [1891], используя ту же технологию параболической аппроксимации, что и на Балтике, составил карту изогон акваторий Черного и Азовского морей для эпохи 1891 г. Карту изогон Каспийского моря опубликовал М.А.Рыкачев [1885] по материалам магнитных съемок, выполненных им в 1858–1871 гг. и в 1881 г. [Рыкачев, 1883].

Необходимо упомянуть также первую рекогносцировочную магнитную съемку Финляндии – измерения склонения в 70-ти пунктах, произведенные Л.М.Кемцем [Kämptz, 1849], наблюдения А.Оводова во время похода русских войск из Оренбурга в Хиву [Оводов, 1877] и Ф.Шварца на территории современного Узбекистана [Шварц, 1889, 1893]. Благодаря съемке, осуществленной в 1874–1878 гг. доцентом Казанского университета И.Н.Смирновым [Smirnov, 1875, 1880], число пунктов измерения склонения в Европейской России достигло 890, что позволило А.А.Тилло [1883а] составить первую карту изогон для этой территории. Первая карта изогон Восточной Сибири была составлена Ф.Ф.Миллером

[1895] на основании авторских наблюдений, произведенных в 1874–1875 гг. в 50 пунктах в междуречьи Енисея и Яны.

Начатые Г.Фуссом магнитные исследования в Центральной и Восточной Азии продолжил Г.Фритше, возглавлявший в 1867–1875 гг. Пекинскую магнитную обсерваторию. За указанный период ему удалось определить элементы земного магнетизма в 131 пунктах Китая и 84 пунктах Монголии и Манчжурии [Fritsche, 1893]. Из других работ наших соотечественников за рубежами России упомянем также наблюдения Р.Ленца, в Персии [Lenz, 1869].

В 1870 г. капитан-лейтенант И.П.Белавенец, командуя корветом “Варяг”, совершил речное плавание из Санкт-Петербурга в Архангельск по маршруту, примерно совпадающему с магнитным меридианом, и далее вдоль побережья Баренцева моря к Новой Земле. Магнитные измерения производились им на специально оборудованном катере и, будучи приведёнными к эпохе 1830 г., обнаружили вековое увеличение западного склонения, достигавшее 3–4° [Белавенец, 1871]. К аналогичному выводу привела обработка наблюдений, выполненных в 1878–1879 гг. во время русско-шведской полярной экспедиции А.Норденшельда на судне “Вега” [Тилло, 1883б]. В 1889 г. П.Шубин, возглавляя плавание на клипере “Разбойник”, определил склонение в Петропавловске-Камчатском, близ о-ва Беринга и в устье Анадыря и нашёл, что по сравнению с эпохой 1830 г. оно возросло почти на 12° [Шубин, 1892].

Наконец, нужно отметить, что в рассматриваемый период морская магнитная картография обрела государственный статус. Гидрографические и военно-морские ведомства ведущих держав приступили к изданию и регулярному (с периодом 5–10 лет) обновлению мировых магнитных карт. Первой из них была мировая карта изогон, опубликованная в 1858 г. Британским адмиралтейством. Аналогичные карты германского морского ведомства (Seewarte) и Гидрографической службы США увидели свет в 1880–1882 гг. [Колесова, 1985].

1.7. Изучение вариаций магнитного склонения и ретроспективные исследования

К середине XIX века стало окончательно ясно, что изменения склонения геомагнитного поля представляют собой суперпозицию регулярных (периодических) и нерегулярных возмущений в чрезвычайно широком диапазоне частот. Как следствие этого, усилия экспериментаторов были направлены на сокращение дискретности обсерваторских наблюдений. Геттингенская программа предписывала проведение наблюдений через 2 ч. В периоды отдельных магнитных бурь этот период сокращался до 10–20 с, а, начиная с 1847 г., в практику работы магнитных обсерваторий все шире внедрялся способ непрерывной фоторегистрации геомагнитных вариаций [Brooke, 1847-1852].

Обсерваторские данные с длительностью наблюдений в несколько десятилетий стали основой для открытия связи между изменениями интенсивности вариаций склонения и открытым в 1843 г. немецким астрономом-любителем Генрихом Швабом 11-летним циклом солнечной активности. Одним из первых эту связь выявил и описал Ж.Ламон, анализируя ряд наблюдений в Мюнхене с 1784 по 1850 гг. [Lamont, 1851]. Продолжительность цикла по оценке Ламона составляла примерно 10,3 лет; по оценке швейцарского астронома Рудольфа Вольфа – 11,1 лет [Wolf, 1852]. Иной точки зрения на открытие 11-летнего цикла придерживаются Паркинсон [1986; с.446] и Д.Штерн [Stern, 2002], по мнению которых это заслуга Сэбина, обобщившего ряды наблюдений британских обсерваторий в Торонто и Хобарте [Sabine, 1851, 1852].

Примерно в эти же годы был обнаружен сопутствующий солнечным вспышкам эффект 27-дневной повторяемости геомагнитных возмущений. По мнению Чепмена и Бартельса, первым его заметил Дж.Броун [Broun, 1858] и впоследствии подтвердил профессор из Праги К.Хорнштейн. Отечественные авторы [Ильина, 1986; и др.] отдают приоритет Симонову, еще в 1844 г. выделившему “... в общем спектре временных изменений магнитного поля Земли вариацию с периодом 27 дней, существование которой он безошибочно связал с периодом вращения Солнца” [Боронин, 2000; с. 63].

Большое внимание уделялось изучению особенностей протекания солнечно-суточных вариаций. По данным Главной физической обсерватории в Санкт-Петербурге и многих других европейских обсерваторий было установлено, что относительное склонение магнитной стрелки в ночные часы близко к нулю. Максимум восточного склонения достигается около 8 ч утра, максимум западного – в 2 ч дня [Mielberg, 1874]. Было установлено также, что амплитуды суточных вариаций склонения и горизонтальной составляющей поля возрастают по мере приближения к геомагнитным полюсам, тогда как при наблюдениях на одной широте суточный ход склонения, отнесенный к местному времени, практически идентичен.

О влиянии Луны на магнитное склонение было известно еще в XVIII веке [Пасальский, 1901; с.64], однако главная заслуга в изучении вариаций этого типа принадлежит К.Крейлю [Kreil, 1852] и Сэбину [Sabine, 1853]. Первый, анализируя измерения в Милане и Праге, нашел, что лунно-суточные вариации зависят от положения Луны относительно меридиана; второй по наблюдениям в обсерваториях Хобарт, Торонто и на о-ве Св. Елены установил, что они имеют вид двойных максимумов и минимумов, т.е. подобны приливам и отливам. Причины лунно-суточных вариаций Сэбин видел в магнетизме Луны, который либо действует на стрелку непосредственно, либо индуцирует магнетизм в недрах Земли. Морфологию годовых изменения склонения изучал И.Лицнар [Liznar, 1888], обобщивший наблюдения в 17-и обсерваториях северного и 4-х обсерваториях южного полушария.

Обнаруженная еще в 1741 г. Грэхемом и Цельсиусом синхронность начала магнитных бурь была признана далеко не сразу и еще в течение многих десятилетий продолжала оставаться предметом оживленной дискуссии. Эдвард Сэбин [Sabine, 1857], анализируя измерения магнитного склонения в Британских колониальных обсерваториях и экспедиции 1852–1854 гг. на судне “Plover” к мысу Барроу, пришел к выводу, что сила, вызывающая магнитные бури, распространяется практически моментально по всему земному шару, но модифицируется местными влияниями. Сходной точки зрения, по-видимому, придерживался соотечественник Сэбина Бальфур Стюарт. Сравнивая наблюдения в Лондоне (обсерватория Кью) и Лиссабоне, он нашел, что, хотя бури начинаются одновременно, идентичность в их протекании свойственна только горизонтальной составляющей поля [Stewart, 1864]. В изменениях склонения сходств меньше чем различий, а в изменениях вертикальной составляющей поля сходства вообще отсутствуют. Однако в более поздней работе [Stewart, Dogson, 1881] синхронность начала магнитных бурь была подвергнута сомнению. Измерения склонения в обсерваториях Торонто и Кью в 1859–1876 гг. давали основания предполагать, что начальные фазы бурь в Торонто опережают Кью на два часа, а в Праге эти фазы регистрируются часом позже. Пасальский [1901, с.97], ссылаясь на работы Р.Талена и Э.Соландера 1882–1883 гг., отмечал, что попарное сравнение кривых изменений магнитного склонения в Упсале и Павловске, несмотря на общее сходство, обнаруживает много необъяснимых расхождений, а в кривых, записанных в Павловске и Вильгельмсхафене, признаков подобия нет.

Впоследствии нормой в изучении морфологии магнитных бурь становится анализ синхронных записей полученных во многих, нередко значительно удаленных друг от друга обсерваториях. Г.И.Вильд, например, сравнивал записи бури 30.01–1.02.1881 г. в 11 обсерваториях [Wild, 1886]; Г. Адамс и изучал бурю 24–25.06.1885 г. по материалам 17 обсерваторий [Adams, 1892]. “Рекордной” по представительности была работа англичанина У.Эллиса [Ellis, 1893], в которой обсуждались особенности протекания 17 бурь (1882–1889 гг.) по данным 9 обсерваторий в Торонто, Гринвиче, Павловске, Бомбее, Батавии, Пекине, Мельбурне, на о-ве Маврикий и мысе Горн. Найденные им отклонения времени начала этих бурь от средних значений оказались соизмеримыми с погрешностями временной привязки записей магнитографов, т.е. подтверждали справедливость выводов Сэбина.

Первыми экспериментально обнаруженными электромагнитными волнами естественного происхождения стали микропульсации с характерными периодами от одной до двух минут. Их наблюдал Б.Стюарт в обсерватории Кью во время большой магнитной бури с 28 августа по 7 сентября 1859 г. [Stewart, 1861]. Это открытие, связанное, по свидетельству

Яновского [1978, с.463], с попыткой Стюарта повысить чувствительность своего магнитографа, в течение почти трех десятилетий оставалось незамеченным. Лишь в 1896 г. немецкие магнитологи М.Эшенхаген и Ф.Кольрауш вновь зарегистрировали “элементарные волны” магнетизма с периодами от 30 с до 3 мин, причем не только во время бурь, но и в спокойные дни [Eschenhagen, 1896; Kohlrausch, 1896]. Предметом систематических исследований они стали лишь полвека спустя.

К концу XIX века усилился интерес к вековым изменениям земного магнетизма, характер которых наводил на мысль о вращении геомагнитного полюса относительно географического. Попытки воспроизведения этого эффекта с помощью гармонических моделей векового хода приводили, однако, к противоречивым результатам. Как подчеркивал Пасальский [1901, с.68], для периода обращения полюса по данным разных обсерваторий получали “чрезвычайно несогласные оценки”, варьирующие от 420 [Weyer, 1890] до 1855 лет. Последняя величина была получена Л.Бауэром [Bauer, 1895] на основании анализа пересечений агонической линии, т.е. линии нулевого магнитного склонения, с географическим экватором. Соответствующая ей оценка скорости обращения (западного дрейфа) составляла 0,194 град/год.

Более удобными для приведения магнитных наблюдений к одной эпохе оказались линейные или параболические модели векового хода на временных интервалах длиной не менее 20–50 лет. Такие модели удалось построить для многих обсерваторий. Максимальной по длительности была параболическая модель изменений склонения в Берлине, охватывающая интервал с 1730 по 1870 гг. [Erman, 1869].

Осознание важности изучения вековых изменений элементов земного магнетизма побудило исследователей обратиться к старым инструментальным измерениям склонения. В этой связи следует назвать работы американца Ч.Шотта [Schott, 1889; 1897] и голландца Д.Ван-Беммелена [Bemmelen, 1893, 1899]. Первый из них исследовал изменчивость положения агонической линии в Северной Атлантике и Америке за период с 1500 по 1900 гг.; второй – обратился к судовым журналам, хранящимся в морских архивах Гааги, и составил каталог, в котором содержалось свыше 1000 определений склонения на море в XVII–XVIII веках (1611–1775 гг.). Построенные Ван-Беммеленом карты изогон для эпох 1600, 1650, 1700, 1750, 1800 и 1850 гг. легли в основу первой ретроспективной серии моделей сферического гармонического анализа, освещавших вековые изменения геомагнитного поля с 1500 до 1900 гг. с экстраполяцией на 1915 г. Ее рассчитал и опубликовал русский магнитолог Г.Фритше [Fritsche, 1900].

1.8. Девиация магнитного компаса и влияние морского волнения на его показания

Специального обсуждения заслуживает основная метрологическая проблема измерений склонения на море – исследование и устранение девиации, т.е. влияния судового железа на показания компасов. Она возникла в конце XVIII века связи с усилением пушечного вооружения парусных судов и применением на них железных креплений. В 1793 г. Императорская Академия наук в Санкт-Петербурге объявила конкурсную “магнито-географическую задачу”, решая которую Х.А.Кратценштерн [1801], пришел к выводу, что пушки, якорное железо и другое имущество могут вносить в показания компасов ошибки до 20°.

По-видимому, первую попытку учета девиации компаса предпринял капитан Британского флота Майкл Флиндерс, производивший в 1801–1802 гг. магнитные измерения на судне “Инвестигэйтор” у берегов Новой Голландии [Flinders, 1805]. Разброс в значениях склонения, достигавший $\pm 4^\circ$, он объяснял не только изменениями курса, но и наличием у судна некоего магнитного центра притяжения, аналогичного центру тяжести. Таким образом, Флиндерс первым разделил девиацию на мягкую (индуктивную) и жесткую (остаточную) компоненты и чисто эмпирическим путем нашел, что мягкую девиацию можно умень-

шить с помощью брусков из мягкого железа, закрепляемого на нактоузе. По имени изобретателя эти бруски получили название “флиндерс-баров”.

В 1819 г. будущий знаменитый гидрограф и магнитолог Э.Сэбин опубликовал статью о влиянии судового железа на показания компасов на судах “Изабелла” и “Александр” и показал, что девиационные отклонения компасной стрелки пропорциональны косинусу угла между курсом судна и направлением максимальной девиации [Sabine, 1819]. В том же году увидела свет статья капитана У.Скорсби [Scoresby, 1819], который изучал девиацию на судне “Экс” и вслед за Флиндерсом пришел к выводу, что ее можно разделить на две части: погрешность, зависящую от положения компаса относительно магнитного центра притяжения судна, и погрешность, обусловленную изменениями курса. Последняя, по мнению Скорсби, была пропорциональна синусу угла между курсом и магнитным меридианом.

В 1824 г. И.Ф.Крузенштерн определил девиацию на судне “Олимп”. Последующая численная обработка результатов его измерений показала, что поправка за девиацию содержит не только полукруговую, но и четвертную составляющую. Как подчеркивал М.М.Иванов “...появление работ такого типа создало почву для разработки общей теории намагничивания судового железа и общей теории девиации” [Иванов, 1966, с.28].

Создателем общей теории стал французский математик Симон Пуассон. В 1826 г. он опубликовал свою знаменитую работу: “Mémoire sur la théorie du magnétisme”, в которой установил аналитическую связь между силами гравитационного и магнитного притяжения (теорема Пуассона) и дал исчерпывающий анализ магнитной девиации, лежащий в основе всех последующих работ в этой области [Poisson, 1826].

Казалось бы, проблема девиации была решена. В действительности же это решение никак не повлияло на повседневную морскую практику и явилось лишь началом многолетних научных исследований в этой области. Как подчеркивал А.Н.Крылов [1947а, с. 25], “...работа Пуассона оставалась совершенно неизвестной, да и по характеру своего изложения малодоступной мореплавателям”.

Положение изменилось в начале 60-х гг. прошлого века, когда у берегов Ирландии потерпели крушения два пассажирских судна, что привело к большим жертвам. Расследование показало, что едва ли не главной причиной крушений служили погрешности компасов, в связи с чем в 1862 г. Британским адмиралтейством был организован Компасный комитет, в состав которого вошли математик А.Смит и капитан Ф.Дж.Эванс. Составленное ими Адмиралтейское руководство по девиации компаса – “Admiralty Manual of the Deviation of the Compass” – в сущности представляло собой “перевод” теории Пуассона на привычный для моряков язык элементарной тригонометрии и содержало практические удобные формулы, которые в течение почти ста лет служили основанием для учета девиации склонения на судах торговых и военных флотов разных стран [Evans, Smith, 1920]¹.

Для практического изучения девиации в XIX веке применялись два способа: а) сравнение результатов судовых наблюдений с береговыми и введение соответствующих поправок; б) наблюдения склонения на постоянных курсах судна. Первый способ использовал, например, А.Эрман в полукругосветном плавании на корвете “Кроткий” [Erman, 1841]; второй – лейтенант Ч.Уилкс в антарктической экспедиции на “Винсенте” [Ennis, 1935].

В России прогресс в изучения девиации связан с деятельностью капитан-лейтенанта И.П.Белавенца, по проекту которого в Кронштадте была создана специальная Компасная обсерватория. В 1878 г. после смерти Белавенца ее возглавил И.П. Де Колонг, создавший ряд оригинальных приборов, снабженных дефлекторами для уничтожения девиации и разработавшего теорию и способы такого уничтожения. Под руководством де Колонга начинал свою научную деятельность выпускник Морского корпуса и будущий академик А.Н.Крылов.

¹ Интересно отметить, что магнитологи второй половины XX века отказались от “тригонометрического языка” А.Смита. В большинстве работ, посвященных методам аэро- и морских магнитных съемок, проблемы учета девиации носителей излагаются, как правило, с помощью операторных уравнений, возвращающих нас к классическому языку Пуассона.

Его первая научная работа [Крылов, 1887] была посвящена градуировке шкалы дефлектора для компаса с легкой картушкой, сконструированной заведующим мастерской мореходных инструментов при Гидрографическом управлении Штемпелем. По мнению А.Н.Крылова [1947а, с.26], "... благодаря трудам де Колонга, это дело (изучение и уничтожение девиации) в русском флоте стояло выше, нежели в каком бы то ни было другом".

Настоятельная потребность в повышении точности измерений склонения породила проблему устранения влияния корабельной качки на показания компасов. По-видимому первым ее рассмотрел знаменитый английский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин). В работе [Thomson, 1874] он исследовал влияние только бортовой качки и пришел к выводу, что компасные возмущения будут минимальны, если собственный период колебаний картушки намного превосходит период качки. Затем, после трехлетних экспериментов в университете Глазго Томсон создал устойчивый к влиянию качки оригинальный морской компас с легкой картушкой, снабженный компенсаторами полукруговой, четвертной и креновой девиации, и представил его Британскому адмиралтейству.

История внедрения изобретения Томсона в морскую практику может служить красочной иллюстрацией того, что судьбы изобретений во все времена зависели не только от их ценности, но и от многих далеких от самого изобретения обстоятельств. В изложении академика А.Н.Крылова эта история выглядит так: "Адмиралтейство не сочло возможным принять компасы Томсона на суда флота, но допустило к пользованию их капитанами, подобно тому как многие пользуются своим секстаном, а не казенным, и пять лет отклоняло предложение Томсона. Лишь чисто случайное обстоятельство повело к введению их на судах английского военного флота.

В 1882 г. правитель Египта Араби-Паша восстал против султана турецкого, объявил себя независимым и взял под свой контроль Суэцкий канал, большая часть акций которого уже тогда принадлежала английскому правительству. Англия послала свой броненосный флот под командой адмирала Сеймура усмирять Араби-Пашу. Одним из наиболее мощных броненосцев "Inflexible", вооруженным 80-тонными 17-дюймового калибра орудиями, командовал тогда капитан первого ранга Фишер, который во время мировой войны в чине генерал-адмирала (admiral of the fleet) был первым лордом адмиралтейства и направлял все стратегические действия английского флота. Другим таким же кораблем командовал капитан Хозам, впоследствии также полный адмирал. У обоих капитанов были собственные компасы Томсона. Сеймур без всяких дипломатических проволочек разгромил флотом главный оплот Араби – форты Александрии. Араби-Паша покорился, передал Египет во временное управление Англии для установления порядка и обеспечения судоходства по Суэцкому каналу...

В бою с фортами Александрии на обоих кораблях, да и на всех прочих, от сотрясений при стрельбе из громадных орудий все компасы вышли из строя: их картушки ходили вкруговую, ни править по ним, ни определяться было невозможно; лишь компасы Томсона у Фишера и Хозама действовали превосходно, и успех боя в значительной мере зависел от кораблей, которыми они командовали. Они уверенно маневрировали среди отмелей, выбирали близкую дистанцию, с которой стрельба из 80-тонных орудий отличалась удивительной меткостью, а их снарядам не могли противостоять никакие – ни каменные, ни земляные – брустверы.

В своих донесениях и Фишер, и Хозам дали восторженные отзывы о компасах Томсона. Адмиралтейство вынуждено было распустить тот состав компасного комитета, который не признавал компасов Томсона, назначить новый состав комитета под председательством Фишера. Компасы Томсона на основании боевого опыта были немедленно приняты к употреблению на судах английского флота." [Крылов, 1947б, с.169-170].

Таким образом, для того, чтобы убедить чиновников Британского адмиралтейства в пользе компасов У.Томсона пришлось дожидаться восстания Араби-паши и разгромить форты Александрии.

За изобретение компаса королева Виктория даровала У.Томсону звание пэра Англии. Как свидетельствует биограф великого физика Д.Мак-Дональд [1967], в связи с присвоением титула в семейном кругу (вероятно, не слишком серьезно) обсуждалось родовое имя “лорд Компас” и лишь впоследствии предпочтение было отдано имени “лорд Кельвин” по названию реки, на берегу которой стоит университет в Глазго.

1.9. Изучение магнитного склонения в XX веке

В 1902 г. американский миллиардер Эндрю Карнеги пожертвовал значительную сумму на устройство, оборудование и содержание в Вашингтоне специального института для исследования явлений земного магнетизма и электричества. Открытый в 1904 г. Институт Карнеги возглавил известный магнитолог Л.Бауэр – автор замечательной по полноте программы систематического изучения магнитного поля континентов и океанов.

Сухопутная часть программы Карнеги предусматривала проведение магнитных съемок в Африке и Азии, в том числе и на территории России. Это “унизительное” для отечественной магнитологии предложение стимулировало проведение Генеральной магнитной съемки страны силами Главной физической обсерватории в Петербурге, ее филиальных отделений и других научных учреждений России. Полевые работы были начаты в 1910 г. и с небольшими перерывами продолжались до Великой Отечественной войны¹.

В исторической перспективе наиболее значительной была морская часть программы Бауэра. Реализующие ее морские магнитные съемки в 1905–1908 гг. осуществлялись на переоборудованном торговом судне “Галилей”, а затем, начиная с 1909 г., – на специально построенной яхте “Карнеги” и продолжались до 1929 г. – даты гибели этой яхты вблизи берегов Самоа [Fleming, Ault, 1929].

Аппаратурное оснащение “Галилея” было таково, чтобы каждый из трех измеряемых элементов земного магнетизма – склонение, наклонение и горизонтальная составляющая напряженности поля – определялись не менее, чем двумя приборами. Для измерения склонения использовались 8– и 7 5/8– дюймовые компасы с пеленгаторами и дефлекторный магнитометр, постоянные которого вычислялись в начале и в конце рейсов в Вашингтоне и корректировались сличением с показаниями эталонных приборов в портах заходов. Методика съемки, предусматривающая группирование и усреднение единичных измерений, была близка к принятой в магнитных обсерваториях [Иванов, 1966].

На яхте “Карнеги” склонение определялось с помощью компасов с коллимационной системой отсчета. В конструкцию дефлекторного магнитометра было введено приспособление для установки отклоняющих магнитов сверху и снизу от отклоняемых стрелок. В результате этих усовершенствований точность съемки склонения на “Карнеги” в благоприятных погодных условиях достигала $\pm 5-10'$.

Всего за три рейса “Галилея” и шесть рейсов “Карнеги” было произведено около 8500 точечных магнитных измерений, из которых 45,4 % были измерениями склонения. Седьмой рейс “Карнеги” остался незавершенным; большинство данных погибло вместе с яхтой. Спасая их, погиб и возглавлявший рейс капитан Олт.

Морские съемки Института Карнеги были, по-видимому, последними, в которых магнитное склонение оставалась основным измеряемым элементом. В синхронных с ними сухопутных съемках и всех последующих полевых и морских геомагнитных исследованиях пальма первенства прочно перешла к измерениям силовых компонент, а затем модуля напряженности геомагнитного поля. Симптоматично, что среди огромного разнообразия разработанных в XX веке методов интерпретации магнитных аномалий и решения обратных

¹ История проектирования и проведения Генеральной магнитной съемки России будет рассмотрена в следующем очерке.

задач магниторазведки практически отсутствуют методы количественной интерпретации аномалий склонения¹.

Прямой наследницей яхты “Карнеги” стала отечественная маломагнитная шхуна “Заря” – первое и долгое время остававшееся единственным в мире научно-исследовательское судно, предназначенное для непрерывных набортных измерений всех элементов земного магнетизма. Инициаторами его постройки были Н.В.Розе и Н.В.Пушков; бессменным (до середины 70-х гг.) руководителем съемочных работ – М.М.Иванов. Склонение на “Заре” измерялось двумя методами: точечным (абсолютным) и непрерывным (относительным). Абсолютные измерения производились с помощью 127-миллиметрового компаса с пеленгаторами системы Каврайского; относительные – с помощью гирокомпасов “Курс-4” и ориентирующего канала трехкомпонентного феррозондового магнитометра ММП [Иванов, 1966]. Впоследствии использовалась более совершенная схема, предусматривающая измерения вертикальной и солнечной составляющих поля [Алексеев и др., 1968; Фармаковский и др., 1969]. Феррозондовый магниточувствительный элемент был заменён самогенерирующим квантовым магнитометром [Ротштейн и др., 1973]. Погрешности определений склонения на “Заре” детально исследованы в работах [Попкова и др., 1971; Цуцкарев, 1972].

Из других приборов, предназначенных для полевых и обсерваторских измерений склонения нужно упомянуть созданные в ИЗМИРАНе кварцевые D-магнитометры [Бобров, 1968, 1970; Бобров, Бурцев, 1977] и феррозондовый теодолит для измерений угловых элементов земного магнетизма [Бурцев и др., 1984]. Методике и технике измерений были посвящены работы [Шельтинг, 1950; Панов, 1955; Пандул, 1963; Штерев, 1971; Бобров, Бурцев, 1971; Семенов, 1974, 1987; Зайцев, 1982; и др.].

Измерителями склонения являются и разработанные в последнее десятилетие диагностические магнитометры или регистраторы геомагнитной активности [Любимов, Заруцкий, 1996; Зверев и др., 1997]. Первые опыты с ними, проведенные в медицинских клиниках Москвы, Симферополя и Троицка, а также на курортах Крыма и Кавказа, с определенной долей осторожности позволяют надеяться на возрождение интереса к измерениям склонения в связи с изучением патогенных эффектов магнитных бурь, проблемами геоэкологии и магнитовариационного медицинского мониторинга [Любимов и др., 1993; Гурфинкель и др., 1995].

Еще одна проблема, неразрешимая без анализа измерений склонения, – это проблема воссоздания региональной и планетарной пространственно-временной структуры вековых геомагнитных вариаций и приведения магнитных наблюдений к эпохе составления соответствующих карт. Для территории Европейской России эта задача была решена Н.В.Розе и Н.Е.Малининой – авторами карты магнитного склонения эпохи 1925 г. и таблиц вековых изменений склонения на 45-летнем интервале 1880–1925 гг. [Розе, 1925; Малинина, Розе, 1926]. Благодаря проведению Генеральной магнитной съемки число пунктов измерений к эпохе составления этой карты достигло 4700, т.е. более чем в 5 раз превосходило число пунктов, которыми располагал А.А.Тилло [1883а].

На севере Западной Европы особенности протекания вековых вариаций склонения на интервале 1910–1936 гг. изучали Ю.Керанен [Keränen, 1927] и Г. Лjungдаль [Ljungdahl, 1937], в Польше – Э.Сленз и Т.Ольжак [Slenz, Olczak, 1936]. Обобщению материалов запад-

¹ Что касается качественной геологической интерпретации склонения, то такие попытки предпринимались неоднократно и многими авторами. Еще в конце прошлого века Дж.Путнам указывал, что местные возмущения склонения на о-вах Св. Павла и Св. Георгия в Беринговом море обусловлены магнетизмом лав [Putnam, 1898]. Быть может, наибольшей геологической смелостью отличались представления Э.Наумана [Nauman, 1887, 1897], считавшего, что “...электрические движения должны направляться по структуре Земли, подобно тому как световые движения в кристаллах зависят от их структуры. Токи, встречая горные цепи, большие трещины, ведущие к раскаленному ядру, складки, сжатия, разрывы и другие дислокации, должны отклоняться от нормального направления и производить на поверхности магнитные аномалии” [Пасальский, 1901, с.332]. Подтверждение своей гипотезы Науман видел в повсеместном (!) искривлении изогон, наследующих простирание горных цепей.

ноевропейских наблюдений склонения и горизонтальной составляющей поля в форме линейных полиномиальных моделей была посвящена работа А.Шмидта [*Schmidt*, 1919], выявившего изменчивость коэффициентов этих моделей для последовательности эпох 1895, 1905 и 1915 гг. Первую мировую карту скоростей изменения (изопор) склонения для эпохи 1922 г. построил Г.Фиск [*Fisk*, 1931].

Гораздо более сложный (по сравнению с мировой картой Фиска) характер вековых изменений склонения на территории США продемонстрировала серия карт изопор этого элемента земного магнетизма, опубликованная в работе [*Heck*, 1934]. Судя по этим данным, линия нулевых изменений склонения на временном интервале 1785–1900 гг. ориентировалась в направлении север–юг, испытывая в течение первых 90 лет устойчивый западный дрейф со скоростью 0,5 град/год, а в течение последующих 25-ти лет – устойчивый восточный дрейф с еще более высокой скоростью 0,7 град/год. Затем начался разворот этой линии по часовой стрелке и уже к 1920 г. ее субмеридиональная ориентация сменилась на субширотную, а восточный дрейф сменился южным со скоростью порядка 0,2–0,3 град/год.

Основными источниками информации о планетарной динамике вековых геомагнитных вариаций были и остаются ряды обсерваторских наблюдений, прежде всего, наблюдений склонения. Их длительность для многих обсерваторий достаточна для того, чтобы, используя аппарат спектрального анализа, выявлять регулярные вариационные компоненты с периодами 20, 30 и 60 лет [*Филиппов*, 1983; *Калинин*, 1984].

На более длительных временных интервалах главная роль отводится сравнению современных и старых инструментальных наблюдений склонения. Начатую Ч.Шоттом и Д.Ван-Беммеленом работу по систематизации последних в XX веке продолжил профессор Б.П.Вейнберг. Сначала он опубликовал данные, освещавшие изменения склонения в Сибири за период 1820–1918 гг. [*Вейнберг*, 1920, 1923]; затем, составил каталоги магнитных измерений для всей территории СССР и арктических стран [*Вейнберг*, 1929, 1933] и в 1933–1934 гг. приступил к созданию общемирового магнитного каталога данных, приведенных к равноотстоящим точкам (центрам трапеций $10^\circ \times 10^\circ$) и эпохам 1500–1940 гг. с шагом 50 лет. Это грандиозное предприятие прервала гибель Вейнберга в 1942 г. в блокадном Ленинграде. Каталог, обобщавший около 200 000 измерений, увидел свет в на рубеже 60–70 гг. [*Вейнберг*, *Шибяев*, 1969]. К сожалению, его уточнение и дальнейшее пополнение невозможно. Книги, на полях которых Б.П. Вейнберг производил осреднение данных, были возвращены в библиотеки, многие из них впоследствии утрачены и, поскольку авторская библиография пропала, собрать эти книги вновь – задача невыполнимая [*Калинин*, 1984].

Каталог Вейнберга–Шибяева стал основой для изучения вековых вариаций геомагнитного поля не только в региональном, но и в планетарном масштабе. Его эффективность особенно возросла после того, как была разработана технология сферического гармонического анализа (СГА) по данным о магнитном склонении [*Адам и др.*, 1970; *Бенькова и др.*, 1970] и данным о склонении и наклонении [*Брагинский*, *Кулакин*, 1971]. На базе ретроспективных моделей СГА на 500-летнем интервале [*Брагинский*, 1972; *Пушков*, *Чернова*, 1975] удалось уточнить представления о западном дрейфе геомагнитного поля, поставить вопрос о волновой или пульсационной природе этого явления [*Брагинский*, 1974; *Головков и др.*, 1981; *Гордин*, 1989а; и др.].

Дальнейшее расширение доступного исследованиям временного диапазона изменений геомагнитного поля связано с возникновением археомагнетизма [*Бурлацкая*, *Петрова*, 1961; *Бурлацкая*, 1987; и др.]. Благодаря ему появилась возможность выявления особенностей протекания вековых вариаций склонения и других элементов земного магнетизма в течение последних 2-х и более тысяч лет [*Коломийцева*, *Пушков*, 1976; *Брагинский*, *Бурлацкая*, 1979]. На основании палеомагнитных определений наклонения и склонения были построены модели СГА для эпохи Брюнес [*Adam et al.*, 1975] и более отдаленных эпох [*Бенькова и др.*, 1971, 1976].

Не потеряли своего практического значения и методы геомагнитной навигации. Хотя после изобретения гирокомпасов магнитный компас утратил роль основного навигационно-

го инструмента, он является неотъемлемым, а на малых судах нередко единственным элементом современных навигационных систем, практически безотказным в эксплуатации и независимым от других источников навигационной информации. Совершенствованию магнитных компасов, технологии определения с их помощью истинного курса, устранению девиации и т.п. посвящено довольно много работ, в том числе, несколько монографий и методических руководств, изданных в течение XX века [*Heck, Parker, 1923; Vahlen, 1929; Рыбалтовский, 1939; Хлюстин, 1939; Крылов, 1940; Терехов, 1942; Михлин и др., 1976; и др.*].

Как уже упоминалось, расчету сил дефлектора компаса была посвящена первая научная статья выпускника Морского корпуса и будущего академика А.Н.Крылова [1887]. В опубликованной полвека спустя работе [*Крылов, 1938*] знаменитый кораблестроитель вновь обратился к проблемам компасного дела и, развивая идеи лорда Кельвина, исчерпывающим образом проанализировал влияние механических возмущений картушки, возникающих при качке корабля на волнении. Завершая эту неоднократно цитированную выше статью, А.Н.Крылов писал: “Может возникнуть вопрос, стоило ли для исследования такого малого ничтожества как картушка компаса, исписать 50 печатных страниц формулами и уравнениями, не есть ли это упражнение в “стрельбе по воробьям из пушек”.

Но если припомнить сколько кораблей погибло и теперь еще гибнет из-за неправильностей в показаниях компаса или от того, что от качки он перестал действовать, сколько труда затрачено на составление магнитных карт всех морей и океанов, начиная с экспедиций 1701 и 1702 гг. знаменитого Галлея, сколько труда затрачено на создание теории земного магнетизма в течение 25 лет самим “*principem mathematicorum*” Гауссом, какой невероятный труд по громадности вычислений в течение 40 лет затрачен Адамсом на выработку методов составления магнитных карт по наблюдениям в отдельных пунктах; если припомнить, сколько над компасом работал величайший физик XIX века Уильям Томсон (лорд Кельвин) и принять в соображение, что итог всех этих трудов состоит в правильности показаний компаса – то 50 страниц нашей работы представляются ничтожно малою величиною по сравнению с упомянутыми великими трудами”.

Завершающая фраза статьи А.Н.Крылова стала эпитафией этого очерка.

2. ИЗМЕРЕНИЯ НАКЛОНЕНИЯ И СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ (от опытов Перегринна до 30-х гг. XX века)

Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения – есть лучший способ к изысканию правды.

М.В. Ломоносов

2.1. Предварительные замечания

В предыдущем очерке было показано, что открытие и изучение пространственно-временной изменчивости склонения диктовалось прежде всего прагматическими целями морской навигации. Компасным измерениям суждено было стать основой для открытия фундаментальных экспериментальных фактов: существования суточных и вековых геомагнитных вариаций, явления западного дрейфа, отклонений реального геомагнитного поля от поля гильбертова Большого Магнита и т.п.

Измерениям наклона и силовых элементов геомагнитного поля история отвела принципиально иную роль стимулятора формирования основных представлений и создания понятийной базы магнитологии. Это, во-первых, измерения Уильяма Гильберта, ставшие основой учения о земном магнетизме; во-вторых, эксперименты Шарля Огюстена Кулона с крутильными весами, которые привели к открытию основного закона магнитостатики; в-третьих, работы Карла Фридриха Гаусса, положившие начало созданию электромагнитной системы единиц CGSM и глобальному моделированию пространственной структуры геомагнитного поля.

Почетное место в этом славном перечне по праву принадлежит французу Пьеру де Маррикуру, носившему рыцарское имя Петриус Перегрин. В датированном 1269 г. письме о магните – “*Epistola de Magnete*” – он не только предложил конструкцию компаса, совмещенного с морской астролябией, но и описал свои фундаментальные опыты с намагниченными шарами – терреллами (в дословном переводе – землянами). Все комментаторы “*Epistola de Magnete*” [Thompson, 1907; Harradon, 1943; Smith, 1970; и др.] единодушно отмечают, что Перегрин первым ввел в научный обиход понятия северного и южного полюсов магнита и установил, что одноименные полюса отталкиваются, а разноименные притягиваются друг к другу. Таким образом, был сделан начальный шаг к открытию основного закона магнитостатики.

Процесс намагничивания железа Перегрин толковал, опираясь на аристотелев принцип причинности. Природный магнит трактовался им как активное начало, которое ассимилируется пассивным железом и вызывает в нем магнетизм. Эта трактовка сближала позицию Перегринна с идеями его знаменитого современника – Фомы Аквинского (Томаса Аквината), первым осознавшего различие между “истинами разума”, которые подчиняются принципу причинности и являются предметом науки, и свободными от причинных ограничений (постигаемыми только через Веру) религиозными “истинами откровения”.

По мнению В.И.Почтарева и Б.З.Михлина [1986], введение термина “террелла” вместе с утверждением, что “...полюсы магнитных камней получают силу от полюсов Мира” содержат намек на внутриземное происхождение магнитных сил и дают основания считать Перегринна основоположником учения о земном магнетизме. На самом деле это, конечно, не так. Под полюсами Мира Перегрин несомненно имел в виду полюсы небесной сферы. Достаточно вспомнить, что до рождения Николая Коперника оставалось еще более двух веков, и полюсы неподвижной птолемеевой планеты были всего лишь точками, через которые проходила ось Мира.

Выдающееся значение тезиса о полюсах магнитных камней, получающих силу от полюсов Мира, как мне кажется, состояло в ином. Фактически, это афористическая формулировка первой научной концепции магнитологии – концепции притяжения магнитной стрел-

ки Полярной звездой, которая в течение последующих трех веков служила основанием для объяснения первопричин магнитных явлений, а в трудах историков науки советского времени нередко приводилась в качестве примера донаучной или даже антинаучной средневековой схоластики. В действительности такого рода упреки не имели под собой никаких оснований. Напротив, можно смело утверждать, что обсуждаемая концепция удовлетворяла всем требованиям научной теории: толковала не только следствия, но и причины явлений, не противоречила известным к тому времени экспериментальным данным и кроме того полностью отвечала духу и букве главной парадигмы средневекового естествознания – геоцентрической системы Клавдия Птолемея [Гордин, 1997].

Сомнения в справедливости воззрений Перегрини возникли только в XV веке в связи с обнаружением пространственной изменчивости магнитного склонения, а основой для выдвижения альтернативной концепции внутриземного происхождения источников магнитного поля стало открытие магнитного наклонения.

2.2. Открытие наклонения

Большинство историков магнитологии считает, что первые опыты по измерению магнитного наклонения были произведены в середине XVI века викарием храма Св. Себальда в Нюрнберге Георгом Хартманом. Сообщая о них в 1544 г. в письме, адресованном герцогу Альбрехту Прусскому, он указывал, что “...магнит не только стремится стать своею длиною так, чтобы один конец был направлен к северу, а другой - к югу, но и что северный конец стремится уклониться вниз”. Основным инструментом в эксперименте Хартмана служила “стрелка длиною в палец, которая устанавливалась на заостренном стержне так, что нигде не наклонялась к земле, и оба ее конца были совершенно горизонтальны”. При касании одного из концов стрелки постоянным магнитом она “уже не могла стоять горизонтально, а отклонялась вниз на $9^{\circ 1}$ ”.

Приоритет Хартмана оспаривал У. Паркинсон [1986, с.440], подчеркивая, что “...письмо Хартмана не было опубликовано, а величина наклонения той стрелки была настолько меньше его среднего значения в Европе, что этот факт едва ли можно рассматривать как открытие наклонения”. На взгляд автора, доводы Паркинсона не убедительны. Констатация метрологического несовершенства опытов Хартмана не дает никаких оснований сомневаться в однозначности его главного вывода: магнитное наклонение существует и этот факт (вместе с обнаруженными к тому времени аномалиями склонения) вынуждал усомниться в справедливости гипотезы притяжения магнитной стрелки полюсами Мира.

В одном Паркинсон несомненно прав: письмо Хартмана действительно долгое время оставалось неизвестным и первооткрывателем наклонения считался компасный мастер из Лондона Роберт Норман. В 1576 г. он заметил, что тщательно уравновешенные до намагничивания стрелки после намагничивания выходили из положения равновесия, для восстановления которого приходилось использовать дополнительные грузики. Исследуя это явление, Норман совместно с Уильямом Борроу (Borough) в 1580 г. изготовил прибор с вертикальным измерительным кругом и магнитной стрелкой, вращающейся вокруг горизонтальной оси, и нашел, что при совмещении круга с плоскостью магнитного меридиана угол между стрелкой и линией горизонта всегда остается постоянным и составляет $-70^{\circ}50'$. Впоследствии приборы этого типа получили название стрелочных инклинаторов или буссолей наклонения.

По авторитетному мнению академика А.Н. Крылова, главное конструкторское достижение Нормана состояло в “правильном”, т.е. раздельном уравновешении стрелок до и после намагничивания. Потомки, как с присущим ему сарказмом подчеркивал Крылов, “...от практики Нормана раздельного уравновешения механического и магнитного отступили, ста-

¹ Цитаты из письма Хартмана заимствованы из монографий [Крылов, 1947а, с.9; Яновский, 1953, с.12].

ли производить огульное уравнивание ... и за 360 лет никто не удосужился ни теоретически, ни экспериментально изучить этот вопрос” [Крылов, 1947б, с.178].

Итоги своих опытов Норман подвел в опубликованной в 1581 г. книге “The Newe Attractive”, в которой впервые была сформулирована гипотеза о внутриземном происхождении земного магнетизма. Понятие магнитной силы Норману было чуждо. Он считал, что на полюса намагниченной стрелки действуют не силы, а вращательный момент относительно некоей особой точки, названной Норманом “точкой относительности”. Что касается письма Хартмана, то оно было обнаружено в архивах Кенигсберга только в 1831 г. [Hellmann, 1898], убедительно подтвердив афористический тезис: “Littera scripta manet” – написанное не пропадает (в перефразе М.А.Булгакова – “Рукописи не горят!”).

2.3. Исследования XVII–XVIII веков

Начнем с цитаты из предыдущего очерка: “Рубеж XVI-XVII веков ознаменовала публикация в 1600 г. трактата придворного врача английской королевы Елизаветы I Уильяма Гильберта “De Magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure” – первой научной теории земного магнетизма, развитой не умозрительно, а на основании прямых экспериментов с однородно намагниченными шарами”. Заимствовав у Перегринна термин террелла (землища), Гильберт пошел гораздо дальше своего предшественника и установил, что изменения наклона магнитной стрелки, вызываемые терреллой, подобны реально наблюдаемому магнитному наклону на поверхности Земли. Отсюда следовал вывод: “...магнитная мощь существует в Земле точно так же, как и в террелле, которая является частью Земли, однородна с ней по природе, с внешней стороны шаровидна, так что она соответствует шаровидной форме Земли и в основных опытах согласуется с земным шаром” [Гильберт, 1956, с.273].

Отождествление Земли с большим магнитом позволило не только удовлетворительно объяснить пространственную изменчивость магнитного наклона, но и показать, что его можно использовать для определения широты места. В предисловии к “De Magnete” известный астроном и геодезист Эдвард Райт, обращаясь к Гильберту, писал: “Если бы эти твои книги о магните не содержали в себе ничего другого кроме нахождения широты по магнитному наклону, тобою впервые предложенного, то и тогда наши английские, французские, голландские и датские капитаны, готовящиеся плыть в пасмурную погоду из Атлантического океана в Британское море или Гибралтарский пролив, с полным основанием ценили бы их на вес золота” [Гильберт, 1956, с.14]. Справедливости ради, отметим, что приоритет автора “De Magnete” в этом вопросе не абсолютен. Конструктивные предложения о счислении широты по магнитному наклону высказывали ранее голландцы Питер Планций и Симон Стевин [Калашиников, 1956].

Свидетельств о применении измерений наклона в мореходной практике история не сохранила. Лишь три века спустя идея Гильберта была возрождена в палеомагнетизме, в форме гипотезы центрального осевого диполя и легла в основу метода определения палеомагнитных широт [Храмов и др., 1961].

К числу непреходящих достижений Гильберта несомненно относится экспериментальное выяснение того, что магнитное поле терреллы обусловлено всем ее объемом, а не только полюсами, как это считалось ранее. Введенное Р.Норманом понятие “точки относительности” оказалось излишним. Не менее важным было обнаружение эффекта уменьшения магнитного притяжения (напряженности поля) при удалении от магнита. Это второй (после Перегринна) шаг к открытию основного закона магнитостатики. Потомкам Гильберта оста-

валось установить, что изменение магнитного притяжения обратно пропорционально квадрату расстояния¹.

В исторической перспективе обращает на себя внимание удивительная своевременность труда Гильберта. Нужды быстро развивающегося европейского торгового мореплавания настоятельно требовали не только повышения точности и надежности магнитной навигации, но и создания фундаментальной научной базы, которая могла бы такое повышение обеспечить. Издание “*De Magnete*” исчерпывающим образом решало эту проблему.

В 1614–1616 гг. англичанин Уильям Баффин произвел первые морские определения магнитногоклонения у побережья Гренландии и в районе Шпицбергена, т.е. в непосредственной близости от геомагнитного полюса. Однако их точность была невелика. По свидетельству норвежского магнитолога Х.Ганстина [*Hansteen*, 1819], измеренное Баффином значение наклона в Лондоне отличалось от нормального примерно на 15°. По всей вероятности, столь же высокий уровень погрешностей был характерен для морских измерений Баффина и его современников. Тем не менее, уже в 1721 г. кембриджскому профессору Уильяму Уистону удалось составить первую карту линий равного наклона (изоклин) для юго-восточной Англии, предназначенную по замыслу автора для решения навигационных задач [*Chapman, Bartels*, 1940]. Полвека спустя швед Иоганн Вильке составил первую мировую карту изоклин [*Wilke*, 1768].

Вернемся однако в XVII век. В 1629 г. итальянец Никколо Кабео опубликовал трактат “*Philosophia magnetica*”, в котором по свидетельству Э.Уиттекера [2001, с.208] впервые была высказана идея “... иллюстрировать магнитную силу, разбрасывая железные опилки по листу бумаги и наблюдая кривые, которые они образуют, если под лист бумаги подложить магнит”. Два века спустя эти кривые легли в основу выдающегося изобретения Майкла Фарадея – понятия силовых линий и полевой трактовки явлений магнетизма.

По-видимому, первую попытку объяснения физической природы магнитных сил принял Рене Декарт (Картезий) в трактате “*Principia Philosophiae*”, опубликованном в Амстердаме в 1644 г. В своих построениях он исходил из постулата, что все пространство, свободное от обычной материи, заполнено жидкостью – Мировым эфиром, частицы которого находятся в постоянном движении. Пустое пространство в концепции Декарта отсутствовало; поэтому движение каждой частицы приводило к смещению соседней. Таким образом, возникали замкнутые цепочки движущихся частиц, а движения этих замкнутых цепочек образовывало вихри, которым, в свою очередь, отводилась роль универсального механизма, пригодного для объяснения самых разнообразных явлений: от солнечного излучения до магнетизма. Магнитное притяжение, по мысли Декарта, было обусловлено вихревым движением жидкости, вытекающей из магнита через один полюс и втекающей в него через другой, а воздействие магнита на железные предметы приписывалось особому свойству молекул железа, сопротивляющихся движению жидкости [*Декарт*, 1950].

В 1687 г. увидел свет, быть может, самый замечательный научный трактат прошлого тысячелетия – “*Математические начала натуральной философии*” Иссака Ньютона. Заложенные в нем основы дифференциального и интегрального исчисления открыли перед естествознанием широчайшие возможности количественного описания природных взаимодействий. По словам Альберта Эйнштейна, “Это было само по себе творческим достижением первого ранга. Но для Ньютона, как физика, это было просто изобретением нового рода познавательного языка, в котором он нуждался для формулировки общих законов движения” [*Эйнштейн*, 1965, с.101].

Блистательно разрешив поставленную задачу, основоположник классической механики кратко коснулся и проблем магнетизма. В третьей книге “*Математических начал*” (предло

¹ Предположение о справедливости обратно-квадратической зависимости магнитной силы от расстояния было выдвинуто еще в 1450 г. кардиналом Николаем Кузанским. Констатируя приоритет последнего, вслед за Э.Уиттекером [2001, с.79] нужно подчеркнуть, что Кузанский имел в виду статическое притяжение, измеряемое с помощью противовесов, так как динамическое понятие силы в физике того времени отсутствовало.

жение 6, следствие 5) Ньютон писал: “Природа магнитной силы отличается от природы силы тяжести, поскольку характер магнитного притяжения отличается от характера притяжения материи. Некоторые тела притягиваются магнитом лучше других, а большинство тел вообще не притягивается магнитом. Сила магнетизма в одном и том же теле может увеличиваться или уменьшаться и иногда для какого-то количества материи она может быть гораздо сильнее силы тяжести, а при удалении от магнита эта сила уменьшается не в двойной, а почти в тройной пропорции от расстояния, насколько я могу судить из некоторых грубых наблюдений”. Хотя никаких подробностей “грубых наблюдений” не приводилось, можно предположить, что при их интерпретации Ньютон по аналогии с фундаментальным понятием элементарной массы в явной или неявной форме использовал понятие элементарного диполя. Повидимому, в силу своей краткости это пророческое указание Ньютона осталось практически незамеченным современниками, и вопрос о количественном описании силы магнитного притяжения еще в течение полувека оставался открытым¹.

Теоретическую базу магнитологии в середине XVIII века обогатило разработанное американцем Бенджаминем Франклином учение об “электрической” и “магнитной” жидкостях, которое позволило удовлетворительно объяснить большинство известных к тому времени электромагнитных явлений [Капица, 1956]. Взгляды Франклина получили развитие в трудах петербургского профессора Франца Эпинуса, а также голландца Антона Бургманса и шведа Иоганна Карла Вильке, постулировавших (в отличие от Франклина и Эпинуса) существование не одной, а двух магнитных жидкостей, названных ими по аналогии с полюсами магнита северной и южной.

Будучи, по существу, натурфилософским, учение Франклина и его последователей, тем не менее, содержало в себе принципиально важный тезис об элементарных носителях (источниках) магнетизма – частицах положительной и отрицательной магнитных жидкостей, которые так же, как и частицы электрической жидкости, пронизывают все тела, взаимодействуя друг с другом и с частицами “обычной материи”. Обе магнитные жидкости считались невесомыми, так как еще в 1720 г. голландский физик Питер Ван-Мушенброк установил, что намагничивание стальных полос не изменяет их веса [Крылов, 1947].

Таким образом, в магнитологии XVIII века сложилась ситуация, когда теоретические исследования обогнали эксперимент: качественные представления о притяжении и отталкивании частиц магнитных жидкостей настоятельно требовали опытной проверки, установления количественных соотношений, без которых дальнейшее развитие теории магнетизма не сулило никаких перспектив.

2.4. Открытие закона Кулона

Честь экспериментального открытия обратно-квадратической зависимости магнитной силы от расстояния принадлежит изобретателю крутильных весов англичанину Джону Мичеллу. В 1750 г., будучи стипендиатом Королевского колледжа в Кембридже, он опубликовал “Трактат об искусственных магнитах, в котором показан простой и быстрый метод сделать их лучше естественных”. Основные принципы магнетизма формулировались в нем следующим образом (цит. по книге [Уиттекер, 2001; с.79-80]):

1) Где бы ни обнаруживался созданный магнитом магнетизм: в самом магните, в каком-либо куске железа или где-то еще, всегда существуют два полюса, которые называют северным и южным, северный полюс всегда притягивает южный полюс и отталкивает северный полюс другого магнита и наоборот.

¹ Приведенная выше цитата заимствована из монографии [Уиттекер, 2001; с.78-79]. Комментируя ее, Уиттекер подчеркнул, что “... издание Начал, которое в 1742 г. опубликовали Т. Ле Сер и Ф.Жакье, содержит примечание к этому выводу, где приведен правильный результат: направляющая пара сил, прикладываемая к магниту со стороны другого магнита, обратно пропорциональна кубу расстояния между ними”.

2) Каждый полюс притягивает и отталкивает абсолютно одинаково, на одинаковых расстояниях и во всех направлениях.

3) Магнитное притяжение и отталкивание уменьшается по мере увеличения квадратов расстояний между телом и соответствующим полюсом.

Первый принцип Мичелл несомненно перенял у Гильберта. Второй – был оригинален и чрезвычайно важен, так как противоречил гипотезе вихрей Декарта. Третий принцип основывался на собственных наблюдениях Мичелла и на экспериментах Брука Тейлора и Питера Мушенброка, которые, как отмечал Мичелл, “... провели точные опыты, но не учли все соображения, необходимые для полной теоретической трактовки”.

Несколькими годами позднее обратно-квадратический закон подтвердили Тобиас Майер из Геттингена, берлинский математик Иоганн Генрих Ламберт и, наконец, француз Шарль Огюстен Кулон, именем которого мы теперь называем основной закон магнитостатики.

Главная заслуга Кулона состояла не столько в том, что он (независимо от Мичелла) изобрел два способа измерений напряженности магнитного поля, основанных на наблюдениях периодов качания намагниченных маятников и закручивания нити крутильных магнитных весов (1784 г.), сколько в физическом осмыслении закона притяжения полюсов, приведении его в соответствие с описанными выше представлениями о природе магнетизма. Отказавшись от одножидкостных воззрений Франклина–Эпинуса, Кулон принял за основу теорию двух магнитных жидкостей, отличающихся от своих электрических аналогов тем, что они не могут существовать раздельно, т.е. связаны с молекулами магнитных тел, каждая из которых в процессе намагничивания превращается в элементарный магнит. В подтверждение этого предположения Кулон экспериментально показал, что множество одинаково ориентированных элементарных магнитов при объединении дают один большой магнит с двумя полюсами, а не с множеством промежуточных.

В опубликованных в 1785-1789 гг. трудах под общим названием “*Mémoires sur l'électricité et le magnétisme*” Кулон присвоил частицам магнитных жидкостей статус элементарных магнитных зарядов. Затем, используя способ качаний, он нашел, что сила взаимодействия магнитных зарядов прямо пропорциональна их произведению и обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами.

На первый взгляд, кажется, что результаты Мичелла и Кулона противоречили указанию Ньютона об убывании магнитной силы пропорционально не квадратам, а кубам расстояний. В действительности никакого противоречия здесь нет. Если бы Ньютон использовал понятие элементарного заряда, то закон Кулона в его формулировке звучал бы так: сила притяжения двух противоположных по знаку зарядов, сближенных на дифференциально малое расстояние, убывает пропорционально кубу расстояния от этих зарядов.

2.5. Первые измерения силовых элементов земного магнетизма

Разработанные Кулоном способы относительных измерений “степени магнитной силы” (напряженности поля) чрезвычайно быстро нашли применение в различных сухопутных, морских и даже воздушных экспедициях. В 1785–1788 гг. французский магнитолог Ламанон, участвовавший в экспедиции Лаперуза на судах “Астролябия” и “Буссоль”, произвел наблюдения по способу качаний на о-ве Тенериф в Атлантике и в Макао и в результате “... первый указал на то, что сила земного магнетизма увеличивается, идя от тропиков к полюсу” [Поморцев, 1900, с.99].

В предыдущем очерке уже упоминалось об экспедиции 1799–1804 гг. Александра фон Гумбольдта в малоизученные районы Южной Америки и об измерениях трех элементов земного магнетизма – склонения, наклонения и степени магнитной силы - относительно базового пункта Макуипампа (Перу), расположенного на магнитном экваторе. Особую ценность имели определения степени магнитной силы с помощью кулоновских крутильных ве

сов. Благодаря им, во-первых, стало окончательно ясно, что силовые элементы магнитного поля подвержены таким же пространственным изменениям, как и его угловые элементы; во-вторых, были подтверждены выводы Ламанона о возрастании напряженности геомагнитного поля в направлении от экватора к полюсам. Чрезвычайная тщательность измерений А.Гумбольдта на несколько десятилетий сделала их эталоном полевых магнитных наблюдений¹.

В 1804 г. французские ученые Жан-Батист Био и Жозеф Гей-Люссак предприняли попытку обнаружения изменений элементов земного магнетизма с высотой. Для этой цели ими были произведены измерения горизонтальной составляющей поля на воздушном шаре, которые привели воздухоплавателей к заключению: "... магнитное поле Земли изменяется с высотой столь медленно, что, принимая во внимание ошибки наблюдений, нельзя сделать никаких выводов" [Поморцев, 1900, с.123].

С начала XIX века измерения наклона и степени магнитной силы стали непременным атрибутом обсерваторских исследований. В России становление обсерваторской службы неразрывно связано с деятельностью казанского профессора (в будущем действительного члена Императорской Академии Наук и основателя Главной физической обсерватории (ГФО) в Санкт-Петербурге) А.Я.Купфера, считавшего регулярные магнитные наблюдения предприятием "... будущее развитие которого может привести к решению великой задачи, а именно: определять на море географическую широту и долготу с помощью магнитных наблюдений, не прибегая к содействию астрономии" [Рыкачев, 1899].

Инициативы Купфера активно поддерживали моряки – Ф.П.Литке, Ф.И.Врангель, М.Ф.Рейнеке и начальник штаба Корпуса горных инженеров России К.В.Чевкин. Систематические магнитные наблюдения в Казани были начаты в 1823 г. [Пушкин, 1940], в Санкт-Петербурге – в 1829 г., на горных заводах Колывани и Нерчинска – в 1832 г., в Екатеринбурге – в 1836 г., в Барнауле – в 1841 г. [Пасецкий, 1984]. Для сравнения укажем, что систематические наблюдения в Париже начались в 1820 г., в Берлине – в 1828 г., в Пекине – в 1830 г., в Геттингене – в 1831 г., в Милане – в 1836 г. В Гринвиче они проводились в 1818–1820 гг., затем были прерваны и возобновились только в 1838 г. В том же году начались наблюдения в Дублине, а в 1839 г. – в Праге и Кремсмюнстере (Австрия). [Chapman, Bartels, 1940]. Столь же интенсивно росло число пунктов полевых и морских измерений степени магнитной силы, что позволило директору обсерватории в Христиании (Осло) Х.Ганстину уже в 1828 г. составить первую мировую карту изодинам H -составляющей геомагнитного поля. В России первые полевые измерения по способу качаний Кулона были произведены Ф.П.Литке в 1820–1824 гг. на побережьях Белого и Берингова морей [Ильина, 1986].

Морские наблюдения трех элементов земного магнетизма - склонения, наклона и степени магнитной силы – входили в программу кругосветной экспедиции 1823–1826 гг. на шлюпе "Предприятие" под командованием О.Е.Коцебу. Их осуществил известный петербургский физик Э.Х.Ленц. Десятилетием позже он же обработал результаты измерений трех элементов земного магнетизма, выполненных в кругосветной экспедиции Литке (1826–1829 гг.) на шлюпе "Сенявин" [Ленц, 1836].

С именем Ленца связан также первый опыт высокогорных магнитных и метеорологических наблюдений на Кавказе. Они были произведены в 1829 г. во время академической экспедиции в окрестности Эльбруса, которую возглавлял Купфер. При восхождении на вершину Ленцу удалось достичь высоты 4700 м. По мнению Б.М.Ляхова [1989, с.6], именно "... на Эльбрусе впервые было установлено, что с высотой магнитное поле ослабевает".

¹ Во избежание недоразумений нужно оговорить, что этот эталон был далеко не безупречен. Так, например, измерения наклона, произведенные Гумбольдтом в ноябре 1799 г. до и после землетрясения в Кумане (Венесуэла), обнаружили поистине фантастическое изменение этого элемента земного магнетизма, равное 48'.

В 1831 г. английский полярный исследователь Джеймс Росс (младший) впервые достиг точки геомагнитного полюса, где наклонение достигает 90° , и определил координаты этой замечательной точки: $70^\circ 05' 17''$ с.ш.; $96^\circ 45' 48''$ з.д. [Ross, 1834].

2.6. Электричество и магнетизм

Важнейшее значение для развития теории и методов геомагнитных измерений имело открытие Ганса-Кристиана Эрстеда, обнаружившего, что движение электрической жидкости по замкнутому контуру оказывает влияние на расположенную рядом с контуром магнитную стрелку. Результаты этого знаменитого опыта были опубликованы в июле 1820 г. в труде “*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*”, который был издан в Копенгагене и сразу же переведен на немецкий и английский языки. Действие, производимое током в проводнике и окружающем пространстве Эрстед назвал электрическим возмущением. “Видимо, – писал он – электрическое возмущение проходит через все немагнитные тела, а магнитные тела, или скорее их магнитные частицы, сопротивляются его прохождению. Значит, их можно сдвинуть импульсом противоборствующих сил” (цит. по книге [Уиттекер, 2001, с.108]).

Дальнейшие события развивались с поистине ураганной быстротой. 11 сентября 1820 г. Доменик Франсуа Араго рассказал об опытах Эрстеда на заседании Парижской Академии наук. Уже на следующем заседании 18 сентября Анри Ампер сообщил об обнаруженном им эффекте притяжения-отталкивания проводников с разнонаправленными электрическими токами и выдвинул гипотезу об элементарных источниках магнетизма - самоподдерживающихся (без затрат энергии) кольцевых молекулярных токах. Два месяца спустя (30 октября) Жан-Батист Био и Феликс Савар обнародовали результаты исследований взаимодействия линейного элемента контура с током с полюсами магнита, которые привели к открытию носящего их имени закона.

В том же 1820 г. Араго показал, что магнитное поле, созданное электрическим током, способно намагничивать железо точно так же, как и поле постоянных магнитов, а немецкий физик И.Швейггер изобрел чувствительный прибор – мультипликатор, в котором магнитная стрелка подвешивалась внутри катушки из медной проволоки, что позволяло наблюдать эффект Эрстеда при очень слабых токах.

Годом позже Ампер предложил использовать в качестве магниточувствительного элемента рамку с двумя антипараллельными жестко скрепленными между собой идентичными магнитами. Впоследствии такие измерительные системы, не подверженные влиянию однородного поля, получили название астатических. В 1825 г. Л.Нобили соединил астатическую систему Ампера с мультипликатором Швейггера и создал таким образом первый высокочувствительный гальванометр [Дорфман, 1979, с.30].

К числу выдающихся событий первой трети XIX века несомненно следует отнести открытие Майклом Фарадеем закона электромагнитной индукции (1831 г.). Планируя свои эксперименты, великий английский физик исходил из идеи обратимости электромагнитных явлений. “Я полагаю странным – писал Фарадей – тот факт, что, хотя всякий электрический ток сопровождается соответствующей интенсивностью магнитного действия в перпендикулярном к нему направлении, однако в хороших проводниках электричества, помещенных в сферу этого действия, не возбуждается индуктивный ток или какой-либо другой эффект, эквивалентный по силе такому току... Эти соображения с вытекающими из них последствиями, а также надежда получить электричество от обычного магнетизма побуждали меня ... исследовать опытным путем индуктивные эффекты электрических токов” [Фарадей, 1947, с.12].

В морской магнитометрии с его именем связано предсказание и первые попытки регистрации полей гидродинамических источников – приливных течений вблизи устья Темзы [Faradey, 1832]. Хотя проведенные им опыты из-за технических трудностей не увенчались

успехом, открытие нового класса источников геомагнетизма, как говорится, повисло на кончике пера. Первые измерения поля приливных течений в проливе Ла-Манш в 1851 г. произвел К. Уолластон [Wollaston, 1881].

Эксперименты Эрстеда и его последователей несомненно способствовали выдвижению новых идей в учении о земном магнетизме. По-видимому, первый шаг в этом направлении сделал Ампер. Упомянутый выше доклад на заседании Парижской Академии наук 18 сентября 1820 г. он резюмировал следующим образом: “Я коснулся некоторых подробностей относительно своего воззрения на магниты, согласно которому они обязаны своими свойствами единственно электрическим токам, расположенными в плоскостях, перпендикулярных их оси. Я коснулся также некоторых подробностей относительно подобных же токов, предполагаемых мною в земном шаре. Таким образом, все магнитные явления я свел к чисто электрическим действиям” (цит. по книге [Дорфман, 1979, с.29]).

Развивающую идеи Ампера гипотезу геоэлектрического происхождения земного магнетизма выдвинул в 1831 г. англичанин Питер Барлоу. Причиной генерации поля, по его представлениям, была циркуляция токов в экваториальной плоскости, обусловленная вращением Земли и термоэлектрическими явлениями в недрах [Barlow, 1831]. Попытку усовершенствования геоэлектрической гипотезы в 1847 г. предпринял 23-летний профессор университета Глазго Уильям Томсон, исследовавший каким образом следует расположить эквивалентные обмотки с током, чтобы индуцируемое поле отвечало наблюдаемому пространственному распределению элементов земного магнетизма [Thomson, 1847]. Впоследствии геоэлектрическая гипотеза Барлоу–Томсона неоднократно модернизировалась, оставаясь вплоть до начала XX века одной из наиболее перспективных.

2.7. Эпоха Гаусса

В 1835 г. увидела свет статья профессора Казанского университета И.М.Симонова “Опыт математической теории земного магнетизма”, в которой содержалось доказательство эквивалентности полей центрального осевого диполя и однородно намагниченного шара [Симонов, 1835]. Таким образом, теория Гильберта обрела наконец строгое аналитическое воплощение. Примечательно однако, что произошло это во время, когда сама теория по существу уже изжила себя. Достигнутый уровень магнитной изученности континентов и океанов со всей очевидностью свидетельствовал о том, что структура геомагнитного поля может считаться дипольной лишь в первом, весьма грубом приближении.

Другая примечательная особенность рассматриваемого периода - это реальное осознание сложности стоящих перед магнитологией проблем. Начатые по инициативе Гумбольдта в 1824 г. Купфером в Казани, Райхом в копиях Фрайбурга в Германии и Араго в Париже эксперименты по синхронной регистрации угловых и силовых элементов геомагнетизма показали, что для их переменной части характерна не только временная, но и пространственная изменчивость. Выяснилось, что для объективного изучения этой изменчивости необходимы регулярные обсерваторские наблюдения в рамках научных программ, объединяющих усилия магнитологов разных стран. Первое международное содружество геофизиков – Магнитный Союз (Magnetischer Verein), был организован в Геттингене в 1834 г. по инициативе А.Гумбольдта, К.-Ф.Гаусса и В.Вебера. В идейном плане работой Союза руководил Гаусс [Пушков, 1977].

Наконец, третья особенность рассматриваемого периода - это кризис в технике и методике магнитных измерений. Способ Кулона с присущей ему зависимостью результатов от изменений магнитных моментов маятников не мог удовлетворить запросов практики. Развивающаяся магнитная картография и необходимость сопоставления данных, полученных в разных обсерваториях, требовали более совершенного метрологического обеспечения. В письме к В.Ольберсу от 2 августа 1832 г. Гаусс по этому поводу писал: “Мне всегда казалось, что приборы, применяемые для магнитных измерений, являются весьма несовершен-

ными и находятся в вопиющем противоречии с точностью наших геодезических и астрономических измерений” [Гаусс, 1952, с.268].

Преодоление отмеченных выше кризисных явлений в своих ключевых моментах связано с научной деятельностью Карла Фридриха Гаусса. Поэтому за начало нового этапа в развитии магнитологии и магнитометрии естественно принять рубеж 30–40-х гг. XIX века, когда увидели свет три классические работы великого немецкого математика и естествоиспытателя: “Общая теория земного магнетизма” (1839 г.), “Общие теоремы относительно сил притяжения и отталкивания, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния” (1840 г.) и “Напряженность магнитной силы, приведенная к абсолютной мере” (1841 г.).

Отказавшись от каких-либо ответственных предположений о распределении источников магнетизма в недрах Земли, Гаусс не только доказал, что порождаемое ими внешнее поле может быть представлено в виде сферического гармонического ряда, носящего ныне имя своего изобретателя, но и определил первые 24 коэффициента этого ряда, используя в качестве исходного материала мировые карты изогон Барлоу (1833 г.), изоклин Хорнера (1836 г.) и изодинам горизонтальной составляющей напряженности поля Сэбина (1836 г.).

Прямое отношение к теме нашего очерка имела третья из упомянутых выше работ, содержащая, по словам биографа Гаусса В.Бюлера, “... самый оригинальный и, быть может, самый известный вклад Гаусса в теорию магнетизма в узком смысле – определение абсолютной меры для магнитной силы” [Бюлер, 1990, с.132]. Необходимость введения такой меры была обоснована еще в 1832 г. в докладе Геттингенскому ученому обществу, название которого “*Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam reverterata*” – латинская калька названия статьи 1841 г. В нем Гаусс убедительно показал, что способ качаний Кулона, позволявший определить произведение напряженности поля на магнитный момент маятника, не удовлетворяет главному принципу метрологии – принципу воспроизводимости эксперимента и, следовательно, требует замены более совершенным способом, который позволил бы выразить результаты измерений в единицах, не зависящих ни от качества применяемых магнитов, ни от времени измерений.

В своих рассуждениях Гаусс исходил из предположения, что поведение магнитных жидкостей должно полностью определяться законами их взаимодействия. На этом основании он ввел специальную единицу магнитной жидкости как величину, которая притягивает или отталкивает другую единицу магнитной жидкости на единичном расстоянии с единичной силой. Это фундаментальное понятие по существу положило начало созданию абсолютной системы электромагнитных единиц – CGSM¹.

Способ качаний Кулона по предложению Гаусса следовало дополнить серией наблюдений за отклонениями пробной стрелки, используя прокачанный магнитный маятник в качестве отклоняющего магнита (дефлектора). Ему удалось показать что ориентация оси дефлектора перпендикулярно к магнитному меридиану позволяет исключить влияние его магнитного момента на отклонения стрелки, т.е. придать измерениям абсолютный характер. Именно в этом состояла суть дефлекторного метода Гаусса, прочно вошедшего в практику

¹ Эту работу в 1856 г. завершил ученик Гаусса Вильгельм Вебер. На основании экспериментов с лейденской банкой он (совместно с Рудольфом Кольраушем) установил, что коэффициент пропорциональности между величинами электрического заряда в электростатической и электродинамической системах единиц, характеризующий скорость распространения электричества в идеальном проводнике) равен $3,1 \cdot 10^8$ м/с, что с точностью до ошибок измерений совпадало с величиной скорости света, определенной ранее по наблюдениям аберрации и запаздыванию затмений спутников Юпитера и подтвержденной в 1849 г. прямыми экспериментами француза И.Физо [Уиттекер, 2001].

обсерваторских, а затем и полевых (сухопутных и морских) экспериментов и остававшегося вплоть до 30-х гг. XX века основным методом абсолютных геомагнитных измерений¹.

Следует подчеркнуть далее, что основоположник классической магнитологии не ограничился теоретической проработкой метода, но и создал совместно с Вебером ряд замечательных по точности абсолютных магнитных теодолитов и магнитографов, которыми были оборудованы сначала созданная в 1833 г. по проекту Гаусса обсерватория в Геттингене, а затем и другие обсерватории Европы.

В своей конструкторской деятельности Гаусс опирался на огромный опыт астрономо-геодезических измерений. Творчески осваивая этот опыт, он внес в магнитное приборостроение много новых технических решений, например, впервые применил зеркальный метод отсчета углов. “В настоящее время – писал Гаусс Ольберсу 2 августа 1832 г. – у меня готово два прибора (совершенно одинаковых), при помощи которых можно измерять абсолютное склонение и его изменения, время колебаний и т.д. с такой точностью, которая не оставляет желать ничего более совершенного, за исключением специального помещения, где нет поблизости никакого железа и токов воздуха” [Гаусс, 1952, с.268]. В этом же письме Гаусс сообщал, что результаты абсолютных определений горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля в Геттингене, произведенные с разными магнитами, расходятся не более, чем на 0,2 %.

В “Наставлении по определению периода колебаний магнитной стрелки” (1837 г.) Гаусс подробно рассмотрел теорию определения периода затухающих колебаний магнита и предложил демпфировать их с помощью катушки-мультипликатора, в которой колебания магнита индуцируют токи, тормозящие его движение.

Идея применения механических и магнитных дефлекторов для производства относительных магнитных измерений также была выдвинута Гауссом и воплощена в серии вариационных и походных приборов, в том числе бифилярного магнитометра с магнитом, подвешенным на двух нитях. Испытания этого прибора, проведенные летом 1837 г., показали, что “... горизонтальная составляющая земного магнетизма теперь может наблюдаться так же точно, как звезды на небе” [Гаусс, 1952, с.275-276].

2.8. Измерения наклона и силовых элементов магнитного поля во второй половине XIX века

В морской магнитометрии одной из наиболее удачных реализаций идей Гаусса стал стрелочный инклинатор (вертикальный круг), сконструированный англичанином Р.Фоксом [Jorden, 1838]. В отличие от сухопутных инклинаторов измерительная система этого прибора подвешивалась на агатовых призмах, подобно котелку компаса, а сам прибор помещался на площадке, снабженной кардановым подвесом. Отклонение стрелки осуществлялось с помощью навешиваемых на нее грузиков (механических дефлекторов) или магнитов, которые располагались в специальных кожухах, закрепленных на коробке прибора. Для уменьшения параллакса Фокс использовал систему из двух вертикальных кругов, что позволяло добиться точности отсчета углов не хуже 12', а высокая точность совмещения плоскости качания стрелки с плоскостью магнитного меридиана обеспечивалась с помощью специального микроскопа.

¹ В литературе дефлекторный метод нередко называют методом Гаусса–Ламона. На взгляд автора, это, во-первых, не совсем справедливо уравнивает вклад авторов в создание метода; во-вторых, – вносит некую путаницу. Несомненная заслуга Ж.Ламона заключалась лишь в технической модификации метода – установке оси дефлектора в положениях, перпендикулярных к отклоняемой стрелке [Lamont, 1847]. Такая установка упрощала производство измерений и их обработку, но вместе с тем прямо противоречила главной идее Гаусса, состоявшей в полном исключении влияния магнитного момента маятника на результаты измерений. За технологичность ламоновой модификации приходилось платить введением дополнительной поправки за индуктивную намагниченность.

Инclinатор Фокса впервые был испытан в 1839–1843 гг. в антарктической экспедиции Дж.Росса на судах “Эребус” и “Террор”, программа которой была одобрена на состоявшемся в октябре 1839 г. Геттингенском конгрессе Магнитного Союза. Там же были сформулированы основные требования к аппаратуре и методике наблюдений, принято решение о резком расширении сети магнитных обсерваторий и проведении в них синхронных (с интервалом в 2 ч) измерений силовых и угловых элементов земного магнетизма в течение трех лет. Три обсерватории – на о-ве Св. Елены в Южной Атлантике, в районе мыса Доброй Надежды (Кейптаун) и на о-ве Тасмания (Хобарт) – надлежало организовать экспедиции Росса. За учреждение еще трех – в Бомбее, Мадрасе и предгорьях Гималаев (Симла) – бралась Британская Ост-Индская кампания при поддержке Лондонского Королевского общества¹.

В северном полушарии основной объем работ возлагался на русских магнитологов, которым предстояло осветить изменчивость геомагнитного поля на огромной территории от западных границ Империи до Аляски. Идейным вдохновителем и координатором этой деятельности был А.Я.Купфер, избранный в 1841 г. академиком физики Императорской академии наук и в том же году опубликовавший “Наставление к деланию магнитных и метеорологических наблюдений, составленное для горных офицеров, заведующих магнитными обсерваториями”.

Помимо четырех обсерваторий горного ведомства, весомый вклад в решение задач, поставленных Геттингенским конгрессом, внесли наблюдения И.М.Симонова в Казани, А.Я.Нервандера в Гельсингфорсе, М.Кнорре в Николаеве, М.Соколина в Полтаве, Г.В.Абиха в Тифлисе. В метрологическом отношении образцовой постановкой дела отличалась обсерватория на острове Ситка у берегов Аляски. Полученный в ней в 1840–1849 гг. уникальный ряд непрерывных магнитных измерений – выдающаяся заслуга создателя этой обсерватории адмирала Ф.И.Врангеля, занимавшего в то время высокий пост директора Русско-американской компании.

Достойным итогом участия наших соотечественников в выполнении Геттингенской программы стали 10 томов “Свода магнитных и метеорологических наблюдений”, изданных в 1841–1846 гг. под редакцией Купфера. В 1849 г. ему удалось осуществить свое главное научно-организационное начинание – создать Главную физическую обсерваторию (ГФО) в Санкт-Петербурге, остававшуюся вплоть до 1917 г. основным центром развития геофизики в России [Пасецкий, 1984].

Таким образом, начиная с 40-х гг. XIX века, морские, сухопутные и обсерваторские измерения наклона и горизонтальной составляющей напряженности геомагнитного поля обрели надежную метрологическую базу. Их роль в изучении пространственно-временной изменчивости поля продолжала неуклонно расти. Так, например, в каталогах Э.Себина [Sabine, 1849-1877], содержалось примерно 1000 определений наклона и горизонтальной составляющей поля, что было всего в три раза меньше числа определений магнитного склонения.

К концу XIX века магнитная изученность акваторий достигла уровня, который позволил гидрографическим и военно-морским ведомствам ведущих морских держав поставить вопрос о составлении и систематическом обновлении не только мировых карт изогон, но и карт изоклин наклона и изодинам горизонтальной составляющей поля - основы для построения аналитических (гауссовых) моделей главного геомагнитного поля эпохи 1885 г. [Neumayer, Petersen, 1889; Fritsche, 1897a; Schmidt, 1889] и предложений по его разделению

¹ Фактически наблюдения на о-ве Св. Елены и в Хобарте продолжались с 1841 до 1848–1849 гг., в Мадрасе – до 1860 г. Обсерватории в Бомбее (Алибаг) и Симле (Дахра-Дун) стали постоянно действующими, равно как и открытая в 1840 г. обсерватория в Торонто (Ажонкуре) [Sabine, 1857]. Европейскую сеть в 1840–1841 гг. дополнили обсерватории в Брюсселе (Дурбе), Христиании (Осло) и Мюнхене. В техническом отношении прогрессу обсерваторских наблюдений способствовало изобретение Ч.Бруком в 1846 г. способа непрерывной фоторегистрации геомагнитных вариаций, избавлявшего от необходимости частых визуальных наблюдений. Впервые он был применен в Гринвиче в 1847 г. [Chapman, Bartels, 1940].

на нормальную и аномальную составляющие [Tillo, 1894; Bezold, 1895]. Германское морское ведомство (Seewarte) приступило к изданию таких карт в 1880 г., Гидрографическая служба США – в 1882 г., Британское адмиралтейство – в 1907 г. [Колесова, 1985].

Обратимся к сухопутным съемкам. В Западной Европе рекогносцировочные измерения наклона и силовых элементов геомагнитного поля в 1854–1856 гг. произвел Махмуд-Эффенди [Machmoud-Effendi, 1856]. Составленные им по результатам этих измерений сводные карты изоклин и изодинам горизонтальной составляющей поля охватывали территории Франции, Великобритании, Бельгии, Голландии, Дании и Северной Германии. К этому же времени относятся измерения Ж.Ламона примерно в 100 пунктах на территории Франции, Испании и Северной Европы [Lamont, 1858, 1859; и др.] и К.Крейля (240 пунктов) в Австро-Венгрии и сопредельных странах [Kreil, 1860]. В 1861 г. Э.Сэбин составил магнитные карты Британии, аккумулировавшие в себе наблюдения в 243 пунктах [Sabine, 1861]. В Скандинавии наиболее значительными были рекогносцировочные съемки Х.Ганстина и К.Дуэ (68 пунктов), Г.Лундквиста (39 пунктов), Р.Талена (свыше 100 пунктов). По материалам этих наблюдений Р.Тален составил магнитные карты Южной Швеции [Thalen, 1872, 1883] и убедительно продемонстрировал эффективность применения магнитных измерений для разведки железных руд.

Начало планомерному магнитному изучению Европейской части России положила съемка доцента Казанского университета И.Н.Смирнова (1871–1878 гг.). Благодаря ей число пунктов определения горизонтальной составляющей поля достигло 275; были выявлены крупные аномалии этого и других элементов земного магнетизма в Курской губернии, на Урале, в окрестностях Риги и других районах [Смирнов (Smirnov), 1872-1879]. Материалы съемки И.Н.Смирнова легли в основу первой карты изодинам Европейской России для эпохи 1880 г., которую построил академик А.А.Тилло [1885]. Впоследствии пункты наблюдений Смирнова неоднократно использовались в качестве повторных для изучения векового хода [Малинина, 1978]. Измерениям наклона в районе Одесской магнитной аномалии была посвящена опубликованная в 90-х гг. XIX века работа С.И.Попруженко [1892]. В эти же годы увидели свет статьи Э.Р.Ассафрея [1890, 1892] и В.Х.Дубинского [1898], посвященные определениям элементов земного магнетизма в Закавказье и на юге Украины.

Достижения в геомагнитном изучении азиатской части России были гораздо скромнее. Результаты измерений горизонтальной составляющей поля на арктическом побережье Сибири, произведенных в 1878–1879 гг. во время русско-шведской экспедиции на судне “Вега”, обработал и опубликовал Тилло [1883, 1884]. Г.Абельс определил магнитное наклонение в нескольких пунктах Западной Сибири [Abels, 1888], а уже упоминавшийся в предыдущем очерке Г.Фритше осуществил за период 1867–1894 гг. измерения трех элементов земного магнетизма примерно в 500-х пунктах, большая часть из которых располагалась на пути из Санкт-Петербурга в Пекин [Fritsche, 1893, 1897b].

Рекогносцировочные магнитные съемки в Северной Америке производились силами Береговой и Геодезической службы США. Составленные сотрудниками этого ведомства первые карты изоклин и изодинам горизонтальной составляющей поля увидели свет в 1885 г. К концу XIX века число определений горизонтальной составляющей геомагнитного поля на территории США достигло 1640 [Schott, 1898].

Важной вехой в изучении пространственно-временной изменчивости геомагнитного поля в полярных областях стали работы 1882–1883 гг. по программе Международного Полярного года (МПГ). Эта программа осуществлялась силами исследователей 10-ти стран и предусматривала проведение систематических магнитных наблюдений на 2-х антарктических и 13-ти арктических полярных станциях [Белоусов, 1984]. Две станции, располагавшиеся на полуострове Сагастырь в устье Лены и на Новой Земле, были организованы Русским Географическим Обществом на средства сибирского купечества. Работы на них возглавляли откомандированные в распоряжение Академии наук лейтенанты русского флота К.А.Андреев и Н.Д.Юргенс. Станция экспедиции А.Грили (форт Конгер) располагалась на

Земле Гранта в Полярной Канаде. Наблюдения здесь проводил известный американский магнитолог Ч.Шотт [Schott, 1888].

Разумеется, геомагнитные измерения в Арктике продолжались и после окончания МПГ. Упомянем, в частности, исследования знаменитого норвежца Фритьофа Нансена, который в 1888 г. определил элементы земного магнетизма в нескольких пунктах Гренландии. Четырьмя годами спустя единичные наблюдения на северо-западном побережье Исландии, о-ве Ян Майен и Шпицбергене были выполнены офицерами французского военного транспорта “Ла-Манш” [Liznar, 1894]. В 1896 г. Российская академия наук и Казанский университет организовали совместную экспедицию на Новую Землю для наблюдения полного солнечного затмения. Ее возглавляли Б.Б.Голицын и О.А.Баклунд. Предусмотренные программой экспедиции измерения трех элементов земного магнетизма выполнялись с помощью новейшего для того времени магнитного теодолита Г.И. Вильда, специально изготовленного по заказу физического кабинета Академии наук [Голицын, 1897].

На рубеже 80–90 гг. XIX века магнитологи европейских стран приступили к проведению Генеральных магнитных съемок (ГМС) – систематическому измерению угловых и силовых элементов земного магнетизма на всей территории страны. Во Франции такие измерения с шагом 20–30 км были начаты в 1882 г. и завершены в 1895 г. [Moureaux, 1896]. Англичане осуществили аналогичную съемку с шагом 30–40 км в 1889–1892 гг. [Ruecker, Torpe, 1896], японские и немецкие магнитологи – соответственно в 1893–1896 и 1898–1903 гг. [Малинина, 1978]. Рекордной по детальности была ГМС Голландии, выполненная в 1890–1892 гг. с плотностью наблюдений 1 пункт на 100 кв. км [Rijkvorsel, 1895].

В России проект ГМС был подготовлен в 1893 г. и предусматривал измерения силовых и угловых элементов земного магнетизма в 2700 пунктах (плотность сети: 1 пункт на 2000 кв. км). По финансовым соображениям проект остался невостребованным. Дело ограничилось систематической (свыше 200 пунктов) съемкой Херсонской и Таврической губерний, выполненной в 1900 г. П.Т.Пасальским. Внезапная смерть последнего в ноябре 1900 г. прервала эту работу. Карты трех элементов земного магнетизма, построенные Б.П.Вейнбергом по материалам наблюдений Пасальского, были опубликованы лишь 15 лет спустя [Вейнберг, 1915].

Продолжала расширяться сеть магнитных обсерваторий. Во второй половине XIX века число западно-европейских стран, располагавших собственными службами непрерывных магнитных наблюдений, увеличилось до 14-ти. В него вошли: Австро-Венгрия, Англия, Бельгия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Норвегия, Португалия, Россия, Румыния, и Франция. Начались систематические наблюдения в обсерваториях Мельбурн–Туланги (1858 г.) в Австралии, Батавия–Тангеранг (1867 г.) в Индонезии, Зо-Це (1874 г.) и Гонконг (1884 г.) в Китае, Плесанс (1875 г.) на о-ве Маврикий, Лос-Анджелес (1882–1889 гг.) в США, Рио-де-Жанейро–Вассорас (1882 г.) в Бразилии, Манила–Мунтинлупа (1896 г.) на Филиппинских о-вах, Теолоюкан (1895 г.) в Мексике, Токио–Какиока (1897 г.) в Японии [Chapman, Bartels, 1940]. В России к концу XIX века работали обсерватории в Павловске, Тифлисе, Екатеринбурге, Иркутске, Казани и Одессе [Малинина, 1978].

2.9. Зарождение магниторазведки и сейсмомагнетизма

Идея применения детальных магнитных измерений для разведки железных руд была выдвинута Р. Таленом на основании съемок в Южной Швеции. Как подчеркивал Ю.И.Блох [1997], речь шла именно о разведке, а не о поисках руд, для проведения которых с успехом использовался изобретенный еще в XVII веке рудничный компас. Считая положение рудной залежи приблизительно определенным, Тален утверждал, что магнитные измерения позволяют “...узнать, в каком именно месте находится главное скопление рудной массы, на какой глубине лежит центр этой массы, какое притяжение имеет она и тому подобное” [Thalen, 1877]. Для этой цели Тален ввел в научный обиход первую интерпретационную модель маг-

ниторазведки – вертикальный цилиндрический магнит, с приемлемой точностью воспроизводивший чечевицеобразную структуру железорудных залежей в Южной Швеции – и сформулировал главную задачу истолкования магнитных измерений, которая состояла в том, чтобы “... исследовать, насколько потребуется изменить правила к определению магнитного положения руды, полученные для цилиндрического магнита, для изысканий на действительных рудных полях”.

В России зарождение магниторазведки стимулировало изучение Курской магнитной аномалии (КМА). Детализации ее Белгородской ветки была посвящена работа приват-доцента Харьковского университета Н.Д.Пильчикова [1883], в которой, по-видимому, впервые было высказано предположение о связи этой аномалии с залежами железных руд.

В 1889 г. по инициативе А.А.Тилло в район КМА был направлен студент Петербургского университета Д.Д.Сергиевский. Произведенные им измерения в 166 пунктах привели к открытию аномалии в районе села Непхаево, более интенсивной, чем ранее известная Белгородская. По мнению Тилло, такие отклонения от нормального распределения земного магнетизма могли вызываться или магнитными массами в земной коре, или электрическими токами, или еще какими-то неизвестными причинами. “Так как Белгородская аномалия – писал Тилло – находится в связи с Непхаевской и так как границы аномального района еще не выяснены, то необходимо поставить себе на будущее время задачей решение вопроса о том, представляют ли аномалии Курской губернии случаи чисто местных уклонений или же весь их район так велик, что придется дать им значение географических магнитных аномалий, имеющих связь с геологическим строением южной части Средне-Русской возвышенности” [Тилло, 1891].

Четырьмя годами позднее в Курской губернии работал студент того же университета А.Е.Родд, определивший магнитные элементы в 133 пунктах. Поскольку результаты этих и предшествующих наблюдений вызвали недоверие геологов, магнитная комиссия Русского географического общества пригласила для их проверки одного из самых авторитетных магнитологов Западной Европы, директора Парижской обсерватории Т.Муро. Он принял это предложение и произвел в 1896 г. магнитные измерения во всех уездах Курской губернии, которые привели к открытию “рекордной” по интенсивности аномалии в районе села Кочетковка [Муро, 1898]. Насколько известно автору, это первая в России магнитная съемка с регистрацией геомагнитных вариаций непосредственно в районе работ – в Харькове и Курске, где для этой цели был построен специальный немагнитный павильон. Ранее учет вариаций при съемках КМА осуществлялся по данным магнитной обсерватории в Павловске.

Подводя итоги наблюдений, Муро отметил, что магнитная аномалия в Курской губернии – величайшая в мире, что она “переворачивает вверх дном всю теорию земного магнетизма” [Бусыгин, 1969]. Сомнений в достоверности результатов русских магнитологов больше не возникало, однако вопрос о природе КМА оставался открытым.

Из других магниторазведочных съемок на территории России, произведенных в конце XIX века, упомянем работы Г.Фритше по детализации Московской магнитной аномалии [Fritsche, 1893b], А.Тигерштедта в районе изучавшейся ранее В.Ленцем уникальной магнитной аномалии на острове Юссар-О в Финском заливе [Tigerstedt, 1899], а также наблюдения П.Т.Пасальского [1901] в районе Кривого Рога (406 пунктов).

Важное значение для дальнейшего развития магниторазведки имели рекогносцировочные съемки горных инженеров С.П.Вуколова и К.Н.Егорова на Урале в районе гор Высокая, Магнитная и Благодать, в Бакальском рудном районе и в Экибастузе [Блумбах, 1900]. Установленная в результате этих работ связь интенсивных магнитных аномалий с богатыми железорудными залежами привлекла внимание Д.И.Менделеева, занимавшего в то время ответственный пост директора Палаты мер и весов и уделявшего большое внимание развитию производительных сил страны. В 1899 г. он предпринял специальную экспедицию на Урал, которая подтвердила обоснованность выводов Вуколова и Егорова [Менделеев, 1946]. Авторитет Менделеева несомненно способствовал привлечению внимания отечественных про

мышленников к магниторазведке, как к новому, перспективному методу изыскания железных руд.

Первую попытку регистрации магнитных возмущений, сопровождающих сейсмические события, по-видимому, предпринял А.Гумбольдт во время землетрясения 4 ноября 1799 г. в Кумане (Венесуэла). Основываясь на измерениях наклона 1 и 7 ноября, он нашел, что изменение этого элемента земного магнетизма составило 48' [Рикитакэ, 1979; с.230]. В течение XIX века об аналогичных опытах сообщали многие магнитологи [Lamont, 1862; Hansteen, 1866; Gringmuth, 1882; и др.], работы которых, на взгляд автора, можно квалифицировать как ранние провозвестники сейсмомагнетизма¹.

В конце 80-х гг. к ним добавились работы [Börger, 1887; Mascart, 1887, 1889; Moureaux, 1889; Wild, 1889 и др.]. Тогда же Дж. Милн проанализировал наблюдательные данные японских обсерваторий и попытался выявить особенности протекания геомагнитных вариаций, связанные с сейсмичностью [Milne, 1890]. Результаты анализа оказались негативными – никаких характерных признаков в морфологии магнитных возмущений, сопутствующих землетрясениям, обнаружить не удалось. Тем не менее исследования продолжались. В 1891 г. в районе Ноби произошло сильное землетрясение, которое, по сообщению японских магнитологов [Tanakadate, Nagaoka, 1893], сопровождалось фантастически большим изменением горизонтальной составляющей поля на 920 нТл, что примерно вдвое превосходило эффект, наблюдавшийся Гумбольдтом.

В начале XX века Л.Бауэр сообщил о локальном магнитном возмущении с амплитудой порядка 180 нТл во время разрушительного землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско [Bauer, 1906]. С одной стороны это противоречило негативным результатам анализа обсерваторских данных Милна, подтвержденным работами [Kakuchi, 1904; Burbank, 1905], с другой – навело на мысль, что магнитные эффекты, наблюдавшиеся во время землетрясений либо сугубо локальны, либо вызываются не самими сейсмическими событиями, а их механическим воздействием на магнитную систему прибора. Реальность второго из этих предположений подтвердил Г.Рид, показавший, что сейсмогенные возмущения в показаниях приборов могут быть обусловлены несовпадением центра тяжести магнита с центром, относительно которого он колеблется [Read, 1914].

2.10. Магнитное приборостроение второй половины XIX века

Магнитное приборостроение и методика измерений в середине и второй половине XIX века продолжали развиваться в русле идей Гаусса–Ламона. Наиболее употребительными были магнитные теодолиты, которые в зависимости от применяемых визиров и магнитных систем подразделялись на буссоли с диоптриями, зеркальные буссоли, дефлекторные магнитометры и деклинаторы с магнитными стрелками на острие или в подвесе. Магнитные системы этих приборов включали в себя отклоняемые (измерительные) и отклоняющие (дефлекторные) магниты. Полный цикл абсолютных измерений элементов земного магнетизма состоял из трех процедур: определения направления истинного и магнитного меридианов; определения периода качания измерительного магнита и определения отклонений последнего при различном положении отклоняющих магнитов. При относительных измерениях дело ограничивалось первой и третьей процедурами.

Оптико-механическая система французского магнитного теодолита Бруннера–Маскара–Муро наследовала классическую схему геодезического теодолита с визирной тру

¹ Любопытно отметить, что все перечисленные публикации увидели свет задолго до разработки сейсмических методов регистрации землетрясений. По авторитетному мнению известного американского сейсмолога Б.Болта [1984, с.16], началом “сейсмологической эры” стал 1889 г., когда Е.Робер-Пашвиц “...был поражен совпадением во времени между приходом необычных волн, зарегистрированных чувствительными горизонтальными маятниками в Потсдаме и Вильгельмсхафене в Германии, и моментом сильнейшего землетрясения в Токио в 2 часа 17 минут 18-го апреля”.

бой, жестко связанной с вертикальным поворотным кругом, и горизонтальными кругами – подвижной алидадой и неподвижным лимбом. Магнитная система – подвешенный на коконовой нити измерительный магнит – помещалась в цилиндрическом медном домике. К домику перпендикулярно плоскости вертикального круга прикреплялась штанга с двумя гнездами для установки отклоняющих магнитов. Углы отклонения измерялись зеркальным способом [Поморцев, 1900; Крылов, 1947].

В отличие от теодолита Бруннера–Маскара–Муро в английском приборе, созданном в обсерватории Кью, вертикальный поворотный круг отсутствовал и определение азимутов производилось с помощью специального зеркальца, поворачиваемого вокруг горизонтальной оси. Измерительный магнит имел форму трубки, которая подвешивалась в нижней части домика. Отклоняющий магнит устанавливался на специальных салазках, перемещаемых по горизонтальной штанге перпендикулярно к оси визирной трубы.

Среди отечественных разработок наиболее удачным был сконструированный в 1879 г. Де-Колонгом дефлекторный магнитометр - буссоль с магнитной системой в виде кольцевой рамки, на которой на двух горизонтальных нитях подвешивалось шесть легких магнитов¹. Корпусом прибора служил латунный котелок, помещенный в карданов подвес. На крышке котелка располагался пеленгатор для производства отсчетов, состоявший из глазной мишени (вертикальной щели) и предметной мишени (вертикальной нити, натянутой на специальную рамку. Здесь же располагалась специальная чашка с штифтом, фиксирующим положение стойки (градуированного стержня) дефлектора с подвижными салазками для установки отклоняющих магнитов. Шкала дефлектора в единицах вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности измеряемого поля была рассчитана А.Н.Крыловым [1887].

Для измерения наклона применялись инклинометры или вертикальные круги Бруннера, Борроу, Фокса и др. Неотъемлемыми элементами конструкции сухопутных вариантов этих приборов являлись: снабженный уровнем треножник, горизонтальный и вертикальный круги, домик с агатовыми ножами для установки цапф измерительной стрелки в положение, совмещающее ось стрелки с центром вертикального круга. В морских инклинометрах агатовые ножи заменяли сапфировые гнезда (топки), в которых “топились” шпильки на концах стрелки.

Полный цикл измерений наклона включал в себя две серии по 16 измерений при прямом и обратном намагничении стрелки. Для измерения силовых элементов поля применялись две идентичные стрелки, одна из которых снабжалась механическим дефлектором – грузиком, действующим обратным магнетизму таким образом, чтобы центр тяжести стрелки с грузиком лежал на линии, совпадающей с осью цапф.

Первым прибором, позволяющим производить измерения как в режиме магнитного теодолита, так и в режиме инклинометра стал магнитометр, сконструированный шведскими исследователями Р.Таленом и З.Тибергом [Thalen, 1879, Tieberg, 1884] и усовершенствованный впоследствии их соотечественником Т.Дальбломом [Dahlblom, 1898]. Его основной элемент – снабженная уровнем буссоль, которая имела сквозную (закрепляемую между двумя подпятниками) ось и, благодаря этому, могла устанавливаться как в горизонтальном, так и вертикальном положениях. Буссоль размещалась на шине с окулярным и предметным диоптрами для внешней ориентации прибора и салазками, на которых в случае надобности помещался отклоняющий магнит. Еще одна шина, носящая название шины Дальблома, образовывала с основной шиной угол в 30° и также несла на себе салазки для установки отклоняющего магнита.

Магнитометр Талена–Тиберга–Дальблома нашел широкое применение при детальном магнитных съемках и сыграл важную роль для становления магнитного метода разведки полезных ископаемых. Испытывая его в Южной Швеции, Тален [Thalen, 1883] убедительно

¹ Такая конструкция компасных картушек с качающимися магнитами была предложена заведующим мастерской мореходных инструментов при Гидрографическом управлении Штемпелем [Крылов, 1887].

показал, что точность измерений силовых элементов поля, составлявшая примерно ± 100 – 150 гамм, была вполне достаточна для обнаружения высокоамплитудных магнитных аномалий, вызываемых неглубоко залегающими железными рудами. Эффективность магнитометра Талена–Тиберга–Дальблома подтвердили несколько тысяч относительных измерений вертикальной составляющей поля, выполненных финским магнитологом А.Тигерштедтом в процессе работ по детализации магнитной аномалии на острове Юссар-О в Финском заливе [Tigerstedt, 1899].

Максимальные метрологические требования предъявлялись к стационарным обсерваторским приборам, служившим эталонами для сличения показаний походных магнитометров и наблюдения геомагнитных вариаций. Обычно они отличались большим конструктивным разнообразием и изготавливались в единичных экземплярах в ведущих научных центрах разных стран.

Как уже отмечалось выше, в России такой центр возник только в середине XIX века. Им стала ГФО в Санкт-Петербурге, которую в 1868 г. возглавил выдающийся магнитолог и реформатор магнито-метеорологической службы страны – Г.И.Вильд [Кароль, 1988]. За четверть века работы в России им было создано несколько типов абсолютных магнитных теодолитов и магнитографов для оснащения обсерватории в Павловске и филиальных отделений ГФО в Екатеринбурге, Тифлисе и Иркутске.

Вершиной конструкторской деятельности Вильда по праву считался большой индукционный инклинатор, принципиальная схема которого основывалась на известном еще со времен Фарадея факте: при вращении замкнутого проводящего контура в однородном магнитном поле в нем индуцируется ЭДС, пропорциональная проекции вектора угловой скорости на направление вектора напряженности поля. Отсюда следовало, что при ориентации оси вращения в направлении напряженности поля ЭДС должна обращаться в нуль. Этим свойством и воспользовался Вильд при создании своего инклинатора [Wild, 1891]. Его основной элемент – замкнутая на чувствительный гальванометр индукционная катушка, которая приводилась во вращение с помощью гибкого вала. Как и в других магнитных приборах, изменение ориентации оси вращения катушки обеспечивалось двумя поворотными устройствами – горизонтальным и вертикальным кругами. Первый служил для совмещения оси с плоскостью магнитного меридиана, второй – для определения наклона геомагнитного поля, равного в данном случае углу наклона оси, при котором ЭДС была минимальной. Погрешности определения наклона на большом инклинаторе Вильда не превосходили нескольких секунд. Успешная эксплуатация этого замечательного прибора в Павловской магнитной обсерватории, к сожалению, продолжалась недолго. В 1895 г. он был уничтожен пожаром и впоследствии не восстанавливался.

Еще один уникальный прибор индукционного типа, предназначенный для регистрации вариаций геомагнитного поля, применялся в 1882–1883 гг. в период Международного Полярного года на станции Кинчут-Фиорд в Исландии. Его приемник представлял собой замкнутую на гальванометр 12-километровую кабельную петлю. При изменении Z -составляющей поля в ней возникал индуцированный ток, пропорциональный скорости этого изменения [Яновский, 1953].

Из других аппаратных разработок конца XIX века упомянем бифилярный H -вариометр Ф.Кольрауша [Kohlrusch, 1882] и основанный на принципе магнитных весов Z -вариометр Г.Ллойда [Lloyd, 1874]. Первый состоял из двух параллельных отклоняющих магнитов, над которыми располагалась буссоль, могущая перемещаться по вертикали. Подвижная магнитная система второго – коромысло весов – имела форму вытянутого ромба и с помощью стальных ножей опиралась на агатовую пластинку. В верхней части коромысла располагались стержни с нарезкой и подвижными гайками, позволяющие перемещать центр тяжести коромысла так, чтобы компенсировать влияние вертикальной составляющей внешнего поля. Впоследствии принципиальная схема Z -вариометра Ллойда легла в основу быть

может самого популярного полевого магнитометра первой половины XX века – вертикальных магнитных весов Шмидта.

2.11. Магнитные измерения начала XX века. Морские и сухопутные съемки

Начало XX века ознаменовало проведение двух крупных экспедиций в тихоокеанский и индийско-атлантический секторы Антарктики: английской на “Дискавери” под командованием капитана Р. Скотта (1900 - 1904 гг.) и немецкой на судне “Гаусс”, руководимой Э.Дригальским (1901–1903 гг.). Магнитные наблюдения в экспедиции Скотта выполнял Л.Берначи с помощью прибора Ллойд-Крика [Bernacchi, 1908]. В отличие от инклинометра Фокса этот прибор предусматривал измерения в четырех взаимно перпендикулярных азимутах, что позволяло исключить влияние ошибок в определении истинного магнитного меридиана и уменьшить погрешности, обусловленные рысканьем судна по курсу.

В немецкой экспедиции на “Гауссе” магнитными наблюдениями ведал Ф.Бидлингмайер. Они проводились дефлекторным магнитометром с отклоняющимися магнитами, расположенными в той же плоскости, что и отклоняемые стрелки. Кроме того была исследована возможность измерения горизонтальной составляющей поля двумя компасами с общей вертикальной осью. Сконструированный на основе этой идеи двойной компас [Bidlingmayer, 1907] впоследствии широко использовался во многих воздушных и морских экспедициях первой трети XX века, например, в арктическом полете на дирижабле “Граф Цеппелин” [Ljungdahl, 1931]. Результаты обработки произведенных на “Гауссе” измерений наклона, горизонтальной составляющей и модуля напряженности геомагнитного поля были опубликованы в 1925 г. [Bartels, 1925; Nelle, 1925].

Из других экспедиций в Антарктику упомянем плавание Э.Шеклтона на судне “Нимрод”. В 1909 г. его участники впервые достигли южного геомагнитного полюса в точке с координатами: $72^{\circ}25'$ ю.ш. $155^{\circ}16'$ з.д. Еще одна Британская экспедиция в Антарктику, в состав которой входил магнитолог Г.Симпсон, работала в 1910–1913 гг. [Chree, 1921].

Наиболее значительной программой морских магнитных исследований начала XX века несомненно была программа Института Карнеги. На первом этапе (1905–1908 гг.) она осуществлялась на переоборудованном торговом судне “Галилей”, оснащенном дефлекторным магнитометром и инклинометром Ллойд-Крика. Постоянные этих приборов вычислялись в начале и в конце рейсов в Вашингтоне и корректировались сличением с показаниями эталонных приборов в портах захода. Методика съемки, предусматривающая группирование и усреднение единичных измерений, была близка к принятой в магнитных обсерваториях [Иванов, 1966].

На сменившей “Галилей” в 1909 г. яхте “Карнеги” сначала использовалась та же аппаратура, а в 1912 г. прибор Ллойд-Крика был заменен индукционным инклинометром с вертикальной катушкой, ток в которой коммутировался при совпадении плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана [Иванов, 1966]. В результате этих усовершенствований в благоприятных погодных условиях точность измерений горизонтальной составляющей поля на яхте “Карнеги” составляла первые десятки нТл.

Всего за три рейса “Галилея” было произведено свыше 300 точечных измерений наклона и горизонтальной составляющей поля с шагом в 200 морских миль. В шести рейсах яхты “Карнеги” число таких измерений превосходило 2000, а шаг был сокращен до 132 морских миль. Седьмой рейс остался незавершенным из-за пожара, уничтожившего как саму яхту, так и материалы наблюдений. Спасая их, погиб возглавлявший рейс капитан Олт.

В сухопутной магнитометрии рубеж XIX–XX веков ознаменовали первые ГМС в южном полушарии. В 1901 г. начались систематические магнитные измерения в Британской Индии. За 5 лет работы число пунктов наблюдений, производимых с шагом около 75 км, достигло 1100 [Rose и др., 1934]. К этому же времени относится съемка Голландской Индии (Индонезии), в которой использовались теодолит Кью и инклинометр с тремя стрелками.

Точность полученных результатов оценивалась в 10' по угловым элементам и 10 нТл по горизонтальной составляющей поля [Bemmelen, 1909].

Проведение ГМС России также стимулировал проект Института Карнеги, причисливший наше Отечество к странам, "... в отношении которых не было надежды, что они сами произведут своевременно и должным образом магнитную съемку" [Розе и др., 1934, с.203]. Выступая в 1909 г. на XII съезде русских врачей и естествоиспытателей с докладом "О магнитной изученности земного шара и подготовительных работах к магнитной съемке России", тогдашний директор ГФО академик М.А.Рыкачев говорил: "Потребность в этом столь велика, что если мы этого не сделаем, то за нее (съемку) примутся американцы. Но удобно ли, чтобы Российская империя, наравне с необитаемыми и дикими странами, была исследована на средства магнитного департамента Карнеги?... Я надеюсь, я уверен, что такого позора не будет" [Рыкачев, 1910].

Реализация проекта ГМС началась в 1910 г., когда "... был осуществлен первый пробный выезд на полевые работы ..., показавший расхождение при повторных наблюдениях горизонтальной составляющей всего в три гаммы, при допустимом расчетном расхождении в 10 гамм" [Ляхов, 1989, с.12]. За последующие семь лет сплошные наблюдения охватили Петербургскую, Новгородскую, Псковскую и Подольскую губернии (664 пункта по сети с шагом 20 км). Вдоль берегов северных и сибирских рек были проведены маршрутные съемки (514 пунктов).

Постановление о необходимости продолжения ГМС на всей территории страны принял Первый геофизический (третий метеорологический) съезд в Москве в 1925 г. По его предложению было учреждено Магнитное бюро РСФСР, которому поручалась организация при местных геофизических учреждениях магнитных бюро для руководства съемочными работами в союзных и автономных республиках. На Магнитное бюро РСФСР также возлагалась обязанность подготовки "...данных магнитных наблюдений по Советскому Союзу для опубликования и всестороннего использования, наблюдение за планомерным сравнением магнитных приборов со стандартными приборами СССР, содействие в устройстве постоянных и временных вариометрических станций" [Малинина, 1978, с.28]. На правительственном уровне решение о проведении ГМС было принято 26 августа 1930 г. Общее руководство работами возлагалось на Гидрометеорологический комитет при СНК СССР, оперативное руководство – на Бюро Генеральной магнитной съемки, которое возглавил профессор Н.В.Розе.

Сплошной съемкой со средним расстоянием между пунктами наблюдений 20 ± 5 км покрывались европейские районы страны, имеющие развитые пути сообщения. В труднодоступных и малонаселенных районах съемка выполнялась единичными маршрутами вдоль дорог, побережий рек и морей с шагом 40 ± 10 км. Планируемые погрешности составляли: по угловым элементам $\pm 2' - 3'$, по горизонтальной составляющей поля $H - 0,1\%$. На опорных пунктах векового хода (ПВХ) эти допуски сокращались соответственно до $\pm 1'$ и ± 5 гамм. Ключевая роль в проведении этих работ отводилась региональным магнитным обсерваториям: Одесской (рук. М.М.Аганин), Казанской (Н.Ф.Пушкин), Свердловской (Р.Г.Абельс), Иркутской (Б.М.Добролюбовский), Тбилисской (М.З.Нодиа) и др. В Московской области наблюдения по программе ГМС проводил Московский геофизический институт под руководством В.А.Успенского [Ляхов, 1989, с.21].

Рядовым наблюдениям предшествовало создание опорной сети ПВХ. За семилетний период (1924–1930 гг.) измерения были произведены на 200 ПВХ, причем на 25 % из них эти измерения повторялись затем через 2–4 года. В последующие годы развитие опорной сети производилась параллельно с рядовыми наблюдениями. Итогом первого этапа ГМС (1931–1935 гг.) стали 11760 пунктов сплошной и 4500 пунктов маршрутной съемок.

Первоочередными объектами ГМС были юг Европейской части СССР, Закавказье, Средняя Азия и Дальний Восток. Начиная с 1936 г. основной объем работ переместился в такие районы, "как, например, Казахстан, Прикаспийская низменность, Колымский край,

побережье Северного полярного моря, считавшиеся в 1931 г. недоступными для ГМС и не вошедшие в ее план” [Трубятчинский, 1936]. К 1940 г. число экспедиций, организованных Бюро ГМС достигло 357, а число пунктов наблюдений – 21690.

В районах, имеющих важное народнохозяйственное значение, предусматривались детальные съемки – относительные определения Z -составляющей геомагнитного поля с шагом 2 км по всем маршрутам между абсолютными пунктами. Благодаря этому наиболее важные для целей геологии “... карты вертикальной составляющей Z можно было строить более подробно по сравнению с картами других магнитных элементов”. [Малинина, 1978, с.33].

В процессе съемки совершенствовалась аппаратура, техника и методика измерений, что нашло отражение в обновлении соответствующих наставлений и инструкций [Розе, Трубятчинский, 1928, 1931; Орлов, Трубятчинский, 1936, 1938; Климов, Пенкевич, 1936; Пенкевич, 1946]. В послевоенные годы работы по проекту ГМС продолжались лишь на арктических побережьях и островах.

Из других сухопутных исследований этого периода следует упомянуть магнитные съемки Польши [Kalinowski, 1933, 1935], Финляндии [Keränen, 1933] и Румынии [Procopiu, 1935], наблюдения на Тибете [Venske, 1931], в Северной, Французской Тропической и Южной Африке [Hurst, 1924; Lewis, 1937; Hubert, 1938]. В 1933 г. О.Лютцов-Хольм опубликовал первую магнитную карту Аргентины, приведенную к эпохе 1931 г. [Lutzow-Holm, 1933].

Магнитные измерения в Японии привели к открытию локальных аномалий векового хода в эпицентральных зонах землетрясений и районах активного вулканизма. Это заслуга Ю.Като – автора оригинальной методики обработки повторных магнитных съемок, основанной на приведении наблюдений к уровню удаленной (расположенной в безаномальном районе) обсерватории. По-видимому, первый успешный опыт применения новой методики – выявление аномалии с амплитудой порядка 100 нТл в эпицентре землетрясения 1930 г. в Сев. Идзу [Kato, Nakamura, 1930, 1934]. Впоследствии Като обработал результаты магнитных съемок Японии 1893 и 1913 гг. и обратил внимание на то, что две из десяти обнаруженных им локальных аномалий векового хода имели дипольный характер и были приурочены к эпицентрам землетрясений: Рикю-Ю (август, 1896 г.) и Сусака (январь, 1897 г.). Глубина залегания эквивалентных дипольных источников этих аномалий составляла примерно 30 км [Kato, 1938]. Локальные особенности векового хода в Крыму исследовала Е.Н.Кракау [1939], применившая методику Като к наблюдениям П.Т.Пасальского 1900 г. и съемке 1936 г., что позволило выявить аномалию, предположительно связанную с Крымским землетрясением 1927 г.

2.12. Магнитные измерения начала XX века в обсерваториях.

В 1902–1903 гг. по инициативе профессора Кристиана Биркеланда была организована Норвежская полярная экспедиция, план которой предусматривал построение четырех специальных обсерваторий – в Каафиорде на севере Норвегии, в Дирафиорде в Исландии, в Аксалеоне на Шпицбергене и в проливе Маточкин Шар на Новой Земле. По тому же плану еще в 23-х обсерваториях в заранее оговоренные дни и часы проводились специальные измерения при ускоренном ходе самописцев магнитографов [Birkeland, 1908].

Совместная обработка этого обширного экспериментального материала легла в основу первой классификации геомагнитных возмущений, в которой нашли отражение различия в характере возмущений в экваториальных и полярных широтах. В специальный класс выделялись обусловленные солнечными вспышками глобальные магнитные бури, названные Биркеландом “цикломедианными”. Причины их возникновения Биркеланд связывал с корпускулярным излучением Солнца, которое взаимодействует со стационарным геомагнитным полем и продуцирует потоки заряженных частиц – кольцевые токи – в верхних слоях атмосферы. Дальнейшее развитие эти представления получили в работах соотечественника Биркеланда К.Штёрмера [1933].

В ходе наблюдений Норвежской полярной экспедиции 1902–1903 гг. Биркеланду удалось также выявить новый тип геомагнитных вариаций, классифицированных впоследствии как возмущения DP1 или магнитные бухты [Birkeland, 1908]. Тщательное статистическое изучение последних предпринял Л.Штейнер [Steiner, 1921]. Анализируя магнитограммы обсерватории O'Gyalla близ Будапешта за период 1906–1917 гг., он выделил 428 положительных и 103 отрицательных бухт с характерными амплитудами 3–20 гамм по горизонтальной и 1–3 гаммы по вертикальной составляющей поля. Сходные статистические исследования были проведены Э.Вихертом в 1929–1933 гг. в Кенигсберге [Wiechert, 1934]. В 1938 г. японский магнитолог Г.Хатакеяма пришел к выводу, что источниками магнитных бухт являются системы ионосферных токов (электроджетов), достигающие максимальной концентрации в авроральных зонах [Hatakeyama, 1938].

Реальность открытых Ф.Кольраушем и М.Эшенхагеном короткопериодных геомагнитных пульсаций подтвердили наблюдения Ван Беммелена в Батавии [Bemmelen, 1906]. Несколькими годами позднее, Г.Ангенхайстер, сравнивая записи пульсаций в США (близ Вашингтона), на острове Самоа и в Китае, пришел к заключению, что они синхронны на всей Земле [Angenheister, 1913]. Ряд сообщений о регистрации короткопериодных пульсаций был опубликован в 20-х гг. Однако систематическое их изучение началось после того как датский магнитолог Д. Ля-Кур создал специальный вариометр для регистрации таких вариаций [La Cour, Laurson, 1930]. В 1930–1931 гг. Б.Рольф и Л.Харанг, используя вариометры Ля Кура впервые обнаружили гигантские (с амплитудой от 4–6 до 30 гамм) микропульсации в скандинавских обсерваториях Абиско и Тромсе [Rolf, 1930; Harang, 1931].

Большой объем наблюдений в Арктике, проведенных в 1932–1933 гг. по программе 2-го Международного Полярного года резко расширил наши представления о структуре высокоширотных, в том числе и короткопериодных, геомагнитных вариаций. Возмущенные солнечно-суточные вариации и их зависимость от общей магнитной активности исследовал Дж.Штагг, возглавлявший Британскую полярную станцию Форт Рей в северо-западной Канаде [Stagg, 1937]. В финской обсерватории Соданкюля в 1932 г. были зарегистрированы быстрые микровибрации с периодами 2–3 с [Sucksdorf, 1936].

В деле изучения глобальной пространственно-временной структуры вековых геомагнитных вариаций по-прежнему актуальной оставалась проблема расширения Мировой сети магнитных обсерваторий. В 1901–1902 гг. начались систематические наблюдения в обсерваториях Гонолулу на Гавайских о-вах, Сан-Мигель в Португалии, Крайсчерч в Новой Зеландии, Кодайканал в Индии, Апиа на о-ве Самоа, Тананариве на Мадагаскаре; Миссалат в Египте; в 1903–1905 гг. – в обсерваториях Сан-Хуан (о. Пуэрто-Рико, США), Лори на Оркнейских о-вах, Пилар в Аргентине, Тортоза-Эбро в Испании и др. [Chapman, Bartels, 1940]. В следующее пятилетие (1906–1910 гг.) Мировую сеть дополнили обсерватории Эскедейльмюр в Англии и Тусон в США.

Потребность в обобщении наблюдательных данных стимулировала работы по созданию сводок (каталогов) среднегодовых значений элементов земного магнетизма, составляемых по материалам Мировой сети обсерваторий. Такие сводки начали публиковаться еще в конце XIX века в Географическом ежегоднике Гота в Германии. В 1899 г. к систематической каталогизации обсерваторских наблюдений приступил известный американский магнитолог Дж. Флеминг. Серия его публикаций, сначала индивидуальных, а затем в соавторстве с К.Эннисом и У.Скоттом продолжалась вплоть до 1948 г. [Fleming, 1899-1930; Fleming, Ennis, 1930-1937; Fleming, Scott, 1943-1948].

Длительность рядов непрерывных измерений силовых элементов поля достигла пятидесяти и более лет. Благодаря анализу этих рядов в сознании магнитологов укоренялась мысль о сложном характере вековых изменений геомагнитного поля, отражающих не только прецессию дипольной оси и западный дрейф недипольных неоднородностей, но и вековые колебания магнитного момента Земли. По свидетельству Ю.Д.Калинина [1984, с.80],

одним из первых исследователей, обративших внимание на важность изучения этих колебаний, был профессор Московского университета Н.А.Умов [1904].

Прямые исследования вариаций магнитного момента Земли берут начало с работы [Bauer, 1914], – введения в научный обиход, так называемой, “постоянной локализации”, равной магнитному моменту виртуального центрального диполя, поле которого в данной точке совпадает с измеренным. По вычислениям Бауэра в период 1900–1910 гг. эта постоянная на большей части земной поверхности (за исключением Южной и Восточной Азии) убывала со временем, что указывало на систематическое вековое уменьшение дипольного момента. Несколькоими годами позже Бауэр обратил внимание на изменения в протекании вековых вариаций, связанные с 11-летним циклом солнечной активности [Bauer, 1918].

На территории СССР развитие сети магнитных обсерваторий диктовалось главным образом потребностями ГМС. В 1925–1930 гг. начались обсерваторские наблюдения в Ташкенте, Макеевке (Донбасс), Кандалакше; В последующее пятилетие (1931–1936 гг.) к ним добавились обсерватории в Якутске, Май-Туне (район Владивостока), Нижнедевицке (Воронежская обл.). В 1935 г. С.И.Исаев возглавил строительство Средниканской обсерватории на Колыме [Ляхов, 1989, с.21]. Начавшиеся примерно в это же время систематические работы по освоению Северного Морского пути и участие Гидрометкомитета СССР в работах 2-го Международного полярного года потребовали открытия новых высокоширотных обсерваторий в проливе Маточкин Шар (Новая Земля) в бухте Тихой (Земля Франца Иосифа), на о-ве Диксон, мысе Уэлен и мысе Челюскин [Яновский, 1967].

2.13. Становление магниторазведки

В 1908 г. Департамент Горных Дел принял решение освоить шведский опыт магнитной разведки железных руд и для этой цели направил в Швецию своего представителя – профессора Петербургского Горного института В.И.Баумана, которому, по свидетельству И.М.Бахурина [1925а, с.6], “... принадлежит честь практического внедрения магнитометрии в России”. Следует подчеркнуть, что Бауман не ограничился применением шведских технологий, подвергнув их самостоятельной переработке. Он предложил простые и изящные методы обработки наблюдений, основанные на нормировании измеренных элементов на величину горизонтальной составляющей нормального геомагнитного поля и пришел к заключению, что предел точности наиболее популярного в то время прибора Тиберга–Талена (см. раздел 2.13) составляет 0.05 от принятой нормы.

По возвращении в Россию Бауман сосредоточил свои усилия на проведении и интерпретации магнитных съемок на железорудных объектах Урала: близ г. Высокой и Магнитной, в Кочканарском районе, на Покровском и Ауэрбаховском рудниках и других перспективных площадях [Миков, 1937]. Без каких-либо катаклизмов они продолжались вплоть до Октябрьского переворота 1917 г.

Гораздо более драматичной была история исследования КМА. Работы в этом районе, начатые Сергиевским, Роддом и Муром, продолжил профессор Московского университета Э.Е.Лейст, разделявший гипотезу Пильчикова о железорудной природе КМА. Уже в 1897 г. он проехал по Щигровскому, Старооскольскому и Новооскольскому уездам, где местные жители находили обломки железной руды. Химические анализы собранных образцов, проведенные в Харьковском технологическом институте, показали, что они содержат 46–51 % железа. По оценкам Лейста 1897 г. глубина залегания рудного тела составляла 80–100 саженей, а прогнозные запасы железной руды – не менее 225 миллиардов пудов [Бусыгин, 1969].

Деятельность Лейста активно поддерживало Курское губернское земство. Однако, после того как пробуренные по его рекомендациям скважины в районах сел Непхаево и Кочетовка достигли глубин порядка 100 саженей, но не вскрыли железных руд, Лейст подвергся уничтожающей критике, обвинениям в некомпетентности и спекулятивной пропаганде “мифических” железорудных богатств Курской земли [Никитин, 1900]. Дальнейшие работы он

вел, как говорится, на свой страх и риск и уже к 1909 г. число пунктов магнитных измерений в районе КМА превосходило 4 тысячи.

Зимой 1918 г. Лейст сделал итоговый доклад об изучении КМА на физическом коллоквиуме Физико-географического института при Московском университете, который впоследствии был опубликован [*Лейст*, 1921]. Летом того же года, забрав с собой все каталоги наблюдений и карты для подготовки окончательного отчета, он уехал лечиться на курорт Бад-Наугейм в Германию, где вскоре скончался. Материалы Лейста попали в руки инженера И. Штайна, который от имени немецких финансовых групп предложил правительству Советской России продолжить разведку КМА на концессионных началах или выкупить эти материалы за 5 млн. рублей золотом [*Заборовский*, 1970].

Вопрос о целесообразности выкупа материалов Лейста стал предметом консультаций наркома торговли и промышленности Л.Б. Красина с выдающимися исследователями земных недр физиком П.П.Лазаревым, избранным в 1917 г. действительным членом Академии наук, и геологом (будущим академиком) А.Д.Архангельским. В результате консультаций было принято решение отказаться от немецких предложений и провести исследования КМА своими силами с использованием новых, более совершенных методов. Уже в начале 1919 г. по поручению Красина была организована Магнитная комиссия, позднее – в 1920 г. – преобразованная в Особую комиссию по изучению Курской магнитной аномалии (ОККМА). В ее состав вошли П.П.Лазарев, А.Д.Архангельский, А.Н.Крылов, А.Н.Ляпунов и др. В качестве консультанта был привлечен заведующий Компасной частью Гидрографического управления В.Я.Павлинов, по рекомендации которого в распоряжение комиссии командировались сотрудники Гидрографического управления К.С.Юркевич (начальник отряда), гидрограф И.Д.Жонголович, магнитологи А.И.Заборовский, В.В.Коллюбакин, Б.М.Яновский и др.

Полевые исследования на КМА были начаты летом 1919 г. с рекогносцировочных наблюдений на маршруте Щигры–Тим. По предложению Крылова они проводились с помощью пятидюймовых морских компасов, снабженных дефлекторами Де-Колонга. К отчету об этих работах [*Заборовский*, 1920] прилагалась таблица значений трех элементов земного магнетизма, определенных в 443 пунктах с относительной погрешностью порядка 0.25–0.5%. В последующие годы магнитные наблюдения комплексовались с измерениями вторых производных гравитационного поля с помощью вариометра Этвеша.

Буровые работы по заверке КМА начались в 1921 г. в районе Щигров. Их первым и, по видимому, самым неожиданным результатом стало обнаружение эффекта самонамагничивания бурового инструмента [*Гиммельфарб*, 1923]. Уже на глубине 11 м он был настолько силен, что к долоту можно было подвесить железный предмет весом до 5 фунтов, а на глубине 165 м вес удерживаемого долотом предмета возрос до 69 фунтов. 4 апреля 1923 г. скважина в районе Щигров разрешила дискуссии о природе КМА. Поднятый столбик керна длиной 92 см, состоял из прослоев кварцитов, магнитного железняка и гематита.

К 1925 г. число пунктов наблюдений на КМА достигло 17 700. Результаты магнитной съемки были представлены в виде Атласа магнитных карт склонения, горизонтальной и вертикальной составляющих геомагнитного поля [*Атлас...*, 1927]. Были выявлены две полосы интенсивных магнитных аномалий: восточная, протягивающаяся от Щигров до Тима и далее в район Старого Оскола, и западная – от Белгорода до Волчанска. В результате их интерпретации прогнозная оценка запасов железных руд КМА возросла до 600 млрд. тонн [*Бронштейн, Бакитько*, 1934].

Важной вехой в становлении отечественной магниторазведки стало создание в Петрограде Института прикладной геофизики. Дело началось с датированной 22.12.1922 г. записки Горного института в Научно-технический совет Главного управления горной промышленности, которую составил профессор Бауман. Записка Баумана, ставшая основой программы работ создаваемого Института, предусматривала лабораторные исследования по вопросам, связанным с применением геофизических методов разведки, а также летние поездки сотрудников для постановки опытных работ на местах съемки и сбора необходимых для Ин-

ститута материалов. В качестве первоочередных намечались работы по исследованию магнитных свойств руд на уже освещенных магнитной съемкой железорудных месторождениях Урала, Сибири и Пудожгорья в Олонецком крае.

Летом 1924 г. силами сотрудников магнитометрического отдела ИПГ были проведены детальные магнитные наблюдения к северу от изученных месторождений Кривого Рога, которые позволили существенно уточнить и детализировать результаты предшествующей съемки П.Т.Пасальского [Бахурин, 1925б]. Эти работы стали отправной точкой для осуществленной в 1924–1930 гг. под руководством А.А.Строны магнитной съемки всего Криворожского бассейна, расширившей его границы далеко на север. Были выявлены Млыновская, Успенская, Попельнастовская и другие аномалии на правом берегу Днепра. В 1928 г. Строна обнаружил Кременчугскую магнитную аномалию и сделал вывод о ее связи с железистыми кварцитами Криворожского типа [Строна, 1939]. Впоследствии здесь был открыт ряд железорудных месторождений, суммарные запасы которых к 1971 г. достигли 2 млрд. тонн [Бутаков и др., 1971].

В Сибири становление магниторазведки связано с деятельностью ученика Баумана П.К.Соболевского, создавшего при Томском политехническом институте кафедру маркшейдерии, при которой была организована школа маркшейдеров и магнитометристов. После отъезда Соболевского в Екатеринбург (Свердловск) его дело продолжил Ф.В.Галахов, осуществивший пионерские магнитные съемки в Горной Шории. В 30-е гг. магнитные работы по поиску и разведке железорудных месторождений Горной Шории и юга Красноярского края проводили многочисленные полевые партии Сибирского отделения Геолкома под началом И.Н.Лапинского, Л.Н.Шержецкого, Л.Д.Староверова, П.Н.Измайлова, М.А.Еркина, Д.И.Саватеева, В.В.Бородина [Киселев и др., 1998]. Методическим результатам этих исследований была посвящена работа [Галахов, Китаев, 1935].

То, что магниторазведка является эффективным методом разведки не только сильномагнитных, но и слабомагнитных руд черных металлов продемонстрировали исследования А.Кокса в Англии [Cox, 1919], Г.Райха и В.Вольфа в Граце [Reich, Wolf, 1929]. В России эту же цель преследовали рекогносцировочные съемки 20-х гг. на месторождениях бурого железняка в Липецком и Тульском районах [Кракау и др., 1926; Розе, 1927]. Они выполнялись с помощью теодолита Шасселона и инклинометра Довера и привели к выводу, что картирование слабомагнитных железняков требует существенного уменьшения погрешностей измерений, которые оценивались примерно в 25 гамм по H - и 80 гамм по Z -составляющей поля. Съемки 1928–1929 гг. на рудниках Никопольского района подтвердили эффективность магниторазведки при выявлении марганцевых руд [Трубяччинский, 1932]. В 1931–1932 гг. Малинина и Розе произвели микромагнитную съемку на Каменско-Синарских месторождениях бурого железняка на Урале [Малинина, 1978], а сотрудники опытной партии ЦНИГРИ под руководством Н.А.Никифорова исследовали возможности метода на Мазульском марганцевом месторождении [Киселев и др., 1998].

Примерно в это же время были осознаны и подтверждены натурными съемками картировочные возможности магниторазведки при изучении интрузий основного и ультраосновного состава и связанных с ними промышленных скоплений хромитовых и никелевых руд (Уфалейский и Алапаевский р-ны на Урале, Ветренный пояс на Кольском полуострове, Причарская полоса основных пород в Казахстане); при прослеживании даек и жил в пределах рудных полей полиметаллических месторождений в Приморье, на Урале, в Восточном Забайкалье, Северной Киргизии и др. регионах, при поисках северо-уральских бокситов и локализации обогащенных магнетитом золотых россыпей в Западной Сибири и т.п. Опыт этих чрезвычайно важных для дальнейшего развития отечественной магниторазведки работ был освещен в Вузовском курсе магниторазведки [Берсудский и др., 1940]. Десятилетием раньше об успешном применении магниторазведки для изучения структур рудных полей и локализации россыпной золотоносности в районе Великих озер в Северной Америке сообщалось в монографии К. Хейланда [Heiland, 1929].

В 1920 г. немецкий магнитолог Ф.Шу, производя магнитную съемку в Мекленбурге, обнаружил на юго-востоке этой земли отрицательную магнитную аномалию, вызванную, по мнению первооткрывателя, диамагнитным эффектом штокообразной соляной залежи [Schuh, 1920]. Эта работа положила начало многочисленным попыткам изучения соляной тектоники Северо-Германской равнины с помощью магниторазведки, которые привели к выводу, что успех решения этой задачи не гарантирован: соответствующие аномальные эффекты не превосходят 20–30 нТл [Königsberger, 1924] и могут быть приписаны не только действию соли, но и влиянию неоднородностей кристаллического фундамента [Haalck, 1930].

В отечественной магниторазведке аналогичная роль принадлежала магнитной съемке И.М. Бахурина на месторождении соли в Илецком районе Оренбургской области – выявление приуроченной к соляному штоку отрицательной аномалии Z-составляющей поля с амплитудой порядка 40–50 гамм [Бахурин, 1927]. Не столь однозначными были результаты магнитных измерений, произведенных Н.Н.Трубятчинским в 1930 г. на участке Кейкабес в Южно-Эмбенском районе. Аномальные эффекты соли здесь нередко маскировались влиянием мощной пестроцветной толщи пермо-триаса [Берсудский и др., 1940].

Первые в России магниторазведочные работы на нефть и газ были проведены в 1926 г. в Азербайджане под руководством А.И.Заборовского [1929]. Опыт оказался положительным. В ходе исследований удалось показать, что присутствие в осадочном чехле пород, обогащенных магнетитом, дает возможность использовать магнитные данные для обнаружения и картирования локальных пликативных структур. Тремя годами позднее силами Государственного исследовательского нефтяного института (ГИНИ) была проведена площадная микромагнитная съемка в Грозненском районе. Ее цели: изучение кристаллического фундамента и уточнение направлений нефтепоисковых работ [Киселев и др., 1998]. Те же цели преследовала магнитная съемка 1930 г. на Западном Урале (район Туймазы) [Яновский, 1932]. Ряд примеров успешного применения магниторазведки на нефтяных месторождениях Гарбер, Гоббс, Китрелл и др. в США привел В.Дженни [1935].

В методическом плане важное значение имели работы Б.П.Вейнберга [1932, 1936], в которых были рассмотрены вопросы оптимизации сети и оценки точности наблюдений при производстве микромагнитных съемок. Попытки по регистрации геомагнитных вариаций непосредственно на площадях съемок выявили различия в их протекании в аномальных и безаномальных районах. По-видимому, первыми на эти различия еще в конце XIX века обратили внимание авторы работ [Carlheim-Gillenskold, 1895; Лейст, Пасальский, 1897; Pilchikov, 1900]. Свое подтверждение они получили в начале 30-х гг., благодаря наблюдениям сотрудников Нижне-Девичкой обсерватории П.В.Гусева и К.Г.Бронштейна [1937] в районе КМА. В работе Б.М.Яновского [1936] однако было показано, что обнаруженный Гусевым и Бронштейном аномальный эффект противоречит теоретическим оценкам и обусловлен методическими погрешностями: установкой магнитометра по местному (аномальному), а не по нормальному магнитному меридиану. В этой же работе Яновский вывел соотношения, связывающие аномалии вариаций с магнитной восприимчивостью и намагниченностью носителей источников поля и, тем самым, положил начало созданию вариационного метода магнитной разведки¹.

2.14. Аппаратурный парк магнитометрии начала XX века

Идейной основой аппаратурного обеспечения магнитных измерений начала XX века по-прежнему оставался классический метод Гаусса–Ламона, а перспективы повышения производительности и точности измерительных приборов связывались с разработкой электрических систем, в которых отклоняющий магнит с его изменчивым и поэтому требующим

¹ Впоследствии на его базе был развит метод подмагничивания (см. следующий очерк).

постоянных коррекций магнитным моментом заменялся электромагнитной катушкой. В качестве таковой использовались кольца Гельмгольца, что обеспечивало высокую однородность создаваемого поля в центре колец¹. Сила тока определялась компенсационным способом с помощью нормального сопротивления и нормального элемента Вестона, принятого по постановлению Международного конгресса электриков в Лондоне (1908 г.) за эталон ЭДС.

Электрические магнитометры подразделялись на абсолютные и относительные. В приборах первого типа постоянные кольца определялись посредством прямых измерений их размеров; в приборах второго типа – посредством сличения с показаниями обсерваторского магнитометра. Два абсолютных магнитометра, предназначенных для измерения горизонтальной составляющей поля были построены в начале 20-х гг. в Институте Карнеги [Barnett, 1921] и в Национальной физической лаборатории в Лондоне [Smith, 1922]. В обоих приборах обмотки колец Гельмгольца были намотаны на горизонтальные мраморные цилиндры. В их центре подвешивался отклоняемый магнит, малые размеры которого обеспечивали однородность компенсирующего поля катушек с точностью до 0.001 %. Сходная схема с вертикально ориентированной осью колец была использована в абсолютном Z-магнитометре, предложенном в работе [Dye, 1928]. Погрешности этих инструментов не превосходили 2–4 нТл.

Относительные электрические магнитометры предназначались главным образом для производства наземных и морских магнитных съемок. Примерами таковых могут служить уже упоминавшийся морской индукционный инклинатор (индуктор) Института Карнеги [Fleming, 1913] и портативный H-магнитометр, сконструированный японскими магнитологами [Watanabe, Kawamura, 1924]. Синтез двойного компаса Бидлингмайера с кольцами Гельмгольца привел к созданию в Институте Канеги морского компас-вариометра [Bauer et al., 1926].

Оригинальная конструкция электрического магнитометра для относительных измерений была предложена казанским проф. В.А.Ульяниным [1916]. Роль гальваноскопа в нем выполняла небольшая катушка, помещенная около отклоняемого магнита. Аналогичный способ измерений использовался в походном H-магнитометре, созданном в 1927 г. механиком А.В.Коржинским по эскизам Трубяччинского на базе теодолита Муро–Шасселона [Розе, Трубяччинский, 1928], в Z-магнитометре конструкции Б.Е.Брюнелли [1936], а также в основном приборе Генеральной магнитной съемки СССР – магнитном теодолите “Комбайн” [Климов, Пенкевич, 1936; Пенкевич, 1937].

Еще один оригинальный способ измерения Z- и H-составляющих геомагнитного поля с помощью электровакуумной трубки – магнетрона был предложен в работе [Rössiger, 1928]. Развивая эту идею, Э.И.Вальский использовал магнетрон в приборе для непрерывных магнитных измерений и произвел с ним опытные наблюдения в поезде в районе КМА [Вальский, 1930]. По сообщению М.Рефорда и Дж.Самнера разведочный аэромагнитометр сходной конструкции (на базе усовершенствованной лампы Эллиота) был разработан Управлением военно-морского флота США [Reford, Sumner, 1964]. В 1935 г. А.А.Логачев создал индукционный Z-магнитометр с вращающейся катушкой, пригодный для установки на самолете [Логачев, 1936].

Несмотря на успехи и достижения в области электрических методов магнитных измерений важная роль в приборостроении начала XX века по-прежнему принадлежала измерительным системами оптико-механического типа. Из отечественных разработок в этой области выделим универсальный магнитный теодолит Н.Н.Оглоблинского [1913] с проектной

¹ Колечные системы использовались также в разнообразных устройствах для калибровки магнитов-дефлекторов и определения их температурных коэффициентов [Venske, 1912; Павлинов, 1926; Schmidt, 1930; Яновский, 1933; и др.]. Расчету колец Гельмгольца, обеспечивающих высокую однородность компенсации геомагнитного поля, была посвящена одна из первых работ известного немецкого магнитолога Г. Фанзеллау [Fanselau, 1929].

точностью 0'.1 по склонению, 6 нТл по горизонтальной и 15–30 нТл по вертикальной составляющей геомагнитного поля. По существу он представлял собой модификацию дефлекторного магнитометра Де-Колонга. Главное усовершенствование состояло в использовании не одного, а двух дефлекторных магнитов, что делало измерения почти независимыми от малых перемещений картушки вдоль линии, соединяющей центры магнитов.

Первый экземпляр теодолита Оглоблинского был изготовлен в 1911 г. в мастерских мореходных инструментов под руководством Г.А.Фрейберга [*Розе и др.*, 1934]. Испытания прибора показали, что точность измерений склонения и горизонтальной составляющей напряженности поля вполне соответствует проекту. Точность измерения вертикальной составляющей была примерно вдвое хуже проектной вследствие неустойчивости горизонтальных нитей, на которых подвешивалась наклонная картушка [*Матусевич*, 1927]. Дальнейшие усовершенствования в конструкцию дефлекторного магнитометра были внесены В.Я.Павлиновым [1932].

Абсолютный магнитный теодолит Адольфа Шмидта, отличался от других приборов этого типа тем, что его постоянные определялись посредством изменения углов между отклоняющимися магнитами и осью шины, на которой они располагались. Это достигалось благодаря установке отклоняющих магнитов на горизонтальных поворотных кругах. Подвешенный на металлической нити отклоняемый магнит помещался в металлическом домике с трубкой подвеса длиной 400 мм. В верхней части трубки имелась головка кручения, позволяющая раскручивать или закручивать нить и перемещать точку подвеса в трех ортогональных направлениях. Для точного определения расстояния между отклоняющимися и отклоняемым магнитом применялся специальный компаратор с месс-микроскопами на концах и бронзовая штанга с штрихами для производства отсчетов. Измерения периода качания магнита выполнялись в съемном домике, представлявшем собой деревянный цилиндр длиной 200 мм [*Яновский*, 1941].

Интересно отметить, что все перечисленные выше конструктивные решения Шмидта унаследовал абсолютный магнитный теодолит, созданный во ВНИИМ им. Д.И.Менделеева [*Шрамков*, 1952]. Отличия состояли лишь в том, что в теодолите ВНИИМ имелось две соосные системы колец Гельмгольца, а определение периода качания магнита предварялось откачкой воздуха из съемного домика.

Выдающимся достижением стало еще одно изобретение А.Шмидта – вертикальные магнитные весы, принцип действия которых, как и в *Z*-вариометре Ллойда, был основан на уравновешении момента вращения чувствительной системы, обусловленного земным магнетизмом, моментом силы тяжести [*Schmidt*, 1914]. По сравнению с магнитометром Тиберга–Талена этот прибор позволял существенно повысить производительность и точность относительных магнитных измерений, что делало его наиболее употребительным для магниторазведочных съемок.

Основным элементом вертикальных весов служила ромбовидная чувствительная система из двух плоских магнитов, осью вращения которой служило ребро кварцевой призмы, перпендикулярной плоскости системы. С помощью штифтов, изменяющих положение центра тяжести, она приводилась в горизонтальное положение и помещалась в немагнитный домик, снабженный зрительной трубой для измерения углов отклонения системы от плоскости горизонта. Домик располагался на треноге с горизонтальным поворотным кругом и гнездом для закрепления дефлекторного магнита с известным магнитным моментом. Цена деления прибора определялась на основании наблюдений при установке дефлекторного магнита северным полюсом вверх и северным полюсом вниз.

В начале 30-х гг. к серийному выпуску *Z*-магнитометра, сконструированного на базе вертикальных весов Шмидта, приступила немецкая фирма “Askania-Werke” [*Koulomzine, Boesch*, 1932]. Примерно в то же время ленинградский завод “Геологоразведка” освоил выпуск отечественного варианта вертикальных весов – магнитометра М-2, который в течение

двух десятилетий оставался основным полевым инструментом советских магниторазведчиков¹.

Для измерения вариаций склонения и горизонтальной составляющей поля в большинстве обсерваторий применялся унифилярный вариометр с магнитом на однопольном подвесе, зеркальной системой отсчета и фоторегистрирующим устройством. Быстрое приведение магнита в равновесное положение обеспечивал медный демпфер, а цена деления прибора определялась с помощью колец Гельмгольца [*Chapman, Bartels, 1940*].

Из других инструментов для относительных магнитных измерений нужно упомянуть, во-первых, универсальные магнитные весы Г.Хаалька, в которых использовалась не ромбовидная, как в весах А.Шмидта, а крестообразная чувствительная система [*Haalck, 1927*]; во-вторых, сконструированный датчанином Д. Ля Куром кварцевый магнитометр – QHM [*La Cour, 1936*]. Этот замечательный прибор, ставший родоначальником обширного парка кварцевых магнитометров и магнитных вариометров, представлял собой магнитный теодолит, в котором отклонение стрелки компенсировалось закручиванием кварцевой нити.

¹ Автор, будучи студентом МГУ, застал закат эпохи этих замечательных приборов. В полевых сезонах 1962–1963 гг. они еще применялись в геофизических партиях МинГео СССР для производства контрольных наблюдений и в качестве походных магнитовариационных станций.

3. РЕВОЛЮЦИЯ В МАГНИТОМЕТРИИ

Важно понять, что наука не заключается в коллекционировании уже познанного и в систематизации последнего в соответствии с той или иной схемой. Она состоит в концентрации мысли на чем-то таком, чего мы еще не знаем и в попытке его познать. Раскладывание пасьянсов из вещей, которые мы уже давно познали может быть полезным средством достижения цели, но не самой целью. В лучшем случае это только средство.

Р.Коллингвуд

3.1. Кризисные явления в магнитометрии XX века

Несмотря на впечатляющие достижения, в развитии магнитологии и магнитометрии к 30–40 гг. XX века все отчетливее стала ощущаться потребность в радикальном усовершенствовании теоретико-методических основ изучения магнитного поля Земли, повышения точности, а главное, детальности исследований. Генеральные магнитные съемки континентов и морские съемки Института Карнеги со всей очевидностью показали, что ресурсы технологии точечных измерений по существу исчерпаны. Сулящее немалые экономические выгоды развитие магниторазведки было немыслимо без радикальной ревизии методов измерений и столь же радикального обновления аппаратного парка.

Настоятельную необходимость в совершенствовании технологии геомагнитных измерений легко уяснить себе, если вспомнить, что на пунктах ГМС они проводились магнитными теодолитами по методу Гаусса-Ламона, требующему существенных затрат времени на каждом пункте. Для перемещения приборов между пунктами (на расстояние 20–30 км) использовался обычно гужевой или вьючный транспорт, так что производительность ГМС лишь в очень благоприятных ситуациях составляла 2–3 пункта за одну приборосмену¹.

Столь же неутешительна оценка производительности образцовой по аппаратурной оснащенности и методике гидромагнитной съемки начала XX века – работ на яхте “Карнеги”. За 20 лет плаваний на этой яхте наблюдения наклона I и H -компоненты геомагнитного поля были произведены примерно в 2000 пунктах с шагом 132 морских миль, наблюдения склонения D – примерно в 3500 пунктах шагом 84 морских миль. Отсюда следует, что магнитная изученность океана в среднем росла со скоростью 100 пунктов в год по I и H и 175 пунктов в год по D .

Немногочисленные попытки усовершенствования технологии магнитных наблюдений без изменения аппаратурной базы к заметному успеху не привели. Примеры таких разработок – две экспериментальные системы морских магнитных наблюдений, опробованные в 1925–1926 гг. и 1938–1939 гг. при проведении съемок на акватории Балтийского моря. Авторами первой из них были финские магнитологи И.Керанен и М.Одельсио, приспособившие дефлекторный магнитометр Де Колонга для непрерывных измерений Z -составляющей поля по ходу судна [Keränen, Odelsio, 1926]; автором второй – немецкий магнитолог Ф.Эррулат, который создал систему дистанционных измерений H -составляющей поля на базе двойного компаса Бидлингмайера, снабженного для этой цели автономным фоторегистратором и буксировавшегося за судном в герметичной гондоле [Иванов, 1966]. В обоих случаях точность измерений составляла примерно ± 100 нТл, т.е. не превосходила точности съемок на яхте “Карнеги”. Не вполне успешными были и осуществленные в 1930–1931 гг. опыты по применению двойного компаса Бидлингмайера в воздушных экспедициях на дирижабле “Граф Цеппелин” [Grotvahl, 1930; Ljungdahl, 1931]. Точность измерений H -

¹ Эту оценку подтверждает следующий элементарный расчет. К 1940 г. число экспедиций, осуществлявших ГМС СССР, достигло 357, а число пунктов абсолютных определений геомагнитного поля – 21690. Деление второго числа на первое приводит к заключению: на каждую экспедицию приходилось примерно по 60 пунктов за сезон, длившийся обычно 2–3 месяца.

составляющей поля в полетах от Фридрихсхафена до Кадиса и в Арктике в среднем оценивалась в $\pm 100\text{--}200$ нТл.

Симптоматично, что отмеченные выше кризисные явления в технике и методах магнитных измерений пришлись на первую треть XX века – время радикальных преобразований в физике, начало которым положили труды М.Планка, А.Эйнштейна, Н.Бора и плеяды их выдающихся последователей: А.Зоммерфельда, В.Паули, Г.Уленбека и С.Гаудсмита, Я.Френкеля и др.

Прогресс в понимании природы магнетизма стимулировал разработку принципиально новых методов его изучения и применение этих методов к решению как фундаментальных проблем геомагнитологии, так и разнообразных прикладных задач.

Слово “революция” в заглавии очерка не следует однако понимать буквально. В действительности радикальные изменения в теории, методах и средствах геомагнитных измерений разумно сочетались с эволюционными усовершенствованиями разработок начала XX века. Поистине революционным был результат совместного действия этих двух тенденций – резкое повышение аппаратурной точности и скважности измерений, оказавшее решающее влияние на технологию магнитных съемок, геомагнитное картирование континентов и океанов и поиски месторождений полезных ископаемых.

3.2. Абсолютные геомагнитные измерения. Ядерно-прецессионные и атомно-прецессионные магнитометры

В теории абсолютных геомагнитных измерений начало современного этапа связано с двумя открытиями. Первое было сделано в 1929 г. знаменитым американским спектроскопистом Робертом Вудом, обнаружившим влияние магнитного поля Земли на спектр паров натрия. Истолкование этого явления, основанное на теории аномального эффекта Зеемана, – заслуга соотечественников Вуда – Исидира Раби и Грегори Брейта.

Вторым было открытие ядерного магнитного резонанса (ЯМР) – резонансных изменений ядерной намагниченности вещества, под действием слабого радиочастотного магнитного поля, наложенного на сильное постоянное магнитное поле [Lasarev, Schubnikov, 1937]. Теоретическому и экспериментальному изучению ЯМР были посвящены удостоенные Нобелевской премии 1952 г. труды Феликса Блоха и Эдварда Парселла [Bloch, 1946; Bloch et al., 1946; Purcell et al., 1946; Bloembergen et al., 1948 и др.]. Они установили, в частности, что изменения вектора ядерной намагниченности (dM/dt) пропорциональны векторному произведению M на напряженность внешнего магнитного поля T [Блох, 1955]. Отсюда следовало, что при несовпадении направлений векторов M и T первый должен прецессировать относительно второго с частотой, пропорциональной абсолютной величине T . Коэффициент пропорциональности, равный отношению магнитного момента ядра к моменту количества движения, был назван гиромагнитным отношением, а само явление – свободной ядерной прецессией.

Идею применения явления свободной ядерной прецессии для измерения слабых магнитных полей в середине 40-х гг. выдвинул М.Паккард, а затем и реализовал ее, сконструировав в 1947 г., совместно с Р.Варианом, первый ядерно-прецессионный (протонный) магнитометр [Packard, Varian, 1953, 1954]. Его серийный вариант V4910, разработанный в 1955 г. сотрудниками фирмы “Varian association”, положил начало широкому внедрению этих приборов в магниторазведочную практику. Несколькими годами позднее к серийному производству протонных аэромагнитометров приступили фирмы “Селко” в Канаде, “Сюд-Авиасьон” во Франции, “Пракла” в Германии, “Элсек” в Англии [Reford, Sumner, 1964].

В 1961 г. Л.Олдридж сообщил о создании на базе протонного магнитометра автоматической магнитовариационной станции [Alldredge, 1961]. По всей вероятности, это был первый в магнитометрии измерительно-вычислительный комплекс, в котором магниточувстви-

тельный блок сопрягался не только с регистрирующими устройствами, но и с портативным компьютером.

В России исследования в области ядерно-прецессионного магнитного приборостроения начались в середине 50-х гг. прошлого века [Ротштейн, Цирель, 1957; Денисов, 1958], а первые серийные образцы – пешеходные магнитометры АЯПМ-4, М-20 и аэромагнитометры ЯП-1, АЯАМ-6 – были изготовлены на рубеже 50–60-х гг. [Амосов и др., 1960; Ротштейн, Цирель, 1963]. Точность этих приборов варьировала от 2 до 5 нТл, цикл измерений – от 7,0 до 0,37 с. В 1971 г. завод “Геологоразведка” приступил к серийному выпуску аэромагнитометра АМП-7, обеспечивающего измерения полного вектора напряженности геомагнитного поля с точностью ± 2 нТл и скважностью 0,7 с [Цирель, 1977].

Техническая реализация методов, основанных на использовании тонкой структуры зеемановского расщепления, долгое время сдерживалось отсутствием метода надежной регистрации атомно-прецессионных явлений. Лишь в конце 50-х гг. усилиями Г.Демельта [Dehmelt, 1957], У.Белла и А.Блума [Bell, Bloom, 1957] был изобретен способ оптической накачки – возбуждения и детекции резонансных изменений прозрачности ячейки, заполненной парами щелочных металлов. Благодаря этому появилась возможность создания атомно-прецессионных (квантовых) магнитометров на парах гелия и рубидия с порогом чувствительности 0,02–0,06 нТл и быстродействием 2–5 изм/с [Keyser et al., 1961; Bloom, 1962; Herbert, Langan, 1965]. В 1963 г. французские геофизики сообщили об успешных экспериментах с цезиевым магнитометром [Giret, Molnar, 1963], а двумя годами позднее П.Худ поставил вопрос о создании атомно-прецессионного аэромагнитометра-градиентометра, предназначенного для синхронных измерений приращений (градиентов) модуля напряженности геомагнитного поля на малых базах [Hood, 1965].

Дальнейшее совершенствование абсолютных магнитометров шло как по пути обновления элементной базы – от радиоламп и полупроводниковых транзисторов до цифровых микросхем – так и за счет более глубокого понимания физической природы поведения атомных структур в магнитном поле. В середине 60-х гг. появились первые образцы ядерно-прецессионных приборов, в которых использовался эффект Оверхаузера – динамическая поляризация ядер в некоторых веществах (например, в водном растворе нитросульфата калия, растворе натрия в аммиаке и др.), возникающая за счет сильного взаимодействия электронных и ядерных спинов [Thomas, 1965; Филатов и др., 1965; Скромный и др., 1970]. Это позволило, во-первых, резко увеличить ядерную намагниченность рабочего вещества и, следовательно, амплитуду сигнала прецессии; во-вторых совместить процессы поляризации и наблюдения прецессии, сокращая тем самым длительность цикла измерений. Быстродействие современных модификаций магнитометров рассматриваемого типа составляет 10 изм/с; порог чувствительности без межциклового усреднения – 0,1 нТл, а с усреднением в полосе порядка 3 Гц – 0,02–0,04 нТл.

Усилия конструкторов атомно-прецессионных (квантовых) магнитометров были направлены на устранение сдвигов частот, вызванных мультиплетностью резонансных линий паров щелочных металлов и несоответствием частот возмущения и поглощения [Дашевская и др., 1968; Померанцев и др., 1972]. Разработка и техническая реализация самогенерирующих датчиков (спиновых M_x -генераторов) позволила резко (до 100 и более изм/с) повысить быстродействие магнитометров, а применение датчиков с двумя и более ячейками поглощения и схем генерации с перекрестной обратной связью существенно уменьшило ориентационные погрешности [Козлов и др., 1968; Melleroux, 1970; и др.]. Порог чувствительности квантовых магнитометров к началу 70 гг. достиг 0,01–0,02 нТл; абсолютная погрешность измерений снизилась до 2,5–3,0 нТл [Афанасьев и др., 1972].

Представление об эволюции измерительных систем на базе явлений ядерной и атомной прецессии дает табл. 1, в которой приведены некоторые технические характеристики отечественных аэромагнитометров, серийно выпускавшихся в период 1960–1995 гг.

Сходным образом эволюционировали аэромагнитометры, выпускавшиеся ведущими североамериканскими фирмами “Varian”, “Barringer”, “Geometrics” и др. [Hood, 1970, 1986], и буксируемые модульные магнитометры, предназначенные для производства морских магнитных съемок (см. табл. 2). От аэроаналогов их отличал более высокий порог чувствительности, достигаемый за счет усреднения измерений в циклах длительностью до 60–100 с [Красильников и др., 1975; Беляев, 1981; Гордин и др., 1986; Беляев, Филин, 1993 и др.].

Таблица 1

Марка прибора	Диапазон измерений, мкТл	Цикл измерений, с	Порог чувств., нТл	Абс. погр., нТл	Потребл. мощность, Ватт	Вес, кг	Год выпуска
Ядерно-прецессионные (протонные) приборы							
ЯП-1	47–61	5,0	5,0	5	250	50	1960
АЯАМ-6	40–80	0,37–0,73	2,0	2	–	280	1960
АМП-7	40–80	0,8	0,5	2	400	250	1971
ЯМП-3	20–100	0,22–0,54	0,5	–	150	170	1976
ММС-214	20–100	0,25–1,00	0,1	2,5	250	185	1981
ММВ-215	20–100	0,20–1,00	0,05	1,5	200	140	1987
Атомно-прецессионные (квантовые) приборы							
КАМ-28	30, 75–65, 50	0,143	0,125	–	850	340	1973
ММ-305	20–80	0,143	0,1	–	500	230	1980
ММ-01	20–100	0,2–2,0	0,1	–	280	165	1987
МГМ-04	20–100	0,1–2,0	0,01	0,5	400	200	1994
МГМ-05*	20–100	0,1–2,0	0,01	0,5	450	113	1995

Примечание: звездочкой в этой и следующей таблицах отмечены двухканальные (дифференциальные) магнитометры-градиентометры.

Таблица 2

Марка прибора	Диапазон измерений, мкТл	Цикл изм., с	Порог чувств., нТл	Абс. погр., нТл	Потр. мощность, Ватт	Вес, кг	Организация-разработчик
Ядерно-прецессионные (протонные) приборы							
МПМ-2	30–70	10–30	2,5	7			ВНИИГеофизика
МБМ-1	20–100	2–60	0,1	1	420	280	Рудгеофизика
МПМ-5М	20–70	1–60	0,1	3	300	65	ИОАН СССР
МПМ-6	25–80	4–60	0,1	3		70	ИОАН СССР
ММП-2М	20–100	10	0,01	2	75	20	Южморгеология
МАМП-01	20–100	1–99	0,1	2,5	110	31	Севморгеология
МПМ-7	20–85	2–60	0,1	4	250	40	НИИМоргеофизика
ДПМ-1*	20–70	3–60	0,1	2	250	43	ИОАН СССР
ММП-2Д*	20–100	10	0,01	2	150	30	Южморгеология
МАМП-Д*	20–75	4–99	0,1	1	220	42	Севморгеология
Дельта*	20–100	2–99	0,01	0,8	200	27	ВНИИОкеангеология
Атомно-прецессионные (квантовые) приборы							
БТМ	15–70	1–60	1,0	5	70	54	СКБ ФП АН СССР
КМ-2	15–70	0,3–60	1,0	7	75	42	СКБ ФП АН СССР
КМ-2У	15–100	0,1–60	0,01	5	65	56	СКБ ФП АН СССР
КМ-10*	20–70	0,1–60	0,01	5			ЦФП ИОФАН СССР

* См. примечание к табл. 1.

Буксируемый компонентный магнитометр МКМ с квантовым (цезиевым) датчиком и колечной системой, помещенной в карданов подвес был создан в СКБ Физического приборостроения АН СССР [Новыш и др., 1974]. Паспортные характеристики МКМ и его более современных модификаций – магнитометров КМ-3 и КМ3-4 – таковы: порог чувствительности – 1 нТл; цикл измерений – 1–60 с; абсолютная погрешность по Т-каналу ± 8 –10 нТл, по

компонентам H и Z – ± 50 нТл; собственная девиация по Т-каналу – не более 10 нТл; вес гондолы с датчиком – 90–100 кг; потребляемая мощность – 150 ватт [Красильников и др., 1975; Любимов, Перфилов, 1980]. Анализу реализованных в этих приборах двух схем измерений – компенсации неизмеряемой (вертикальной) компоненты и трех модулей – были посвящены работы [Гордин и др., 1980а; Любимов, Перфилов, 1983].

На базе квантовых и протонных датчиков было сконструировано также несколько морских магнитовариационных станций с порогом чувствительности 0,1–1,0 нТл, циклом измерений от 0,1 до 60 с и автономностью (в режиме регистрации длиннопериодных вариаций) до 10–20 сут [Новыш и др., 1974; Мачинин и др., 1980; Козлов, 1984; Александров и др., 1986; Корепанов и др., 1987; и др.].

В 70-е гг. прошлого века семейство абсолютных приборов для пешеходных магнитных измерений пополнили квантовый (на парах цезия) магнитометр М-33 с пороговой чувствительностью 0,1–1,0 нТл и протонный магнитометр ММП-203 с пороговой чувствительностью 1 нТл [Пак, 1979]. Первый из них выпускался заводом “Геологоразведка” (объем выпуска – около 1500 шт.), второй – заводом “Казгеофизприбор” (объем выпуска – более 5000 шт.). Благодаря внедрению этих приборов в производственную практику время единичного измерения сократилось до первых секунд, а точность возросла до ± 1 –3 нТл. Еще большей производительностью обладали автомобильные магнитометры – протонный МСС-1 и квантовый ММА-301, – позволяющие производить измерения с шагом 10 м на скоростях 12 и 50 км/ч соответственно [Пак, Трипольский, 1973; Жиров, Трипольский, 1979]. Впоследствии на базе прибора ММП-203 удалось создать пешеходный компонентный магнитометр, снабженный колесной системой для компенсации неизмеряемых компонент [Мюхкюра, 1984; Кузнецов, Воронков, 1987].

В начале 80-х гг. в НПО “Рудгеофизика” и “Союзгеотехника” был разработан протонный магнитометр МСП-2, предназначенный для абсолютных геомагнитных измерений в скважинах глубиной до 1000 м [Попов и др., 1986]. Порог чувствительности этого прибора – 1,0 нТл; цикл измерений – 3 с; абсолютная и случайная погрешности – ± 30 и ± 5 нТл. Указанные характеристики удалось существенно улучшить, благодаря применению датчиков с динамической поляризацией ядер. В скважинном протонном магнитометре МСП-А порог чувствительности был снижен до 0,1 нТл, цикл измерений – до 0,5 с, абсолютная погрешность – до ± 5 нТл [Бураков и др., 1995].

3.3. Новые приборы и методы относительных геомагнитных измерений. Феррозондовые магнитометры

Прогресс в области относительных магнитных измерений был не столь радикальным. Как уже подчеркивалось в предыдущем очерке, наиболее удобными приборами для их производства долгое время считались различные модификации вертикальных весов Шмидта. Безоговорочный успех Z -магнитометров фирмы “Askania-Werke” в Германии и завода “Геологоразведка” в России стимулировал попытки усовершенствования измерительных систем этих приборов. Таковую в начале 40-х гг. предпринял датчанин Д. Ля-Кур. В сконструированных им магнитных весах ВМЗ Z -составляющую геомагнитного поля компенсировало поле постоянного магнита, а сами весы служили нуль-индикатором, т.е. регистрировали лишь глубину компенсации [La Cour, 1942]. Сходная идея была реализована в кварцевом магнитометре В.Ф.Шельтинга [1953]. От ВМЗ его отличал способ установки весов: ножевидную опору заменил подвес на растянутых кварцевых нитях.

Подвесы на растянутых (кварцевых или металлических) нитях использовались также в магнитометре Фанзелау [Fanselau, 1948] и в серийных отечественных приборах М-18, М-23 и М-27. Их применение и усовершенствование системы ступенчатой компенсации поля относимости позволило уменьшить цену деления отсчетного устройства до 10 нТл/дел., а дрейф нуля – до 1 нТл/ч [Никитский, 1969]. Однако к действительно необходимому для гео-

физического производства повышению производительности измерений разработка магнитометров с подвесами на растянутых нитях не привела¹.

Большие перспективы сулило изобретение обладающих чрезвычайно высокой магнитной проницаемостью железно-никелевых сплавов – пермаллоев и создание на их основе феррозондовых магнитометров². По свидетельству Ю.В.Афанасьева с соавторами [1972], идею применения феррозондов выдвинули немецкие магнитологи Г.Ашенбрэннер и Г.Губо в связи с измерениями короткопериодных геомагнитных вариаций [*Aschenbrenner, Gaubau*, 1936]. Однако первые практические опыты по ее реализации были не очень удачными из-за резких изменений магнитных свойств пермаллоя при механических воздействиях [*Яновский*, 1938]. Впоследствии эти затруднения удалось преодолеть, намагничивая пермаллоевые сердечники до состояния насыщения в переменном поле. Поскольку магнитная проницаемость пермаллоя по отношению к этому переменному полю есть функция напряженности постоянного поля, измерения последней сводились к регистрации э.д.с. во вторичной обмотке феррозонда. Для решения этой задачи применялись различные схемы измерений: пик-типа, второй гармоники или суммы четных гармоник [*Афанасьев и др.*, 1972].

Приоритет в разработке магниторазведочных феррозондов делят между собой геофизики России и США. В обзоре [*Reford, Sumner*, 1964] указывается, что первый феррозондовый детектор с продольным возбуждением в 1940–1941 гг. сконструировал В.Ваке при поддержке фирмы “Galf research and development”, тогда как, по мнению авторов монографии [*Афанасьев и др.*, 1979], это заслуга уральского изобретателя П.А.Халилеева³. Мощным стимулом, резко ускорившим развития феррозондового приборостроения, стала Вторая Мировая война: создание систем обнаружения подводных лодок, основными элементами которых были феррозонды.

В послевоенные годы потребности в высокопроизводительных феррозондовых магнитометрах многократно возросли благодаря созданию и широкому внедрению в производственную практику аэромагнитных систем наблюдений (см. раздел 3.4). В геофизических подразделениях Геологических служб Канады и США, Комитета запасов полезных ископаемых Австралии и в многочисленных частных фирмах роль основного инструмента для проведения аэромагнитных съемок принадлежала магнитометру AN/ASQ и его многочисленным модификациям [*Reford, Sumner*, 1964]. Для производства съемки по проекту “Магнит” (см. ниже) были создан трехкомпонентный феррозондовый прибор с маятниковой системой стабилизации [*Schonsted, Irons*, 1953; *Serson et al.*, 1957].

В России серийный выпуск феррозондового аэромагнитометра АЭМ-49, разработанного по американскому образцу коллективом конструкторов под руководством Г.С.Смирнова, начался в 1950 г. Диапазон измерений этого прибора составлял ± 4 мкТл, порог чувствительности – 5 нТл; дрейф нуля не превосходил 30 нТл/час, температурный коэффициент – 8 нТл/°С. Впоследствии АЭМ-49 сменили феррозондовые магнитометры АМ-11 и АМФ-21, входившие в состав комплексных аэрогеофизических станций АСГМ-25, АГС-46, АГС-48, а наибольшую популярность завоевали выпускавшиеся в 1960–1973 гг. аэромагнитометры АМ-13 и АММ-13 с диапазоном измерений ± 11 мкТл, порогом чувствительности в 4 нТл,

¹ Разумеется, это не означает, что кварцевые магнитометры утратили свое значение. Обладая рекордно низким уровнем энергопотребления, они успешно использовались и продолжают использоваться в системах геомагнитных наблюдений различного назначения. Серия высокоточных кварцевых вариометров для магнитных обсерваторий, полевых и морских магнитовариационных станций была создана в ИЗМИРАН под руководством В.Н.Боброва [1961, 1962, 1965, и др.]. Последующие усилия Боброва и других конструкторов приборов это типа были направлены на улучшение их метрологических характеристик и оснащение современными системами регистрации [*Белов и др.*, 1979; *Сизов*, 1979; *Бобров и др.*, 1982; *Семенов*, 1986; и др.].

² В западной литературе за приборами этого типа закрепилось название “потокоспринимающих” (flux-gate) магнитометров.

³ Возможности создания феррозондов с поперечным возбуждением, по-видимому, первым исследовал Г.С.Горелик [1944].

дрейфом нуля не более 5 нТл/ч и температурным коэффициентом 3 нТл/°С [Афанасьев и др., 1960; Никитский, 1960].

Для наземных съемок в течение ряда лет применялся Z-магнитометр М-17 – феррозонд, помещенный в карданов подвес, с базисным диапазоном измерений ± 0.5 мкТл. Для расширения последнего (до ± 60 мкТл) использовалась схема ступенчатой электрической компенсации, а для компенсации главного поля – постоянный магнит. Дрейф нуля не превосходил 5 нТл/ч; температурный коэффициент – 2 нТл/°С [Никитский, 1961].

Опытный экземпляр буксируемого феррозондового магнитометра, предназначенного для относительных измерений компонент геомагнитного поля на акваториях был создан Н.В.Русановой [1966]. Стабилизация магниточувствительного элемента в пространстве осуществлялась с помощью малогабаритной силовой гирорамы, снабженной двумя взаимно перпендикулярными гироскопами и датчиками прецессии. Морские испытания показали, что погрешности прибора не превосходят ± 50 нТл.

Одно- и трехкомпонентные (векторные) феррозондовые приборы нашли широкое применение в скважинной магнитометрии для контроля направления буровых скважин [Шумиловский, Блажкевич, 1955], измерения магнитной восприимчивости пород, слагающих их стенки, и компонент внутреннего поля вдоль оси скважины [Пономарев, Суворов, 1958; Levanto, 1959; Bergdahl, 1963; и др.]. В серийной аппаратуре КМК-3, предназначенной для исследования скважин глубиной до 2000 м, датчиком магнитной восприимчивости служила индукционная катушка с ферритовым сердечником. Для создания наложенного переменного поля использовался генератор с частотой 2000 Гц, а измерение осевой составляющей магнитного поля осуществлялось по схеме второй гармоники [Пономарев, Авдонин, 1966]. В скважинном снаряде магнитометра ТСМ-3 размещались три взаимно ортогональных феррозонда. Ориентация датчика в пространстве производилась с помощью феррозондовой следящей системы. Погрешности измерений компонент аномального геомагнитного поля составляли ± 100 нТл в диапазоне температур от -10°C до $+40^\circ\text{C}$ [Баринов и др., 1965]. Основные параметры некоторых более современных скважинных магнитометров, разработанных в НПО “Рудгеофизика” и Институтах геофизики УНЦ АН СССР и АН УССР, приведены в табл. 3 – сокращенном варианте аналогичной таблицы из работы [Пономарев, Бахвалов, 1990].

Таблица 3

Марка прибора	Диапазон измерений, мкТл	Основные погрешности, нТл	Рабочая температура, °С	Макс. давление, Мпа	Темп. дрейф, нТл/°С	Диаметр, скв. снаряда, мм
ТСМК-30	± 100	$0,1Z \pm 30$ $0,1H + 100$	$-10 - 50$	22	10	30
МСКЦ-1	± 150	$0,05Z \pm 0,1$ $0,05H \pm 0,1$	$-10 - 40$	25	200	42
КШСМ-28	± 200	$0,02Z + 25$ $0,02H + 100$	$0 - 80$	20	2	38
КСМ-65-СГ	± 100	$0,02Z + 20$ $0,02H + 100$	$0 - 275$	210	1,5	65
СМ-dT/dZ	± 70	$0,05T + 5$ $0,05Z + 10$	$-10 - 50$			64

Новый и чрезвычайно мощный толчок для развития феррозондового приборостроения дали исследования космического пространства – создание систем, предназначенных не только для измерения внешних полей (см. раздел 3.7), но и для автоматической ориентации искусственных спутников Земли (ИСЗ) в геоцентрической системе координат [Назаров, 1965; Белецкий и др., 1967]. В конце 50-х гг. феррозонды были установлены на отечественном 3-ем ИСЗ [Долгинов и др., 1960], и ИСЗ Эксплорер-6 (США); впоследствии – на спутниках Эксплорер-10, 12, 18; Маринер-2, Интеркосмос-18, 20, 21; на станциях Аполлон-12, 14-

16 и других космических аппаратах [Дайэл, Паркин, 1972; Gordon, Brown, 1972; Acuna, 1974; Афанасьев и др., 1982]. По свидетельству Н.Ф. Несса, в 1970 г. на околоземных орбитах работало 40 феррозондов и еще 20 находилось в стадии подготовки [Ness, 1970].

Снижению шумов и повышению порога чувствительности феррозондов способствовало применение новых железоникелевых сплавов, улучшение их магнитострикционных и температурных характеристик, а также применение феррорезонансного режима возбуждения. Уже к середине 60-х гг. специалистам НАСА удалось создать феррозондовый магнитометр с дрейфом нуля не более 0.2 нТл в сутки [Munoz, 1966]. Во Франции была сконструирована магнитовариационная станция с порогом чувствительности 0.5 нТл и дрейфом нуля не более 0.5 нТл в неделю [Pelen, 1970], в Германии – широкодиапазонный (0–126 мкТл) феррозонд с дрейфом нуля не более 5 нТл в месяц [Trenkler, 1970]. В комплект аппаратуры СПРУТ-VI, установленной на космической станции “Мир” входил трехкомпонентный феррозондовый магнитометр с порогом чувствительности 0.1 нТл. Вес магниточувствительного блока составлял 105 г, вес блока электроники – 1050 г, энергопотребление – не более 2.2 Вт [Грачев и др., 2004].

Приборы рассматриваемого типа нашли также применение при решении задач магнитной дефектоскопии – обнаружения поверхностных дефектов [Штуркин, 1959; Зацепин, Коржова, 1981], контроля качества проката и сварных труб [Зацепин, Щербинин, 1968; Изотопов, 1975; Мельгуй, 1980; и др.], диагностики состояния рельсовых путей [Лысенко, Матвеев, 1959] и т.п. Расчету и конструированию наиболее удобных для такого рода исследований феррозондовых преобразователей с поперечным возбуждением была посвящена монография [Зацепин, Горбаш, 1988].

3.4. Ханле-магнитометры и СКВИДы

Дальнейший прогресс в геомагнитных измерениях связан с разработкой квантовых магнитометров, основанных на эффекте Ханле – явлении пересечения зеэмановских подуровней в атомных спектрах гелия и щелочных металлов, возникающем при оптической накачке в сверхслабых магнитных полях. Теоретические аспекты таких измерений были рассмотрены в работах [Александров, 1966; Александров и др., 1967]. Там же был предсказан предел их чувствительности – 10^{-6} нТл. Уже в начале 70-х гг. в лабораторных экспериментах удалось достигнуть чувствительности порядка 0,0002–0,0005 нТл [Dupont-Roc, 1970]. Примерно такой же была чувствительность отечественного Ханле-магнитометра [Андрианов и др., 1975], в котором использовалась компенсационная схема измерений, включавшая в себя систему колец Фанзелау и нуль-индикатор – квантовый датчик на парах Rb-87. В модульном вариометре, разработанном в ИЗМИРАН, порог чувствительности на частотах 2,5–5,0 Гц варьировал в пределах 0,0007–0,0015 нТл [Васюточкин, Козлов, 1979].

“Рекордным” на сегодняшний день теоретическим порогом чувствительности 10^{-7} нТл обладают криогенные магнитометры – СКВИДы, название которых представляет собой кальку англоязычной аббревиатуры SQUID – Superconducting Quantum Interference Device. Физическая база СКВИДа – открытый в 1962 г. Б.Джозефсоном эффект появления в зазоре между двумя сверхпроводниками индукционного тока, вызванного туннельным проникновением через зазор куперовских пар электронов¹. Такие зазоры, получившие название джозефсоновских переходов, обычно изготавливаются посредством напыления пленок сверхпроводника и окисления этих пленок на толщину зазора (1–2 нм). Магниточувствительный элемент СКВИДа – сверхпроводящее кольцо или цилиндр с одним или двумя джозефсоновскими переходами; измеряемая величина – сила индукционного тока, компенсирующего поток внешнего магнитного поля.

¹ Куперовскими называют пары электронов, образующиеся за счет их взаимодействия через фононы с атомной решеткой [Кулик, Янсон, 1970].

С применением Ханле-магнитметров и СКВИДов связаны впечатляющие достижения в области медицинской магнитодиагностики, прежде всего, в магнитокардиографии и магнитоэнцефалографии [Zimmerman, Frederik, 1971; Rosen et al., 1972; Hughes et al., 1976; Ливанов и др., 1978; и др.]. В геофизических приложениях они использовались для изучения изменений магнитных свойств горных пород, обусловленных фильтрационными и сейсмомагнитным эффектами [Козлов и др., 1989], для высокоточного измерения геомагнитных вариаций, вариационной магниторазведки и изучения полей гидродинамических источников [Mosnier, 1972; Бондаренко и др., 1980, 1981; Меджитов и др., 1987; Александров и др., 1992]. В работе [Ojala, 1969] сообщалось о попытке создания СКВИД-градиентометра с проектной чувствительностью 0,001 нТл/м, предназначенного для аэромагнитной съемки. Лабораторные СКВИД-градиентометры (тензомагнитометры) с чувствительностью порядка 0,0001–0,0002 нТл/м были описаны в статьях [Zimmerman et al., 1971; Бондаренко и др., 1975, 1982].

3.5. Прогресс в технологии геомагнитных измерений. Аэромагнитные съемки

Радикальные изменения в методике и технологии магнитных съемок связаны с переходом от точечных измерений к непрерывным, осуществляемым на базе мобильных, прежде всего, аэромагнитных систем наблюдений. В нашей стране первые опыты с индукционным Z-магнитометром, установленным на самолете, были проведены А.А.Логачевым и А.Т.Майбородой в 1936 г. на маршруте Новгород–Валдай [Логачев, 1936]. В последующие два года, усовершенствовав конструкцию Z-магнитометра, эти же авторы применили новый метод магнитной разведки в Старооскольском районе КМА, на Абаканском железорудном месторождении и нескольких участках восточного склона Кузнецкого Алатау. Уже в 1939 г. аэромагнитные съемки масштабов 1:100 000 и 1:50 000, проведенные силами Горно-Шорской партии ВСЕГЕИ под руководством Ю.С.Глебовского, охватили небывало большую по тем временам площадь в 6000 кв. км [Никитский, 1996]. К 1950 г. эта площадь достигла 2 млн. кв. км [Глебовский, Мишин, 1993].

Эти пионерские работы стали отправной точкой для развития аэромагнитного метода картирования и поисков полезных ископаемых. Его широчайшее производственное внедрение предопределяла острая потребность в развитии горнодобывающих отраслей промышленности и расширении минерально-сырьевой базы ведущих стран. Возможности быстрого и экономически рентабельного опосредования неосвоенных площадей особенно возросли после оснащения аэромагнитных систем наблюдений феррозондовыми магнитометрами с магнитонасыщенными датчиками, применявшимися во время Второй Мировой войны для обнаружения подводных лодок.

В США первая опытно-методическая съемка с феррозондовым аэромагнитным детектором (AMD) была осуществлена В.Ваке в 1944 г. близ Бойертауна в Пенсильвании, а первые аэропоисковые работы с феррозондовым прибором AN/ASQ-3, разработанным Морской исследовательской лабораторией совместно с телефонной компанией “Белл”, проведены в 1945 г. на Аляске в районе мыса Борроу [Reford, Sumner, 1964]. Годом позже Г.Лундберг впервые установил индукционный Z-магнитометр на вертолете [Lundberg, 1947]. Итоги начального этапа развития аэромагнитометрии и геологической интерпретации ее результатов подвела публикация монографий [Логачев, 1947а; Vacquier et al., 1951], авторы которых убедительно продемонстрировали перспективы новой технологии, как в плане регионального геомагнитного картирования, так и при поисках месторождений полезных ископаемых.

В становлении отечественной аэромагнитометрии выдающаяся роль по праву принадлежит профессору А.А.Логачеву, заслуги которого были отмечены Государственной (Сталинской) премией 1946 г. [Берлянд и др., 1999; Цирель, 1999]. Заложенные им основы методики аэромагнитной съемки и интерпретации аномалий [Логачев, 1955] в дальнейшем развивали многие исследователи и съемщики-практики: А.Н.Берковский, В.И.Блюменцвайг,

А.Д.Бородин, Р.Т.Васильев, А.Г.Виноградова, А.А.Ворошилов, Р.А.Гафаров, Ю.С.Глебовский, Г.З.Гриневицкий, Л.И.Завьялова, М.И.Залипухин, А.М.Карасик, Е.А.Каспарова, А.И.Кацков, Л.Н.Котляревский, С.М.Крюков, П.А.Кукин, Е.Г.Лапина, В.А.Ларионов, Д.В.Левин, З.А.Макарова, Л.А.Ривош, В.А.Рыманов, О.Н.Соловьев, В.В.Сусленников, Н.Н.Фурсов, Е.Г.Херувимова, В.С.Цирель и др.

Усилиями этого поколения магнитометристов уже к середине 60-х гг. почти вся территория СССР была освещена аэромагнитными съемками масштаба 1:200 000, отработаны приемы приведения наблюдений к абсолютному уровню [Орлов, 1956], учета геомагнитных вариаций [Пудовкин, 1956], оперативной обработки аэромагнитограмм [Блат и др., 1958] и фотопривязки съемочных маршрутов [Писарев, 1957; Рыманов, 1959].

В 1963 г. увидела свет первая сводная карта аномалий модуля напряженности геомагнитного поля СССР масштаба 1:5 000 000, составленная сотрудниками ВСЕГЕИ под руководством Т.Н.Симоненко. Полтора десятилетия спустя были опубликованы сводные карты модуля напряженности и аномалий модуля напряженности геомагнитного поля СССР масштаба 1:2 500 000 [Карта..., 1977, 1979], а также обзорная магнитная карта страны и прилегающих акваторий масштаба 1:10 000 000 [Литвинова и др., 1978].

Успеху аэромагнитного картирования территории СССР в масштабе 1:200 000 и крупнее способствовали работы по развитию опорной аэромагнитных сетей, предназначенных для внутренней и внешней увязки магнитных карт, устранения “перекосов” и уточнения векового хода на стыках съемочных площадей разных лет. Опорные сети создавались силами двух научно-исследовательских институтов МинГео СССР: ВНИИГеофизики и ВИТР. Первую образовали каркасные маршруты относительных измерений с феррозондовым магнитометром АММ-13 между пунктами с известными значениями поля; вторую (картографическую) – маршруты измерений с протонными магнитометрами общей протяженностью свыше 500 000 км. Погрешности уравненной сети ВНИИГеофизики, по оценкам ее авторов, составляли $\pm 10\text{--}12$ нТл [Васильев, 1962]; погрешности сети ВИТР – ± 10 нТл. Важным результатом анализа опорных аэромагнитных измерений стала разбраковка длинноволновых магнитных аномалий: около 25 % из них оказалась обусловленными “перекосами” исходных карт и неправильным учетом нормального геомагнитного поля [Берлянд, Цирель, 1974].

На акваториях первые опыты с трехкомпонентным феррозондовым магнитометром, установленном на самолете, относятся к 1948–1954 гг., когда Канадская государственная обсерватория параллельно с аэромагнитной съемкой страны провела рекогносцировочные наблюдения на нескольких профилях в Атлантическом и Тихом океанах [Serson et al., 1957; Vestine, 1960]. Несколькими годами позднее начались систематические аэромагнитные исследования Арктического бассейна сначала с использованием феррозондовых, а затем ядерно-прецессионных (протонных) магнитометров [Левин, Крюков, 1960; Левин и др., 1963; Карасик, Морозов, 1964]. В 1956–1957 гг. были произведены первые аэромагнитные измерения в Антарктиде [Глебовский, 1960], а в 1957–1959 гг. О.Н.Соловьев осуществил аэромагнитную съемку на летающей лодке БЕ-6 в Курило-Охотском регионе, используя для этой цели аэромагнитометр АМ-11, входящий в состав комплексной аэрогеофизической станции АСГМ-25 [Соловьев, 1961]. Важное значение для дальнейшего развития морских магнитных исследований имели аэромагнитные съемки Р.Мейсона и А.Раффа в северо-восточном секторе Тихого океана, вдоль западного побережья США, которые привели к открытию не имеющих континентальных аналогов полосовых магнитных аномалий [Mason, Raff, 1961; Raff, Mason, 1961]. В 1961–1964 гг. была проведена трехкомпонентная аэромагнитная съемка Японии и окружающих ее акваторий на площади в 3 млн. км² [Nagata, 1971].

Поистине глобальным размахом отличались осуществленные магнитологами США в 1953–1967 гг. работы по проекту “Магнит” [Stockard, 1971]. Маршруты предусмотренной этим проектом магнитной съемки общей протяженностью свыше 3 млн. км охватывали весь земной шар, образуя квазирегулярную сеть с межмаршрутными расстояниями порядка 350–500 км. Измерения выполнялись на высотах 5–7 км феррозондовым трехкомпонентным

магнитометром [*Schonsted, Irons, 1953*]; носитель – двухмоторный самолет ВВС США “Super Constellation”. Погрешности измерений составляли: по модулю вектора напряженности поля – ± 15 нТл; по наклонению – $\pm 0,1^\circ$, по склонению – $\pm 0,4^\circ$, по горизонтальной и вертикальной компонентам поля – ± 200 нТл.

На основании съемок по проекту “Магнит” удалось получить первые надежные оценки пространственного энергетического спектра геомагнитного поля на глобальных субширотных профилях и выявить его основную особенность – глубокий минимум в диапазоне длин волн от 300 до 3000 км [*Allredge, 1965*]. Констатируя несомненную ценность этой съемки для изучения длинноволновых аномалий и целей магнитной картографии, М.М.Иванов однако отмечал, что разрешение наблюдений в высокочастотном диапазоне и, следовательно, их геологическая информативность были сравнительно невелики [*Иванов, 1966*]. В силу большой инерционности маятниковой системы стабилизации цикл измерений растягивался до 100 секунд (примерно два периода продольных колебаний самолета-носителя), что обеспечивало регистрацию измеряемых элементов с усреднением на 10 км пути.

В процессе геомагнитного картирования территорий и акваторий перманентно изменялась методика аэромагнитных съемок: совершенствовалась технология планово-высотной – аэрофотографической, радиогеодезической и радионавигационной – привязки съемочных маршрутов [*Лозинская, Миндлин, 1960; Карасик, 1960; Бошнякович, Глебовский, 1963; Пасхин, 1974; Лапко и др., 1984; Глаголев, 1991; Глаголев, Цирель, 1995; и др.*], разрабатывались эффективные способы учета геомагнитных вариаций, основанные либо на интерполяции наземных (станционных и обсерваторских) магнитовариационных наблюдений, либо на анализе невязок в точках пересечений рядовых и секущих маршрутов [*Whitham, Niblett, 1961; Крюков, Левин, 1962; Карасик, Рубинчик, 1964; Foster et al., 1970; Bhattacharya, 1971; Глебовский, Мишин, 1981; Паламарчук, 1983; Бердичевский, Седов, 1984; Седов, 1986; и др.*]. Большое внимание уделялось изучению собственных магнитных полей (девиации) авианосителей и конструированию устройств для их компенсации [*Резник, Канторович, 1964; Хвостов, 1964; Канторович, 1971; Вацууро и др., 1983*], созданию систем наблюдений, обеспечивающих эффективное комплексирование аэромагнитных измерений с низкочастотной аэроэлектроразведкой и аэронТласпектрометрией [*Персиц, Контарович, 1975; Барышникова и др., 1981; Вавилин, Корнилов, 1989; и др.*] и систем автоматизированной обработки аэрогеофизической информации АСОМ-АМ [*Коваль, Гольдшмидт, 1973*], АСОМ-АГС/ЕС [*Коваль и др., 1984*], АЭРОПАК [*Поплавский и др., 1985; Барулин и др., 1990*], АЦС-1 [*Лебедев, 1990*] и др.

Перспективы дальнейшего развития аэромагнитометрии большинство специалистов связывает с внедрением градиентометрических систем наблюдений на базе нового поколения квантовых (калиевых) датчиков, совершенствованием систем компенсации магнитных помех и применением специализированных маломагнитных авианосителей. “Прогресс в указанных направлениях позволит - по словам В.С.Циреля [1996, с.18] – продвинуться еще на порядок в отношении реально достижимых точностных характеристик аппаратуры, что, в свою очередь, приведет к дальнейшему расширению круга решаемых аэромагнитометрией геологических, инженерно-геологических и экологических задач”.

3.6. Прогресс в технологии геомагнитных измерений. Морские магнитные съемки

В 1935 г. Британское адмиралтейство приняло решения продолжить исследования Мирового океана, начатые Институтом Карнеги, построив для этой цели новое немагнитное судно “Ресерч”. К сожалению, проект оказался не ко времени и в связи с началом Второй Мировой войны остался нереализованным. На Генеральной ассамблее МАГА в Риме в 1954 г. английская делегация сообщила, что так и не сошедшее со стапеля судно было разобрано.

По глубокому убеждению автора начало современного этапа в морских магнитных исследованиях следует датировать 1953 годом, когда вышла в море немагнитная (точнее ма-

ломагнитная) шхуна “Заря” – первое и долгое время остававшееся единственным в мире научно-исследовательское судно, на борту которого производились непрерывные абсолютные измерения всех элементов земного магнетизма. Инициаторами постановки этих работ был Н.В.Пушков; их бессменным (до середины 1970-х гг.) руководителем - профессор М.М.Иванов. Постройке “Зари” предшествовало тщательное изучение магнитных свойств судостроительных материалов и определение допусков на размещение силового и электросилового оборудования. Столь же тщательно было изучено собственное магнитное поле шхуны, найдены ее пуассоновы коэффициенты и постоянные девиации для всех компонент поля [Иванов, 1966].

Приступая к систематическим съемкам на акваториях, “Заря” имела на борту: 127-миллиметровый магнитный компас ГУ ВМС с пеленгаторами системы В.В.Каврайского; дистанционный двойной компас конструкции В.Ф.Шельтинга; установленный на гиросtabilизированной платформе трехкомпонентный феррозондовый магнитометр МГ-45 и ядерно-прецессионный модульный магнитометр с аналоговой (осциллографической) записью результатов наблюдений. Последние два прибора были сконструированы в ИЗМИР АН СССР под руководством Ш.Ш.Долгинова. Привязка наблюдений осуществлялась с помощью навигационной системы “Курс-4” [Иванов, 1966].

Впоследствии аппаратный комплекс “Зари” неоднократно обновлялся. Двойной компас заменил квантовый H -магнитометр с гиromаятниковой стабилизацией на базе серийного прибора КМ-2У [Алексеев и др., 1982]. Вместо прибора МГ-45 был введен в эксплуатацию разработанный под руководством Ю.В.Афанасьева цифровой феррозондовый магнитометр ЦФЗМ с каналами регистрации приращений Z - и H -составляющих геомагнитного поля и склонения – ориентации магнитометрического преобразователя H -канала в плоскости магнитного меридиана. Существенное усовершенствование претерпела система гиросtabilизации магнитных преобразователей – силовая гировертикаль с маятниковой коррекцией, обеспечивающая независимость локальной системы координат от вращения Земли и курса судна с погрешностью порядка 2–3'. Начиная с 1976 г., для измерения модуля вектора напряженности поля использовались модернизированный аэромагнитометр АММ-13 и буксируемый ядерно-прецессионный магнитометр конструкции А.Я.Ротштейна [Цуцкарев и др., 1986], а в 1983 г. регистрирующие каналы всех размещенных на “Заре” магнитометров были объединены в общий измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) на базе двух микропроцессоров “Микрон”, реализующих функции оперативной первичной обработки, сбора и хранения (архивации) результатов наблюдений [Русанова и др., 1986].

Сведения о точности определения элементов земного магнетизма по измерениям на “Заре” приведены в табл. 4.

Таблица 4

Измеряемые элементы, размерность	Оценки погрешностей		
	Абсолютные измерения		Относительные измерения
	до 1976 г.	после 1976 г.	
Склонение, град	$\pm 0,5 - 1,0$	$\pm 0,5 - 0,7$	$\pm 0,5$
H -составляющая, нТл	$\pm 60 - 100$	$\pm 30 - 40$	$\pm 10 - 20$
Z -составляющая, нТл	$\pm 60 - 130$	$\pm 30 - 40$	$\pm 10 - 20$
Модуль напряженности поля, нТл	$\pm 50 - 70$	$\pm 25 - 30$	± 10

В период с 1956 по 1969 гг. было осуществлено 11 рейсов “Зари” в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах общей протяженностью свыше 240 тыс. морских миль [Касьяненко, Цуцкарев, 1986]. В последующие 1970–1990 гг. районы съемок “Зари” ограничивались акваториями внутренних и окраинных морей, прежде всего Балтийского и Северного, для которых удалось создать уникальную сеть морских пунктов векового хода, позволяющих сократить погрешность приведения наблюдений к среднегодовым уровням до $\pm 2 - 5$ по модулю и $\pm 5 - 10$ нТл по компонентам геомагнитного поля [Касьяненко, Карасик, 1986]. На

основании этих съемок были составлены образцовые карты элементов земного магнетизма Северного и Балтийского морей, увязанные с данными обсерваторий прибалтийских стран [Голуб и др., 1982; Демина, 1999].

Съемки “Зари” и их сопоставление с данными яхты “Карнеги” внесли важный вклад в изучение пространственно-временной структуры главного геомагнитного поля акваторий на интервале 1910–1970 гг. Выяснилось, в частности, что основным источником погрешностей мировых магнитных карт является совершенно недостаточное знание действительного распределения векового хода [Иванов, 1961; Углов, Ундзенков, 1981, 1983]. Спектрально-статистический анализ данных на сопряженных профилях в южном полушарии подтвердил главную особенность пространственного спектра поля – минимум в диапазоне длин волн 300–3000 км [Розе, 1969].

Не менее важным, но гораздо более неожиданным результатом наблюдений на “Заре” стало обнаружение высокочастотных (аномальных) компонент геомагнитного поля, однозначно свидетельствующих о магнитной неоднородности дна океанов [Иванов, 1963, 1966]. Для описания этой неоднородности Иванов использовал эмпирическую характеристику N – произведение среднего значения Z_{max} в скользящем 150-мильном интервале на число локальных аномалий в том же интервале. Разделяя акваторию на спокойные и аномальные зоны, он пришел к выводу, что последние тяготеют не только к срединно-океаническим хребтам (это было известно и раньше), но и к внехребтовым поднятиям, например, к району Кокосовых о-вов.

В целом, аномальные зоны были отнесены “... к своеобразным океаническим массивам, характеризующимся, по-видимому, наличием излияний основных и ультраосновных лав на огромных площадях океанского дна” [Иванов, 1966; с.174]. Зоны спокойного поля, в соответствии с бытовавшими тогда геологическими представлениями, рассматривались как аналоги геосинклинальных прогибов. Наконец, из результатов массовых расчетов глубин залегания источников поля следовал вывод: “мощность слоя осадочных пород в океанах по магнитным данным, в среднем крайне незначительна, а основной кристаллический фундамент в аномальных зонах ... залегает в непосредственной близости от поверхности дна” [Иванов, 1966; с.152].

Проблема систематического изучения структуры аномального магнитного поля и строения магнитоактивного слоя океанской литосферы приобрела особую актуальность на рубеже 50–60 гг. прошлого века. Ее решение стало возможным на базе систем наблюдений с ядерно-прецессионными буксируемыми магнитометрами, позволяющими измерять модуль вектора напряженности поля практически на любых судах. Инициаторами создания таких систем были: в США – М.Юинг; в нашей стране – В.В.Федынский и А.Н.Пушков. Первые опытные работы, выполненные в середине 50-х гг. на исследовательском судне “Вима” в Атлантическом океане, продемонстрировали высокую эффективность магнитных съемок с такими системами. В России аналогичные работы были проведены на рубеже 50–60-х гг. силами сотрудников ИЗМИРАН и ВИРГ [Фингер и др., 1961; Цирель, 1961].

В дальнейшем аппаратный парк морской магнитометрии пополнили буксируемые квантовые магнитометры, в том числе, компонентные с маятниковой стабилизацией и дифференциальные магнитометры, предназначенные для измерения приращений (градиентов) модуля напряженности поля (см. табл. 2), а также разнообразные магнитометры-вариометры с автономностью до 20 суток [Гордин и др., 1980б; Беляев, 1981]. Точность измерений (без учета магнитных координатных погрешностей) возросла до первых единиц нанотесла, а в благоприятных ситуациях – до долей нанотесла [Углов и др., 1976]. Для обработки регулярных магнитных наблюдений на полигонах по аналогии с аэромагнитометрией были разработаны косвенные методы учета вариаций, основанные на анализе невязок в точках пересечений съемочных галсов [Гордин и др., 1980б; Розе, Пылаева, 1981; Cloutier, 1983; и др.].

Всеобщее внимание к геологическим аспектам морской магнитометрии привлекли уже упоминавшиеся в разделе 3.5 аэромагнитные съемки в северо-восточном секторе Тихого

океана, вдоль западного побережья США [Mason, Raff, 1961; Raff, Mason, 1961] и в его северо-западном секторе, мористее Курило-Камчатского глубоководного желоба [Соловьев, 1961]. Они привели к открытию не имеющих континентальных аналогов протяженных систем линейных магнитных аномалий, названных впоследствии “полосовыми”. Вместе со сформулированными примерно в то же время постулатами тектоники мобильных литосферных плит это открытие легло в основу гипотезы формирования магнитоактивного слоя океанской литосферы, выдвинутой Ф.Вайном и Д.Меттьюсом [Vine, Matthews, 1963] и независимо от них Л.Морли и А.Лярошелем [Morley, Laroshelle, 1964].

Опираясь на представления о линейном разрастании (спрединге) дна океанов, авторы гипотезы предположили, что термоостаточная намагниченность, приобретаемая базальтами новообразованной литосферы по мере ее остывания, подобно записи на магнитной ленте, хранит информацию об эволюции намагничивающего поля в геологическом прошлом. Наиболее контрастные события этой эволюции – инверсии полярности поля – приводят к образованию характерной линейно-упорядоченной структуры: латерального чередования прямо и обратно, намагниченных блоков. Поскольку моменты инверсий в принципе могут быть датированы по палеомагнитным данным, интерпретация вызываемых прямо и обратно намагниченными блоками полосовых магнитных аномалий позволяет оценивать скорость спрединга и, что особенно важно, определять возраст океанской литосферы.

Судьба этой простой и элегантной гипотезы оказалась счастливой. Переживавшая в 60-е гг. эпоху “Sturm und Drang” тектоника плит не только сразу же взяла ее на вооружение, но и возвела в ранг основополагающих. Идеи Вайна и Меттьюса были воплощены в разнообразных полосовых моделях, которые надолго стали основным инструментом изучения магнитоактивного слоя, создания палеотектонических реконструкций, воспроизводящих историю раскрытия океанов вплоть до юрского периода [Heirtzler et al., 1968; Pitman et al., 1968; Atwater, Menard, 1970; Карасик, 1971; Vacquier, 1972; и др.]. К концу 70-х гг. усилиями Р.Блейкли, Ф.Вайна, А.М.Городницкого, Д.Гринуолта, Б.Джонсона, А.М.Карасика, К.Клитгорда, С.Кэнди, Дж.Лабрека, Р.Ларсона, Р.Меррилла, Е.Г.Мирлина, У.Питмена, Ф.Рубиновеца, Дж.Слейтера, М.Тальвани, С.Уеда, Дж.Филлипса, П.Фогта, Ж.Франчето, Д.Хейс, Дж.Хейрцлера, Т.Этуотер и других ученых геоисторический анализ аномального магнитного поля приобрел статус самостоятельного научного направления [Карасик, 1979].

Большое внимание уделялось также магнитным съемкам над подводными горами и их палеомагнитному истолкованию – определениям направления вектора остаточной намагниченности слагающих горы пород [Ueda, Richards, 1966; Vacquier, Ueda, 1967; Городницкий, 1970; Harrison et al., 1975; Дементицкая и др., 1978; и др.]. Решение этой сложной задачи позволило уточнить координаты верхнемелового и кайнозойских виртуальных геомагнитных полюсов для Тихоокеанской и других литосферных плит [Городницкий, 1985].

Детальному изучению “тонкой” (высокочастотной) структуры аномального магнитного поля акваторий способствовала разработка систем наблюдений на базе глубоководных необитаемых и обитаемых аппаратов [Spiess, Mudie, 1970; Atwater, Mudie, 1973; Macdonald, 1977; Tomoda et al., 1981; и др.]. Результаты придонных магнитных измерений в свое время вызвали оживленную дискуссию. Одни исследователи связывали аномалии тонкой структуры с кратковременными (пропущенными в магнитостратиграфической шкале) инверсиями полярности [Layendyk, 1969], другие – в неинверсионными (петрофизическими) вариациями намагниченности [Peter, 1970], третьи – с влиянием кровли и изменчивостью мощности магнитоактивного слоя [Larson et al., 1974]. Нужно отметить однако, что глубоководные съемки проводились сугубо локально, главным образом, при комплексных геолого-геофизических исследованиях осевых зон срединно-океанических хребтов.

В последующие годы были созданы системы наблюдений на базе глубоководных магнитометров G-876 фирмы “Geometrics” [Hood, 1986] и ММП-6 (см. табл. 2). Последний вместе с гидролокаторами бокового обзора, сейсмопрофилографом и стереофотосистемой входил в состав глубоководного буксируемого аппарата “Звук-6”, разработанного в Институте

океанологии АН СССР. Опыт осуществленной с помощью этого аппарата придонной магнитной съемки в Северо-восточной Атлантике обсуждался в работе [Ястребов и др., 1991], методика обработки измерений и их приведения к поверхности, конформной рельефу дна – в работе [Валяшко, 1993].

В середине 80-х гг. наибольшую популярность приобрели системы морских градиентометрических наблюдений¹. С измерением и последующим интегрированием курсовых градиентов многие исследователи связывали перспективы радикального усовершенствования методов учета геомагнитных вариаций и девиации судна-носителя [Томода, Фуджимоту, 1982; Розе, Марков, 1984; Eggers, Thompson, 1984; Гордин и др., 1986; Лейбов и др., 1988; и др.]. Практическое применение градиентометрических систем в целом оправдало возлагаемые на них надежды, но с одной оговоркой – в условиях латерально однородного геоэлектрического разреза дна. Модельные расчеты М.Б.Лейбова с соавторами [1989] показали, что градиенты индуцированных компонент геомагнитных вариаций, обусловленные резкими геоэлектрическими неоднородностями, могут, при интегрировании градиента, приводить к образованию ложных магнитных аномалий с амплитудами в десятки нТл.

Современное состояние морской магнитной градиентометрии рассмотрено в монографии [Городницкий и др., 2004], в которой, наряду с анализом аппаратурно-методических вопросов, убедительно продемонстрирована высокая эффективность градиентных измерений при изучении тонкой структуры аномального магнитного поля и уточнении магнитостратиграфической шкалы в Северо-восточной котловине Тихого океана, картировании подводных вулканов Вавилова и Маньяги в Тирренском море, поисках залежей углеводородов в условиях Арктического шельфа, а также при решении задач обнаружения металлических объектов – трубопроводов, кабелей и затонувших судов на акваториях Балтийского и Северного морей. Особое внимание уделено аномалиям в Борнхольмской впадине и проливе Скагеррак, предположительно обусловленных затопленными судами с грузом химических боеприпасов. Возможности решения более сложной проблемы обнаружения рассеянных скоплений затопленных химических боеприпасов с помощью донного магнитного трала обсуждались ранее в работе [Касьяненко и др., 1997].

3.7. Орбитальные (спутниковые) магнитные съемки

Начало космической эры в развитии магнитометрии ознаменовал запуск в СССР 3-го ИСЗ с трехосиальным феррозондовым магнитометром на борту. Программа магнитных измерений на этом спутнике была подготовлена сотрудниками ИЗМИРАН под руководством Н.В.Пушкова [Долгинов и др., 1958]. Благодаря ее осуществлению было показано, что космические съемки являются эффективным средством изучения как главного геомагнитного поля, так и полей внешних источников. Сведения о параметрах орбиты 3-го ИСЗ и некоторых других спутников, снабженных аппаратурой для изучения магнитного поля, содержатся в заимствованной из монографии [Колесова, 1985] табл. 5.

Результаты орбитальных съемок оказали решающее влияние на магнитную изученность нашей планеты. Первую чисто спутниковую модель сферического гармонического анализа (СГА) главного геомагнитного поля ($N=7$) для эпохи 1959 г. по данным наблюдений на ИСЗ США “Vanguard 3” построил Джон Кейн с соавторами [Cain et al., 1962]. Более детальная модель СГА ($N=9$) для эпохи 1964 г. была построена в ИЗМИРАН по данным отечественного ИСЗ “Космос-49”, [Тюрмина, 1968].

¹ По свидетельству И.И.Беляева и А.М.Филина [1993; с.16], первые градиентометрические измерения в море были произведены на борту судна “Галатей” в 1954–1955 гг. Десятилетием позже в процессе испытания магнитометра-градиентометра G-802G в заливе Сан-Франциско специалисты фирмы “Geometrics” исследовали возможности измерения градиентов в направлении, перпендикулярном ходу судна [Breiner, 1966].

Таблица 5

Название спутника, страна	Дата запуска	Тип прибора	Апогей – перигей, км	Наклон орбиты, град.	Продолжительность съемки, сут
3-й ИСЗ, СССР	5.05.1958	ТФ	1881 – 226	65,0	–
Космос-26, СССР	18.03.1964	ПМ	403 – 271	49,0	–
Космос-49, СССР	24.10.1965	ПМ	490 – 260	49,0	11
POGO-2, США	14.10.1965	КР	1510 – 413	87,4	747
POGO-4, США	28.07.1967	КР	908 – 412	86,0	820
POGO-6, США	5.06.1970	КР	1098 – 396	82,0	810
Космос-321, СССР	20.01.1970	КЦ	507 – 280	71,0	53
ИК-18, СССР	1978	ТФ	775 – 410	82,0	910
ИК-20, СССР	1979	ТФ	500 – 500	74,0	150
MAGSAT, США	9.01.1979	КЦ, ТФ	561 – 352	87,0	240
CHAMP, Германия	15.07.2000	ТФ, ПМ	круговая, < 454	87,0	5 лет (планируемая)

Примечание: POGO – Polar Orbiting Geophysical Observatory, ИК – Интеркосмос, MAGSAT – Magnetic Satellite, ТФ – трёхосный феррозонд; ПМ – протонный магнитометр; КР – квантовый рубидиевый магнитометр; КЦ – квантовый цезиевый магнитометр.

Данные этих и последующих орбитальных съемок использовались затем при синтезе ретроспективных моделей СГА на интервалах различной длительности [Пушков и др., 1975; Barraclough, Malin, 1979; Cain, 1981; Бенькова и др., 1983 и др.], в том числе модели IGRF для эпох 1965–1980 гг., построенный по материалам Геологического института Великобритании [Barker et al., 1981] и Геологической службы США [Peddie, 1982], и созданной в NASA модели GSFC 9/80 для эпох 1960–1980 гг. [Langel et al., 1982]. Репрезентативность моделей IGRF и GSFC 9/80 исследовали Н.П.Бенькова с соавторами [1983б], сопоставившие их между собой и со спутниковыми моделями Космос-49 и POGO. Результаты сопоставления иллюстрирует табл. 6 – матрица, в верхнем треугольнике которой приведены значения систематических (среднеалгебраических) расхождений, а в нижнем – значения модулей среднеарифметических расхождений. В этой же работе было показано, что среднеарифметическое расхождение между усредненными по пяти моделям СГА значениями напряженности поля и наблюдениями в 96-ти обсерваториях составляет 22 нТл при максимальном расхождении (обс. Теолоюкан) в 79 нТл.

Таблица 6

Модели СГА	Различия между моделями в нТл			
	IGRF	GSFC 9/80	Космос-49	POGO
IGRF	0	7	5	–
GSFC 9/80	23	0	14	–
Космос-49	37	26	0	8
POGO	–	–	38	0

Наиболее впечатляющим итогом съемки на ИСЗ “Космос-49” стало открытие длинноволновых (спутниковых) магнитных аномалий, которое, как это нередко бывает, не коим образом не планировалось. Задачей измерений на этом спутнике было изучение главного геомагнитного поля. При анализе результатов наблюдений, однако, выяснилось, что высокочастотные “помехи” на сближенных спутниковых трассах коррелируют между собой. Тогда, к обработке данных была привлечена Т.Н.Симоненко, обладавшая огромным опытом аэромагнитного картографирования больших территорий. Произведя тщательную статистическую разбраковку и усреднение наблюдений по сетке $5^\circ \times 5^\circ$, она пришла к выводу, что обнаруженные “помехи” не случайны и, следовательно, должны быть отнесены к стационарному геомагнитному полю [Benkova et al., 1973].

По словам Симоненко (устное сообщение), первая демонстрация карты длинноволновых магнитных аномалий на конгрессе IAGA было встречено в целом недоверчиво. Положение “спасла” Изадора Зитц, вспомнившая, что наиболее интенсивная аномалия Банги в

Экваториальной Африке регистрировалась ранее при съемке по проекту “Магнит”. Впоследствии реальность длинноволновых магнитных аномалий подтвердили наблюдения на спутниках серии POGO [Regan et al., 1972, 1975].

Выдающимся событием в становлении спутниковой магнитометрии стал запуск спутника MAGSAT, на котором в течение 240 суток производились синхронные измерения модуля напряженности и компонент геомагнитного поля на полярной орбите в диапазоне высот 352–561 км. Табл. 7 дает представление об основных источниках погрешностей и точности этой замечательной съемки [Langel, 1982].

Таблица 7

Наименование погрешностей	Скалярные измерения, нТл	Векторные измерения, нТл
Инструментальная погрешность	1,5	3,0
Ошибки позиционирования (времени)	1,0	1,0
Погрешность оцифровки “нуля”	0,5	0,5
Ошибки определения высот	–	4,8
Девиация носителя (спутника)	0,5	0,5
Суммарная погрешность	2,0	6,0

Материалы проекта MAGSAT нашли широкое применение во многих теоретических и прикладных разделах магнитологии и магнитометрии. По подсчетам Роберта Лангла с соавторами [Langel et al., 1991] к началу 1991 г. число публикаций, в той или иной мере основанных на этих данных, достигло 402: 17 из них были посвящены аппаратурному обеспечению и обработке наблюдений; 88 работ – главному геомагнитному полю и моделям СГА; 63 работы – внешнему геомагнитному полю; 209 работ – длинноволновым магнитным аномалиям и их геологическому истолкованию. В числе последних – работы по глобальному сопоставлению морфологии этих аномалий с основными морфоструктурными элементами литосферы [Frey, 1982], по изучению их корреляции с глубинами залегания границы Мохоровичича и термическим режимом земной коры [Симоненко, Литвиненко, 1984; Mayhew, 1985].

На рубеже 70–80-х гг. М.Мехью разработал метод построения эквивалентной модели источников длинноволновых аномалий в форме индуктивно намагниченного сферического слоя и применил ее для интерпретации данных MAGSAT на территориях США и Австралии [Mayhew, 1984; Mayhew, Johnson, 1987]. Сходная технология использовалась при истолковании поля длинноволновых аномалий в Северной и Экваториальной Атлантике [LaBrequette, Raymond, 1985; Hayling, Harrison, 1986] и на акватории Тихого океана [LaBrequette, Cande, 1984; Harrison et al., 1986; и др.]. Объектами тщательной количественной интерпретации стали хорошо локализованные длинноволновые аномалии в штате Кентукки (США) [Mayhew et al., 1984], на Восточно-Европейской платформе [Taylor, Frawley, 1987; Пашкевич и др., 1989; и др.], над подводными хребтами Брокен в Индийском и Лорд-Хау в Тихом океанах [Johnson, 1985; Frey, 1985].

3.8. Изучение магнитных полей планет

Параллельно со спутниковыми съемками на околоземных орбитах развивалось и другое направление космической магнитометрии – исследования магнитных полей планет. Начало им положили произведенные в сентябре 1959 г. измерения на космическом аппарате “Луна-2”, благодаря которым было установлено, что магнитное поле естественного спутника Земли близко к нулю [Dolgiiov et al., 1962]. Этому выводу не противоречили данные, полученные в 1966-67 гг. на орбитальных аппаратах “Луна-10” и Explorer-35” [Долгинов и др., 1966], а окончательно его подтвердили наблюдения 1971–1972 гг. на окололунных орбитах и лунной поверхности во время экспедиций по проекту АПОЛЛОН (Apollo-12, 13 и 15) [Sharp

et al., 1973; *Dyal et al.*, 1974], а также результаты измерений на “Луноходе-2” [Долгинов и др., 1975].

Сведения об исследованиях магнитных полей в окрестностях планет земной группы и планет-гигантов (по состоянию на 1980 г.) приведены в заимствованной из работы [Долгинов, 1980] в табл. 8. Хроника дальнейших космических экспериментов такова: в 1980–1981 гг. магнитосферу Юпитера пересекли аппараты Voyager-1 и Voyager-2; в 1986 г. Voyager-2 достиг орбиты Урана, а в 1989 г. – орбиты Нептуна [Bagenal, 1992].

Таблица 8

Планета	Космический аппарат	Дата измерений	Тип прибора	Траектория, апогей–перигей орбиты
Меркурий	Mariner-10	03.1974 г. 03.1975 г.	ФЗ	Пролет на высотах 720 и 322 км
Венера	Mariner-2	12.1962 г.	ФЗ	Пролет на высоте 6,6 R_V
	Венера-4	10.1967 г.	ФЗ	Траектория падения до 200 км
	Mariner-5	10.1967 г.	ФЗ	Пролет на высоте 1,7 R_V
	Mariner-10	02.1974 г.	ФЗ	Пролет на высоте 2,1 R_V
	Венера-9	10.1975 г.	ФЗ	Спутник, $r = 1,25-5 R_V$
	Венера-10	10.1975 г.	ФЗ	"
Марс	Pioneer	12.1978 г.	ÔÇ	Спутник, $r = 1,02-12 R_M$
	Mariner-4	07.1965 г.	ФЗ	Пролет на высоте 3 R_M
	Марс-2	12.1971 г.	ФЗ	Спутник, $r = 1150$ км
	Марс-3	12.1971 г.	ФЗ	"
Юпитер	Марс-5	02.1974 г.	ФЗ	"
	Pioneer-10	12.1973 г.	КГ	Пролет на высоте 2,9 R_J
	Pioneer-11	12.1974 г.	КГ	Пролет на высоте 1,7 R_J
	Voyager-1	03.1979 г.	ФЗ	Пролет на высоте 4,9 R_J
Сатурн	Pioneer-11	09.1979 г.	КГ	Пролет на высоте 1,34 R_S

Примечание: R (с соответствующим индексом) – радиус планеты; ФЗ – трехкомпонентный феррозондовый магнитометр; КГ – трехкомпонентный квантовый (гелиевый) магнитометр.

Основные магнитные параметры планет солнечной системы представлены в табл. 9, из которой следует, что магнетизм планет земной группы резко отличен от земного. Напряженность поля на экваторе (T_e) варьирует от 3 нТл у Венеры [Bridge *et al.*, 1967; Долгинов и др., 1968] и 40–60 нТл у Марса [Долгинов и др., 1972, 1974] до 170–330 нТл у Меркурия [Ness *et al.*, 1976; Whang, 1977], магнитные моменты (M) не превосходят тысячных долей магнитного момента Земли (M_E). Опираясь на эти данные многие исследователи пришли к выводу, магнитные поля Меркурия, Венеры и Марса обусловлены остаточной намагниченностью их литосфер, приобретенной в полях молодой солнечной системы или в полях ранее действовавших динамо-процессов в ядрах этих планет [Stevenson, 1974; Sharpe, Strangway, 1976; Strangway, 1977]. Возможность современной динамо-генерации исключалась на том основании, что малые размеры Меркурия и Марса препятствовали сохранности жидких проводящих ядер, а эволюция Венеры существенно отличалась от эволюции Земли. Альтернативную гипотезу прецессионной динамо-генерации магнитных полей планет в течение многих лет развивал Ш.Ш.Долгинов [1980].

Гипотеза об аналогии между механизмами динамо-генерации магнитных полей Земли и планет-гигантов Юпитера и Сатурна была выдвинута после измерений на межпланетных космических аппаратах “Pioneer-10, 11” [Smit *et al.*, 1974, 1975; и др.] и сразу же обрела статус общепризнанной. На этом основании Р.Хайд и С.Мейлин использовали для расчета радиуса проводящего ядра Юпитера тот же метод, что и для Земли, и получили оценку: $R_{cJ} = 0.72 R_J$ [Hide, Malin, 1979]. Быть может, самым поразительным результатом экспериментов 1986–1989 гг., на космических аппаратах “Voyager-1, 2” стало обнаружения аномально большого наклона дипольных осей Урана и Нептуна – 59° и 47° соответственно [Bagenal, 1992]

Таблица 9

Планета	Радиус, км	Период обращения, сут	T_e , мкТл	Отн. магнитный момент, M/M_E	Наклон дипольной оси, град.
Меркурий	2420	58	0,17-0,33	$<6 \cdot 10^{-3}$	1–30
Венера	6057	244	$<0,003$	$<1 \cdot 10^{-5}$	–
Земля	6371	1	31	1	11
Марс	3390	1	0,04–0,06	$1 < 3 \cdot 10^{-4}$	15
Юпитер	71500	0,4	428	20 000	10
Сатурн	60300	0,4	22	600	1–2
Уран	25600	0,7	23	50	59
Нептун	24800	0,8	14	25	47

3.9. Прогресс в изучении переменных составляющих геомагнитного поля. Вариационные аномалии

Экспериментам в высоких слоях атмосферы и космосе история отвела роль ключевых в обосновании представлений об источниках переменных составляющих геомагнитного поля. Восходящую к работам Артура Шустера теорию генерации солнечно-суточных Sq вариаций двумя полуденными токовыми вихрями в E -слое ионосферы подтвердили прямые ракетные измерения в области экваториальной электроструи [Maple et al., 1951, 1953; Cahill, 1958] и в средних широтах [Davis et al., 1966; Cloutier, Haymes, 1968].

Более подробного рассмотрения заслуживает вопрос о природе магнитных бурь. Попытку усовершенствования корпускулярной теории Биркеланда-Штермера еще в начале 30-х гг. предприняли С.Чемпен и В.Ферраро [Chapman, Ferraro, 1931, 1932]. Анализируя взаимодействие потока солнечной плазмы (солнечного ветра) с магнитным полем, они пришли к выводу, что причиной бурь может быть сжатие магнитного поля под давлением солнечного ветра. По мере приближения к Земле его уравнивает давление геомагнитного поля и образуется полость, внутрь которой солнечный ветер не проникает, а на границе возникает узкий (шириной порядка 100 км) слой DR -токов, вызывающих магнитные бури.

Вопрос о правомочности этой теории оставался открытым вплоть до 1959 г., когда в ходе измерений на космических аппаратах “Луна-1” и “Луна-2” на расстоянии 20 тыс. км от центра Земли были обнаружены аномалии напряженности геомагнитного поля, которые не находили никакого приемлемого объяснения кроме существования токового кольца, окружающего земной шар. Впоследствии корректность этого объяснения подтвердили измерения на ИСЗ POGO-3 [Frank, 1967] и реальность DR -токов стала неоспоримой.

Полость, недоступная для проникновения солнечного ветра, по предложению Т.Голда, была названа магнитосферой Земли [Gold, 1959]. Анализ ее структуры и динамики стал одной из главных задач программ Международного Геофизического года (1957–1959 гг.) и Международного года спокойного Солнца (1964–1965 гг.), положивших начало новому этапу в изучении геомагнитных вариаций, прежде всего, короткопериодных колебаний (КПК), как основных индикаторов состояния магнитосферы [Troitskaya, 1964, 1967; и др.].

Интерес к индуцированным составляющим переменного магнитного поля привлекла публикация статьи [Meyer, 1951], автор которой обратил внимание на аномальное распределение магнитных бухт в Центральной Европе и предположил, что возможной причиной этого явления могут быть электрические токи, индуцированные в недрах Земли. Тогда же две группы магнитологов под руководством Т.Рикитакэ в Токио и Дж.Бартельса в Геттингене приступили к систематическим исследованиям на основе наблюдений по густой сети постоянных и временных обсерваторий [Rikitake et al., 1952; Bartels, 1954].

Работы первой группы привели к открытию Центрально-Японской вариационной аномалии, расположенной близ тихоокеанского побережья острова Хонсю и проявляющейся, как в началах магнитных бурь и распределении бухтообразных возмущений, так и в протек-

кании регулярных Sq -вариаций [Rikitake et al., 1956; Rikitake, 1959; и др.]; работы второй – к открытию Северо-Германской и Геттингенской вариационных аномалий [Schmucker, 1959; Kremser, 1962]. Примерно в это же время, благодаря систематическим измерениям в Канадском секторе Арктики, начатым в период Международного Геофизического года, были выявлены вариационные аномалии в Аллерте и Моулд-Бей [Whitham, 1960, 1964].

Для объяснения природы Центрально-Японской аномалии Рикитаке с сотрудниками предложили два варианта: модель разомкнутой эллиптической цепи с током, концы которой удалены друг от друга на расстояние в 1000 км и более приемлемую с точки зрения авторов модель клинообразного воздымания высокопроводящего мантийного слоя в прибрежной части Тихого океана. Северо-Германская и Аллертская аномалии интерпретировались как эффект, вызываемый индуцированным током в высокопроводящем цилиндре на глубине порядка 100 км.

Рубеж 50–60 гг. ознаменовало также открытие берегового эффекта – аномалий в протекании геомагнитных вариаций в окрестностях границы океан-континент, обусловленных резким (на несколько порядков) различием электропроводности суши и морской воды. Практически одновременно береговой эффект обнаружили П.К.Сенько [1958], С.М.Мансуров [1959] и У.Паркинсон [Parkinson, 1959], предложивший простой метод описания этого явления. Идея Паркинсона состояла в определении главной плоскости, в которой располагаются векторы приращений элементов земного магнетизма, и перпендикулярной к ней индукционной стрелки, характеризующей ориентацию и наклон главной плоскости. Применяв разработанный метод к наблюдениям в обсерваториях Австралии, Паркинсон нашел, что береговой эффект приводит к удлинению индукционных стрелок и их развороту в направлении, перпендикулярном границе океан-континент [Parkinson, 1964]¹.

В работе [Parkinson, 1964] были описаны также результаты экспериментального изучения берегового эффекта на сферической модели Земли, в которой океан имитировался медной оболочкой, а проводящая мантия – алюминиевым шаром с радиусом, равным 0.9 радиуса модели. Первичное поле возбуждалось витками проволоки, близкими по своей конфигурации к токовой системе магнитных бухт. Результаты моделирования привели к выводу, что береговой эффект в обсерваториях юго-западной Австралии обусловлен двумя факторами: канализацией индуцированных токов в океане и неоднородностями проводящей мантии.

К сходным выводам пришел У.Шмукер, применивший метод Паркинсона для изучения Калифорнийской береговой аномалии [Schmucker, 1964]. По его оценкам глубина залегания проводящего слоя мантии в этом регионе менялась от 80–260 км под континентом до 20 км под океаном.

В течение 60–70-х гг. число известных вариационных аномалий быстро росло. Береговой эффект был обнаружен в Новой Зеландии [Lawrie, 1965] на Сахалине и Курильских островах [Ваньян, Мардерфельд, 1966; Ваньян и др., 1967], в юго-восточной Австралии [Lilley, Bennet, 1972] и на побережьях Канады [Lilley, 1979]; внутриконтинентальные аномалии – на Байкале [Ваньян, Харин, 1963], в Гренландии [Niblett, Whitham, 1970], на Британских островах [Edwards et al., 1971], в провинции хребтов и бассейнов (США) и Юго-Восточной Канаде [Camfield et al., 1971; Gough, 1973], в Карпатах [Бондаренко др., 1972; Рокитянский, 1975] и Пиренеях [Daignieres et al., 1973; Babour et al., 1976], в Восточной Африке [Banks, Ottey, 1974; Rooney, Hutton, 1977] и многих других регионах земного шара. Совершенствовались методы физического моделирования источников этих аномалий [Мардерфельд, 1977; Parkinson, Jones, 1979] и методы их количественной интерпретации [Weidelt, 1971; Бердичевский, Жданов, 1981, 1984; и др.], благодаря чему уже к середине 80-х гг. изучение вариационных аномалий в вариантах магнитовариационного зондирования и магнитовариацион-

¹ Сходным методом пользовался Г.Визе [Wiese, 1962] при изучении вариационных аномалий в Европе, в связи с чем индукционная стрелка получила впоследствии название вектора Визе–Паркинсона. Сам Паркинсон считал это название не очень удачным.

ного профилирования приобрело статус одного из основных источников информации об электропроводности земной коры и верхней мантии.

3.10. Новые возможности магниторазведки.

Изучение глубинного строения земной коры и металлогеническое районирование

Два обстоятельства существенно сказались на расширении возможностей применения магниторазведки при решении геолого-картировочных и геолого-поисковых задач. Во-первых, это обновление аппаратного парка и технологии геомагнитных измерений, повышение их точности и детальности до уровня, который в первой половине XX века казался недоступным. Во-вторых, это разработка современных методов интерпретации аномалий геопотенциальных полей [Страхов, 1962, 1979; Блох, 1997; Калинина, Гольцман, 1997], как основы для принятия ответственных решений на всех стадиях геологоразведочного процесса: от региональных геолого-геофизических исследований и выявления перспективных площадей до локализации промышленных скоплений полезных ископаемых и прогнозных оценок запасов на стадиях детальной разведки и эксплуатации месторождений.

Перспективы комплексного применения грави- и магниторазведки для изучения геологического строения крупных регионов были осознаны еще в процессе интерпретации Генеральных магнитных съемок [Архангельский и др., 1937; Розе, 1937; и др.]. Мелко- и средне-масштабные аэромагнитные съемки резко расширили эти перспективы. Сочетание приемов неформализованного (качественного) и формализованного (корреляционно-прогнозного) сопоставления морфологии аномальных геопотенциальных полей с геологическими образованиями, трассирования линеаментов и массовых расчетов глубин залегания верхних кромок магнитовозмущающих тел выдвинули аэромагнитометрию в число ведущих методов картирования закрытых территорий, прежде всего, древних и молодых платформ.

Разработке технологии такого картирования положили начало работы [Vacquier et al., 1951; Андреев, 1955, 1960; Логачев, 1955]. Ее развивали и совершенствовали многие исследователи – авторы региональных структурно-тектонических схем строения фундамента Восточно-Европейской платформы [Фотиади, 1958; Гафаров, 1963; Зандер и др., 1968; Кратц и др., 1979], Западно-Сибирской и Туранской плит [Проводников, 1957; Борисов, Рыманов, 1960; Сурков, 1963; Каратаев, 1966, 1969; Глазунова, 1969; и др.], Сибирской платформы и Алданского щита [Булина, 1964; Гришин и др., 1967; Николаевский, 1968; Проводников, 1975; Малышев, 1977], Северо-Американской платформы [Zietz, 1969; и др.]. Сходная технология применялась при изучении магматических комплексов и глубинной структуры горно-складчатых областей Южной Сибири [Сурков, 1965; 1972; Витте и др., 1979], мезозоид Северо-востока России [Николаевский, 1967; Беляев и др., 1968] и других регионов [Булина, Рябкова, 1977].

К числу важнейших геологических результатов геомагнитного картирования следует отнести предварительную (досейсмическую) информацию о мощности осадочного чехла и оконтуривание потенциальных нефтегазоносных бассейнов [Симоненко, 1956; Пятницкий, Каратаев, 1961; Ярош, 1963; и др.], расшифровку блоковой структуры земной коры и построение карт дизъюнктивной тектоники крупных регионов [Fuller, 1964; Симоненко, Толстихина, 1968; Коган, 1975; Шаблинская, 1977; Тяпкин, Кивелюк, 1982; и др.], идентификацию источников магнитных аномалий с кольцевыми тектоно-магматическими структурами [Гинтов и др., 1976; Мошинская, 1978] и разновозрастными рифтовыми системами [Новоселова, 1975; Кунин, Самойлюк, 1982; Аплонов и др., 1987; Эринчек, Мильштейн, 1993; и др.], в том числе, с дорифейскими рифтами, преобразованными затем в чарнокит-гранулитовые пояса [Крутиховская и др., 1986].

Большую работу по обобщению массовых определений глубин залегания источников магнитных аномалий проделала Л.В.Булина [1972], заключившая, что на древних щитах большинство локальных источников сосредоточено в поверхностном слое толщиной при-

мерно 10–12 км, в горно-складчатых областях – в слое толщиной 30–40 км. Горизонтальные размеры контрастно намагниченных блоков исследовал В.Н.Луговенко [1974]. По его оценкам, основанным на статистическом анализе аномального магнитного поля территории СССР, на Восточно-Европейской и Сибирской платформах эти размеры составляют 50-60 км, на Западно-Сибирской плите – 43 км. Многие авторы констатировали корреляцию глубин залегания верхних и нижних кромок магнитовозмущающих тел с основными границами в земной коре [Гайнанов, Соловьев, 1963; Каратаев, 1969; Волк и др., 1973; и др.].

Наряду с уточнением глубинного строения кристаллических щитов, платформенных и горно-складчатых областей магнитометрические данные с успехом использовались при решении задач регионального металлогенического прогноза. Из огромного числа исследований этого направления упомянем работы Д.Н.Казанли [1959] по металлогеническому районированию Казахстана; А.М.Виноградова и др. [1966] по изучению связи магнитных аномалий с золотоносностью Северо-Востока России; Г.И.Менакера [1970] по прогнозу золото-сульфидного и редкометального оруденения в Забайкалье, И.В.Головина и др. [1971а,б] по металлогеническому районированию и прогнозу никеленосности Балтийского и Украинского щитов. В середине 70-х гг. Ю.И.Никольский с соавторами [1975] разработали технологию металлогенической интерпретации результатов региональных геофизических съемок на Кавказе и в Закавказье; Л.А.Шарловская [1976], опираясь на магнитометрические данные, выявила металлогеническую зональность дейтеро-орогенных прогибов в Алтае-Саянской складчатой области.

Геолого-геофизические критерии прогноза медно-никелевого оруденения на северо-западе Сибирской платформы были сформулированы в работе [Ремпель, 1983]; критерии прогноза металлогенических провинций оловорудного, молибденового и редкометального профиля – в работах [Лешневский, 1982, 1991; Лешневский, Бескин, 1993]. В середине 90-х гг. Е.М.Ананьева с соавторами [1996], основываясь на пространственно-статистическом анализе размещения рудных месторождений в геофизических полях, уточнили представления о металлогенической специализации основных структурно-формационных зон и блоков земной коры Урала.

Еще в доспутниковую эпоху внимание многих исследователей привлекала проблема источников региональных магнитных аномалий. А.П.Булмасов [1962] связывал их в вариациями состава и мощности базальтового слоя земной коры, тогда как, по мнению А.А.Борисова и Г.И.Кругляковой [1972], в региональных аномалиях отражались термические неоднородности верхней мантии. В последующие годы связь региональных аномалий с рельефом изотермической поверхности Кюри магнетита была подтверждена в работах [Литвиненко, Симоненко, 1984; Mayhew, 1985; и др.].

Спутниковые магнитные съемки и сопоставление их результатов с разномасштабными аэромагнитными измерениями способствовали обобщению экспериментальных данных на больших площадях, что в свою очередь позволило перейти от качественных приемов геомагнитного картирования к количественным, основанным на усовершенствованных методах корреляционного прогноза [Каратаев, Пашкевич, 1986] и прямом 2D- и 3D- моделировании магнитоактивного слоя литосферы. Большую работу в этом направлении проделали украинские магниторазведчики – З.А.Крутиховская, И.К.Пашкевич, М.И.Орлюк и др. – авторы магнитных моделей земной коры Украинского щита, Восточно-Европейской платформы и Европы в целом [Крутиховская и др., 1982; Пашкевич и др., 1989; 1990 и др.]. Эквивалентному моделированию магнитоактивного слоя литосферы США и Австралии были посвящены уже упоминавшаяся в разделе 3.7 работы [Mayhew, 1984; Mayhew, Johnson, 1987], моделированию магнитоактивного слоя Индии, Африки и Южной Америки – работы [Negi et al., 1986; Ravat et al., 1992]. Основанную на данных MAGSAT оригинальную магнитную модель Северной Евразии опубликовала Н.В.Федорова [1997].

3.11. Новые возможности магниторазведки при поисках рудных месторождений

Напомним, что магниторазведка, как самостоятельный метод разведочной геофизики, зародилась во второй половине XIX века на железорудных месторождениях Южной Швеции. Реализация ее поискового потенциала стала возможной гораздо позднее, благодаря созданию аэромагнитных систем наблюдений, планомерному исследованию уже известных и открытию новых железорудных провинций. В результате этих исследований уже к середине XX века была детально изучена морфология магнитных аномалий над железорудными месторождениями разных формаций: метаморфогенной (железистые кварциты КМА и Кривого Рога), скарново-метасоматической (магнетитовые и магномагнетитовые руды Урала и Южной Сибири), магматогенной (титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые руды Урала и Карелии) и др. Было установлено, что интенсивность аномалий является важным, но далеко не единственным и не всегда однозначным критерием обнаружения промышленных железорудных объектов [Логачев, 1947b; Лысенко и др., 1958].

В середине 50-х гг. Н.Г.Шмидт [1956] и З.А.Крутиховская [1956] разработали технологию комплексного гравимагнитного картирования залежей богатых (мартитовых) железных руд КМА и Кривого Рога. Тогда же В.Д.Стадухин на Урале и О.А.Соловьев в Горной Шории исследовали возможности разбраковки магнитных аномалий на “рудные” и “безрудные”, подмагничивая возмущающие объекты полем прямоугольной рамки. Впоследствии эта идея трансформировалась в метод искусственного подмагничивания (МИП) [Соловьев, 1960; Стадухин, 1962], ставший одним из наиболее эффективных методов рудной магниторазведки.¹ В 1959 г. С.Уорд предложил комплексировать магниторазведку с электроразведкой по методу незаземленной петли [Ward, 1959; 1961].

Опытно-методические и производственные работы в различных железорудных провинциях подтвердили, что аэромагнитные съемки масштабов 1: 50 000 и 1:10 000 с последующей наземной детализацией могут служить надежной основой для уточнения структуры рудоносных толщ, определения элементов залегания, размеров и геометрии рудных залежей, прогнозной оценке запасов железных руд [Зимин, Халевина, 1958; Полонский, 1960; Жаворонкин, Страхов, 1961; Соловьев, 1962; и др.]. Эффективность применения повысотной аэромагнитной съемки на магнетитовых месторождениях Горной Шории и Урала была продемонстрирована в работах [Ларионов, 1961; Орлов, 1962; и др.].

На рубеже 50–60 гг. в практику магниторазведочных работ на железорудных объектах прочно вошли методы скважинной магнитометрии и каротажа магнитной восприимчивости [Пономарев, Суворов, 1958; Кальварская, 1960; и др.]. Их дальнейшее развитие и применение на месторождениях разных генетических типов – заслуга А.Н.Авдонина, Е.А.Барина, А.Н.Бахвалова, А.К.Вейнберга, О.Е.Владимирова, И.И.Глухих, Г.С.Дозмаровой, Л.А.Золотаревой, Г.К.Зорина, О.Н.Игнатьева, В.П.Кальварской, О.А.Кваческого, Ю.И.Кудрявцева, С.С.Лапина, А.Б.Ломакина, В.А.Мейера, О.Н.Молчанова, З.Г.Муромцевой, В.Н.Пономарева, А.А.Попова, Б.Н.Тихонова, Л.Г.Филиппычевой, В.Н.Холина и др., разработавших приемы корреляции рудных залежей между скважинами, оценки сортности руд и содержания в них магнетитового железа. На стадии эксплуатации месторождений шахтно-рудничная и скважинная магниторазведка зарекомендовала себя эффективным средством уточнения горно-геологических условий разработки [Раннев, 1969] и магнитного опробования руд [Тихонов, 1968].

В связи с настоятельной необходимостью обобщения разнородной магнитометрической и петрофизической информации перед интерпретаторами встала задача объемного мо-

¹ Параллельно с МИП продолжали развиваться и начатые в свое время Б.М.Яновским исследования естественного подмагничивания рудных объектов полем геомагнитных вариаций. Работы в этом направлении проводили М.И.Лапина в районе КМА, Т.Я.Каменская, Р.В.Терехова и В.А.Филатов в Сибири, Б.А.Ундзенков на Урале, М.И.Финкельштейн и Г.А.Гусманов в Казахстане, А.Г.Антонец, А.П.Корякин, С.Г.Хамидов и Н.Ф.Шевченко в Средней Азии и др.

делирования железорудных месторождений. Её успешное решение на Таштагольском месторождении в Горной Шории [*Константинов, Константинова, 1967*], а затем и на многих других месторождениях в Сибири, на Урале и в Северном Казахстане во многом определило проблематику дальнейших исследований. Примерно в это же время Г.С.Вахромеев [1969] поставил вопрос о физико-геологическом моделировании рудных месторождений.

Благодаря повышению точности магнитных измерений до первых единиц нанотесла предметом целенаправленных поисков стали слабоконтрастные объекты с магнитной восприимчивостью $\kappa=(50-175)\cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Это, прежде всего, залежи платформенных, геосинклинальных и остаточных (латеритных), бокситов, приуроченные к корам выветривания карбонатных толщ и алюмо-силикатных изверженных пород. Работы в перспективных районах КМА, Урала, Западной Сибири, Казахстана и Тимано-Печорской провинции показали, что аэромагнитные данные (в комплексе с аэрогаммаспектрометрией) позволяют успешно решать задачи литологического картирования – прослеживания контактов бокситоносных глиноземов с известняками и отделения карбонатных толщ от эффузивных пород основного состава, а также локализовать аномалии, связанные с богатыми залежами невыветрелых бокситов [*Гайдуков и др., 1967; Ремпель, 1971; и др.*].

В 60–70 гг. прошлого века резко возросла роль магниторазведки при поисках и разведке месторождений цветных и редких металлов. В комплексе с другими геофизическими и литолого-геохимическими исследованиями она применялась в качестве основного или вспомогательного метода для уточнения геологического строения рудных районов, обнаружения рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, а при наличии в составе руд ферромагнитных минералов (акцессорного магнетита и пирротина) – для прямого выявления рудных залежей. Соответствующие поисковые образы формировались с учетом связи оруденения с контрастно намагниченными зонами гидротермально и метасоматически измененных пород, приуроченности этих зон к экзоконтактам интрузий разного состава и разрывным тектоническим нарушениям. Внимание к этим вопросам способствовало разработке методов количественного прогноза оруденения и успешному применению в рудной геофизике технологий распознавания образов [*Боровко, 1970; Гольдшмидт и др., 1973*].

К числу выдающихся достижений рудной магниторазведки 60-х гг. несомненно следует отнести работы по обнаружению и картированию алмазонасных кимберлитов в Якутии. Повидимому, первыми прямую связь магнитных аномалий с трубками взрыва установили П.Н.Меньшиков [1957] и А.И.Лощаков [1960]. Важный вклад в дальнейшее развитие методики аэромагнитного изучения кимберлитов внесли Г.Д.Балакшин, Н.В.Кобец и Д.И.Саврасов. В начале 70-х гг. Б.С.Барулин и др. [1974] впервые применили для этой цели технологию двухгоризонтных вертолетных съемок. Методы комплексной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий “трубочного типа” разрабатывали В.И.Авраменко, Б.П.Ватлин, В.Т.Изаров, Б.Д.Миков, Б.Н.Мосиенко, Н.Н.Романов и др. При этом главное внимание уделялось вопросам выделения трубочных аномалий на фоне интенсивных помех, обусловленных вулканитами трапповой формации [*Миков и др., 1969; 1977 и др.*].

Накопленный к началу 80-х гг. опыт применения геофизических методов при поисках и разведке рудных месторождений был обобщен в монографиях [*Крутиховская, Кужелов, 1960; Крутиховская, Шмидт, 1961; Алексеев, 1968; Аристов и др., 1969; Хесин, 1969, 1976; Шмидт, 1970; Вахромеев, 1970, 1973; Крутиховская, 1971; Константинов, Константинова, 1971; Желамков и др., 1972; Нассонов, 1975; Никитский, Бродовой, 1976; Боровко, 1979; Ремпель и др., 1979; Барышев и др., 1980; Духовский и др., 1981; Стадухин и др., 1982*].

В следующие два десятилетия усилия специалистов в области в рудной геофизике были направлены на создание физико-геологических моделей (ФГМ) месторождений различных генетических типов, как основы для систематизации геолого-геофизических и геохимических данных, объективного (детерминированного или стохастического) описания изменчивости петрофизических свойств вмещающих пород и руд, связей этой изменчивости с со

держанием полезных компонент и элементами геологического строения [Вахромеев и др., 1982; Давыденко, Вахромеев, 1984; Семинский, Давыденко, 1994; и др.].

Прогрессу в решении задач численного моделирования рудных месторождений в аномальном магнитном поле способствовало совершенствование технологий геометризации рудных залежей, модернизация алгоритмов решения обратных задач и более полный учет данных скважинной магниторазведки [Морозов и др., 1987; Мухаметшин, 1997]. Однако главным достижением, подготовленным всем ходом предшествующих исследований, стало изменение критериальной базы – переход от формально-аналитической регуляризации задач моделирования к смысловой регуляризации: согласованию расчетных значений намагниченности не только с магнитными измерениями, но и с данными других геофизических методов и системными представлениями, аккумулярованными в рамках ФГМ изучаемого месторождения. Появились технологии, предусматривающие многократную вариацию искомым и мешающих параметров модели, построение решающих правил на основе качественных признаков, характеризующих дискретные состояния системы [Гольцман, Калинина, 1991, 1996].

Физико-геологические модели железорудных месторождений Ангаро-Илимского и Ангаро-Катского типов в Восточной Сибири разрабатывали Г.С.Вахромеев с соавторами [1981]; магнетитовых месторождений Урала – А.Н.Авдонин и др. [1987]; месторождений Атасуйского типа в Казахстане – Т.М.Жакеев [1990]. Эффективность моделирования при изучении оловорудных узлов Дальнего Востока продемонстрировали Ф.И.Манилов и др. [1986], золоторудных объектов Верхояно-Колымской складчатой области – Т.Г.Бабкина [1994]; медно-никелево-платиновых месторождений Норильского района – А.С.Долгаль и др. [1997]; редкометальных рудных узлов и полей в Приазовье – О.К.Тяпкин [1999]. Рудоносные структуры Балтийского щита моделировали А.А.Духовский и Н.А.Артамонова [1994].

Многолетний опыт разработки методов обнаружения и интерпретации гравимагнитных аномалий трубчатого типа в Якутской алмазоносной провинции подытожила публикация монографии Б.Д.Микова [1985]. Э.Б.Чистова и др. [1990] адаптировали эти методы для прогноза алмазоносности на севере Восточно-Европейской платформы; Ю.В.Антонов, В.И.Жаворонкин и др. [1996] – для решения аналогичной задачи на Воронежском кристаллическом массиве. Об успешном применении при поисках кимберлитов высокоточной вариационной разведки на базе СКВИД-магнитометров и скважинной магниторазведки сообщалось в работах [Бондаренко и др., 1981; Филиппычева и др., 1984].

Идеи комплексирования магниторазведки с методом незаземленной петли получили дальнейшее развитие в работах Ю.И.Блоха с соавторами [Блох и др., 1984, 1986а], показавших, что возможность управления величиной и направлением намагничивающего поля открывает новые, недоступные для классической магниторазведки перспективы отдельного изучения индуктивной и остаточной намагниченности, послойного моделирования сложных возмущающих объектов, эффективного учета влияния неоднородно намагниченных перекрывающих толщ [Блох и др., 1986б; Беловежец, Снопков, 1990; Евдокимов и др., 1991]. По словам Ю.И.Блоха [1997, с. 209], “... метод был внедрен практически во всех железорудных районах СССР и применялся для решения самых актуальных задач, в том числе при комплексном изучении зоны БАМ. Практически все железорудные месторождения юга Якутии были изучены комплексной магниторазведкой, что дало стране несколько миллиардов тонн запасов железа”.

3.12. Расширение возможностей магниторазведки при поисках месторождений нефти и газа

Применение магниторазведки при поисках углеводородов долгое время ограничивалось решением сугубо картировочных задач. Во-первых, это обнаружение соляных куполов

либо по приуроченным к ним малоамплитудным отрицательным аномалиям (соль диамагнитна), либо по локальным положительным аномалиям, связанным с глыбами интрузивных пород, выносимыми солью в кровлю купола [Максимов, 1938, 1950]. Во-вторых, это изучение строения фундамента нефтегазоносных бассейнов, в особенности, кон- и постседиментационных тектонических нарушений, контролирующего формирование структур осадочного чехла второго и более высоких порядков и образование ловушек нефти и газа [Андреев, 1960; Шаблинская, 1965].

Связь нефтегазоперспективных структур с разрывной тектоникой и контрастно намагниченными блоками фундамента Восточно-Европейской платформы в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции исследовали В.П.Боронин [1960] и И.М.Уразаев [1964], Туранской плиты – А.В.Глазунова [1964, 1969], Скифской плиты – Р.Ф.Володарский [1966] и многие другие исследователи. Аэромагнитные данные сыграли важную роль при составлении карт тектонического районирования фундамента Западно-Сибирской плиты и выявлении крупнейших структур второго порядка – Сургутского и Нижневартовского сводов, Колтогорско-Уренгойской системы впадин, Александровского и Средне-Васюганского мегавалов и др. [Шаблинская, 1961; Сурков, 1963, 1967].

В 70-е гг., благодаря внедрению в производственную практику систем высокоточных аэромагнитных наблюдений, предметом целенаправленных исследований стали локальные возмущения геомагнитного поля (микроаномалии) с амплитудами в первые десятки и даже единицы нТл, обусловленные магнитными неоднородностями в осадочном чехле [Сурков, Таруц, 1973; Антонович, 1976; Харламов, 1976; Дзабаев, 1977; и др.]. Выяснилось, что интерпретация этих аномалий в комплексе с данными детальной гравиразведки может служить основой для изучения послонной зональности физических свойств осадочных горных пород [Таруц, 1974; Кассин и др., 1978; Мавричев и др., 1978; Мегеря, Чащин, 1979; и др.] и выявления рифогенных структур [Степанов и др., 1974; Гершанок, Юзвак, 1977; Кассин и др., 1979]. Возможности высокоточной аэромагнитной съемки при картировании разрывных тектонических нарушений и грязевых вулканов в пределах локальных поднятий Изаткули, Даяндык и Сев. Зирик в юго-западной Туркмении убедительно продемонстрировал А.А.Дзабаев [1978].

Всеобщее внимание к нефтепоисковым перспективам магниторазведки было привлечено после того, как Т.Донован с коллегами проанализировали аэромагнитные данные на нефтеносных площадях Техаса и Аляски и пришли к выводу, что формирование источников локальных магнитных аномалий может быть связано с процессами миграции газов, прежде всего, метана и сероводорода [Donovan et al., 1979]. Проникая через покрывку залежи, метан нарушает окислительно-восстановительный баланс и приводит к вторичному минералообразованию. Почти всегда содержащиеся в глинах гидрокислы железа утрачивают гидроксильные группы, преобразуясь в гематит, а в благоприятных условиях – в магнетит. Миграция сероводорода, по всей вероятности, действует двояко. В одних условиях слабомагнитные железистые минералы преобразуются в сильномагнитные пирротин и магнетит, в других - в практически немагнитные пирит или сидерит.

Эти представления стали отправной точкой для построения физико-геологической модели месторождений нефти и газа [Березкин и др., 1982] и разработки разнообразных интерпретационных методов: корреляционно-статистического прогноза нефтегазоносности по данным грави- и магниторазведки [Каратаев, Фомина, 1982; Емельянов, 1986], технологии ГРИН – квазианалитического (интерактивного) продолжения магнитных аномалий и локализации особых точек [Карус и др., 1988] и др. Перспективы привлечения аэромагнитных данных для разграничения пустых и продуктивных структур с использованием алгоритма распознавания образов КОСКАД-2 обсуждались в работе [Каиштанов, 1988].

В 90-е гг. число публикаций, посвященных применению модели Донована–Березкина для поисков нефти и газа, продолжало быстро расти. Локальные отрицательные, кольцевые и пилообразные магнитные аномалии были закартированы над многими потенциально про-

дуктивными структурами и месторождениями нефти и газа различных морфогенетических типов. По оценкам Г.Н.Куликова и В.Г.Мавричева [1995] подтверждаемость аэромагнитного прогноза нефтегазоносности в Тимано-Печорской, Волго-Уральской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинциях достигла соответственно 86, 73 и 76 процентов. Технология ГРИН была успешно опробована на Азоло-Солоушенском вале в Татарии и Вуктыльском газоконденсатном месторождении [Березкин и др., 1994], что, по мнению исследователей-оптимистов, открывало перед магниторазведкой заманчивые перспективы прямых поисков нефти и газа.

Исследователи-реалисты, к которым причисляет себя и автор, однако полагают, что прогностические возможности модели Донована–Березкина не столь велики. Необходимыми условиями успеха ее применения для прямых поисков являются наличие в покрывке месторождения отложений, обогащенных окислами или гидроокислами железа и диффузия углеводородов через покрывку; достаточным условием – предположение, что углеводороды не диффундировали из залежи полностью. Лишь соблюдение необходимых условий гарантирует нас от ошибок первого рода (пропуска залежи), соблюдение гипотетического достаточного условия – от ошибок второго рода (ложного прогноза). В противном случае считать поиск прямым нет никаких оснований.

Этот негативный вывод ни коим образом не умаляет достижений высокоточной аэромагнитометрии в изучении магнитных неоднородностей в осадочном чехле, выявлении реперных магнитоактивных горизонтов, их литолого-стратиграфической идентификации и последующем палеотектоническом анализе истории формирования нефтегазоносных бассейнов [Бабаянц и др., 2000]. В работах [Иголкина и др., 1999; Астраханцев, Иголкина, 2000] показано, что ценным подспорьем в решении этих принципиально важных задач нефтяной геологии могут служить результаты магнитных измерений в поисково-разведочных скважинах.

3.13. Аномалии векового хода. Сейсмо- и тектономагнетизм

Итог почти полувековой предыстории сейсмомагнитных исследований подвела публикация уже упоминавшейся в разделе 2.11 статьи [Kato, 1938], в которой были систематизированы сообщения о связи магнитных возмущений с сейсмическими событиями и содержались сведения об аномалиях векового хода (АВХ) в эпицентральных зонах сильных землетрясений и районах активного вулканизма в Японии. К сожалению, метрологической стороны дела Като практически не касался. Большинство выявленных им аномалий оконтуривалось по результатам наблюдений в единичных пунктах и, как тактично отмечала М.И.Лапина [1953, с.395], "... все эти аномалии векового хода находятся на пределе точности измерений и к ним нужно относиться с некоторой осторожностью".

Более представительными были результаты повторных измерений Z-составляющей геомагнитного поля до и после землетрясения в районе озера Кутияро [Kato, 1940]. Образовавшиеся во время этого землетрясения (май, 1938 г.) трещины и сбросы оказались приуроченными к осевой зоне линейно вытянутой магнитной аномалии, амплитуда которой (1500 нТл) в течение года изменилась примерно на 100 нТл.

Японскую "монополию" на изучение АВХ нарушила публикация заметки Б.П.Вейнберга и В.П.Шибаяева [1940], обративших внимание на существование устойчивых локальных неоднородностей (гнезд) векового хода на территории СССР. Выявлению АВХ в слабосейсмичном Парижском бассейне была посвящена статья [Rothe, 1950], в асейсмичных районах Центральной Европы – статья [Errulat, 1950].

В 1947–1948 гг. сотрудники ИЗМИРАН под руководством В.П.Орлова приступили к детальному изучению вековых вариаций на Восточно-Европейской платформе и нескольких профилях в Средней Азии. К наиболее интересным результатам привели работы в Средней Азии, где после повторных наблюдений 1955–1958 гг., были выявлены две локальные зоны,

в которых вековой ход геомагнитного поля значимо отличался от вековой вариации, характерной для этого региона. Обе зоны были приурочены к сейсмоактивным разломам с глубиной заложения (по геологическим данным) порядка 20 км. На этом основании В.П.Орлов [1958, 1959] выдвинул предположение о связи выявленных АВХ с изменениями упругих напряжений, т.е. с сейсмотектоническими процессами.

Обоснованность подобной трактовки подтверждали лабораторные данные о зависимости петромагнитных свойств горных пород от давления, а также расчеты, проведенные для простого, но вполне правдоподобного распределения напряжений в недрах и показавшие, что породы с намагниченностью 10^{-3} CGS могут вызывать сейсмамагнитные АВХ с амплитудой порядка 10 нТл [Stacey, 1964].

Эти пионерские исследования стали отправной точкой для развития нового направления в учении о земном магнетизме – сейсмо- и тектономагнетизма. Термин “тектономагнетизм” ввел в научный обиход Т.Нагата [Nagata, 1969] для обозначения исследований изменений магнитного поля и пьезонамагниченности горных пород, обусловленных тектоническими процессами.

Одним из первых объектов тектономагнитных исследований стали районы активного вулканизма. Об обнаруженных еще в 40–50-х гг. изменениях геомагнитного поля на вулканах Махира, Мияки (Япония) и Заварицкого (Курильские острова) сообщалось в статьях [Rikitake, 1950; Kato, Takagi, 1953; Бернштейн, 1960]. Гораздо более широкую известность получили эксперименты М.Джонстона и Ф.Стейси в Новой Зеландии – демонстрация того, что извержение вулкана Роупеху в ноябре 1968 г. предварялось АВХ с амплитудой порядка 10–15 нТл, вполне объяснимой в рамках теории пьезомагнетизма [Johnston, Stacey, 1969].

К середине 60-х гг. АВХ были выявлены на Камчатке на траверсе вулканов Шивелуч, Толбачик, Жупанова и в районе Паужетки [Пудовкин и др., 1965], в Карпато-Балканском регионе [Русаков, Крутиховская, 1967], на Гармском полигоне в Таджикистане [Головков, 1969, 1971], вблизи разлома Сан-Андреас в Калифорнии [Breiner, Kovach, 1967] и во многих районах Японии [Rikitake, 1968]. Тогда же В.А.Шапира и Б.А.Ундзенков [1967] осуществили прямые наблюдения сейсмамагнитного эффекта при взрывах на одном из магнетитовых месторождений Урала¹.

Сначала основанием для обнаружения и изучения АВХ в сейсмоактивных районах служили повторные магнитные съемки и обсерваторские данные, затем – режимные наблюдения на геофизических (геодинамических) полигонах, постановка которых потребовала тщательной оценки различного рода погрешностей: влияния локальных вариаций электропроводности недр в точках установки измерительных приборов [Rikitake, 1968; Johnston, Stacey, 1969, Johnston et al., 1976; Ware, 1979], электрокинетических явлений [Mizutani, Ishido, 1976], а также полей внешних источников и промышленных помех, обусловленных разными факторами, прежде всего, влиянием высоковольтных линий электропередач и газопроводов, оборудованных катодной защитой [Абдуллабеков, Максудов, 1975]. В методическом плане главный итог этих исследований состоял в разработке корректных приемов обнаружения и картирования АВХ [Головков и др., 1977; Кузнецова и др., 1977; Ware, 1979]; в интерпретационном плане – в осознании того, что источники АВХ имеют полигенетическую

¹ Впоследствии магнитные эксперименты во время взрывов (в том числе атомных) проводили многие авторы. О.М.Барсуков и Ю.П.Сковородкин [1969] зарегистрировали обратимые изменения магнитного поля с амплитудой 8–10 нТл, вызванные мощным промышленным взрывом при возведении защитной плотины в Медео (Казахстан). По сообщению американских магнитологов [Hasbrouck, Allen, 1972] атомный взрыв в Канникине сопровождался изменением магнитного поля на 9 нТл на расстоянии 3 км от эпицентра. Проведенная в 1973–1974 гг. серия экспериментов с использованием магнитометров с высокими чувствительностью и разрешением во времени позволила выделить три эффекта: необратимые изменения, связанные с разрушением остаточной намагниченности горных пород, быстрые знакопеременные осцилляции при прохождении упругой волны и обратимые (релаксационные) изменения, наиболее вероятная причина которых – перераспределение упругих напряжений и магнитное последствие [Акопян и др., 1973; Козлов и др., 1974].

природу, но несомненно связаны с современными тектоническими и сейсмическими процессами.

Начатые в 1967 г. систематические наблюдения на Карпатском полигоне показали, что линейная зона интенсивных (с амплитудой до 7–8 нТл/год) АВХ северо-западного простирания приурочена к Закарпатскому глубинному разлому – активной (надвиговой) границе между Складчатыми Карпатами и Закарпатским внутренним прогибом. На возможную токовую (индукционную) природу этой зоны указывало ее совпадение с выявленной здесь вариационной аномалией [Рокитянский, 1975]. Предположительно пьезомагнитную природу имели лишь локальные знакопеременные АВХ над близповерхностными телами андезито-базальтов и туфов с намагниченностью от 0.02 до 0.1 А/м [Кузнецова, 1983].

На Уральском полигоне усилия магнитологов были сосредоточены на изучении Манчужской магнитной аномалии, интенсивность которой, судя по наблюдениям в обсерваториях Высокая Дубрава и Арти и результатам режимных магнитных съемок 1968–1974 гг., систематически увеличивалась со скоростью 5 нТл/год [Булашевич, Шапиро, 1976]. Вероятная причина этого явления – тектономагнитный рост остаточной намагниченности пород-источников, вызываемый термоупругими и термохимическими процессами в земной коре в интервале глубин 10–40 км [Шапиро, 1984].

Еще две АВХ, имеющих, по-видимому, токовую природу, – Башкирская и Буткинская – были выявлены в зонах сопряжения Урала со структурами Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ [Шапиро, Пьянков, 1976; Пьянков, Шапиро, 1977]. Режимные геодезические исследования (повторные нивелировки) показали, что обе зоны тектонически активны; для них характерны аномально высокие градиенты современных вертикальных движений, обусловленные, по всей вероятности, дилатацией и сдвиговыми деформациями [Шапиро, Корокина, 1981].

Связь АВХ с региональной сейсмичностью убедительно продемонстрировали наблюдения 1968–71 гг. на Алма-Атинском геодинамическом полигоне [Грязновская, 1972]. В результате их статистической обработки было установлено, что подавляющее большинство пунктов с аномально высокими дисперсиями векового хода ($D=100–200$ нТл²) расположено в пределах Северо-Тяньшанской сейсмоактивной зоны, тогда как в слабосейсмичных районах Прибалхашья – $D < 10$ нТл² [Поляков, 1976].

К аналогичному выводу привели работы на Байкальском геодинамическом полигоне [Ларионов, Нагорский, 1973], а также анализ детальных (с шагом 10 км) повторных наблюдений на западе США, где подавляющее большинство АВХ с амплитудой порядка 10 нТл тяготело к зонам с аномально высокой сейсмичностью. В слабосейсмичных районах амплитуда АВХ была на порядок меньше [Johnston et al., 1976].

3.14. Прогноз землетрясений

Обратимся к практически наиболее важному вопросу об аномалиях-предвестниках и перспективах магнитометрического прогноза землетрясений. Заимствованный из монографии [Rikitake, 1976] перечень сообщений о регистрации локальных АВХ, сопровождающих сейсмические события в Японии за период 1891–1966 гг., содержится в табл. 10. При сравнении её левой (исторической) и правой (современной) частей обращает на себя внимание резкое уменьшение амплитуд возмущений. “Такое явное ослабление сейсмомагнитного эффекта – по словам Рикитаки [1979, с.232] – не свидетельствует о существовании реального векового уменьшения поля, но оно отражает улучшение измерительной техники со временем”. Симптоматично, что наиболее резкий спад пришелся на начало 60-х гг. – время внедрения в магнитометрическую практику ядерно-прецессионных магнитометров.

Таблица 10

Землетрясение	Год	Магнитуда	Макс. ампл. АВХ, нТл	Землетрясение	Год	Магнитуда	Макс. ампл. АВХ, нТл
Ноби	1891	7,9	920	Нанкайдо	1946	8,1	35
Саката	1894	7,3	290	Имайти	1949	6,4	182
Рикую	1896	7,5	230	Токати-оки	1952	8,1	159
Сусака	1897	6,3	610	Сев. Мияги	1962	6,5	78
Хиросима	1905	7,6	120	Танабе	1962	6,1	7
Сев. Идзу	1930	7,0	115	Ниигата	1964	7,5	48
Санрику	1933	8,3	180	Сидзуока	1965	6,1	5
Сидзуока	1935	6,3	315	Мацусиро	1965	5,7	12
Осака	1936	6,4	75	Мацусиро	1966	6,1	7

В последующие годы попытки регистрации сейсмомагнитных аномалий-предвестников продолжались. Об изменении модуля напряженности поля с суммарной амплитудой 23 нТл в окрестностях эпицентра Монеронского землетрясения 6.09.1971 г. на Сахалине сообщалось в работе [Мардерфельд, Верховский, 1975]. В период подготовки землетрясения на Байкале 9.08.1972 г. в экстремальных точках расположенной близ эпицентра Гремячинской аномалии наблюдались изменения Z -составляющей поля с амплитудой 14 нТл, начавшиеся за 15 суток до сейсмического события [Ларионов, 1976]. В 1976 г. М.Джонстон с коллегами зарегистрировали в районе разломов Герлок и Сан-Андреас (Калифорния, США) геомагнитные возмущения, связанные с тремя землетрясениями с магнитудами $M=3.8-5.2$ [Johnston et al., 1976; Smith, Johnston, 1976].

Накапливались и негативные результаты: магнитный эффект землетрясения ($M=6.2$) в японской префектуре Акито (16.10.1972 г.) не превосходил 0.2 нТл [Rikitake, 1976]. Наблюдения в окрестностях эпицентров землетрясений 17.05.1976 г. и 19.03.1984 в районе Газли (Узбекистан) также не выявили значимых сейсмомагнитных возмущений [Шапиро, Абдуллабеков, 1978; Бердалиев и др., 1986].

26–27 октября 1978 г. на нескольких режимных пунктах в Узбекистане был зарегистрирован заметный рост напряженности геомагнитного поля, который к 1 октября достиг 23 нТл и сменился резким спадом. На основании совместного анализа магнитометрических, гидрохимических и сейсмологических данных Институт сейсмологии АН УзССР 1 ноября дал прогноз сильного землетрясения, который подтвердился шестью часами спустя [Мавлянов и др., 1979; Shapiro, Abdullabekov, 1982]. Землетрясение 02.11.1978 ($M=7.0$) вошло в каталоги под названием Алайского и является, насколько известно автору, первым сейсмическим событием, предсказанным по геомагнитным наблюдениям.

В целом позитивным оказался и опыт комплексных геомагнитных и геодезических исследований 1976–1978 гг. на Гармском и Душанбинском полигонах в Таджикистане. Анализ выявленных локальных АВХ привел к выводу, что “в ряде случаев они предшествуют моментам отдельных землетрясений, в других – отражают деформационный процесс, не сопровождающийся сейсмическим событием” [Безуглая, Сквородкин, 1984, с.124]. Из двадцати произошедших здесь мелкофокусных землетрясений ($M=3.3-5.1$) семнадцать сопровождалось аномалиями-предвестниками с амплитудой 0.5–4.0 нТл [Сквородкин, 1985, с.152].

Тем не менее, в проблеме геомагнитного прогноза землетрясений пока больше вопросов, чем ответов. Прежде всего, они относятся к природе локальных АВХ – альтернативе тектономагнетизма и электрокинетических токовых систем, как возможной причины их возникновения [Fitterman, 1979; Гохберг и др., 1980]. По мнению В.А.Шапиро [1984, с.114], “...несмотря на продолжительные и скрупулезные исследования в области изучения геомагнитных предвестников землетрясений в различных странах (Япония, СССР, США, Китай и др.), обращает на себя внимание факт, что вариации тектономагнитной природы в связи с землетрясениями нигде не зарегистрированы. Даже в тех случаях, когда исследователи счи-

тают, что обнаруженная вариация вызвана тектономагнетизмом, по крайней мере не менее правомочным является и другой вариант интерпретации”.

Рассогласованность наблюдений с теоретическими (тектономагнитными) представлениями продемонстрировали магнитные эксперименты в процессе заполнения водохранилищ. Работы в Новом Южном Уэльсе (Австралия) показали, что заполнение водохранилища Толбинго сопровождалось уменьшением поля примерно на 7 нТл по отношению к реперной точке, удаленной на 3.5 км от водохранилища. Потребная для возникновения такой разности намагниченность – 5 А/м – оказалась существенно больше, чем намагниченность поверхностных пород и кернов с глубины 100 м [Davis, Stacey, 1973]. На озере Гордон (о. Тасмания) эффект уменьшения поля при заполнении не превосходил 1.6 нТл [Brennan, Hastie, 1976].

В экспериментах на водохранилище Чарвак в Средней Азии локальное уменьшение поля на 12–15 нТл также наблюдалось в момент достижения максимального уровня воды. При разгрузке водохранилища поле возвращалось к исходному уровню, затем возрастало на 4–6 нТл и только после этого окончательно возвращалось к исходному уровню [Абдуллабеков и др., 1977, 1979]. На водохранилище Азат в Закавказье характер изменений поля и сейсмичности был сходен, за исключением одной существенной детали - знака изменений поля. Максимуму нагрузки соответствовала максимальная АВХ. При тектономагнитном истолковании этого эффекта пришлось бы признать, что при заполнении водохранилища Азат мы имеем дело не со сжимающими, а с растягивающими напряжениями [Оганесян и др., 1979; Пушков и др., 1981].

4. НЕКОТОРЫЕ ИНДУКТИВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КОНКРЕТНЫЕ ПРИМЕРЫ

Наука гораздо ближе к мифу, чем готова допустить философия науки. Это одна из многих форм мышления, разработанных людьми, и не обязательно самая лучшая. Она ослепляет только тех, кто уже принял решение в пользу определенной идеологии или вообще не задумывается о преимуществах и ограничениях науки.

П.Фейерабенд

4.1. Методологические аспекты

Естествоиспытатель, обращающийся к общим вопросам развития науки, рискует уподобиться сороконожке, которая задумалась, с какой ноги она начинает движение, и разучилась ходить. Тем не менее, соблазн велик... “Наука – по образному выражению С.Р.Микулинского – это не только сумма знаний, так сказать, совокупность плодов древа познания, но и само древо, на котором они произрастают” [Гуриштейн, 1985; с.94]. Элементы структуры древа, т.е. исторические аспекты любой конкретной науки, по своей природе двойственны. С одной стороны они являются органической частью этой науки со всеми вытекающими отсюда методологическими возможностями и ограничениями; с другой – частью общей истории естествознания. Диалектическое единство названных частей, фактологического (индуктивного) и гносеологического (дедуктивного) подходов образует фундамент историко-научных представлений.

Методологические ограничения истории науки проявляются, прежде всего, в зависимости ее концепций от того, какого уровня в своем развитии достигла сама наука. Сводки исторических фактов, как отражение разных, нередко противоречивых тенденций, неизбежно выборочны. Совершая отбор фактов и, тем более, пытаясь выстроить их в некую умозрительную схему, исследователь исходит из современной суммы знаний, опирается на сиюминутную шкалу ценностей, которая в будущем может радикально измениться и привести к изменению принятой схемы. “История – писал Марк Блок [1986, с.11] – не ремесло часовщика или краснодеревщика. Она – стремление к лучшему пониманию и, следовательно, – нечто, пребывающее в движении”¹.

Не менее важно осознавать эпистемологическую ограниченность историко-научных знаний, роль тех руководящих политических установок и философских идей, которые предопределяют отношение исследователя к предмету исследований – действиям ученых и мыслителей в прошлом. Если эти идеи возводятся в ранг непререкаемых догм, то догматически противоестественной становится и основанная на них история естествознания. К сожалению, отечественная практика времен борьбы с “космополитизмом и низкопоклонством перед Западом” дает тому немало поучительных подтверждений.

Интересно в этой связи сопоставить исторические очерки развития магнитометрии в разных изданиях “Земного магнетизма” Б.М.Яновского. В издании 1953 г. после довольно подробного обсуждения “китайского следа” в изобретении компаса констатируется, что “... буржуазные ученые Европы и Америки ... всячески стараются затушевать роль и приоритет Китая в открытиях по земному магнетизму” [Яновский, 1953; с.10]. В последующих изданиях 1964 и 1978 гг. автор ограничивается лишь упоминанием о “китайском следе”, начиная соответствующий абзац словами: “до сих пор ученые спорят...”.

¹ Более абстрактно, но в чем-то более точно суждение Р.Коллингвуда [1980; с.207]: “История не является, как ее часто характеризуют, рассказом о последовательности событий или же описанием изменений. В отличие от естествоиспытателя историк вообще не занимается событиями, как таковыми. Он занимается только теми событиями, которые представляют собой внешние выражения мысли и только в той мере, в какой они выражают мысли”.

Разумеется, подводные камни и ограниченность историко-научного знания отнюдь не умаляют его важности. По словам В.И.Вернадского, "... каждое поколение научных исследователей ищет и находит в истории науки отражение научных течений своего времени. Двигаясь вперед, наука не только создает новое, но и неизбежно переоценивает старое, пережитое. Уже поэтому история науки не может быть безразличной для всякого исследователя. Натуралист и математик всегда должен знать прошлое своей науки, чтобы понимать ее настоящее. Только этим путем возможна правильная и полная оценка того, что добывается современной наукой, что выставляется ею как важное, истинное и нужное" [Вернадский, 1922; с. 112].

4.2. Периодизация истории магнитометрии

Намеченное в предыдущих очерках членение истории магнитометрии на начальный, натурфилософский (гильбертов), классический (гауссов) и современный периоды в общих чертах согласуется с представлениями Т.Куна о развитии науки, как о процессе последовательного становления, совершенствования и отмирания комплексов руководящих идей – парадигм [Кун, 1977]. Периодам отвечают куновские эпохи "нормальной науки" (главенства тех или иных парадигм), рубежам между периодами – эпохи "научных революций". Вместе с тем нужно иметь в виду, что магнитометрия, как и любой другой раздел естествознания, являет собой "...открытую систему, которая погружена в общество и связана с ним множеством обратных связей" [Тоффлер, 1986, с.13]. Поэтому индивидуальные особенности революционной смены парадигм в каждом конкретном случае есть результат взаимодействия внутренних (собственно магнитометрических) и внешних (общеметодологических) факторов, подверженных в свою очередь разнообразным социально-экономическим, культурным, политическим и прочим влияниям.

Открытия Уильяма Гильберта, например, бессмысленно рассматривать в отрыве от их исторического контекста: становления эпохи европейского абсолютизма и его экономической составляющей – меркантилизма, от эпохи позднего Возрождения и главного научного достижения этой эпохи – перехода от геоцентрической системы Мироздания к гелиоцентрической. Уместно напомнить, что автор "De Magnete", опубликованного в год сожжения Джордано Бруно, был одним из первых в Англии последователей и пропагандистов учения Николая Коперника [Калашиников, 1956] и в то же время прямым предшественником Исаака Ньютона. Особое внимание на преемственность воззрений двух великих англичан обращал Джон Бернал. Ошибаясь в природе действующих сил, "Гильберт – по словам Бернала – дал первое правдоподобное, лишённое всякого мистического оттенка объяснение "устройства небес" и высказал мысль, что именно магнитное притяжение удерживает планеты на их орбитах" [Бернал, 1956].

Быть может, наиболее характерной чертой в развития натурфилософской науки было противоборство двух методологических тенденций: восходящей к трудам Гильберта и обоснованной Френсисом Бэконом идеи экспериментального (индуктивного) изучения природных явлений и дедуктивного метода Декарта, афористически сформулированного в знаменитом тезисе: "Определяйте понятия и Вы избавите человечество от половины его заблуждений".¹ Действие первой тенденции преобладало в открытиях вековых и суточных геомагнитных вариаций, в идеях М.В.Ломоносова о магнитной неоднородности земных недр, в опытах Джона Мичелла с крутильными весами и т.п.; действие второй - в изобретении понятий Мирового эфира и магнитных жидкостей. Синтез обеих тенденций наиболее отчетли-

¹ Овладение методом, по мысли Декарта, освобождало науку от случайности и субъективизма, ориентировало её не на отдельные открытия, постепенно соединяемые в общую картину Мира, а на создание некоей глобальной понятийной сетки. Заполнение ячеек этой сетки под условием взаимообусловленности всего сущего представлялось делом сугубо техническим.

во проявился в трудах Кулона, завершивших почти двухсотлетний натурфилософский этап истории магнитометрии.

Бурное развитие торгово-промышленных отношений в начале XIX века стимулировало не менее бурный прогресс в физико-математических разделах естествознания, в экспериментальной технике, совершенствование которой оказало огромное влияние на последующее развитие магнитологии и магнитометрии. Непреходящее значение имели опыты Эрстеда, Ампера, Фарадея, вскрывшие несостоятельность учения о магнитных жидкостях и подготовившие почву для создания теории электромагнитных явлений Максвелла.

В методологическом плане – это время перехода от натурфилософских представлений к классическим, неотделимым, по разумению автора, от строго детерминированной системы Мироздания Канта–Лапласа, от неукоснительного соблюдения принципа “бритвы Окама” – *Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* (не следует умножать сущности без необходимости) – и сформулированных несколько позднее позитивистских идей Э.Маха, видевшего главную задачу науки в максимально экономном и непротиворечивом описании эмпирических фактов.

Эталоном такого максимально экономного и непротиворечивого описания в учении о земном магнетизме стала “Общая теория” Карла Фридриха Гаусса, которая казалась современникам безукоризненной и сразу же получила всеобщее признание. Лишь на рубеже XIX–XX веков П.Т.Пасальский [1901; с.333] заметил, что “... Гаусс не делает никаких предположений относительно причин распределения (магнетизма), так что его работу, собственно говоря, нельзя назвать теорией; это – просто способ представить наблюдаемые значения при помощи простейших формул”. Полвека спустя к аналогичному заключению пришла Т.Н.Розе (Симоненко), по мнению которой “... теория земного магнетизма, созданная Гауссом, не может считаться физической теорией, объясняющей возникновение магнитного поля Земли; она является только формальной математической теорией, дающей возможность вычислять магнитное поле Земли в удовлетворительном согласии с действительностью” [Розе, 1952, с.290].

Становление современного этапа развития магнитометрии неразрывно связано с общими умонастроениями эпохи “войн и революций” XX века, с теми глубочайшими преобразованиями в физике и технике, начало которым положили труды А.Эйнштейна, Э.Резерфорда, Н.Бора и др. В некоторых аспектах, как, например, в ускоренном Мировыми войнами создании принципиально новых технических средств и методов геомагнитных измерений, эту связь можно проследить непосредственно, в других – она носила косвенный характер и проявлялась во взаимопроникновении и освоении достижений других, нередко далеких от геофизической проблематики наук.

Открытия в области ядерной и квантовой физики предопределили радикальное обновление аппаратного парка магнитометрии. В чрезвычайно короткие сроки на несколько порядков повысилась пороговая чувствительность магнитометров, резко возросло их быстродействие. Благодаря прогрессу в микроэлектронике и вычислительной технике перманентно изменялась элементная база – на смену радиолампам и транзисторам пришли цифровые микросхемы. К середине 80-х гг. почти все серийные аэро- и морские магнитометры совмещали в себе функции измерительных приборов и средств сбора, хранения и обработки метрической информации на базе встроенных микропроцессоров или интерфейсов с внешними информационно-вычислительными системами.

Создание современных систем наблюдений не только резко расширило наши представления о пространственно-временной структуре главного геомагнитного поля и механизмах его генерации, но и оказало глубокое влияние на развитие других геолого-геофизических дисциплин, например, морской геологии, которая в своих построениях опирается на магнитную стратиграфию дна океанов. К фундаментальным достижениям магнитометрии второй половины XX века следует отнести также результаты изучения магнитных полей Луны и планет Солнечной системы.

В области обработки и интерпретации прикладных геомагнитных измерений широкое применение нашли разработанные в радиофизике и статистической радиотехнике приемы обнаружения (распознавания), выделения и параметризации сигналов на фоне помех. Адаптация этих приемов к решению задач геомагнитного картирования и поисков полезных ископаемых способствовало отказу от строго детерминированных постановок обратных задач и становлению идеологии моделирования сложных природных объектов, которая, по мнению Нильса Бора [1961], сродни принципу дополнительности в квантовой механике.

4.3. О научных революциях и эффекте заметания следов

История перехода от классической магнитометрии к современной, как мне кажется, убедительно иллюстрирует “мирный характер” научных революций. Даже в тех случаях, когда новые открытия и изобретения радикально изменяли существующие представления, классическое наследие теряло лишь свои ведущие позиции, но не отвергалось полностью – преобладающая преобладала над антагонизмом. Как справедливо подчеркивал один из создателей квантовой механики Макс Борн: “... критика классических доказательств неизбежна, но это не означает принижения достижений великолепных мастеров науки, чья интуиция вывела нас на верный путь: нужно только отвести в сторону мусор, который не отваживалась удалить чересчур почтительная традиционность” [Борн, 1977; с.92-93].

Еще одна характерная черта научной революции XX века – размытость времени. Новая парадигма отвоевывала свои позиции не мгновенно, это сложный многостадийный процесс, охвативший по крайней мере несколько десятилетий. В магнитном приборостроении, например, он начался с открытий Р.Вуда (1929 г.), Б.Г.Лазарева и Л.В.Шубникова (1937 г.), приобрел поистине революционный размах после изобретений первого атомно-прецессионного магнитометра (1947 г.) и способа оптической накачки атомов щелочных металлов (1957 г.) и завершился созданием Ханле-магнитометров и СКВИДов (1962–1966 гг.).

Столь же длительным был процесс последовательного совершенствования техники и методики геомагнитных измерений. Важнейшие вехи на этом пути – опытные аэромагнитные съемки А.А.Логачева (1936 г.) и В.Вакье (1944 г.), выход в море маломангнитной шхуны “Заря” (1953 г.) и проведение первой глобальной магнитной съемки по проекту “Магнит” (1953–1967 гг.), орбитальные магнитные съемки на ИСЗ Космос-49 (1965 г.), POGO (1965–1970 гг.) и MAGSAT (1979 г.).

Разумеется, размытость во времени присуща не только последней, но и предшествующим научным революциям. Началом первой из них следует, по-видимому, считать публикацию трактата Р.Нормана “The Newe Attractive” (1581 г.), пиком революции – эпохальный труд Гильберта “De Magnete” (1600 г.), а ее завершением – открытие Г.Геллибрандом вековых геомагнитных вариаций (1635 г.). Точно также провозвестницей второй научной революции в магнитологии стала публикация в 1785-1789 гг. “Mémoires sur l'électricité et le magnétisme” Кулона, “ураган” электромагнитных открытий 1820 г. (см. раздел 2.6) можно считать ее пиком, а финал революции приходится на 30–40 гг. XIX века, когда увидели свет основные научные труды Гаусса и Фарадея.

Таким образом, можно утверждать, что реальная длительность научных революций оценивается примерно в 50 лет, т.е. всего в 2–3 раза превосходит длительность периодов нормального развития науки. С точностью до этой характерной величины две из трех магнитометрических революций совпадают с куновскими революциями в физике. Эпоху от Куло-

на до Гаусса-Фарадея Т.Кун, в отличие от автора, относил к “нормальной” науке, считая, что радикальных изменений в теоретических основаниях физики в это время не произошло¹.

Наряду с размытостью во времени, разделение науки на периоды научных революций и нормальной науки затрудняет действие эффекта, который известный русский математик Н.Я.Сонин называл “эффектом заметания следов” [Гиндикин, 1984]. Суть его состоит в том, что свойственная революционным периодам отмена устаревших и канонизация новых идей и изобретений, нередко шла по пути заметания следов предшественников, каковыми они (эти идеи и изобретения) выдвигались либо в форме гениальных догадок, либо как результат неординарного научного исследования, не ставшего достоянием или не встретившего понимания современников.

Цепочка заметания следов усматривается, в частности, в теории Большого Магнита Гильберта (1600 г.), предвосхищающей ее гипотезе Нормана о внутриземном происхождении геомагнитного поля (1581 г.) и более ранней догадке Франсиско Фалеро о наклоне дипольной оси (1535 г.). Сходным образом соотносятся открытие суточных геомагнитных вариаций Грэхема-Цельсиуса (1722 г.), с предшествующими наблюдениями Гюи Ташара (1682 г.) и Уильяма Борроу (1581 г.). В 1692 г. Эдмунд Галлей предположил, что вековые изменения склонения обусловлены проскальзыванием немагнитной оболочки относительно намагниченного (гильбертова) ядра. В течение двух с половиной веков эта гипотеза оставалась неостребованной и была возрождена лишь в XX веке в форме представлений о дифференциальном вращении в жидком ядре [Bullard, 1956].

Открытие основного закона магнитостатики, прочно связанное в нашем сознании с именем Шарля Огюстена Кулона, замело следы первооткрывателя обратно-квадратической зависимости магнитной силы от расстояния Джона Мичелла и многих других ученых XVIII века. В числе “малоизвестных” предшественников Кулона остался даже великий Исаак Ньютон. Ссылки на его пророческое указание о свойствах магнитного притяжения автору удалось найти лишь в монографиях А.Н.Крылова [1947] и Э.Уиттекера [2001].

Заметание следов – отнюдь не прерогатива, так называемой, фундаментальной науки. Быть может, даже в большей степени оно свойственно прикладным, в том числе и конструкторским исследованиям. Изобретение двойного компаса, например, большинство авторов приписывает Ф.Бидлингмайеру, хотя сам изобретатель указывал, что на эту мысль его навел имевшийся в Потсдамской обсерватории аналогичный прибор, предназначенный для измерения вариаций горизонтальной составляющей поля. Принцип его действия был описан голландцем Штамкартом еще в 1859 г. [Bidlingmayer, 1912]. Прообразом наиболее популярного века полевого магнитометра первой половины XX века – вертикальных весов Адольфа Шмидта [Schmidt, 1914, 1915] – были изобретенные на полвека раньше магнитные весы Г.Ллойда [Lloyd, 1874].

В отечественной литературе вряд ли найдется источник, где бы не утверждалось, что основоположником аэромагнитометрии является профессор А.А.Логачев, а первой аэро съемкой – его (совместные с А.Т.Майбородой) наблюдения 1936 г. на маршруте Новгород–Валдай. На самом деле аэро съемки на воздушных шарах и дирижаблях производились задолго до установки магнитометра на самолет и, вообще, до эпохи самолетостроения. Действительно первыми были, по-видимому, эксперименты Жана-Батиста Био и Жозефа Гей-Люссака с крутильными весами Кулона, проведенные в 1804 г. на воздушных шарах и на-

¹ При всем уважении к мнению Т.Куна мне трудно отказаться от мысли, что теоретическая и экспериментальная физика диалектически едины, причем первоосновой физического познания Мира является эксперимент. Признание этого единства приводит к выводу, что спорный период был, несомненно, революционным, причем, не только в магнитометрии, но и в физике в целом. Благодаря открытиям начала XIX века, резко расширился круг явлений ранее неизвестных или недоступных экспериментальному изучению, возникли предпосылки для разработки многочисленных частных теорий в оптике (Френель), в газовой динамике (Дальтон и Авогадро), в термодинамике (Карно) и других разделах физики. К числу таких теорий, несомненно, следует отнести основанную на открытии Кулона и революционно изменившую учение о земном магнетизма теорию Гаусса.

правленные на выявление изменений геомагнитного поля с высотой. За несколько лет до полетов Логачева и Майбороды аэросъемка с двойным компасом Бидлингмайера производилась в арктической экспедиции на дирижабле “Граф Цеппелин” [Ljungdahl, 1931]. По свидетельству М.Рефорда и Дж.Самнера, индукционный магнитометр с вращающейся катушкой использовал Ч.Линдберг в своем знаменитом полете через Атлантику в мае 1927 г. [Reford, Sumner, 1964]. В этой же статье со ссылкой на работу [Heiland, 1935] указывается, что еще в 1910 г. Эдельман предложил магнитные весы, приспособленные для измерений на аэростате.

В связи с заметанием следов уместно затронуть деликатный вопрос о научных приоритетах. За редкими исключениями история магнитометрии свидетельствует, что разногласия на этот счет обычно возникают тогда, когда открытие и переоткрытие практически одновременны, как это случилось, например, в конце XIX века с А.А.Тилло и В.Бецольдом при изобретении понятия нормального геомагнитного поля. Перипетии вспыхнувшего между ними (по инициативе Бецольда) приоритетного спора освещены в монографии Э.Е.Лейста [1899; с.66], который писал: “Для нас не важно кому из них обоим или им обоим принадлежит честь открытия нового пути по геомагнитным исследованиям, но нас интересует сам факт, что высококвалифицированный и знающий специалист желает за собою сохранить право первенства по этому вопросу и тем самым дает нам знать, как важен этот вопрос”.

Считая точку зрения Лейста вполне справедливой, нужно, как мне кажется, подчеркнуть, что сам спор утратил какое-либо значение уже в 1899 г. После публикации статьи Л.Бауэра [Bauer, 1899] нормальное или главное поле стали отождествлять с полем наклонного диполя, а работы Тилло и Бецольда оказались прочно забытыми. Еще через 35 лет приоритет перешел к А.Шмидту, который возродил (в форме, понятной современникам) столь же прочно забытые представления Л.Эйлера об эксцентрическом диполе, а главное указал простой способ преобразования гауссовых коэффициентов в координаты такого диполя [Schmidt, 1934].

В возврате к данным, казалось бы, полностью утратившим свое научное и прикладное значение, состоит один из важнейших уроков истории магнитометрии. Производя магнитные измерения с неуклонно возрастающей точностью, моряки XVII–XVIII веков несомненно считали, что тем самым они аннулируют ценность предшествующих метрологически несовершенных работ. Действительность опровергла это заблуждение. Развитие методов ретроспективного анализа геомагнитного поля придало старым инструментальным измерениям статус абсолютного (неулучшаемого) научного результата.

По мнению автора, в заметании следов находит отражение важнейшее свойство науки как открытой эволюционирующей системы. Подобно биологическим системам, она развивается за счет громадного числа идей (мутаций), большинство из которых остается нереализованным, но создает базис, необходимый для работы социально-исторических механизмов дискриминации идей – аналогов механизма дарвиновского естественного отбора. Последний же, как известно эффективен только тогда, когда есть из чего выбирать [Скворцов, 1988].

Вместе с тем необходимо оговорить, что аналогия между научным прогрессом и дарвиновской эволюцией далеко не абсолютна. “История науки – по мнению И.Р.Пригожина и И.Стенгерс [1986а] – не обладает простотой эволюции, основанной на обычной специализации. Она гораздо запутанней, хитроумней, она всегда готова вернуться назад к давно забытому, разрушить уже возведенные разграничения, даже те, которые, казалось бы, навсегда установлены”. Поэтому образ эволюционного древа, ветви которого отвечают приращению новых знаний, последовательному обособлению научных направлений и дисциплин, в данном случае неприемлем.

4.4. Прогресс науки. Влияние социально-политических факторов

Выше уже подчеркивалось, что прогресс любой науки обусловлен как внутренней логикой ее развития, так и влиянием внешних – экономических, политических и социально-культурных факторов. Во все времена научные исследования финансировались властными или общественно-политическими институтами и, как следствие этого, власти и общество были вправе ожидать от ученых не только лучшего понимания предмета, но и ощутимой практической пользы.

Само зарождение магнитометрии мы связываем с появлением компаса – сугубо прикладного изобретения, призванного обеспечить безопасное мореплавание. Эту же цель преследовало создание первых мореходных карт-портуланов, аккумулировавших в себе тщательно охраняемую от конкурентов информацию об изменчивости магнитного склонения на море. В инструкциях капитанам торговых судов предписывалось: первое, что должен сделать мореплаватель при нападении на судно пиратов, это выбросить за борт компас и карту.

В XIV–XV веках компас применялся в Европе в двух областях: в морской навигации и при изготовлении солнечных часов, но не стационарных, а переносных, правильная ориентация которых требовала учета магнитного склонения. После исследований Галилео Галилея и публикации трактата Христиана Гюйгенса “Маятниковые часы” (1658 г.) острая нужда в измерении времени солнечными часами отпала. Однако еще в 1608 г. Никколо Тарталья изобрел пантометр – видоизмененную астролябию с двумя разделенными кругами для измерения горизонтальных и вертикальных углов, а в середине XVII века появились первые прототипы теодолитов. Ориентация этих геодезических приборов по сторонам света так же, как и ориентация солнечных часов требовала применения компасов и учета магнитного склонения.

Что касается морской навигации, то она вплоть до конца XIX века оставалась главным стимулом развития магнитометрии, предопределяла ее проблематику, сочетавшую в себе решение научных задач с политическими мотивами и обеспечением нужд торговых и военных флотов. Быть может наиболее яркий пример такого сочетания – “русский географический взрыв” начала XIX века. Резкое расширение географии и размах отечественных магнитных и гидрографических исследований несомненно имели под собой политическую подоплеку. Главная роль в морской торговле того времени принадлежала владычице морей – Британии. Осуществленные в 1803–1830 гг. 26 русских кругосветных экспедиций и начало систематических наблюдений в четырех магнитных обсерваториях Горного ведомства (1836–1841 гг.) были призваны поколебать это владычество и поколебали бы его, если бы Британское адмиралтейство не предприняло ответных шагов. В их числе организация морских экспедиций Росса (1838–1841 гг.), Мура и Клерка (1845 г.) в антарктические воды, активное участие в реализации Геттингенской программы Магнитного Союза и финансирование работ по созданию магнитных обсерваторий в Торонто, на о-ве Св. Елены, в районе мыса Доброй Надежды и в Хобарте. Тогда же адмирал Эдвард Сэбин начал свою грандиозную работу по систематизации морских магнитных наблюдений, обеспечившую лидерство Британии в деле издания мировых магнитных карт. Недаром название статьи [Cawood, 1979], посвященной роли науки в политике ранней викторианской эпохи, начинается словами: “The Magnetic Crusade...” – магнитный крестовый поход.

В последующие годы научно-политическое противостояние России и Западной Европы продолжалось. Обсуждая в переписке с министром финансов Е.Ф.Канкриным проект создания ГФО в Санкт-Петербурге, А.Я.Купфер подчеркивал, что благодаря сети обсерваторий Горного ведомства Россия заняла ведущее положение в Европе, но впоследствии дала опередить себя Англии и другим странам, что это наносит ущерб престижу великой империи. “Все зависит от того, как будут смотреть на этот вопрос, – писал Купфер – хочет ли Россия удержаться в том положении, какое она приняла в этом деле, или она допустит возвысится перед собой другим государствам, хочет ли она производить или только подражать”

(цит. по книге [Рыкачев, 1899; с.97]). Доводы Купфера возымели действие и в 1843 г. правительством было принято решение “приступить к полному соображению об учреждении при Горном институте физической обсерватории” (Там же, с.101). Министерство финансов выделило 60 000 руб. на покупку участка земли, постройку здания ГФО и приобретения необходимых инструментов и оборудования.

Интересно, что реакция европейского общественного мнения на открытие ГФО зеркально повторяла престижные аргументы Купфера. Об этом свидетельствует приводимая М.А.Рыкачевым [1899; с.153] цитата из французской газеты “Le Siècle” от 14 сентября 1849 г.: “... мы не замечаем, как иностранцы нас опережают в науках, пути которых мы раскрыли, и вскоре оставят нас позади в этом, как и во многих других, не менее важных, отношениях. Вот Россия основала, без всякого шума, Главную физическую обсерваторию, имеющую огромное значение; ничего подобного нет до сих пор в Европе”.

В XX веке соображения национального престижа несомненно стимулировали проведение ГМС на территории России. Финансирование этих работ началось только после того, как в проекте Института Карнеги Россия была причислена к странам, не могущим своевременно и должным образом произвести магнитную съемку [Розе и др., 1934].

Неразрывная связь развития магниторазведки с потребностями горнодобывающей промышленности вряд ли нуждается в комментариях. Зародившись в Швеции, как метод промышленной оценки железорудных месторождений, она уже на рубеже XIX–XX веков доказала свою состоятельность при решении прогнозно-поисковых задач. В России это заслуга горных инженеров С.П.Вуколова и К.Н.Егорова – авторов первых рекогносцировочных съемок в Гороблагодатском и других районах Урала, перспективность которых в 1899 г. подтвердил Д.И.Менделеев. Тогда же стало ясно, что магниторазведочный прогноз – дело чрезвычайно ответственное. Широковещательные заявления Э.Е.Лейста о железорудной природе КМА породили безудержную спекуляцию земельными участками в Курской губернии. Именно по этой причине отрицательные результаты первых буровых работ на КМА привели к прекращению финансирования съемок Лейста.

Возобновлению в 1919 г. исследований КМА многие отечественные ученые отводят роль главного события в становлении разведочной гравиразведки и магниторазведки. В.Н.Страхов [1999], например, считает его рубежом, отделяющим “допарадигмальный” период в теории интерпретации аномалий геопотенциальных полей от “парадигмального”. Оставляя в стороне вопрос о корректности применения Страховым термина “парадигма”, зададимся более конкретным вопросом: что же в действительности произошло в 1919 г.? Сравнение опубликованных до этого временного рубежа наиболее значительных работ Р.Талена, Ф.А.Слущкого, В.И.Баумана, В.Карльхейм-Гилленшельда с опубликованными после 1919 г. работами И.М.Бахурина, Г.А.Гамбурцева, А.И.Заборовского, П.П.Лазарева, Г.Хаалька, О.Ю.Шмидта и др. революционных прорывов не обнаруживает, свидетельствуя скорее о преобладании, чем об антагонизме. Единственное исторически важное для отечественной, но не для мировой геофизики событие 1919 г. – создание Особой комиссии по изучению КМА. По существу, это сугубо организационная акция, которой в советское время придавалось основополагающее значение по той простой причине, что ее инициатором был В.И.Ленин¹.

¹ Ни в коей мере не умаляя значения работ на КМА для становления разведочной магнитометрии в нашей стране, уместно еще раз напомнить, что в дореволюционной России систематические исследования производились не только на КМА, но и на Урале. После октябрьского переворота (в связи с утратой материалов Лейста) на КМА их пришлось начинать практически заново. Уральская магнитометрия такого потрясения не испытала и уже к началу 30-х годов железорудное месторождение горы Магнитной было подготовлено к промышленной эксплуатации.

4.5. Прогресс науки. Человеческий фактор

Влияние социально-культурной среды проявляется не только на государственном уровне. Огромную, нередко решающую роль история отводит личным взаимоотношениям между исследователями, их амбициям и волевым устремлениям, т.е. тому, что на современном сленге принято называть “человеческим фактором”.

Для иллюстрации значимости этого фактора вновь обратимся к истории “русского географического взрыва” – морским и полярным экспедициям первой трети XIX века. Политические амбиции правительства обеспечивали им действенную государственную поддержку, но отнюдь не гарантировали качества научных результатов. Эффективность исследований решающим образом зависела от действий людей: профессионализма наблюдателей, в числе которых были И.М.Симонов и Э.Х.Ленц, таланта и энергии офицеров русского флота, руководивших работой экспедиций.

Проект первой русской кругосветной экспедиции 1803–1806 гг. подготовил и осуществил И.Ф.Крузенштерн – опытейший капитан, за плечами которого были участие в шведской кампании 1788–1790 гг., стажировка в Англии и плавание на английском фрегате “Тетис” к берегам Канады, путешествия в Южную Америку и Ост-Индию. Весомым мореходным опытом обладали Ю.Ф.Лисянский и В.М.Головнин, карьера которых также, как и карьера Крузенштерна, началась с участия в шведской кампании. Что касается второго поколения творцов “русского географического взрыва”, то большинство из них были по современным меркам до неприличия молоды и добывали этот опыт непосредственно а ходе экспедиционных работ. О.Е.Коцебу, прошедший в пятнадцатилетнем возрасте школу кругосветного плавания под началом Крузенштерна, в 27 лет возглавил экспедицию на шлюпе “Рюрик”. Ф.П.Врангель и Ф.П.Литке сразу по окончании Морского корпуса участвовали в кругосветном плавании Головина на шлюпе “Камчатка”, в возрасте 23–24 лет руководили отрядами Северной экспедиции, а в 29 лет – кругосветными экспедициями на транспорте “Кроткий” и шлюпе “Сенявин”. М.П.Лазарев принял командование судном “Суворов” в 25 лет, а к 35 годам трижды обогнул земной шар.

Сочетание опыта с присущим молодости энтузиазмом – вот, на мой взгляд, одна из главных причин безоговорочного успеха как “русского географического взрыва” в целом, так и его магнитометрической части. Достоянием науки стали уникальные метеорологические, гидрологические и магнитные наблюдения в малоизученных частях Мирового океана; достоянием государства – плеяда выдающихся морских и государственных деятелей. Многие из них впоследствии дослужились до адмиральских званий. Контр-адмирал Беллинсгаузен был военным губернатором Кронштадта, вице-адмирал Головнин – генерал-интедантом флота, адмирал Лазарев – начальником штаба, а затем (в течение 18 лет) командующим Черноморским флотом. Признание научных заслуг адмиралов Крузенштерна, Литке и Врангеля выразилось в избрании их почетными членами Петербургской Академии наук. В 1864 г. Литке был избран президентом Академии и всемерно способствовал успешной работе ГФО в Санкт-Петербурге и магнито-метеорологической обсерватории в Павловске.

Наиболее яркий след в истории отечественной магнитологии оставил Врангель, назначенный в 1829 г. (через два года после окончания кругосветного плавания на транспорте “Кроткий”) главным правителем русских колоний на Аляске. По свидетельству Купфера, он “... охотно согласился взять на себя производство магнитных наблюдений на острове Ситка у северо-западных берегов Америки... Академия наук дала согласие на отправку ему необходимых инструментов” (цит. по кн. [Пасецкий, 1984; с.31-32]). Обработанные Купфером результаты этих наблюдений были опубликованы в *Анналах физики и химии Поггендорфа* в 1834 г.

Возглавив в 1840 г. Русско-американскую компанию, Врангель не прекратил активной научной деятельности. По возвращении на Аляску его усилия были направлены на создание здесь магнитной обсерватории – постройку специального павильона и его оборудование

метрологически безупречной измерительной аппаратурой. Работы в обсерватории Ситка начались в 1842 г. и в течение последующих семи лет организация и проведение магнитных наблюдений в строгом соответствии со стандартами Геттингенского Магнитного союза оставалась одной из повседневных забот Врангеля.

Насколько известно автору, аналогов деятельности Врангеля на Аляске в истории русской науки нет. Не будет их, по всей вероятности, и в ближайшем будущем. С изрядной долей фантазии можно предположить, что среди современных региональных лидеров или крупных бизнесменов России найдется некто, способный вложить деньги в научное учреждение, подобное обсерватории в Ситке. Гораздо труднее представить себе, что этот некто, не ограничившись финансовой стороной дела, будет принимать непосредственное участие в рутинной исследовательской работе.

От роли личности в истории науки перейдем к не менее важному вопросу о роли взаимоотношения личностей. Вряд ли нужно доказывать, что функции науки не исчерпываются производством новых знаний; это – средство коммуникации, эффективность которого определяется не только внешними потребностями социума в производимых знаниях, но и внутренней заинтересованностью научного сообщества в своей деятельности. Этот, в общем, тривиальный тезис убедительно подтверждает деятельность Гаусса и созданного им Геттингенского Магнитного Союза.

Интерес Гаусса к проблемам земного магнетизма возник в 1828 г., благодаря знакомству с Гумбольдтом и стремлению последнего заручиться участием знаменитого математика в проекте по созданию глобальной сети наблюдательных пунктов, выработке стандартов магнитных измерений и теоретическому осмыслению локальных и временных перемен элементов земного магнетизма. Выбор Гумбольдта был безошибочен; опыт в решении астрономических и геодезических задач вместе с превосходным владением математическим аппаратом и техникой вычислений делали Гаусса по существу единственным кандидатом на роль создателя, как “Общей теории земного магнетизма”, так и метода абсолютных геомагнитных измерений. Вместе с тем, проект Гумбольдта не мог не привлечь Гаусса, так как в полной мере отвечал его творческой эстетике – индивидуальным особенностям научного стиля, сочетавшего в себе мощь глубоко абстрактного мышления и прагматизм – ориентацию на решение сугубо прикладных задач.

Как и в проведенных ранее нематематических исследованиях в астрономии и геодезии, теоретическую работу Гаусс намеревался сопровождать практическими экспериментами и конструкторской деятельностью. Решающим моментом в осуществлении этих намерений стало приглашение в Геттинген в 1831 г. молодого физика Вильгельма Вебера. Хотя Гауссу в ту пору было 54 года, а Веберу – вдвое меньше, их сотрудничество оказалось чрезвычайно плодотворным.

Вебер деятельно участвовал в разработке технологии и приборном обеспечении абсолютных геомагнитных измерений и в самих измерениях, которые сначала проводились в Геттингенской астрономической обсерватории, а после 1833 г. в магнитной обсерватории, построенной по проекту Гаусса и оборудованной не только магнитными теодолитами и магнитографами конструкции Гаусса–Вебера, но и приборами для опытов в области электромагнетизма.

Здесь Гаусс и Вебер зимой 1833–1834 гг. осуществили экспериментальную проверку закона электромагнитной индукции Фарадея и создали один из первых действующих макетов электромагнитного телеграфа. Вместо гальванометра в нем использовался изобретенный Швейггером мультипликатор – магнитная стрелка, подвешенная внутри круговой катушки с осью, перпендикулярной магнитному меридиану. Телеграф был испытан на линии между физическим кабинетом Геттингенского университета и магнитной обсерваторией длиной около 9000 футов. “Частные опыты передачи таким образом слов и коротких сигналов – писал Гаусс в 1836 г. в статье “Земной магнетизм и магнитометр” – имели полный успех” и далее подчеркивал, что это устройство “... может быть выполнено, как с уверенностью

можно предсказать, в гораздо большем масштабе, путем применения более сильных (вольтовых) столбов или иных электрических сил, сильных мультипликаторов и мощных проводов для телеграфных соединений на 10, 20 и более миль” [Гаусс, 1952; с.274].

Здесь же (в Геттингенской магнитной обсерватории) Гаусс и Вебер провели уникальные исследования геомагнитных вариаций – суточные серии измерений с “рекордной” для того времени скважностью в 10 и даже в 5 мин. Симптоматично, что Гаусс подходил к этим исследованиям сугубо прагматически, видя их главную задачу в том, чтобы мореплаватели, геодезисты и маркшейдеры могли “... знать, насколько частым и сильным воздействиям подвержены приборы, применяемые в их деле” и на этом основании определять “степень доверия к своим наблюдениям” [Гаусс, 1952; с.272].

В 1834 г. Гаусс при активной поддержке Вебера основал Геттингенский Магнитный Союз, объединивший в своих рядах ведущих магнитологов Европы и сыгравший огромную роль в деле изучения пространственно-временной структуры геомагнитного поля. Успеху деятельности Союза в немалой степени способствовали личные качества его основателя. “Гаусс – по словам Бюлера [1989, с.84] – ... никогда не замыкался в себе и не отгораживался от обычных научных контактов. Он хорошо осознавал долг гения объяснять (себя) и представлять проблемы, в которых сам он мог разобраться быстро, в форме, доступной более широкой аудитории. Он принимал в качестве собеседника или коллеги всякого, чьи честные усилия или интерес мог заметить”.

Подчеркнем, что это общение было взаимным. В письме А.Кетле от 30 января 1837 г. А.Я.Купфер писал: “Я провел много наблюдений над интенсивностью магнитной силы в Германии, в Швейцарии, в Италии, во Франции и в Англии, так что это род исследований не нов для меня. Своими работами я дал повод, хотя и косвенно, для прекрасных исследований, которыми с тех пор занялся г. Гаусс, ибо в 1829 г. я имел случай наблюдать в Геттингене одновременно с этим великим математиком магнитную интенсивность, и он был поражен той большой точностью, какой в этом можно достигнуть. Наблюдения впоследствии доказали, что он не ошибся” (цит. по кн. [Пасецкий, 1984; с.165]).

Как уже отмечалось, одним из важнейших результатов работы Магнитного Союза стало оснащение европейских обсерваторий приборами Гаусса–Вебера. Наблюдения с ними проводились в Альтоне, Аугсбурге, Берлине, Бонне, Брауншвейге, Бреде, Бреслау, Гринвиче, Галле, Дублине, Казани, Касселе, Копенгагене, Кракове, Лейпциге, Милане, Марбурге, Мюнхене, Неаполе, Санкт-Петербурге и Фрайбурге [Розе, 1952; с.273]. Консультациями Гаусса широко пользовались Г.Ллойд и Э.Сэбин при учреждении Британских магнитных обсерваторий в южном полушарии. Купфер и Симонов неоднократно посещали Геттинген для обсуждения вопросов организации регулярной магнитной службы в России и согласования режимов вариационных наблюдений.

Об интенсивности творческих контактов между членами Магнитного Союза можно судить по следующей цитате из письма Кетле Купферу: “Только что закончен мой магнитный кабинет и я сразу же установил там прибор г. Гаусса; я рассчитываю особенно тщательно заняться этими наблюдениями. Я также получил сейчас из Лондона новые приборы, в их числе прибор Ллойда, который г. Сэбин особо мне рекомендовал. Весьма вероятно, что через несколько месяцев я вновь поеду в Италию и тогда хотел бы повторить все мои магнитные наблюдения... Гг. Себин и капитан Дюперре оба одолжили мне две своих стрелки. Если Вы дадите мне какие-либо особые указания, Вы меня крайне обяжете” (цит. по кн. [Пасецкий, 1984; с.168]).

В 1837 г. Вебер и еще шесть профессоров покинули Геттингенский университет в знак протеста против отмены Ганноверской конституции. Хотя Гаусс не разделял политических убеждений своего молодого коллеги, их сотрудничество не прекратилось. Его продолжила совместная работа по изданию “Результатов наблюдений Магнитного Союза” (1836–1843 гг.) и дополнений к ним, где были опубликованы “Атлас земного магнетизма” Гаусса и Вебера, многие оригинальные статьи обоих авторов и других членов Магнитного Союза, в том

числе работа Симонова “О новом методе определения абсолютного склонения” (1843 г.). Однако после ухода Вебера из этого сотрудничества была изъята экспериментальная составляющая, что незамедлительно отразилось на деятельности Гаусса. Его дальнейшие исследования в области магнитных измерений сводились лишь к усовершенствованию ранее разработанных методов: определению констант бифилярного магнитометра, анализу способов скорейшего приведения магнитной стрелки в положение равновесия, нахождению азимута вертикальной плоскости, проходящей через оптическую ось зрительной трубы и т.п. В 1842 г. эти исследования прекратились вовсе.

Хорошо известно, что сослагательное наклонение истории противоположано. Тем не менее, трудно удержаться от умозрительных размышлений о развитии магнитологии, которое пошло бы по иному неведомому нам пути, если бы идеи Гумбольдта не привлекли внимания Гаусса, если бы Гауссу не посчастливилось сотрудничать с Вебером, если бы их совместные усилия не встретили понимания коллег по Магнитному Союзу. Число таких иррациональных “если бы” можно либо продолжать до бесконечности, либо (не мудрствуя лукаво) вслед за Т.Н.Розе [1952; с. 286] констатировать: появление трудов Гаусса по земному магнетизму разделило историю развития этой науки на две эпохи “до Гаусса” и “после Гаусса”.

4.6. Прогресс науки. Фактор случайности

Сочетание закономерности и случайности в развитии науки – тема неисчерпаемая и претендовать на ее сколько-нибудь компетентное освещение автор не вправе. С одной стороны случайность в действиях ученых субъективна – это одно из проявлений того, что было названо выше “человеческим фактором”; с другой – это объективное свойство любой саморазвивающейся системы. По гениальному определению А.С.Пушкина залогом “открытий чудных” служит не только “разум – парадоксов друг”, но и “случай – Бог изобретатель”.

Историки советского времени видели в случайности научных открытий одну из форм проявлений закономерности, подготовленной всем ходом развития науки. “Случайно то, в какой день и кем именно будет сделано открытие, но то, что на данном этапе развития науки оно рано или поздно будет сделано, является вполне закономерным” [*Кудрявцев, Конфедератов*, 1960; с.235]. На мой взгляд, в этой формулировке есть некое лукавство. Рано или поздно может быть сделано не только данное, но и совершенно другое, например, гораздо более общее открытие, которое изменит наши представления о предмете настолько, что нужда в данном открытии просто отпадет.

Поразительным примером влияния фактора случайности в магнитологии может служить история экспериментов Роберта Вуда – обнаружение действия геомагнитного поля на флуоресценцию паров ртути и резонансный спектр натрия.

“Осенью 1927 г. – рассказывал Вуд – я сделал удивительное открытие. Весной этого года я заметил, что флуоресценция ртутных паров, возбуждаемая светом ртутной дуги, сильно поляризована, в чем можно было убедиться по появлению темных полос, пересекающих светящееся пятно, если рассматривать его через призму Николя и кварцевый клин.

Вернувшись осенью в свою лабораторию, я начал работу заново, но не мог получить тех же результатов. Не было видно никаких следов поляризации. Установка и приборы – лампа, ртутная трубка, оптика – ничего не изменилось. Я пытался вспомнить какое-нибудь маленькое изменение, которое я забыл, но ничего не мог вспомнить кроме того, что передвинул весь стол с места на место. Как это могло сказаться на опыте? Очевидно, – никак; но не влияло ли магнитное поле Земли? Фантастическая идея! Но я все же повернул стол со всеми приборами в прежнее положение и зажег ртутную лампу. Я посмотрел сквозь николю и увидел темные полосы на зеленом пятне флуоресценции паров ртути. Взяв трехгранный напильник, лежащий на столе, я поднес его к трубке и полосы пропали. Напильник был намагничен прикосновением к сильному магниту, как и другие инструменты моей лаборато-

рии. Никогда до тех пор никто не обнаруживал, чтобы такое слабое магнитное поле, как поле Земли, влияло на какое-либо оптическое явление, и я сразу же начал работу вместе с Александром Элеттом, одних из лучших моих сотрудников...

Исследование заняло два года, ибо по пути мы нашли еще много интересных и сложных явлений с парами натрия. В этом случае мы имели дело с резонансным излучением – явлением, более простым, чем флуоресценция. Результаты опытов открыли новое широкое поле исследований влияния магнетизма на световые явления, и вскоре появилось много статей других исследователей на эту тему” (цит. по книге [Сибрук, 1980; с.216-217]).

К числу “многих” относилась работа соотечественников Вуда Грегори Брейта и Исидора Раби (1931 г.) – установление квадратической зависимости резонансной частоты атомных переходов в парах щелочных металлов от напряженности магнитного поля, получившей название закона Брейта–Раби. основополагающим событием в истории его открытия несомненно была перестановка мебели в лаборатории Вуда.

Фактор случайности проявляется не только в индивидуальных действиях исследователей, но и на, казалось бы, более предсказуемом уровне организации научных исследований. Обратимся в этой связи к истории создания Павловской магнито-метеорологической обсерватории.

Во времена Купфера магнитный павильон ГФО в Санкт-Петербурге располагался на 23-й линии Васильевского острова на территории Горного института. При возобновлении систематических магнитных наблюдений в 1869 г. выяснилось, что уровень промышленных шумов стал недопустимо большим, в связи с чем тогдашний директор ГФО Г.И. Вильд ходатайствовал о переносе наблюдений в пригороды Санкт-Петербурга. Как это обычно бывает, дело уперлось в проблемы землеотвода и финансирования строительства. Хотя президент Академии Наук Литке и ее статс-секретарь А.В. Головнин (1821–1886) поддерживали начинания Вильда, обе проблемы казались неразрешимыми. Однако помогло счастливое стечение обстоятельств. Вот как описывала его биограф Вильда Б.П. Кароль [1988; с.95-96].

“В конце мая 1875 г. Вильд получил приглашение от статс-секретаря А.В. Головнина посетить его на даче в Царском Селе и обсудить результаты недавно закончившейся в Париже международной конференции по мерам и весам и заключенной там международной конвенции по этому вопросу. У Головнина Вильд встретился с Великим князем Константином Николаевичем, владельцем дворца-парка в Павловске. В ходе беседы Вильд рассказал о работах ГФО и, кстати, о помехах, с которыми связаны работы по магнитометрии в Петербурге. Через несколько дней Вильд получил согласие Великого князя отвести Академии наук для строительства новой обсерватории площадку на окраине Павловского парка – участок площадью 7 га, удаленный от железной дороги и каких-либо зданий...

Уже 1 июля 1875 г. с согласия Государственного Совета при ГФО была официально учреждена подчиненная ей Магнитная и метеорологическая обсерватория в Павловске... Строительство началось весной 1876 г. 20 мая состоялась торжественная закладка главного здания в присутствии ряда академиков и должностных лиц... С января 1878 г. начались регулярные наблюдения как магнитные, так и метеорологические, а 20 мая состоялось торжественное открытие новой обсерватории. Обсерватория получила много ценных подарков, в частности А.В. Головнин подарил обсерватории библиотеку из более 5000 книг. Она была помещена в комнате для научных занятий” [Кароль, 1988; с.94-96].

Таким образом, приглашение Вильда на обед к Головнину и его случайная встреча с Великим князем Константином Николаевичем привели к созданию первоклассно оборудо-

ванной магнитной обсерватории, в течение многих лет по праву считавшейся одной из лучших в Европе¹.

4.7. Эпохи дивергенции и конвергенции знаний

Изложенные соображения и примеры, как мне кажется, приводят к выводу, что основанная на идее смены парадигм куновская периодизация науки в известной мере схематизирует действительность. При более или менее детальном рассмотрении фактической стороны дела становится ясным, что реальную историю науки пронизывает множество не укладывающихся в схему прямых и обратных связей, деятельность людей, которая, как писал Р.Коллингвуд [1980; с.42], "... носит пробный, экспериментальный характер, направляется не знанием того, к чему она приведет, а желанием узнать, что из этого получится". Как следствие этого, схема Куна обретает содержательный смысл лишь при усреднении на больших временных интервалах, т.е. по множеству событий, отражающем деятельность научного общества в целом².

В свою очередь, усреднение по множеству событий предопределяет вероятностный характер историко-научных выводов и тем самым ставит под сомнение по крайней мере часть антикуновских аргументов И.Р.Пригожина и И.Стенгерс. [1986б]. Приписывая схеме Т.Куна несвойственную ей роль "руководства к действию" эти авторы полагают, что в периоды нормальной науки она обрекает исследователя на слепое следование общепринятой парадигме, игнорирует "скрытую цикличность" научных проблем. Вероятностная трактовка проясняет методологическую несостоятельность такого рода утверждений; хорошо известно, что распространение заключений по вероятности на единичные явления некорректно.

В советское время "буржуазным идеям" смены парадигм противопоставлялась предложенная Б.М.Кедровым марксистская модель развития естествознания по принципу отрицания отрицания: "от первоначально единой, нерасчлененной науки, еще не успевшей дифференцироваться, к ее расчленению и дифференциации, как первому отрицанию (отрицается исходная целостность и нерасчлененность науки), а затем вновь к единой науке, но уже в высшем понимании ее единства, возникающего в результате доведенной до возможно полной завершенности интеграции науки, как второго отрицания (отрицается распадение науки на отдельные, изолированные между собой отрасли)..." [Кедров, 1981, с.33].

На самом деле между этими двумя идеями существует глубокая внутренняя взаимосвязь. Ее легко обнаружить, если учесть, что закон отрицания отрицания действует не однократно, а непрерывно, наделяя куновскую нормальную науку свойством цикличности – закономерным чередованием периодов дивергенции (преобладания анализа) и конвергенции (преобладания синтеза) знаний и сопровождается столь же закономерными изменениями глобальных целевых установок.

В истории магнитометрии указанные закономерности прослеживаются, начиная с догильбертова периода, основные события которого – открытия склонения и наклонения, накопление данных о пространственной изменчивости угловых элементов земного магнетизма т.п. – позволяют квалифицировать этот период, как период первоначальной дифференциации знаний и преобладания анализа. Его вершинное достижение – "Epistola de Magnete" Петриуса Перегрина, изобретение фундаментальных представлений о притяжении-

¹ Констатируя случайный характер этой встречи, нужно подчеркнуть, что само решение великого князя помочь Вильду вряд ли можно считать случайным. Константин Николаевич был не только членом царствующей семьи и владельцем дворца-парка в Павловске, но и высокообразованным военно-политическим деятелем, генерал-адмиралом, сменившим в 1857 г. Ф.И.Врангеля на посту морского министра России, а в 1865–1881 гг. возглавлявшим Государственный Совет.

² Усреднение по событиям не следует путать с усреднением по множеству реализаций, которых в данном случае просто не существует. История науки, как и любая другая история, единственна и не терпит сослагательного наклонения.

отталкивании магнитных полюсов, а главное, согласование этих представлений с основными теоретическими установками науки того времени: аристотелевым принципом причинности и геоцентрической системой Птолемея.

В полном согласии с законом отрицания отрицания период первоначальной дифференциации завершился созданием теории Большого Магнита – грандиозным синтезом, призванным, по замыслу Гильберта, не только объяснить все известные к концу XVI века эмпирические факты, но и вскрыть глубинную сущность явлений, проложить пути к пониманию устройства небес. “Если в экспериментальной части работа Гильберта в известной степени продолжает исследования П.Перегрини, Г.Хартмана, Р.Нормана, многих моряков и мастеров компасного дела – писал А.Г.Калашников – то в философской части она является в значительной мере оригинальной, бросающей вызов аристотелевым представлениям о природе вещей и методах их познания” [Калашников, 1956; с.309].

В наследующей теории Большого Магнита натурфилософской магнитологии, как и в других разделах естествознания XVII–XVIII веков, преобладали тенденции синтеза и конвергенции знаний. Главная целевая установка науки того времени – поиск универсальных причин, ответственных за всю совокупность наблюдаемых явлений. Она воплотилась в трудах Э.Галлея, М.В.Ломоносова, Л.Эйлера, Б.Франклина, во многом наивных, но вместе с тем чрезвычайно привлекательных широтой постановок задач, стремлением преодолеть техническое несовершенство экспериментальной базы смелыми догадками, часть из которых впоследствии блистательно подтвердилась. Недаром крупнейшие мыслители и историки науки называли XVII век “золотым веком” естествознания – эпохой, “... когда научное знание – по словам В.И.Вернадского [1981, с.216] – стало опережать технику, когда полученные с его помощью приложения стали оставлять позади себя коллективные создания технических традиций и навыков ... Научное представление об окружающем мире ... смогло доказать на деле значение своих положений, ибо оно дало несовместимые со старыми представлениями, неожиданные для него применения в мореходном и военном деле, в технике и медицине”.

Диалектическая противоречивость натурфилософской магнитологии проявилась прежде всего на методологическом уровне. Вооруженные идеями Гильберта–Бэкона исследователи XVII–XVIII столетий не могли не уяснить, что “...попытка познать нечто такое, для чего у нас нет соответствующих средств познания – самый верный путь к иллюзиям и заблуждениям” [Коллингвуд, 1980, с.313]. По-видимому, именно это обстоятельство направляло научную мысль на развитие методов анализа, на конкретизацию общетеоретических положений натурфилософской магнитологии и привело в конечном счете к очередному отрицанию – “кризису идей”, разрешенному в XIX веке Гауссом и его последователями.

Выше уже подчеркивалось, что ключевые признаки и главные достижения этой научной революции состояли в освоении классической стратегии Ньютона, предусматривающей вычленение из совокупности наблюдаемых явлений некоторых центральных, твердо установленных фактов как основы для последующих дедуктивных построений. В теории Гаусса роль таких центральных фактов отводилась закону Кулона и предположению о внутривоздушной локализации частиц северной и южной магнитных жидкостей. Оказалось, что их достаточно для того, чтобы дать исчерпывающее формально-аналитическое описание магнитного поля Земли. Образующие живую ткань натурфилософской магнитологии наивно-генетические представления о природе источников земного магнетизма были отброшены как стратегически излишние.

Обновление стратегии неизбежно влекло за собой изменения в целевых установках и тактике исследований. Резко возросли требования к методической стороне дела – чистоте экспериментов, метрологии, формализации обработки и интерпретации данных, а главное, – к логической непротиворечивости результативных выводов. Наука обрела наконец подлинно научный аппаратно-аналитический инструментарий, более того, наделила его невиданными ранее приоритетами. Прогресс в анализе, в совершенствовании методов исследований

стал отождествляться с прогрессом самой науки. Что касается проблем поиска и объяснения внутренних причин явлений, то они отошли на второй план, чему в немалой степени способствовали философские взгляды О.Конта и Э.Маха – идеология позитивизма, объявившего эти причины непознаваемыми.

Таким образом, главная тенденция развития классического естествознания – это тенденция к дифференциации знаний, к последовательной детализации и формализации описания отдельных объектов и явлений. Как и любая другая тенденция, она не могла действовать бесконечно. Освобождение науки от “общих мест” неизбежно сопровождалось прогрессирующим по-методным обособлением все более узких научных направлений и дисциплин, вело к ситуации, которую можно определить как “кризис специализации”. Целенаправленно культивируя искусство разложения научных проблем на составные части, мы, по словам О.Тоффлера, “изрядно преуспели в этом искусстве, преуспели настолько, что нередко забываем собрать разъятые часть в то единое целое, которое они некогда составляли ... Мы имеем обыкновение не только вдребезги разбивать любую проблему на осколки размером в байт или того меньше, но и нередко вычленим такой осколок с помощью весьма удобного трюка. Мы произносим “*Ceteris paribus*” (при прочих равных) и это заклинание позволяет нам пренебречь сложными взаимосвязями между интересующей нас проблемой и прочей частью Вселенной” [Тоффлер, 1986, с.11]. По разумению автора, в этой полемически заостренной цитате содержится ясная констатация того, что познавательные ресурсы стратегии Ньютона, как основы классического естествознания в значительной мере себя исчерпали¹.

Было бы ошибкой думать, что достижения классического естествознания ограничивались исключительно развитием методов анализа и по-методной дифференциацией исследований. В его недрах зрела и противоположная тенденция к конвергенции знаний, о чем свидетельствует зарождение многочисленных промежуточных дисциплин, заполнивших “стыки” между основными науками и, тем самым, создавших объективные предпосылки для последующего синтеза.

В комплексе наук о Земле стремление к синтезу проявилось прежде всего в усилении интереса к причинно-следственным связям. Выступая 23 сентября 1944 г. на Президиуме АН СССР с докладом, посвященном основным задачам геофизики, академик О.Ю.Шмидт говорил: “Отсутствие причинного объяснения, подлинной теории становится тормозом для развития приложений и для смежных наук, пользующихся выводами геофизики. Так, например, современная геология уже не может ограничиваться описанием явлений и прогнозов по аналогии, а в лице своих передовых представителей требует теории образования гор, впадин и т.п., причинного объяснения геологических явлений, выяснения физической природы действующих сил и количественного подсчета результатов их действия” [Шмидт, 1960, с.26].

Еще более отчетливую форму тенденция к синтезу знаний приобрела в проблемной статье В.В.Белоусова [1964], поставившего вопрос об интеграции геологии, геофизики и геохимии в некую общую науку о твердой Земле – геонию. В эпоху всеобщего увлечения математизацией и компьютерными методами исследований он, по-видимому, одним из первых обратил внимание на опасность свойственной классическому подходу чрезмерной формализации знаний. “Математику – подчеркивал Белоусов – оказывается недоступной сложность природного явления и внутренняя его нерасчлененность; он упускает из виду, что при всякой попытке расчленив такое явление теряется нечто весьма существенное и искажается природа самого явления” [Белоусов, 1964, с.15].

¹ Нужно подчеркнуть, что кризис специализации поразил не только естественные, но и гуманитарные науки. Порукой тому, мнение Р.Коллингвуда [1980; с.127] о наследии позитивизма в историографии, состоящем “... в комбинации беспрецедентного мастерства в решении мелкокомасштабных проблем с беспрецедентной беспомощностью в решении проблем крупномасштабных”. Невольно приходит на ум старый отечественный анекдот о клизме, для строго научной постановки которой нужны два человека: один знает – куда, а другой знает – как.

Обращение к причинам явлений – магистральный путь преодоления кризиса специализации в магнитологии. Симптоматично, например, что в известной монографии В.А.Магницкого [1965] разделы, посвященные геомагнетизму и геоэлектричеству, были сознательно опущены. “Принять такое решение – по словам автора монографии – побуждало то обстоятельство, что эти разделы стоят несколько особняком от других разделов физики Земли, хотя исследования последних лет и намечают уже пути и точки соприкосновения, позволяющие надеяться, что скоро и эти разделы войдут в единый комплекс вопросов физики земных недр” [Магницкий, 1965, с.3].

Прогноз Магницкого впоследствии полностью подтвердился. Начиная с 70-х гг., основным инструментом изучения процессов генерации главного геомагнитного поля стали магнитогидродинамические модели, воспроизводящие не только кинематику генерирующих движений, но и процессы тепло- и массопереноса в жидком ядре и на его границах [Busse, 1973; Loper, 1978; Glatzmaier, Roberts, 1995; и др.].

Преодоление кризиса специализации в рудной магниторазведке началось с ее комплексирования с другими геофизическими методами [Бродовой, 1991], создания физико-геологических моделей месторождений, синтезирующих в себе всю доступную геолого-геофизическую и петрофизическую информацию о локализации и особенностях строения рудных залежей [Вахромеев, 1973; Бродовой, 1991; Семинский, Давыденко, 1994].

Роль провозвестницы новых тенденций в морской магнитометрии несомненно принадлежала гипотезе Вайна–Меттьюса – синтезу неомобилистских представлений о спрединге дна океанов и кинематике литосферных плит с изначально далекими от них концепциями палеомагнетизма и магнитной стратиграфии [Vine, Matthews, 1963; Vacquier, 1972]. Выдающимся результатом этого синтеза стало создание мировых карт магнитного возраста океанской литосферы [Pitman et al., 1974; Карасик, Сочеванова, 1981], ставших основой для пространственно-временной привязки морфоструктур океанской литосферы. В то же время бурное развитие морских магнитостратиграфических исследований породило ряд внутренних проблем, обусловленных не критическим отношением к экспериментальным данным, попытками во чтобы то ни стало подстроить их под априорную модель т.е., стремлением выдать желаемое за действительное.

Именно эти проблемы, а не сама идею синтеза имел в виду автор [Гордин, 1983, 1989б], подвергая сомнению универсальный характер интерпретации линейных магнитных аномалий по Вайну–Меттьюсу. Здесь, по всей вероятности, нашла отражение парадоксальная закономерность, отмеченная Р.Коллингвудом: “Энергичная полемика против какой-либо доктрины – безошибочный признак того, что эта доктрина чрезвычайно распространена среди современников полемиста и даже обладает определенной притягательностью для него самого” [Коллингвуд, 1980, с.23].

Конкретные детали полемики в контексте историко-научного очерка вряд ли заслуживают внимания. Гораздо более интересны ее побудительные причины, внутренняя мотивация, которая, на мой взгляд, сопряжена с изменением глобальных целевых установок, с болезненной ломкой свойственных классическому естествознанию позитивистских и неопозитивистских стереотипов. Такая ломка приводит к неизбежным и трудноразрешимым нравственным противоречиям, затрагивающим не только проблематику той или иной естественнонаучной дисциплины, но и коренные вопросы теории познания.

4.8. О модельном подходе

Преодоление позитивизма, как классического, так и переодетого в одежды догматического материализма, вслед за В.В.Налимовым [1971], И.Р.Пригожиным и И.Стенгерс [1986б] можно уподобить переходу от закрытой (в термодинамическом смысле) системы понятийного описания природных процессов к открытой. Прямое следствие перехода – отказ современной науки от классического понятия “закона природы”, его замена более гиб

ким понятием “модели”. Последнее принято считать универсальным, хотя универсального определения того, что такое “модель” пока никто не дал¹.

Суть дела однако не в определениях, а в том, что модель – инструмент обоюдоострый. За гибкость приходится платить уступками в строгости научных выводов, привнесением в изучаемое природное явление априорных (не вытекающих из опыта) элементов. Если в классической схеме И.Канта “всякое человеческое познание начинается с созерцаний, переходит от них к понятиям и заканчивается идеями” [Кант, 1964, с.591], то идеология моделирования уравнивает в правах созерцания и понятия. По существу, это идеология конформизма – качества, для науки несомненно необходимого, но только в разумных пределах.

Очевидно, например, что модельный подход нарушает сложившееся равновесие между двумя формами научного анализа – индукцией и дедукцией, приводит к преобладанию последней, т.е. к преобладанию общего над частным. При этом, как справедливо заметили О.А.Мазарович с соавторами [1991, с.109], “возникает опасность превращения идеи в шаблон, освобождающий от необходимости мыслить самостоятельно; собирать, анализировать и обобщать факты оказывается необязательным, ибо уже существует готовая модель”. Естественному консерватизму науки вольно или невольно прививаются элементы догматизма, обрекающего исследователя на роль толкователя чужих снов.

Не менее опасна тенденция умножения числа научных моделей. По словам Л.И.Седова [1980; с.223], “... нередко усвоение сущности моделирования, предлагаемого другим автором, труднее, чем построение модели, предназначенной для описания аналогичных явлений в рамках собственных представлений”. Скорее нормой, чем исключением становится положение, когда проще изготовить собственную модель, чем разобраться в ходе рассуждений предшественников. Прогресс в развитии науки, обрастающей неимоверным числом разнообразных моделей, начинает напоминать строительство Вавилонской башни со всеми вытекающими из этого сравнения историческими аналогиями.

“Законы природы” и “модели” – суть продукты мышления. Поэтому причины противоречий, по-видимому, следует искать в различиях двух форм мышления: научной и религиозной. Полемически заостряя мысль, рискну утверждать, что в своих модельных построениях мы активно размываем границу между этими формами, причем размываем ее с закрытыми глазами, не ответив на простой, но принципиальный вопрос: хорошо это или плохо.

С одной стороны, человеческое мышление, независимо от гипотез его происхождения, изначально религиозно. Вера и биологически-видовой “здравый смысл” исторически предшествовали изобретению принципа причинности как основы научного знания. Именно этот принцип разграничил науку и религию, стал запретом, не позволяющим ученым отвечать на вопросы, решаемые религиозным мышлением, как например, вопросы о свободе воли, присутствии божественных сил, библейских предсказаниях и т.п. Со времен Томаса Аквината (Фомы Аквинского), осознавшего различие между доступными научному исследованию “истинами разума” и познаваемыми только благодаря вере “истинами откровения”, их пути разошлись и в обозримом будущем вряд ли пересекутся².

В то же время развитие научного знания последовательно ограничивало, но отнюдь не отменяло компетенцию Бога. Иррациональный характер научного творчества, его несводи-

¹ С определением “закона природы” дело обстоит несколько лучше. Тем не менее, полезно иметь в виду замечание Р.Коллингвуда [1980, с.93]: “Когда ученый говорит о себе, что он открывает законы природы, он не подразумевает, что существует некий законодатель, называемый природой. Все, что он имеет в виду, так это только то, что явления обнаруживают такую регулярность и упорядоченность, которую не только можно, но и следует описывать, употребляя метафорические выражения подобного рода”.

² Отсюда кстати следует, что провозглашение разрушения религии в числе одной из главных задач науки XXI века [Страхов, 2000] не обеспечено адекватным инструментарием и поэтому вряд ли корректно. По разумению автора, научная борьба с религией – занятие не только малопродуктивное, но и малоперспективное. Как правило, она сводится к борьбе одной религии с другой и осуществляется присущими этой форме мышления средствами, например, средствами “научного” атеизма – религиозной веры в отсутствие Бога.

мость к процедурам анализа и синтеза подчеркивали многие ученые. Создатель теории относительности по этому поводу писал: “Никто из тех, кто углублялся в предмет, не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, но никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принципам науки” [Эйнштейн, 1965, с.10]. Они (эти принципы) возникают как “озарения” и только затем облачаются каркасом логических умозаключений и связей с экспериментальными данными. Убедительные документальные свидетельства таких озарений, угадывания конечного результата на подсознательном уровне можно найти в широко известных науковедческих этюдах Анри Пуанкаре [1990].

Итак, уравновешивающий созерцания и понятия модельный подход по существу узаконивает озарения. В этом отношении его вполне можно трактовать как проявление диалектического единства и борьбы рациональной (научной) и иррациональной (религиозной) составляющих мышления и, если законы диалектики верны, то это единство должно в итоге привести к объединению противоборствующих начал – завершению гегелевской триады. “Наука – по словам известного физика А.Мигдала [1992, с.101] – должна двигаться к истине, которая отражает гармонию и красоту не только материального мира, но и моральных ценностей”.

С другой стороны, переход от “законов природы” к “моделям” неизбежно сопровождается размывом критериев научности. Наряду с иррационально-интуитивными элементами в исследовательский обиход привносятся соображения ненаучного характера – от примитивно престижных до геополитических. Положение усугубляется тем, что в отличие от “законов природы” любая “модель” базируется на собственной аксиоматике – системе индивидуальных постулатов, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Они принимаются на веру, открывая тем самым практически необозримое поле деятельности для научного мифотворчества. Совесть ученого или, более широко, совесть научного сообщества в целом становятся главным критерием, отделяющим науку от научной фантастики.

Таким образом, круг замыкается. Сама постановка вопроса: хорошо это или плохо, рассмотрение его позитивных и негативных аспектов приводит нас к понятиям, свойственным религиозному мышлению, к идеям сопряжения научного творчества с изначально ненаучными нравственными категориями. Кантовская непостижимость звездного неба над головой и нравственного закона внутри нас сохраняет силу и по сей день.

4.9. Попытка прогноза

Упомянутый в начале этого очерка риск уподобиться разучившейся ходить сороконожке многократно возрастает, когда естествоиспытатель обращается к прогнозу дальнейшего развития науки. Возникает альтернатива: либо ограничиться суждениями самого общего характера, сопроводив их ритуальной оговоркой о вероятностной природе прогноза, либо дать волю фантазии. Избирая средний путь, автор ясно осознает, что критика как “слева”, так и “справа” может быть беспощадной.

Прежде всего необходимо учесть, что рассмотренная выше циклическая (дивергентно-конвергентная) схема реально работает в переменном масштабе времени. Присущий развитию науки экспоненциальный рост объемов исследований, числа естествоиспытателей, материальных затрат и т.п. порождает эффект ускорения – закономерное сокращение периодов дивергенции и конвергенции знаний. Противоположные тенденции, подобно бегущим волнам, нагоняют друг друга, образуя чрезвычайно сложную интерференционную картину. Трудно предположить поэтому, что современный конвергентный период завершится созданием марксовской “сверхнауки”, которая, вопреки известному афоризму Козьмы Пруткова, позволит “объять необъятное”. По мнению автора, это – иллюзия. Возрастающая сложность системы научных знаний объективно (независимо от волевых устремлений научного сообщества) ведет к ее неустойчивости. Следовательно, не только “сверхнаука”, но и такие ин-

тегрирующие дисциплины, как геонимия, скорее всего начнут распадаться даже не успев организационно оформиться.

Стратегия грядущей дивергенции знаний, по всей вероятности, будет радикально отличаться от классической. На смену традиционному по-методному обособлению наук придет дифференциация по объектам исследований и пространственно-временным масштабам их описания. Опираясь на современную трактовку учения Вернадского о ноосфере [Моисеев, 1990], разумно ожидать, что идейным стержнем этих изменений станут синергетика и представления универсальной теории эволюции. В методологическом плане на передний план выдвигаются проблемы выбора естественной иерархии пространственно-временных масштабов и комбинированных критериев оптимизации – “правил игры”, по которым должны воспроизводиться изучаемые фрагменты картины Мира; в технологическом плане – проблема синтеза (по терминологии Моисеева – “сборки”) сложных моделей, объединенных общими масштабными параметрами, что должно привести к выявлению новых системных свойств, не выводимых из свойств моделей более низкого по-методного уровня.

Если намеченный долгосрочный прогноз окажется верным, то по прошествии нескольких десятилетий учение о земном магнетизме утратит свою целостность. Его методы, достигнутые и будущие результаты обратятся в “строительный материал” для создания новых научных дисциплин, направленных на по-объектное изучение разнообразных геосистем – от ближнего Космоса до ядра Земли. Не менее важным может оказаться вклад магнитометрии в решение экологических проблем, актуальность которых в обозримом будущем по-видимому, будет только возрастать.

В отношении краткосрочных перспектив разумно предположить, что предстоящие магнитометрические исследования в значительной мере унаследуют современную проблематику. Усилия конструкторов будут направлены на совершенствование систем дифференциальных градиентометрических наблюдений, исключение гиропогрешностей датчиков, сокращение размеров и повышение точности угловой ориентации базы градиентометров. Остается в силе прогноз А.Я.Ротштейна [1986, с.164], по мнению которого, существенным скачком в дифференциальной магнитометрии станет создание градиентометра с “абсолютно” жесткой базой и построение на его основе тензomagнитометра, предназначенного для измерения вторых производных магнитного потенциала по координатным осям. Приборы этого типа несомненно найдут широкое применение в системах аэромагнитных и морских магнитных наблюдений, а также при режимных измерениях на геодинамических полигонах.

Центр тяжести аэромагнитных исследований, по всей вероятности, переместится в диапазон слабых возмущений (0,1–1,0 нТл), надежная регистрация которых потребует чрезвычайно тщательного учета пространственно-временных неоднородностей геомагнитных вариаций и промышленных помех. От картирования больших площадей высокоточная аэромагнитометрия в комплексе с низкочастотной аэроэлектроразведкой и аэрогаммаспектрометрией перейдет к решению “штучных” задач нефтепоисковой, рудной и инженерной геологии, используя для этой цели малоскоростные и низколетящие авиационные носители.

Одной из главных задач современной рудной магниторазведки долгое время считалось повышение глубинности исследований. Хотя истощение ресурсов близповерхностных месторождений делало это направление фактически безальтернативным, рискну предположить, что перспективы его развития не столь радужны, как это кажется на первый взгляд. Рентабельность глубинных рудных месторождений зависит как от запасов и концентрации полезных компонентов, так и от стоимости энергии, затрачиваемой на их добычу. Прогнозируемое многими учеными появление в обозримом будущем новых источников дешевой энергии, казалось бы, будет стимулировать глубинные исследования. Увы, скорее всего, произойдет обратное: резко расширятся возможности обогащения руд и, как следствие этого, понизятся требования к концентрации полезных компонентов. Иными словами, появление источников дешевой энергии вдохнет новую жизнь не столько в поиски глубинных ме-

сторождений, сколько в промышленное освоение огромных запасов близповерхностных бедных руд – основного объекта рудной геофизики будущего.

Повышение точности измерений будет способствовать прогрессу в изучении слабоконтрастных магнитных неоднородностей в осадочном чехле и поисках углеводородов. В частности, есть основания ожидать, что применение тензомагнитометрических систем наблюдений может стать основой для разработки методов разделения эффектов, обусловленных вариациями ориентационной намагниченности осадочных пород и вторичным минералообразованием.

Круг задач морской магнитометрии, по-видимому, пополнит геомагнитный мониторинг, направленный на решение гидрометеорологических проблем. Создание сети длительно работающих морских магнитовариационных станций откроет перспективы систематического исследования электромагнитных полей крупномасштабных океанских вихрей. В комплексе с динамической спутниковой альтиметрией это позволит создать основу для перехода от синоптических к физическим моделям состояния атмосферы, и тем самым, вплотную приблизиться к решению грандиозной по своему прикладному значению задачи долгосрочного метеорологического прогноза¹.

Что касается моделирования инверсионной структуры магнитоактивного слоя океанской литосферы в рамках гипотезы Вайна–Меттьюса, то здесь, как мне кажется, достигнут некий естественный предел. Интерпретационные ресурсы стандартной модели квазигоризонтального пласта с латерально изменчивой намагниченностью исчерпаны, а построение более сложных моделей бессмысленно из-за дефицита априорных данных о внутренней неоднородности магнитоактивного слоя, прежде всего, о вертикальных вариациях намагниченности.

Гораздо более актуальной кажется задача изучения источников длинноволновых (спутниковых) магнитных аномалий на акваториях, устранение противоречий между расчетными значениями их эффективной намагниченности и данными о магнитных свойствах пород океанского дна. По всей вероятности, это потребует пересмотра представлений о намагниченности нижних горизонтов океанской коры и, быть может, литосферной части мантии.

В отношении других современных направлений многое будет зависеть от общего уровня развития геофизических исследований, неотъемлемой, хотя, по-видимому, отнюдь не главной частью которых останется изучение магнитного поля Земли. Прежде всего это относится к прогнозу землетрясений. С одной стороны, трудно ожидать, чтобы выявление аномалий в протекании геомагнитных вариаций, связанных с сейсмическим режимом, стало бы основным инструментом прогноза; с другой - нет никаких оснований считать, что изучение тектономагнитных и электрокинетических явлений на базе режимных тензомагнитометрических наблюдений останется вне поля зрения будущих исследователей.

¹ С точки зрения историка это было бы справедливо. В течение почти двух веков магнитная и метеорологическая службы многих стран развивались совместно, что диктовалось главным образом организационными резонами. Долгосрочный метеорологический прогноз может стать той проблемой, которая не только возродит это организационное сотрудничество, но и преобразует его в научное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

“Над прошлым, настоящим и будущим имеет власть человек” – этот эпитаф из рассказа русского писателя-символиста Александра Грина “Жизнь Гнорра” предпослан двум, опубликованным в конце XX века, историко-прогностическим работам В.Н.Страхова [1999а,б]. По всей вероятности, он адекватно отражает историко-научные воззрения Владимира Николаевича, во всяком случае, оправдывает безапелляционность содержащихся в упомянутых работах суждений о смене парадигм в теории интерпретации геопотенциальных полей и задачах, стоящих перед ней в начале XXI века.

Мой скромный опыт историка-самоучки находится в вопиющем противоречии с этим “властным” тезисом. Здание современной магнитометрии строилось не сразу и во многом стихийно. В полном соответствии с формулой Карла Поппера [2002, с.335] этот процесс состоял “... в пробах, в устранении ошибок и дальнейших пробах, руководимых опытом, приобретенным в ходе предшествующих проб и ошибок”. Прошлое магнитометрии не укладывается в рамки жестких науковедческих схем, и лишь насильственное усреднение по множеству событий и фактов уподобляет его куновской концепции смены парадигм. Ее симбиоз с идеями циклического (дивергентно-конвергентного) развития науки проясняет эволюционную природу процесса развития, но ни в коей мере не способствует усовершенствованию самой концепции. Это стремление не к лучшему описанию, а к лучшему пониманию.

Предпринятая выше попытка прогноза, казалось бы, логически безупречна, так как основана на осознании тенденций прошлого и их экстраполяции в будущее. На самом деле безупречность такого подхода иллюзорна. Воспроизводя тенденции, я исходил из целевых установок современности, пользовался сиюминутной системой ценностей, которая в будущем может радикально измениться и свести к нулю все мои историко-прогностические построения. Тем не менее затраченные усилия не напрасны. Ретроспективный анализ и синтез истории магнитометрии адресован прежде всего моим современникам. Насколько он будет интересен потомкам, решат сами потомки. Как писал в свое время Н.А.Бердяев [1990, с.152]: “Будущее с точки зрения настоящего не более реально, чем прошлое и творческая работа наша должна совершаться не во имя будущего, а во имя того вечного настоящего, в котором будущее и прошлое едины”.

ОСНОВНЫЕ СОБЫТИЯ В РАЗВИТИИ МАГНИОМЕТРИИ

Год	Событие
1187	“De Rerum Naturis”. Первое упоминание о применении магнитного компаса в морском деле. Александр Нэххем
1269	“Epistola de Magnete”. Открытие полюсов магнита и взаимодействия между ними. Гипотеза притяжения компасной стрелки полюсами Мира. Петриус Перегрин
1450	Предсказание обратно-квадратической зависимости притяжения полюсов магнита от расстояния. Николай Кузанский
1492	Открытие пространственной изменчивости магнитного склонения. Христофор Колумб
1535	Первое наставление по определению склонения на море и предсказание наклона магнитной оси Земли. Франсиско Фалеро
1544	Открытие магнитного наклона. Георг Хартман
1550	Первая карта магнитного склонения на море. Алонсо де Санта Крус
1581	“The Newe Attractive”. Опыты с гидростатически уравновешенными стрелками и гипотеза внутривоздушного происхождения магнетизма. Роберт Норман
1581	“A Discours of the Variation”. Открытие зависимости магнитного склонения от высоты Солнца. Уильям Борроу
1599	Публикация первого магнитного каталога. Симон Стэвин
1600	“De Magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure”. Первая научная теория происхождения земного магнетизма. Уильям Гильберт
1620	Карта склонения в Средиземноморье. Христофоро Борри
1629	“Philosophia magnetica”. Изобретение способа изображения действия магнитных сил с помощью железных опилок. Никколо Кабео
1634	“A discourse mathematical on the variation of the magnetic needle”. Открытие вековых геомагнитных вариаций. Генри Геллибранд
1644	“Principia Philosophiae”. Теория магнитных вихрей. Рене Декарт
1654	“Magnes sive de arta magnetica”. Первый Мировой магнитного каталога. Атанасиус Кирхер
1682	Наблюдения быстрых геомагнитных вариаций в Луво. Гюи Ташар
1692	Открытие западного дрейфа геомагнитного поля. Гипотеза проскальзывания немагнитной оболочки относительно намагниченного ядра. Эдмунд Галлей
1701	Изобретение способа изолиний. Первая Мировая карта изогон. Эдмунд Галлей
1721	Первая карта изоклин. Уильям Уистон
1722	Наблюдения солнечно-суточных вариаций и магнитных бурь. Дж.Грэхем и А.Цельсиус
1743	Учение об электрической и магнитной жидкостях. Бенджамин Франклин
1747	Открытие синхронности магнитных бурь и полярных сияний. Олаф Хиортер
1750	Открытие обратно-квадратической зависимости магнитного притяжения от расстояния. Джон Мичелл
1756	Идея выметания источников магнетизма в поверхностный слой. Изобретение модели эксцентрического диполя и ее применение для расчета склонения. Леонард Эйлер
1757	Публикация каталога Маунтайна–Додсона. У.Маунтайн и Дж.Додсон
1759	Публикация трактата “Рассуждение о большей точности морского пути”. Гипотеза неоднородно намагниченного шара. М.В.Ломоносов
1776	Изобретение способа измерения напряженности магнитного поля по наблюдениям качаний стрелки буссоли наклона. Шарль Огюстен Кулон
1783	Открытие Курской магнитной аномалии. П.Б.Иноходцев
1789	Введение понятия элементарного магнитного заряда и открытие основного закона магнитостатики. Шарль Огюстен Кулон
1813	Аналитическое описание стационарного магнитного поля. Симон Пуассон
1820	Открытие и аналитическое описание магнитных полей, порождаемых электрическими токами. Ханс-Кристиа Эрстед, Жан-Батист Био, Феликс Савар
1820	Первая феноменологическая теория молекулярных источников магнетизма. Андре-Мари Ампер
1826	Создание теории магнитной девиации. Симон Пуассон
1828	“Опыт применения математического анализа к теориям электричества и магнетизма”. Джордж Грин
1831	Открытие северного магнитного полюса. Джеймс Росс
1831	Открытие закона электромагнитной индукции. Майкл Фарадей
1834	Учреждение Геттингенского Магнитного Союза.
1839	“Общая теория земного магнетизма”. Карл-Фридрих Гаусс
1839	Геттингенский конгресс Магнитного Союза.
1841	“Напряженность магнитной силы, приведенная к абсолютной мере”. Карл-Фридрих Гаусс

Год	Событие
1845	Открытие явлений диа- и парамагнетизма. Майкл Фарадей
1851	Первые измерения магнитного поля приливных течений. К. Уолластон
1851	Открытие 11-летнего цикла магнитной активности. Ж. Ламон, Э. Сэбин
1858	Открытие 27-дневного цикла магнитной активности. Дж. Броун
1873	Публикация “Трактата по электричеству и магнетизму”. Джеймс Кларк Максвелл
1874	Публикация классической работы об устройстве компасов У. Томсон
1875	Первые опыты применения магнитометрии для разведки железных руд. Р. Тален
1879	Программа Международного Полярного Года. Карл Вайпрехт
1889	Разделение геомагнитного поля на внутреннюю, внешнюю и вихревую части. Адольф Шмидт
1889	Первая теория солнечно-суточных геомагнитных вариаций. Артур Шустер
1895	Введение понятия нормального геомагнитного поля. А.А. Тилло и В. Бецольд
1896	Открытие эффекта расщепления атомных спектров под действием магнитного поля. Питер Зееман
1899	Разделение геомагнитного поля на главную и остаточную части. Л. Бауэр
1900	Первая ретроспективная модель эволюции геомагнитного поля для эпох 1550–1900 гг. Г. Фритше
1903	Открытие магнитных бухт. К. Биркеланд
1905	Начало морских съемок Института Карнеги на судах “Галилей” и “Карнеги”.
1907	Корпускулярная теория магнитных бурь. К. Биркеланд, К. Штермер
1909	Открытие южного магнитного полюса. Эрнест Шеклтон
1919	Первая динамо-теория генерации магнитных полей небесных тел. Джозеф Лармор
1920	Открытие магнитных полей ветровых волн. Ф. Янг
1924	Теоретическое объяснение аномального эффекта Зеемана и открытие спина электрона. Дж. Уленбек и С. Гаудсмит
1927	Открытие действия геомагнитного поля на флуоресценцию паров ртути и резонансный спектр натрия. Роберт Вуд
1931	Публикация первых Мировых карт изопор. Г. Фиск
1934	Публикация теоремы Т. Каулинга. Т. Каулинг
1936	Первая аэромагнитная съемка на маршруте Новгород–Валдай. А.А. Логачев, А.Т. Майборода
1936	Изобретение феррозондового магнитометра. Г. Ашебрэннер и Г. Губо
1937	Открытие явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Б.Г. Лазарев, Л.В. Шубников
1947	Изобретение протонного магнитометра. М. Паккард и Р. Вариан
1947	Ретроспективная модель эволюции геомагнитного поля в XX веке. Э. Вестайн
1949	Динамо-теория генерации главного поля. Э. Буллард
1953	Начало работ немагнитной шхуны “Заря”. М.М. Иванов
1957	Изобретение способа оптической накачки. У. Белл и А. Блум
1958	Первые измерения магнитного поля в околоземном космическом пространстве (3-й ИСЗ, СССР)
1959	Введение понятия магнитосферы Земли. Т. Голд
1961	Открытие полосовой структуры аномального магнитного поля океанов. Р. Мейсон, А. Рафф, О.Н. Соловьев
1962	Первые измерения магнитного поля в окрестностях Луны и Венеры. Луна-2, СССР и Mariner-2, США.
1963	Первая спектрально-статистическая модель геомагнитного поля. Открытие глобального спектрального минимума. Л. Олдридж
1963	Гипотеза формирования магнитоактивного слоя океанской литосферы. Ф. Вайн, Д. Метгьюс
1973	Публикация первой Мировой карты промежуточных (спутниковых) магнитных аномалий. Т.Н. Симоненко, Н.П. Бенькова и Ш.Ш. Долгинов
1974	Первые магнитные измерения в окрестностях Меркурия. Mariner-10, США.
1979	Начало работ по проекту МАГСАТ. Р. Лангл

ОСНОВНЫЕ ЭКСПЕДИЦИИ И МАГНИТНЫЕ СЪЕМКИ

Годы	Экспедиция
1538–1541	Плавание Жоао де Кастро из Европы в Ост-Индию.
1556–1557	Плавание Стефана Борроу в Арктику. Первые определения магнитного склонения в России.
1594–1598	Экспедиции герцога Маврикия Оранского в Ост-Индию.
1614–1616	Плавание Уильяма Баффина в Северную Атлантику.
1698–1700	Плавание Эдмунда Галлея в Атлантику на судне “Перамур Пинк”. Первая специализированная магнитологическая экспедиция.
1708–1710	Кругосветное плавание Вуда Роджерса
1717–1720	Каспийская экспедиция Федора Соймонова.
1721–1723	Кругосветное плавание Якоба Роггевена
1733–1743	Великая Северная экспедиция Витуса Беринга.
1740–1042	Кругосветное плавание Джорджа Ансона
1762–1764	Кругосветное плавание Джона Байрона
1766–1768	Кругосветное плавание Сэмюэля Уоллиса
1766–1659	Кругосветное плавание Луи Антуана Бугтенвиля
1768–1771	Первое плавание Джеймса Кука на “Эндивуре”.
1772–1775	Второе плавание Кука на судах “Резолюшн” и “Адвенчер”.
1776–1779	Третье плавание Кука на судах “Резолюшн” и “Дискавери”.
1785–1788	Плавание Лаперуза на “Астролябии” и “Буссоли”.
1785–1793	Восточно-Сибирская экспедиция Иосифа Биллингса и Гавриила Сарычева.
1799–1804	Экспедиция Александра Гумбольдта в Южную Америку. Первые измерения на магнитном экваторе.
1801–1802	Плавание Майкла Флиндерса на “Инвестигейторе”.
1803–1806	Кругосветное плавание И.Ф.Крузенштерна и Ю.Ф.Лисянского на шлюпах “Надежда” и “Нева”.
1800–1809	Кругосветное плавание В.М.Головнина на “Диане”.
1813–1816	Кругосветное плавание М.П.Лазарева на “Суворове”.
1815–1818	Кругосветное плавание О.Е.Коцебу на бриге “Рюрик”.
1816–1819	Кругосветное плавание Л.В.Гагенмайстера на шлюпе “Кутузов”.
1817–1819	Кругосветное плавание В.М.Головнина на “Камчатке”.
1817–1820	Кругосветное плавание Фрейсине и Араго на судне “Урания”.
1819 – 1821	Антарктическая экспедиция Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П.Лазарева на шлюпах “Восток” и “Мирный”.
1819–1822	Кругосветное плавание М.Н.Васильева и Г.С.Шишмарева на шлюпах “Открытие” и “Благонамеренный”.
1820–1824	Гидрографическая экспедиция в Арктику. Ф.П.Литке, П.Ф.Анжу, Ф.П.Врангель.
1822–1824	Кругосветная экспедиция М.П.Лазарева на фрегате “Крейсер”.
1822–1825	Кругосветное плавание Дюперре на судне “Кокий”.
1826-1829	Кругосветные плавания Ф.П.Литке на шлюпе “Сенявин”, О.Е.Коцебу на “Предприятии” и Дюмон д'Юрвиля на “Астролябе”.
1828-1829	Сибирская экспедиция Х.Ганстина.
1828-1832	Беломорская гидрографическая экспедиция М.Ф.Рейнеке.
1829-1830	Полукругосветное плавание А.Эрмана на военном корвете "Кроткий".
1829-1833	Арктическая экспедиция Джона Росса в район северного магнитного полюса.
1830-1831	Маршрутные магнитные наблюдения Г.Фусса и А.Бунге на пути из Сибири в Китай.
1834-1836	Рекогносцировочная магнитная съемка Британских островов. Гемпфри Ллойд и др.
1836-1839	Кругосветная экспедиция Дю-Пти-Туара и Тессана на судне “Венус”.
1838-1841	Антарктическая экспедиция Джеймса Росса на “Эребусе” и “Терроре”.
1838-1842	Антарктическая экспедиция Чарльза Уилкса на судне “Винсент”.
1840-1841	Кругосветное плавание А.И.Бутакова на транспорте “Або”.
1843-1858	Рекогносцировочная съемка Австро-Венгрии. К. Крейль.
1845-1846	Антарктическая экспедиция Мура и Клерка на “Пагоде”.
1847-1849	Рекогносцировочная съемка в Финляндии. Л.М.Кемп.

Годы	Экспедиция
1850-1858	Рекогносцировочные съемки Ж.Ламона в Бельгии, Дании, Германии, Франции и Испании.
1854-1956	Измерения наклона и <i>H</i> -составляющей геомагнитного поля в Западной Европе. Махмуд Эффенди.
1857-1859	Австрийская экспедиция Вуллерсдорфа-Урбайна и Хохштеттера на фрегате "Новара".
1854-1864	Рекогносцировочная съемка Западной Австралии. Г.Ноймайер.
1855-1858	Рекогносцировочная съемка Индии. Г. и Р.Шлагинвайты.
1859-1860	Магнитная съемка Черного моря. И.Д.Диков.
1867-1894	Наблюдения в Центральной Азии. Г.Фритше
1868-1871	Магнитная съемка Каспийского моря. М.А.Рыкачев
1871-1878	Рекогносцировочная магнитная съемка Европейской части России. И.Н. Смирнов
1872-1874	Австрийская полярная экспедиция на Землю Франца Иосифа. К.Вайпрехт и Ю.Пайер.
1872-1876	Плавание У.Томсона и Дж.Меррея на "Челленджере".
1874-1876	Плавание Шлейница на "Газелле".
1874-1879	Рекогносцировочная съемка Больших Зондских островов (Ван Рийкворзель).
1882-1883	Рекогносцировочная съемка Японии. Секино и Кадари.
1882-1883	Работы по программе Международного Полярного года.
1883-1886	Плавание Баркера на "Энтерпрайзе".
1884-1895	Генеральная магнитная съемка Франции. Т.Муро.
1889-1892	Генеральная магнитная съемка Великобритании. А.Рюккер и Т.Торп.
1891-1898	Беломорская гидрографическая экспедиция. М.С.Жданко.
1896-1914	Магнитная съемка Э.Е.Лейста в районе КМА.
1898-1899	Плавание Креха и Шотта на "Вальдивии".
1900-1904	Антарктическая экспедиция Р.Скотта на "Дискавери".
1901-1903	Антарктическая экспедиция Э.Дригальского на судне "Гаусс".
1901-1903	Норвежская полярная экспедиция. К.Биркеланд.
1901-1906	Магнитная съемка Индии.
1905-1908	Три рейса Института Карнеги на судне "Галилей".
1906-1936	Съемка Института Карнеги в Китае.
1907-1909	Антарктическая экспедиция Э.Шеклтона на "Нимроде".
1909-1929	Шесть рейсов Института Карнеги на яхте "Карнеги".
1910-1916	Генеральная магнитная съемка России.
1924-1940	Генеральная магнитная съемка СССР. Н.В.Розе.
1932-1933	Наблюдения по программе 2-го Международного Полярного года.
1953-1967	Аэромагнитная съемка по проекту "Магнит".
1956-1968	Магнитные съемки шхуны "Заря" (рейсы 1-10) на акватории Мирового океана. (М.М.Иванов и др.).
1965-1970	Орбитальные магнитные съемки на ИСЗ "Космос-49" и спутниках серии POGO.
1970-1984	Систематические магнитные съемки шхуны "Заря" (рейсы 12-25) в Северном и Балтийском морях.
1971-1972	Исследования магнитного поля Луны в рамках проекта APOLLO.
1971-1974	Орбитальные магнитные измерения на космических аппаратах "Марс-2, 3 и 5" в окрестностях Марса.
1973-1979	Магнитные измерения на космических аппаратах "Pioneer-10, 11" в окрестностях Юпитера и Сатурна.
1981	Орбитальная магнитная съемка MAGSAT.
1986-1989	Магнитные измерения на космическом аппарате "Voyager-2" в окрестностях Урана и Нептуна.
2000 – по наст. время	Орбитальная магнитная съемка CHAMP.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.Б., Пушков А.Н., Шапиро В.А.* Предварительные результаты экспериментальных исследований на водохранилище Чарвак // Исследование пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М., 1977. С.79-101.
- Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.Б., Пушков А.Н., Шапиро В.А.* Локальные изменения геомагнитного поля при заполнении водохранилища // Геомагнетизм и аэрономия. 1979. Т. 19, № 2. С.317-322.
- Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х.* Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов. Ташкент: Фан, 1975. 128 с.
- Авдонин А.Н., Рыжий Б.П., Сосновский И.В., Чурсин А.В.* Математическое моделирование на стадии поисков и разведки магнетитовых месторождений Урала // Моделирование при локальном прогнозе и оценке ресурсов железоруднения. Новосибирск, 1987. С.96-106.
- Адам Н.В., Баранова Т.Н., Бенькова Н.П., Черевко Т.Н.* Изменение магнитного поля по данным о магнитном склонении за 1550–1960 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 1970. Т. 10, № 6. С.1068-1074.
- Акопян Ц.Г., Нагапетян В.В., Пушков А.Н., Рассанова Г.В., Сквородкин Ю.П.* Магнитные исследования при взрывах в районе Каджаранского карьера // Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1973. Т. 26, № 6. С.90-92.
- Александров Е.Б.* Интерференционные явления при квантовых переходах в нестационарных атомных системах: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Л., 1966.
- Александров Е.Б., Бонч-Бруевич В.А., Ходовой А.М.* Возможности измерений малых магнитных полей методами оптической ориентации атомов // Оптика и спектроскопия. 1967. Т. 22. С.282-286.
- Александров Е.Б., Бонч-Бруевич В.А., Балабас М.А. и др.* Прецезионный быстродействующий магнитометр с оптической накачкой паров калия // Геомагнитные измерения и приборы. М.: ИЗМИРАН, 1986. С.5-23.
- Александров Е.Б., Бонч-Бруевич В.А., Комиссаров И.Б., Фадеев Н.В.* Опыт высокоточной градиентометрической магнитной съемки с ледового покрова Арктики // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32, № 5. С.158-162.
- Алексеев В.В.* Методы рудной геофизики. Л., 1968. 335 с. (Тр. ВИРГ).
- Алексеев Г.В., Иванов М.М., Ротштейн А.Я.* Об использовании вертикальной и солнечной составляющих для точного измерения магнитного склонения с движущегося объекта // Геомагнетизм и аэрономия. 1968. Т. 8, № 6. С.1089-1093.
- Амосов А.П., Ротштейн А.Я., Цирель В.С.* Ядерный аэромагнитометр АЯАМ-6 и результаты его предварительных летных испытаний // Геофиз. приборостроение. Л.: ОНТИ ОКБ МГиОН СССР, 1960. Вып. 6. С.33-54.
- Ананьева Е.М., Золоев К.К., Лутков Р.И., Овчинников Л.Н., Попов Б.А., Рапопорт М.С., Рыбалка В.М.* Рудные месторождения и физические поля Урала. Екатеринбург, 1996. 293 с.
- Андреев Б.А.* Определение глубины поверхности кристаллического фундамента платформенных областей по магнитным аномалиям // Прикл. геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1955. Вып. 13. С.80-98.
- Андреев Б.А.* Геофизические методы в региональной структурной геологии. М.: Гостоптехиздат, 1960. 260 с.
- Андреанов Б.А., Белый В.А., Гринько И.Е., Лукошин А.Ф.* Квантовый магнитометр для сверхслабых полей // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1975. Вып. 57. С.3-8.
- Антонов Ю.В., Жаворонкин В.И., Савко К.А., Серебряков Е.Б.* Использование геофизических данных при среднемасштабном прогнозировании коренной алмазности на территории Воронежской антеклизы // Вестн. Воронежск. ун-та. Сер. геол. 1996. № 1. С.180-183.
- Антонович Р.М.* Микроаномалии магнитного поля Западной Сибири // Геология и геофизика. 1976. № 7. С.63-79.
- Аплонов С.В., Деменицкая Р.М., Монин А.С.* Палеомагнитный анализ пермотриасового Обского палеоокеана // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293, № 1. С.59-62.
- Аристов В.В., Ляхов Л.Л., Соловьев Г.А.* Комплексные геолого-геофизические исследования рудных районов. М.: Недра, 1969. 176 с.

- Архангельский А.Д., Розе Н.В., Колубакин В.В., Орлов В.П., Педеревская А.И.* Тектоника докембрийского фундамента Восточно-европейской платформы по данным общей магнитной съемки СССР // Изв. АН СССР. Серия геогр. и геофиз. 1937. № 2. С.155-194.
- Ассафрей Э.Р.* Магнитные наблюдения в Эриванской губернии, произведенные в 1888 году // Метеор. сб. 1890. Т. 1, № 3.
- Ассафрей Э.Р.* Магнитные наблюдения в Елизаветпольской и Бакинской губерниях в 1890 году // Метеор. сб. 1892. Т. 3, № 8.
- Астраханцев Ю.Г., Иголкина Г.В.* Скважинная магнитометрия при исследовании нефтегазовых скважин // Уральский геофиз. вестн. 2000. № 1. С.10-17.
- Атлас карт элементов земного магнетизма, измеренных под общим руководством П.П.Лазарева, члена Академии наук СССР, директора Ин-та физики и биологии в Москве: Тр. ОККМА. М., 1927. Вып. 10.
- Афанасьев Ю.В., Белякова С.И., Внучков Г.А., Сымполян М., Чобану М., Стружан В.* Магнитные измерения на ИСЗ Интеркосмос-18, -20 и -21 // Исследования по космической геофизике. М.: ИЗМИРАН, 1982. С.185-194.
- Афанасьев Ю.В., Гольдереер И.Г., Долгинов С.Ш.* Вопросы проектирования феррозондовых магнитометров // Сб. произв.-техн. информ. по геофиз. приборостроению. Л.: ОНТИ ОКБ МГиОН СССР, 1960. Вып. 5. С.40-48.
- Афанасьев Ю.В., Студенцов Н.В., Щелкин А.П.* Магнитометрические преобразователи, приборы, установки. Л.: Энергия, 1972. 272 с.
- Афанасьев Ю.В., Студенцов Н.В., Хорев В.Н., Чечурина Е.Н., Щелкин А.П.* Средства измерения параметров магнитного поля. Л.: Энергия, 1979. 319 с.
- Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Цыганов В.А.* Геологическая экспресс-интерпретация аэромагнитных и гравиметрических данных при объемном картировании нефтегазоносных бассейнов // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 27-й сессии Междунар. семинара им. Д.Г.Успенского. Москва, 31.01-4.02 2000 г. М.: ОИФЗ РАН, 2000. С.17-19.
- Бабкина Т.Г.* О геофизических признаках коренной золотоносности Верхне-Индибирского района // Отечественная геол. 1994. № 9. С.21-24.
- Баринев Е.А., Мухин Б.М., Попов А.А.* Аппаратура для измерения трех составляющих вектора магнитного поля в скважине ТСМ-3 // Методика и техника разведки. Л.: ОНТИ ВИТР, 1965. № 52. С.7-18.
- Барсуков О.М., Сквородкин Ю.П.* Магнитные наблюдения в районе взрыва Медео // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1969. № 5. С.68-69.
- Барулин Б.С., Берилко В.И., Поплавский В.Б., Сребный С.А., Смирнов В.И., Черемисин В.Г.* Многомашинная система обработки аэромагнитных данных АЭРОПАК // Магниторазведка. Справочник геофизика / Под ред. В.Е.Никитского, Ю.С.Глебовского. 2-е изд. М.: Недра, 1990. С.352-360.
- Барулин Б.С., Княжев В.А., Миков Б.Д., Эринчек Ю.М.* Методика проведения и интерпретации результатов двухгоризонтной вертолетной магнитной съемки при поисках кимберлитовых тел в Западной Якутии // Разведочная геофизика СССР на рубеже 70-х годов. М.: Недра, 1974. С.150-154.
- Барышев А.С., Вахромеев Г.И., Житков А.Н., Ковалевич В.Б.* Геофизические методы поисков железорудных месторождений на юге Восточной Сибири. М.: Недра, 1980.
- Барышникова И.А., Вавилин Л.Н., Глебовский Ю.С., Цирель В.С.* Аппаратурно-техническое обеспечение аэрогеофизических работ: Обзор ВИЭМС. Сер. Региональная, развед. и промысл. геофиз. М.: ВИЭМС, 1981. 66 с.
- Бахурин И.М.* В.И. Бауман (некролог) // Изв. Ин-та прикл. геофиз. Л., 1925а. Вып. 1. С.3-6.
- Бахурин И.М.* О работах магнитометрического отдела И.П.Г. летом 1924 года // Изв. Ин-та прикл. геофиз. Л., 1925б. Вып. 1. С.37-56.
- Бахурин И.М.* О магнитометрических работах И.П.Г. в Илецком соляном районе // Изв. Ин-та прикл. геофиз. Л., 1927. Вып. 3. С.259-282.
- Безуглая Л.С., Сквородкин Ю.П.* Тектономагнитные исследования в СССР (1976-1981 гг.) // Современное состояние исследований в области геомагнетизма. М.: ИФЗ АН СССР, 1984. С.120-128.
- Белавенец И.П.* Магнитные наблюдения, произведенные во время плавания речным путем из Петербурга в Архангельск и Белым морем Северным Ледовитым океаном в 1870 г. СПб., 1871. 90 с.

- Белецкий В.В., Голубков В.В., Лавровский Э.К., Трушин С.И., Хацкевич И.Г.* Определение ориентации и вращения искусственных спутников по данным измерений // Космические исследования. 1967. Т. 5, вып. 5.
- Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Мурашов Б.П.* Цифровой кварцевый вариометр с разворачивающим преобразованием // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1979. Вып. 69. С.49-53.
- Беловежец И.Г., Снопков С.В.* Комплексирование данных магнитной съемки и метода незаземленной петли при изучении процессов рудообразования магнетитового месторождения // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Межвузовск. сб. Свердловск, 1990. Вып. 16. С.48-53.
- Белоусов В.В.* Пути развития наук о Земле // Взаимодействие наук при изучении Земли. М.: Наука, 1964. С.11-24.
- Белоусов В.В.* Международные проекты в изучении Земли // Природа. 1984. № 12. С.48-57.
- Беляев И.В., Беляева Д.Н., Мигович И.М.* Изверженные породы и структура аномальных физических полей на Северо-Востоке СССР // Магматизм Северо-Востока СССР. Магадан, 1968. С.192-193.
- Беляев И.И.* Морская магнитометрическая аппаратура // Магнитные аномалии океанов и новая глобальная тектоника / Под ред. Е.Г.Мирлина. М.: Наука, 1981. С.5-20.
- Беляев И.И., Филин А.М.* Методы геомагнитных измерений в океане // Магнитное поле океанов / Под ред. А.М.Городницкого. М.: Наука, 1993. С.6-37.
- Бенькова Н.П., Адам Н.В., Черевко Т.Н.* Применение сферического гармонического анализа к данным по магнитному склонению // Геомагнетизм и аэрономия. 1970. Т. 10, № 4. С.673-680.
- Бенькова Н.П., Бондарь Т.Н., Коломийцева Г.И., Черевко Т.Н.* Описание главного геомагнитного поля и его вековой вариации моделью Магсат // Геомагнетизм и аэрономия. 1983а. Т. 23, № 1. С.123-128.
- Бенькова Н.П., Коломийцева Г.И., Саютина О.А.* К вопросу о представлении СГ моделями главного и аномального магнитного полей // Исследование структуры геомагнитного поля. М.: ИЗМИР АН СССР, 1983б. С.5-16.
- Бенькова Н.П., Кругляков А.А., Храмов А.Н., Черевко Т.Н.* Сферический анализ палеомагнитных данных // Геомагнетизм и аэрономия. 1971. Т. 11, № 2. С.374-377.
- Бенькова Н.П., Петрова Г.Н., Храмов А.Н., Черевко Т.Н.* Анализ палеомагнитных данных // Пространственно-временная структура геомагнитного поля. М., 1976. С.59-66.
- Бердалиев Е.Б., Туйчиев А.И., Цветков Ю.П., Нысанбаев Т.Е.* Магнитометрические наблюдения в эпицентральной зоне Газлийского землетрясения 19 марта 1984 г. // 3-й Всес. съезд по геомагнетизму. Ялта, 3-7 февр. 1986 г. Тезисы докл. Киев, 1986. С.71.
- Бердичевский М.Б., Жданов М.С.* Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра, 1981. 116 с.
- Бердичевский М.Б., Жданов М.С.* Состояние и перспективы развития теории интерпретации переменного электромагнитного поля Земли // Современное состояние исследований в области геомагнетизма / Под. ред. Л.С.Безуглой. М.: ИФЗ АН СССР, 1984. С.224-232.
- Бердичевский М.Н., Седов С.Г.* О возможности прямого учета аномалий переменного геомагнитного поля при аэромагнитных съемках // Геомагнетизм и аэрономия. 1984. Т. 24, № 2. С.280-284.
- Бердяев Н.А.* Смысл истории. М.: Мысль, 1990. 174 с.
- Березкин В.М., Лоцаков А.М., Николаев М.И.* Применение магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа // Прикл. геофизика. М.: Недра, 1982. Вып. 103. С.128-136.
- Березкин В.М., Филатов В.Г., Бульчев Е.В.* Методика интерпретации аэромагнитных съемок с целью прямого прогнозирования нефтегазоносности отдельных участков (методика ГРИН) // Геофизика. 1994. № 5. С.38-43.
- Бернал Дж.* Наука в истории общества. М.: Изд-во иностр. лит., 1956.
- Бернштейн В.А.* О возможных изменениях магнитного поля в районе вулкана Заварицкого в первое полугодие 1958 г. // Бюлл. вулканологических станций. М., 1960. № 30. С.69-74.
- Берсудский Л.Д., Логачев А.А., Солодухо О.Ю.* Курс магниторазведки. М.: Гостоптехиздат, 1940. 287 с.
- Берлянд Н.Г., Цирель В.С.* О наличии в геомагнитном поле крупных региональных аномалий // Геомагнетизм и аэрономия. 1974. Т. 14, № 3. С.530-537.
- Берлянд Н.Г., Духовский А.А., Литвинова Т.П., А.А. Логачев* и региональные геолого-геофизические исследования // Геофизика. 1999. № 2. С.8-10.

- Блат Н.С., Резников Я.С., Цирель В.С.* Проблема обработки аэромагнитограмм и пути ее решения // Новое в технике и методике геологоразведочных работ. Л.: ВИТР, 1958. Вып. 1. С.323-333.
- Блок М.* Апология истории или ремесло историка. М.: Наука, 1986. 254 с.
- Блох Ю.И.* Обзор истории методов решения обратной задачи магниторазведки в XX веке // Развитие гравиметрии и магнитометрии в XX веке / Под ред. В.Н.Страхова. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С.201-212.
- Блох Ю.И., Гаранский Е.М., Доброхотова И.А., Якубовский Ю.В.* Комплексная интерпретация данных метода незаземленной петли и магниторазведки при разведке месторождений железистых кварцитов // Геология и геофизика. 1984. № 1. С.104-109.
- Блох Ю.И., Гаранский Е.М., Доброхотова И.А., Якубовский Ю.В.* Низкочастотная индуктивная электроразведка при поисках и разведке магнитных руд. М.: Недра, 1986а. 192 с.
- Блох Ю.И., Доброхотова И.А., Кириллов Р.Н. и др.* Применение методов незаземленной петли и магниторазведки для расшифровки природы отрицательных магнитных аномалий на железорудном месторождении Кумдыколь (Центральный Казахстан) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1986б. № 8. С.66-73.
- Блох Ф.* Ядерный магнетизм // Успехи физ. наук. 1955. Т. 56. С.429-443.
- Блумбах Ф.* Результаты магнитных измерений, произведенных К.Н.Егоровым и С.П.Вуколовым на горе Благодати, Высокой, Магнитной, на Бакальском руднике и в Экибастузе // Уральская железная промышленность в 1899 г. Ч. 3. Гл. 2. СПб., 1900.
- Бобров В.Н.* Универсальный высокостабильный чувствительный элемент с нулевым температурным коэффициентом для магнитометров, вариометров и микровариометров, регистрирующих любую компоненту земного магнитного поля // Вопросы земного магнетизма. М., 1961. С.55-67. (Тр. ИЗМИРАН; Вып. 18 (28)).
- Бобров В.Н.* Серия кварцевых магнитных вариометров // Геомагнетизм и аэрономия. 1962. Т. 2, № 2. С.348-356.
- Бобров В.Н.* Трехкомпонентная полевая магнитовариационная станция "ИЗМИРАН-4" // Геомагнетизм и аэрономия. 1965. Т. 5, № 5. С.892-895.
- Бобров В.Н.* Кварцевый D-магнитометр // Геомагнетизм и аэрономия. 1968. Т. 8, № 2. С.390-392.
- Бобров В.Н.* Кварцевый магнитометр для измерения склонения и горизонтальной составляющей // Геомагнетизм и аэрономия. 1970. Т. 10, № 5. С.945-946.
- Бобров В.Н., Бурцев Ю.А.* О влиянии наклонов на показания кварцевых H- и D-магнитометров // Геомагнетизм и аэрономия. 1971. Т. 11, № 1. С.192-194.
- Бобров В.Н., Бурцев Ю.А.* D-магнитометр // Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977. С.47-51.
- Бобров В.Н., Бурцев Ю.А., Кудревский А.И. и др.* Об унификации магнитометрической аппаратуры на сети магнитных обсерваторий СССР // Геомагнитные исследования. М., 1982. Вып. 30. С.13-16.
- Болт Б.* В глубинах Земли. М.: Мир, 1984. 189 с.
- Бондаренко А.П., Билинский А.И., Седова Ф.И.* Электромагнитные вариации в Советских Карпатах. Киев: Наук. думка, 1972. 116 с.
- Бондаренко С.И.* Сверхпроводящие квантовые градиентометры // Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1975. Вып. 57. С.8-12.
- Бондаренко С.И., Биезайс Я.Я., Веркин Б.И. и др.* Опыт работы со сверхпроводниковыми магнитовариационными станциями // Геология и геофизика. 1980. № 11. С.94-101.
- Бондаренко С.И., Веркин Б.И., Карев Ю.Ф., Романов Н.Н., Фенченко В.Н.* О возможности исследования кимберлитовых трубок сверхпроводниковыми магнитовариационными станциями // Геология и геофизика. 1981. № 11. С.108-113.
- Бондаренко С.И., Кравченко В.В., Головнев Е.А., Салун М.Ф., Тильченко Е.Н.* Сверхпроводниковый магнитогradientометр // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1982. Вып. 76. С.3-9.
- Бор Н.* Атомная физика и человеческое познание. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 151 с.
- Борисов А.А., Круглякова Г.И., Фирсова Д.Б.* Температура верхов мантии в свете анализа геомагнитных данных // Докл. АН СССР. 1972. Т. 207, № 5. С.1184-1187.
- Борисов А.А., Рыманов В.М.* О геологической интерпретации магнитных аномалий Средней Азии // Докл. АН СССР. 1960. Т. 133, № 6. С.1395-1397.
- Борн М.* Критические замечания по поводу традиционного изложения термодинамики // Воспоминания и размышления физика. М.: Наука, 1977. С.91-121.

- Боровко Н.Н.* Перспективы использования геофизических данных при количественном прогнозировании // Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. Ч. I. Л.: Недра, 1970. С.143-148. (Тр. ВИРГ. Сер. развед. геофиз.; Вып. 14).
- Боровко Н.Н.* Оптимизация геофизических исследований при поисках рудных месторождений. Л.: Недра, 1979. 230 с.
- Боронин В.П.* Основные черты внутреннего строения докембрийского кристаллического фундамента Татарской АССР по данным гравитационной и магнитной съемок // Докл. АН СССР. 1960. Т. 132, № 2. С.417-420.
- Боронин В.П.* Казанский астроном И.М. Симонов как один из основоположников теории земного магнетизма // Геофизика. 2000. № 1. С.61-64.
- Бошнякович И.Д., Глебовский Ю.С.* Фотопривязка аэрогеофизических маршрутов и аномалий. Л.: Гостоптехиздат, 1963. 171 с.
- Брагинский С.И.* Сферические анализы основного геомагнитного поля; 1550–1800 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. Т. 12, № 3. С.524-529.
- Брагинский С.И.* Аналитическое описание геомагнитного поля прошлых эпох и определение спектра магнитных волн в земном ядре // Геомагнетизм и аэрономия. 1974. Т. 14, № 3. С.522-529.
- Брагинский С.И., Бурлацкая С.П.* Сферический анализ геомагнитного поля по археомагнитным данным // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1979. № 12. С.59-66.
- Брагинский С.И., Куланин Н.В.* Сферические анализы геомагнитного поля по угловым данным и экстраполированному значению g_0^0 // Геомагнетизм и аэрономия. 1971. Т. 11, № 5. С.931-933.
- Бродовой В.В.* Комплексование геофизических методов. М.: Недра, 1991. 330 с.
- Бронштейн К.Г., Бокитько И.Д.* Запасы железных руд КМА // Социалистическое строительство ЦЧО. 1934. № 1-2.
- Брюнелли Б.Е.* Прибор для непосредственных измерений вертикальной составляющей земного магнитного поля // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству / Под. ред. Н.В.Пушкова. Л.: Ред.-изд. отд. ЦУЕГМС, 1936. Вып. 1. С.21-22.
- Булашевич Ю.П., Шатира В.А.* Особенности вековой вариации магнитного поля Т на Манчажской региональной аномалии в 1968-1974 гг. // Магнитные аномалии земных глубин. Киев: Наук. думка, 1976. С. 26-29.
- Булина Л.В.* Районирование фундамента восточной части Сибирской платформы по данным аэромагнитной съемки // Материалы по геофизическим исследованиям. Л., 1964. С.41-50. (Тр. ВСЕГЕИ; Т. 104).
- Булина Л.В.* Модель распределения намагниченных тел в верхней части континентальной земной коры // Геология и геофизика. 1972. № 3. С.98-102.
- Булина Л.В., Рябкова М.С.* Магнитная характеристика складчатых систем на территории СССР // Геофизические исследования при геологическом изучении территории СССР. Л., 1977. С.17-22. (Тр. ВСЕГЕИ; Т. 240).
- Булмасов А.П.* О связи региональных магнитных аномалий Сибирской платформы с базальтовым слоем земной коры // Геология и геофизика. 1962. № 7. С.32-45.
- Бураков А.И., Петухов И.А., Филиппычева Л.Г.* Скважинный протонный магнитометр МСП-А на основе динамической поляризации ядер // Геофиз. аппаратура. СПб.: Недра, 1995. Вып. 100. С.6-13.
- Бурлацкая С.П., Петрова Г.Н.* Первые результаты изучения геомагнитного поля в прошлом археомагнитным методом // Геомагнетизм и аэрономия. 1961. Т. 1, № 2. С.262-266.
- Бурлацкая С.П.* Археомагнетизм. Изучение древнего геомагнитного поля. М.: ИФЗ АН СССР, 1987. 246 с.
- Бурцев Ю.А., Захаров П.И., Ларкин В.Г., Семенов И.Х., Тимофеев Г.А.* Магнитный теодолит для измерения склонения и наклона геомагнитного поля: Препр. ИЗМИР АН СССР. № 13 (702). М., 1984. 24 с.
- Бусыгин И.А.* Эрнест Егорович Лейст. М.: Наука, 1969. 68 с.
- Бутаков Г.С., Крутиховская З.А., Силина И.М.* Памяти Андрея Александровича Строны (к 80-летию со дня рождения) // Геофиз. сб. АН УССР. Киев: Наук. думка, 1971. Вып. 43. С.88-91.
- Бюлер В.* Гаусс. Биографическое исследование. М.: Наука, 1990. 207 с.
- Вавилин Л.Н., Корнилов Ф.М.* Картировочные возможности комплексных аэрогеофизических исследований // Методы разведочной геофизики. Рудная аэрогеофизика. Л., 1989. С.98-104.

- Вальский Э.И.* Измерение земного магнитного поля при помощи магнетрона // Тр. ГГО. Вып. 5. Л., 1930. С.49.
- Валяшко Г.М.* Придонные измерения. Методика обработки и результаты интерпретации // Магнитное поле океана / Под ред. А.М.Городницкого. М.: Наука, 1993. С.47-56.
- Ваньян Л.Л., Мардерфельд Б.Е.* Некоторые закономерности магнитных бухт на Сахалине // Геомагнетизм и аэрономия. 1966. Т. 6, № 1. С.165-166.
- Ваньян Л.Л., Мардерфельд Б.Е., Родионов А.В.* Региональный и локальный береговой эффект в геомагнитных вариациях на островных дугах // Докл. АН СССР. 1967. Т. 176, № 4.
- Ваньян Л.Л., Харин Е.П.* Некоторые закономерности геомагнитных бухт в средних широтах // Геология и геофизика. 1963. № 9.
- Варнеке А.И.* Магнитные наблюдения, произведенные на клиппере “Опричник” в плавании 1883-1886 гг. // Зап. по гидрографии. 1887.
- Васильев Р.Т.* Исследование погрешностей, возникающих при наблюдении опорных сетей в аэромагнитометрии // Прикл. геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1962. Вып. 33. С.124-131.
- Васюточкин Г.С., Козлов А.Н.* Оценка разрешающей способности высокочувствительного квантового измерителя переменных магнитных полей // Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1979. Вып.69. С.18-31.
- Вахромеев Г.С.* О физико-геологической модели объекта геофизических поисков // Геофизические работы в Восточной Сибири. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1969. С.178-181.
- Вахромеев Г.С.* Общие принципы комплексирования геофизических методов при поисках рудных месторождений. Иркутск, 1970. 118 с.
- Вахромеев Г.С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1973. 152 с.
- Вахромеев Г.С., Семенченко А.Б.* К вопросу о структуре железорудных узлов и полей Ангаро-Катского района по геофизическим данным. Иркутск: Иркут. политехн. ин-т, 1981. 13 с. (Деп. ВИНТИ. № 2568-81).
- Вахромеев Г.С., Столпнер М.Н., Барышев А.С., Давыденко А.Ю.* Методические рекомендации по комплексированию геофизических методов при крупномасштабных геологосъемочных работах и поисках месторождений твердых полезных ископаемых. Л.: НПО “Рудгеофизика”, 1982.
- Вацуро А.Э., Цирель В.С., Эринчек Ю.М., Андреев В.Я.* Рекомендации по компенсации магнитных помех носителей аэрогеофизической аппаратуры. Л.: НПО Рудгеофизика, 1983. 107 с.
- Вейнберг Б.П.* Магнитная съемка Крыма, произведенная в 1900 г. П.Т.Пасальским // Зап. Импер. Акад. Наук. 1915. Т. 33, № 10. 52 с. (Магнитная съемка Российской империи; Вып. 5).
- Вейнберг Б.П.* Сводка магнитных определений в Сибири, сделанных с 1820 по 1918 г. // Изв. Ин-та по иссл. Сибири. Петроград, 1920. Т. 1.
- Вейнберг Б.П.* Магнитное склонение в Сибири в XVII и XVIII вв. // Тр. 3-го съезда Всероссийской ассоциации физиков. М., 1923. С.80-81.
- Вейнберг Б.П.* Каталог магнитных определений в СССР и сопредельных странах с 1556 по 1926 г. // Тр. Главн. геофиз. обс. Л., 1929. Вып. 1. С.5-215.
- Вейнберг Б.П.* Критерии достаточной малости расстояния между точками наблюдений при микро съемке // Изв. ГГО. 1932. № 1-2. С.19-29.
- Вейнберг Б.П.* Каталог магнитных определений в полярных странах. Разд. 1 и 2. М.: Центр. упр. Гидрометслужбы СССР, 1933. 51 с.
- Вейнберг Б.П.* О зависимости оптимального расстояния между пунктами наблюдений при магнитных микросъемках от точности измерений // Тр. ГГО. Л.;М., 1936. Вып. 5. С.30-35.
- Вейнберг Б.П.* Первая магнитная съемка и первый каталог магнитных определений на суше в мировом масштабе // Метеорология и гидрология. 1937. № 3. С.105-108.
- Вейнберг Б.П., Шибает В.П.* К вопросам об устойчивости местных магнитных возмущений и о существовании гнезд годовых изменений магнитных элементов // Докл. АН СССР. 1940. Т. 27, № 8. С.788-791.
- Вейнберг Б.П., Шибает В.П.* Каталог результатов магнитных определений на земном шаре, приведенных к равноотстоящим точкам и эпохам **1500940** гг. ????? М., 1969. 94 с.
- Вернадский В.И.* Из истории идей // Очерки и речи. Пг.: Научн. хим.-техн. изд-во, 1922.
- Вернадский В.И.* Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981.

- Виноградов А.М., Задорожко Л.И., Карпова А.С.* О связи магнитных аномалий с золотоносностью // Кольма. 1966. № 1. С.30-34.
- Витте Л.В., Василевский А.Н., Шарловская Л.А.* Перестройка коры и магнитное поле юга Восточной Сибири // Геология и геофизика. 1979. № 12. С.13-28.
- Волк В.Э., Иванов С.С., Шимараев В.Н.* Методика интерпретации аэромагнитных данных при изучении земной коры (на примере исследования шельфов северных морей). Л.: НИИГА, 1973. 88 с.
- Володарский Р.Ф.* Распределение разрывных дислокаций и их роль в формировании тектонических структур эпигерцинской платформы Предкавказья // Геофизические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1966. Сб. 2. С.193-207.
- Гайдуков Н.Е., Миков Б.Д., Кривчиков А.Ф., Запорожский Э.Ф.* Эффективность геофизических методов при поисках и разведке месторождений мезо-кайнозойских бокситов в Западной Сибири // Тр. СНИИГГиМС. Новосибирск, 1967. Вып. 58. С.142-159.
- Гайнанов А.Г., Соловьев О.Н.* О природе магнитных аномалий в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану // Докл. АН СССР. 1963. Т. 151, № 6. С.1399-1401.
- Галахов Ф.В., Китаев В.А.* К методике магнитометрических работ в Горной Шории // Вестн. Зап.-Сиб. геолого-гидрогеодез. треста. Томск: Изд. ЗСГГГТ, 1935. Вып. 1. С.61-63.
- Гаусс К.Ф.* Избранные труды по земному магнетизму. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 234 с.
- Гафаров Р.А.* Строение докембрийского фундамента Русской платформы по данным региональных геофизических исследований. М., 1963. 212 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 85).
- Гершанок Л.А., Юзвак В.П.* О выделении рифогенных массивов по гравиразведочным и магниторазведочным наблюдениям в Сылвенской впадине // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Свердловск, 1977. Вып. 1. С.108-111.
- Гильберт В.* О магните, магнитных телах и большом магните – Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 411 с.
- Гиммельфарб А.Я.* Курская магнитная аномалия // Горн. журн. 1923. № 7.
- Гиндикин С.Г.* След Эйлера в математике // Природа. 1984. № 12. С.84-94.
- Гинтов О.Б., Гутерман В.Г., Симоненко Т.Н.* Древняя структура земной коры и кольцевая зональность аномального магнитного поля // Геофиз. сб. АН УССР. Киев: Наук. думка, 1976. Вып. 73. С.37-45.
- Глаголев В.А.* Перспективы использования среднеорбитальных спутниковых радионавигационных систем навигационного обеспечения аэрогеофизических работ // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1991. Вып. 94. С.70-76.
- Глаголев В.А., Цирель В.С.* Современное состояние и перспективы спутникового навигационно-геодезического обеспечения аэрогеофизических съемок // Геофиз. аппаратура. СПб.: Недра, 1995. Вып. 99. С.19-26.
- Глазунова А.В.* Выделение и трассирование разломов по аэромагнитным данным в некоторых районах Средней Азии // Глубинные разломы. М., 1964. С.74-81.
- Глазунова А.В.* Глубинное геологическое строение Центральной Туркмении по данным аэромагнитных исследований // Методика и результаты комплексных глубинных геофизических исследований. Л., 1969. С.158-165.
- Глебовский Ю.С.* Аэромагнитные исследования Первой Советской Антарктической Экспедиции (Восточная Антарктида) // Сов. геология. 1960. № 1. С.94-115.
- Глебовский Ю.С., Мишин А.Н.* Магнитные вариации и их учет в современной аэромагниторазведке: Обзор ВИЭМС. Сер. Региональная, развед. и промысл. геофиз. М., 1981. 55 с.
- Глебовский Ю.С., Мишин А.Н.* Аэромагнитные съемки геологического назначения в СССР и Российской Федерации // Росс. геофиз. журн. 1993. № 1. С.79-81.
- Голицын Б.Б.* Физико-географические наблюдения на Новой Земле // Изв. Рос. Акад. наук. 1897. Т. 6, № 3. С.161-251.
- Головин И.В., Некрасова К.А., Петров А.И., Супруненко Э.И., Суслов М.Н., Чупров В.В.* Опыт тектонического и металлогенического районирования восточной части Балтийского щита по региональным геофизическим данным // Геофизические методы при тектоническом и прогнозно-металлогеническом районировании рудных регионов СССР. Л.: Недра, 1971. С.202-212. (Методы разведочной геофизики; Вып. 12).
- Головин И.В., Некрасова К.А., Суслов М.Н.* Некоторые черты строения и рудоперспективные зоны Украинского кристаллического массива по региональным геофизическим данным // Геофизиче-

- ские методы при тектоническом и прогнозно-металлогеническом районировании рудных регионов СССР. Л.: Недра, 1971. С.213-222. (Методы разведочной геофизики; Вып. 12).
- Головков В.П.* Аномальные изменения геомагнитного поля в сейсмоактивном районе // Геомагнетизм и аэрономия. 1969. Т. 9, № 6. С.1123-1124.
- Головков В.П.* Локальные изменения магнитного поля в сейсмоактивном районе // Геомагнетизм и аэрономия. 1971. Т. 11, № 6. С.1126-1127.
- Головков В.П., Иванов Н.А., Пудовкин И.М., Шапиро В.А.* Инструкция по поискам и изучению аномалий векового хода геомагнитного поля. М.: ИЗМИРАН, 1977. 24 с.
- Головков В.П., Куланин Н.В., Черевко Т.Н.* Аналитическая модель геомагнитного поля 1400–2050 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 1981. Т. 21, № 1. С.149-154.
- Голуб Д.П., Касьяненко Л.Г., Лизунова М.М.* Результаты интерпретации гидромагнитной съемки Северного моря // Океанология. 1982. Т. 22, № 5. С.789-794.
- Гольдшмидт В.И., Ревакин П.С., Аношин Ю.К., Дорогова С.П.* Классификация месторождений и рудопроявлений Рудного Алтая с помощью математических методов (на ЭВМ) // Вопросы рудной геофизики в Казахстане. Темат. сб. Алма-Ата: КазВМРГ, 1973. № 6. С.3-12.
- Гольцман Ф.М., Калинина Т.Б.* Априорная неопределенность выбора геолого-геофизических моделей и эффективность интерпретации гравитационных и магнитных полей // Геология и геофизика. 1991. № 6. С.127-134.
- Гольцман Ф.М., Калинина Т.Б.* Моделирование трехмерных геологических объектов по комплексу геоданных в условиях априорной неопределенности // Физика Земли. 1996. № 2. С.82-89.
- Гордин В.М.* Об определении возраста второго слоя океанической литосферы по магнитным аномалиям // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 2. С.3-15.
- Гордин В.М.* Существует ли долготный дрейф главного геомагнитного поля? // Новые методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. М.: ИФЗ АН СССР, 1989а. С.96-107.
- Гордин В.М.* Магнитное поле океанов и гипотеза Вайна-Меттьюса // Геодинамические исследования. М.: Наука, 1989б. Вып. 13. С.129-158.
- Гордин В.М.* Природа земного магнетизма: эволюция представлений от эллинов до начала XX века // Развитие гравиметрии и магнитометрии в XX веке / Под ред. В.Н.Страхова. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С.70-84.
- Гордин В.М., Любимов В.В., Попов А.Г.* Оптимизация режима измерений при работе с квантовым компонентным буксируемым магнитометром в условиях морской магнитной съемки // Экспресс-информ. ВИЭМС. Сер. Морская геол. и геофиз. М.: ВИЭМС, 1980а. № 3. С.14-26.
- Гордин В.М., Любимов В.В., Попов А.Г.* Системы гидромагнитных наблюдений с квантовыми магнитометрами: Обзор ВИЭМС. Сер. Морская геология и геофизика. М., 1980б. 72 с.
- Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Б.Д.* Морская магнитометрия. М.: Недра, 1986. 231 с.
- Горелик Г.С.* О некоторых нелинейных явлениях, происходящих при суперпозиции взаимно перпендикулярных магнитных полей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1944. № 4.
- Городницкий А.М.* О природе аномального магнитного поля над подводными горами // Проблемы Мирового океана. М.: Изд-во МГУ, 1970. С.116-118.
- Городницкий А.М.* Строение океанской литосферы и формирование подводных гор. М.: Наука, 1985. 166 с.
- Городницкий А.М., Филин А.М., Малютин Ю.Д.* Морская магнитная градиентная съемка. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 146 с.
- Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Дрбровольский И.П.* Источники электромагнитных предвестников землетрясений // Докл. АН СССР. 1980. Т. 250, № 2. С.323-326.
- Грачев Е.А., Григорян О.Р., Riedler W. и др.* Магнитометрическая система аппаратуры СПРУТ-VI // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 1. С.127-133.
- Гришин М.П., Пятницкий В.К., Ремпель Г.Г.* Строение фундамента Сибирской платформы // Тр. СНИИГГиМС. Новосибирск, 1967. Вып. 63. С.28-40.
- Грязновская Ф.В., Поляков А.В., Почтарев В.И., Пудовкин И.М.* Предварительные результаты исследований аномалий векового хода в сейсмоактивной зоне Южного Казахстана // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. Т. 12, № 1. С.157-161.
- Гурфинкель Ю.И., Любимов В.В., Ораевский В.Н.* Опыт применения диагностического магнитометра в клинике неотложных состояний // Биофизика. 1995. Т. 40, вып. 5. С.1042-1049.
- Гурштейн А.А.* Наука и протонаука // Природа. 1985. № 4. С.90-99.

- Гусев П.И., Бронштейн К.Г. Изучение суточных вариаций магнитного поля на аномалии // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству / Под ред. Н.В.Пушкова. Л.;М.: Изд. Гл. упр. Гидрометслужбы при СНК СССР, 1937. № 3. С.33-35.
- Давыденко А.Ю., Вахромеев Г.С. Способы расчета параметров статистических и стохастических физико-геологических моделей // Геофизические методы поисков разведки рудных и нерудных месторождений. Межвузовск. сб. Свердловск, 1984. Вып. 10. С.3-8.
- Дайел П., Паркин К. Магнетизм Луны // Успехи физ. наук. 1972. Т. 108, вып. 1.
- Дашевская Е.И., Козлов А.Н., Пестов Е.Н. Сдвиги частоты квантового цезиевого магнитометра в земном магнитном поле // Приборы и методы измерения магнитных полей. Фрунзе: Илим, 1968. С.91-98.
- Декарт Р. Избранные произведения. М.: Изд-во АН СССР, 1950.
- Деменицкая Р.М., Городницкий А.М., Каминский В.Д., Литвинов Э.М. Подводные горы: проблемы геофизического изучения. Л.: Недра, 1978. 162 с.
- Демина И.М. Теоретические и практические аспекты создания и интерпретации карт магнитного поля Балтики: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1999.
- Денисов Ю.Н. Универсальный ядерный магнитометр // Приборы и техника эксперимента. 1958. № 5. С.67.
- Дженни В.П. Несколько примеров из практики магнитной разведки // Геофизические методы в нефтяной разведке. Магнитометрия. Сб. переводов. М.: ОНТИ, 1937. Вып. 3.
- Дзабаев А.А. Перспективы развития магниторазведки для поисков полезных ископаемых в осадочных породах // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1977. Вып. 60. С.8-16.
- Дзабаев А.А. Использование высокоточной магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа в юго-западной Туркмении // Сов. геология. 1978. № 6. С.133-138.
- Диков И. Магнитные наблюдения в Черном море в 1859 и 1860 г. // Морской сб. 1861. Вып. 3.
- Диков И. Об исследовании аномалий в расположении магнитных линий близ Одессы // Морской сб. 1863. Вып. 8.
- Диков И. Магнитные наблюдения в Черном море в 1875 г. // Морской сб. 1876. Вып. 6.
- Долгаль А.С., Чехович К.М., Наумов А.Г., Харитонов С.А. Компьютерная технология интерпретации геопотенциальных полей при поисках медно-никелево-платиновых руд в Норильском районе // Геофизические исследования в Средней Сибири. Красноярск, 1997. С.243-255.
- Долгинов Ш.Ш. Магнетизм планет // Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. Итоги науки и техники. Т. 5. М.: ВИНТИ, 1980. С.131-166.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В. Измерение магнитного поля в окрестности Луны на искусственном спутнике "Луна-10" // Докл. АН СССР. 1966. Т. 170, № 3. С.574-577.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н. Исследование магнитного поля с межпланетной станции "Венера-4" // Космические исследования. 1968. Т. 6, вып. 4. С.561-575.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н. Магнитное поле в ближайшей окрестности Марса по данным спутников Марс-2 и Марс-3 // Докл. АН СССР. 1972. Т. 207, № 6. С.1296.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н., Шарова В.А. Магнитное поле Марса по данным спутника "Марс-5" // Докл. АН СССР. 1974. Т. 218, № 4. С.795.
- Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н., Шарова В.А., Внучков Г.А. и др. Магнетизм и электропроводность Луны по данным "Лунохода-2" // Космохимия Луны и планет. М., 1975. С.314-322.
- Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н., Пушков Н.В. Предварительные сообщения о геомагнитных измерениях на третьем искусственном спутнике Земли // Искусственные спутники Земли. М., 1958. Вып. 2. С.50-53.
- Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н., Селютин В.А. Магнитометрическая аппаратура третьего Советского искусственного спутника Земли // Искусственные спутники Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Вып. 4.
- Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. М.: Наука, 1979. 317 с.
- Дубинский В.Х. Определение элементов земного магнетизма в Каменец-Подольске, Хотине и Одессе осенью 1895 г. // Изв. Имп. Акад. наук. 1898. Т. 8, № 1. С.77-84.
- Духовский А.А., Акрамовский И.И., Аглонов В.С. и др. Объемное геологическое картирование редкометальных рудных районов. Л., 1981. 303 с.

- Духовский А.А., Артамонова Н.А.* Объемная модель и рудоносность гнейсо-гранитных структур Балтийского щита (на примере Северного Приладожья) // Геология рудных месторождений. 1994. № 6. С.554-564.
- Евдокимов И.М., Селезнева Г.В., Евдокимов С.И.* Изучение магнитных аномалий методом индуктивной петли // Разведка и охрана недр. 1993. № 4. С.35-37.
- Емельянов Г.И.* Физико-геологические предпосылки корреляционного комплексирования гравитационного и магнитного полей при нефтепоисках // Вопросы геолого-математического анализа данных при поисках полезных ископаемых БССР. Минск, 1986. С.53-72.
- Жаворонкин И.С., Страхов В.Н.* Об интерпретации сложных магнитных аномалий Белгородского района КМА // Прикл. геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1961. Вып. 31. С.248-256.
- Жакеев Т.М.* Геолого-геофизические модели месторождений Атасуйского района // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1990. № 4. С.48-57.
- Жданко М.Е.* Магнитная карта Балтийского моря с линиями равного склонения для эпохи 1889,5 // Морской сб. 1890. Вып. 8.
- Жданко М.Е.* Магнитная карта Черного и Азовского морей с линиями равного склонения для эпохи 1891,0 года // Морской сб. 1891. Вып. 3.
- Желамков В.А., Столпнер М.Н., Боровко Н.Н.* Проведение геофизических работ при изучении металлогении рудных районов (методические рекомендации). Л.: ВИРГ, 1972. 147 с.
- Жиров Г.К., Трипольский В.П.* Методические рекомендации по автомагнитной съемке с квантовым магнитометром ММА-301. Алма-Ата: КазВИРГ, 1979. 97 с.
- Заборовский А.И.* О методах магнитных измерений, применявшихся летом 1919 г. в техническом отряде по исследованию КМА // Комиссия по исследованиям Курской магнитной аномалии при Московском отделении КЕПС. Отчет о работе Комиссии за 1919 г. / Под ред. П.П.Лазарева. М.: Госиздат, 1920.
- Заборовский А.И.* Магнитная съемка в Нефте-Чала // Нефтяное хозяйство. 1929. № 5. С.643-653.
- Заборовский А.И.* О первых исследованиях Курской магнитной аномалии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1970. № 4. С.6-13.
- Зайцев О.Ф.* О чувствительности измерителей геомагнитного азимута с модульными датчиками // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1982. Вып. 75. С.17-22.
- Зандер В.Н., Томашунас Ю.И., Берковский А.Н., Суворова Л.В., Дедеев В.А., Кратц К.О.* Геологическое строение фундамента Русской плиты. Л.: Недра, 1967. 122 с.
- Зарудный В.* Об аномалиях в местных притяжениях, встречающихся при определении склонения магнитной стрелки на морских берегах // Морской сб. 1870. № 5. С.137.
- Зацепин Н.Н., Щербинин В.Е.* О дефектоскопии сварных труб феррозондовым методом // Дефектоскопия. 1968. № 2.
- Зацепин Н.Н., Коржова Л.В.* Магнитная дефектоскопия. Минск: Наука и Техника, 1981.
- Зацепин Н.Н., Горбаш В.Г.* Феррозондовые преобразователи с поперечным возбуждением. Минск: Наука и Техника, 1988. 111 с.
- Зверев А.С., Кириаков В.Х., Любимов В.В.* Регистратор магнитной активности // Приборы и техника эксперимента. 1997. № 1. С.168.
- Зимин И.А., Халевина М.Б.* Об использовании магнитометрических данных при оценке запасов магнетитовых месторождений // Разведка и охрана недр. 1958. № 8.
- Иванов М.М.* О вековом ходе магнитного поля в Атлантическом и Индийском океанах // Геомагнетизм и аэрономия. 1961. Т. 1, № 4. С.588-593.
- Иванов М.М.* Некоторые вопросы строения дна Атлантического и Индийского океанов по магнитным данным // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. 3, № 1. С.127-139.
- Иванов М.М.* Магнитная съемка океанов. М.: Наука, 1966. 183 с.
- Иголкина Г.В., Астраханцев Ю.Г., Глухих И.И., Литвинов Е.П.* Перспективы и возможности скважинной магнитометрии при исследовании осадочных разрезов и палеозойского фундамента Западной Сибири по результатам измерений в глубоких скважинах // Электрические и электромагнитные исследования в нефтегазовых скважинах. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. С.291-298.
- Изотопов В.П.* Феррозондовый контроль проката с поперечным локальным намагничиванием переменным полем // Дефектоскопия. 1975. № 3.

- Ильина Т.Д.* Значение русских исследований XVIII–XIX вв. в изучении магнитного поля Земли // Развитие идей и методов в геологии. М.: Наука, 1986. С.60-72.
- Иноходцев П.Б.* Сводка астрономических наблюдений для определения положения г. Курска в 1783 г. // Acta Acad. Sci. Imper. Peterb. 1785. Vol. 2. P.384-388.
- Казанли Д.Н.* Геофизические данные при анализе металлогении и построении прогнозов в Казахстане // Металлогенические и прогнозные карты. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1959. С.194-198.
- Калашиников А.Г.* Вопросы земного магнетизма в работе М.В.Ломоносова “Рассуждение о большей точности морского пути” // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1950. № 5. С.385-391.
- Калашиников А.Г.* Вильям Гильберт и научное значение его труда “О магните” // Послесловие и комментарий к кн. В.Гильберта “О магните, магнитных телах и большом магните – Земле”. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С.315-404.
- Калинин Ю.Д.* Вековые геомагнитные вариации. Новосибирск: Наука, 1984. 160 с.
- Калинина Т.Б., Гольцман Ф.М.* Развитие информационно-статистических методов решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки в XX веке // Развитие гравиметрии и магнитометрии в XX веке / Под ред. В.Н.Страхова. М., ОИФЗ РАН, 1997. С.221-229.
- Кальварская В.П.* Исследование кривых каротажа магнитной восприимчивости (КМВ) в моделях // Вопросы геофизики. Л., 1959. Вып. 11. С.143-148. (Уч. зап. Ленингр. ун-та. № 278. Сер. физ. и геол. наук).
- Кант И.* Критика чистого разума. Соч. Т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1964.
- Канторович В.Л.* Географические ограничения приближенной компенсации магнитных полей самолета // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1971. Вып. 45. С.44-46.
- Катица П.Л.* Научная деятельность Вениамина Франклина // Усп. физ. наук. 1956. Т. 58, № 2. С.169-182.
- Карасик А.М.* Методика применения импульсной дальномерной ультракоротковолновой системы при аэрогеофизической съемке. // Информ. бюлл. НИИГА. Л., 1960. № 20. С.45-53.
- Карасик А.М.* Магнитные аномалии и гипотеза разрастания океанического дна // Геотектоника. 1971. № 2. С.3-19.
- Карасик А.М.* Геоисторический анализ океанического магнитного поля // Геофизические методы исследования Мирового океана. Л.: НИИГА, 1979. С.31-43.
- Карасик А.М., Морозов А.С.* Опыт применения протонно-прецессионного магнитометра при аэромагнитной съемке Северного Ледовитого океана // Геофиз. приборостроение. Л.: Недра, 1964. Вып. 19. С.74-85.
- Карасик А.М., Рубинчик М.Х.* К вопросу о применимости прямого способа учета вариаций при аэромагнитной съемке в Арктическом бассейне // Уч.зап. НИИГА, Региональная геология. Л.: НИИГА, 1964. № 4. С.195-211.
- Карасик А.М., Сочеванова Н.А.* Оси магнитных аномалий на акватории Мирового океана (по состоянию на 1 января 1981 г.) // Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии на акватории морей и океанов электромагнитными методами. М.: ИЗМИРАН, 1981. С.205-212.
- Каратаев Г.И.* Корреляционная схема геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Новосибирск: Наука, 1966. 133 с.
- Каратаев Г.И.* Строение земной коры Западной Сибири по геофизическим данным // Геология и геофизика. 1969. № 11. С.28-29.
- Каратаев Г.И., Пашкевич И.К.* Геолого-математический анализ комплекса геофизических полей. Киев: Наук. думка, 1986. 168 с.
- Каратаев Г.И., Фомина Н.Ф.* Применение прогнозирующей системы “Припять” при поисках нефтеперспективных объектов по данным детальной гравиразведки и магниторазведки // Математические методы и ЭВМ при поисках полезных ископаемых БССР. Минск, 1982. С.34-56.
- Кароль Б.П.* Академик Г.И.Вилдъд. М.: Гидрометеиздат, 1988. 152 с.
- Карта магнитного поля Н_т ????? СССР. М-б 1:2 500 000 / Под ред. М.А.Васильевой, С.В.Пастушенко и Н.П.Яновской. Л.: Ленкартфабрика, 1979.
- Карта аномального магнитного поля ΔT_a СССР. Масштаб 1: 2 500 000 / Под ред. З.А.Макаровой. М., 1977. 16 л.
- Карус Е.В., Березкин В.М., Филатов В.Г.* “Интерпродолжение” потенциальных полей – “физическая” регуляризация уравнения Пуассона на основе полного градиента и принципа концентрации масс // Докл. АН СССР. 1988. Т. 303, № 6. С.1335-1337.

- Карцев В.П.* Магнит за три тысячелетия. М.: Атомиздат, 1972. 158 с.
- Кассин Г.Г., Суворов В.В., Филатов В.В.* Возможности высокоточной аэромагнитной съемки для изучения послонной зональности осадочных отложений при поисках локальных структур // Латеральная изменчивость состава и физических свойств отложений и ее отображение в геофизических полях при поисках нефти и газа. Тезисы докл. Пермь, 1978. С.51-52.
- Кассин Г.Г., Шихов С.А., Шеринев К.С., Степанов В.П., Сосланд С.А., Аничкина М.К.* О прогнозировании рифогенных структур Урало-Поволжья по магнитным аномалиям, связанным с платформенным магматизмом // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Межвузовск. сб. Свердловск, 1979. Вып. 5. С.24-30.
- Касьяненко Л.Г., Карасик А.М.* Методические работы по изучению вековых вариаций на акваториях // Морские геомагнитные исследования на нис "Заря". М.: Наука, 1986. С.101-113.
- Касьяненко Л.Г., Цуцкарев Б.М.* Цели и задачи экспедиционных работ на НИС "Заря". Хронология рейсов // Морские геомагнитные исследования на нис "Заря". М.: Наука, 1986. С.8-16.
- Касьяненко Л.Г., Горшков Э.С., Золотов И.Г., Розе Е.Н.* Использование магнитометрических методов для обнаружения затопленного химического оружия // Росс. геофиз. журн. 1997. № 7-8. С.75-81.
- Капитанов В.А.* Локальный нефтепрогноз по данным аэромагнитной съемки // Геология нефти и газа. 1988. № 12. С.7-12.
- Кедров Б.М.* Еще раз о современной классификации наук // Наука и жизнь. 1981. № 5. С.33-36.
- Киселев М.И., Скорняков С.М., Тарасов В.Н., Поздняков С.А.* Становление и развитие отечественной разведочной геофизики. Магниторазведка // Геофиз. вестн. 1998. № 9. С.10-15.
- Климов Н.И., Пенкевич М.С.* Краткое наставление по производству магнитных наблюдений универсальным магнитометром типа "Комбайн". Л.: ГГО, 1936.
- Коваль Л.А., Гольдшмидт В.И.* Автоматизированная система обработки данных магниторазведки с применением ЭВМ (АСОМ-АМ). Алма-Ата: КазВИРГ, 1973. 222 с.
- Коваль Л.А., Долгов С.В., Лиокумович Г.Б. и др.* Методические рекомендации по применению автоматизированной системы обработки аэрогеофизических данных на ЭВМ ЕС (АСОМ-АГС/ЕС). Алма-Ата: КазВИРГ, 1984.
- Коган А.Б.* Теория, методика НСЧФ и результаты изучения геомагнитного поля Сибирской платформы. Л.: Недра, 1975. 118 с. (Тр. ВНИГРИ; Вып. 365).
- Козлов А.Н.* Квантовые вариометры магнитного поля // Экспериментальные исследования геомагнитного поля. М.: Наука, 1984. С.31-39.
- Козлов А.Н., Перунов Б.С., Фастовский У.В.* О двух способах настройки квантового самогенерирующего магнитометра // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1968. Вып. 36. С.53-60.
- Козлов А.Н., Оганесян Г.М., Сквородкин Ю.П.* Возникновение электрических и магнитных полей во влагонасыщенных и сухих образцах горных пород под действием давления // Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1989. Т. 88, № 3. С.135-139.
- Козлов А.Н., Пушков А.Н., Рахматуллин Р.Ш., Сквородкин Ю.П.* Магнитные эффекты при взрывах в горных породах // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1974. № 3. С.66-71.
- Колесова В.И.* Аналитические методы магнитной картографии. М.: Наука, 1985. 221 с.
- Коллингвуд Р.Дж.* Идея истории. Автобиография. М.: Наука, 1980. 485 с.
- Коломийцева Г.И., Пушков А.Н.* Аналитическая модель главного геомагнитного поля на интервале 2000 лет // Пространственно-временная структура геомагнитного поля. М.: Наука, 1976. С.52-67.
- Константинов Г.Н., Константинова Л.С.* Опыт применения метода моделирования при интерпретации магнитного поля Таштагольского железорудного месторождения // Геология и геофизика. 1967. № 12. С.86-96.
- Константинов Г.Н., Константинова Л.С.* Моделирование в рудной магниторазведке: Методическое пособие. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1971. 75 с.
- Корепанов В.Е., Елизаров Б.В., Полишко В.Б. и др.* Морской протонный магнитометр "Могус" // Электромагнитные зондирования. М., 1987. С.158-162.
- Кракау Е.В.* Вековые изменения геомагнитного поля в Крыму с 1900 по 1936 гг. // Тр. ГГО. Л., 1939. Вып. 29. С.80.
- Кракау Е.В., Малинина Н.Е., Пенкевич М.С.* Магнитная съемка, произведенная в Липецком железорудном районе в 1925 г. // Изв. Ин-та прикл. геофиз. Л., 1926. Вып. 2. С.83-95.

- Красильников А.И., Любимов В.В., Перунов В.С. и др.* Квантовые магнитометры разработки СКБ ФП АН СССР // Анализ пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: ИЗМИРАН, 1975. С.248-262.
- Кратц К.О., Берковский А.Н., Бондаренко Л.П. и др.* Основные проблемы геологического строения Русской платформы. Л.: Наука, 1979. 120 с.
- Кратцеништерн Х.А.* Опыт решения географо-магнитной задачи, Санкт-Петербургской Императорской академией на 1793 г. предложенной. СПб., 1801.
- Крутиховская З.А.* Вопросы методики геофизических исследований с целью поисков богатых руд Криворожского типа // Тр. Ин-та геол. наук. АН УССР. Сер. геофиз. Киев, 1956. Вып. 1. С.75-87.
- Крутиховская З.А.* Глубинное строение и прогнозная оценка Украинской железорудной провинции. Киев: Наук. думка, 1971. 207 с.
- Крутиховская З.А., Кужелов Г.К.* Применение геофизических методов для изучения железорудной формации Украинского кристаллического щита. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 130 с.
- Крутиховская З.А., Шмидт Н.Г.* Геофизические методы поисков и разведки железорудных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 78 с.
- Крутиховская З.А., Пашкевич И.К., Силина И.М.* Магнитная модель Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1982. 214 с.
- Крутиховская З.А., Елисеева С.В., Негруца В.З., Сливинская Г.В.* Региональные магнитные аномалии древних щитов и плит – индикаторы рифтогенеза раннего докембрия // Докл. АН СССР. 1986. Т. 288, № 4. С.950-954.
- Крылов А.Н.* Вычисление делений сил дефлектора компаса // Зап. по гидрографии. 1887. Вып. 2. С.64-81.
- Крылов А.Н.* О земном магнетизме // Собр. трудов. Т. 2. Ч. 2. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1947а. С.7-152.
- Крылов А.Н.* Возмущения показаний компаса, происходящие от качки корабля на волнении // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1938. № 5-6. С.439-475. Собр. трудов. Т. 2. Ч. 2. М.;Л.: Изд-во АН СССР. 1947б. С.153-192.
- Крылов А.Н.* Основания девиации компаса. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 71 с.
- Крюков С.М., Левин Д.В.* Учет вариаций магнитного поля по трем станциям // Геофизические методы разведки в Арктике. Л.: Гостоптехиздат, 1962. Вып. 4. С.163-165. (Тр. НИИГА; Т. 132).
- Кудрявцев П.С., Конфедератов И.Я.* История физики и техники. М.: Госпедиздат, 1960. 507 с.
- Кузнецов Б.М., Воронков И.О.* Полевой компонентный протонный магнитометр на основе серийного прибора ММП-203. М., 1987. 10 с. (Препр, ИЗМИР АН СССР. № 7 (696)).
- Кузнецова В.Г.* Итоги изучения временных геомагнитных вариаций на Карптском геодинамическом полигоне за 1976-1980 гг. // Исследования геомагнитного поля и палеомагнетизма / Под ред. З.А.Крутиховской. Киев: Наук. думка, 1983. С.99-110.
- Кузнецова В.Г., Мельничук М.И., Максимчук В.Е.* Некоторые вопросы методики изучения аномалий векового хода геомагнитного поля // Геофиз. сб. АН УССР. Киев: Наук. думка, 1977. Вып. 75. С.39-44.
- Куланин Н.В.* Магнитное склонение в европейском регионе до и после Колумба. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 139 с.
- Кулик И.О., Янсон И.К.* Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах. М.: Наука, 1970. 272 с.
- Куликов Г.Н., Мавричев В.Г.* Аэромагниторазведка на нефть и газ // Геофизика. 1995. № 2. С.37-42.
- Кун Т.* Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977. 300 с.
- Кунин Н.Я., Самойлюк Л.А.* Особенности строения и развития главных систем рифтов Западной Сибири по геолого-геофизическим данным // Континентальный и океанский рифтогенез. М., 1982. С.12-15.
- Лазарев А.П.* Плавание вокруг света военного шлюпа “Благонамеренный”. М.: Географиздат, 1950. 475 с.
- Латина М.И.* Геомагнитные и сейсмические явления // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1953. № 5. С.393-404.
- Лапко А.П., Агульник О.И., Щепетов В.В., Пыстин А.А.* Геодезическое обеспечение аэромагнитной съемки с использованием радиогеодезической системы “Мир-3” // Геодезия и картография. 1984. № 8. С.21-23.

- Ларионов В.А.* К проблеме разделения магнитных аномалий на рудные и безрудные при поисках и разведке железорудных месторождений типа Горношорских // Состояние и перспективы развития разведочной геофизики. Материалы научн.-техн. геофиз. конф. М.: Гостоптехиздат, 1961. С.526-527.
- Ларионов В.А.* Изучение временных изменений аномальных магнитных полей на Байкальском геодинамическом полигоне // Современные движения земной коры. Новосибирск, 1976. С.48-54.
- Ларионов В.А., Нагорский Д.А.* Результаты геомагнитных измерений на Байкальском геодинамическом полигоне // Современные движения земной коры. Тарту, 1973. № 5. С.261-265.
- Лебедев Ю.А.* Аэрогеофизическая цифровая система обработки на ЭВМ ЕС данных аэрогеофизических съемок АЦС-1 // Магниторазведка. Справочник геофизика / Под ред. В.Е.Никитского, Ю.С.Глебовского. 2-е изд. М.: Недра, 1990. С.348-352.
- Левин Д.В., Крюков С.М.* Результаты полевых работ аэромагнитной экспедиции 1959 года // Информ. бюлл. НИИГА. 1960. № 18. С.53-58.
- Левин Д.В., Крюков С.М., Карасик А.М.* Аэромагнитная съемка центрального сектора Советского Севера // Аэромагнитная съемка в геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С.85-97.
- Лейбов М.Б., Мелихов В.Р., Булычев А.А., Шамаро А.М., Углов Б.Д., Гайнанов А.Г.* Современные методы повышения точности морских магнитных съемок: Обзор ВИЭМС. Сер. Морская геол. и геофиз. 1988. № 4. 48 с.
- Лейбов М.Б., Яковлев А.Г., Шматков А.Г.* Математическое моделирование гидромагнитной градиентометрической съемки при неоднородном поле вариаций магнитного поля Земли // Вестн. МГУ. Сер. геология. 1989. № 3. С.70-82.
- Лейст Э.Е.* О географическом распределении нормального и аномального магнетизма. М., 1899. 247 с.
- Лейст Э.Е.* Курская магнитная аномалия. М., 1921. 72 с.
- Лейст Э.Е., Пасальский П.Т.* Установка магнитных вариационных приборов в магнито-метеорологической обсерватории Императорского Новороссийского университета. Одесса, 1897. 21 с.
- Ленц Э.Х.* Наблюдения над наклоном и степенью магнитной силы магнитной стрелки, произведенные в плавании вокруг света на шлюпе Сенявин в 1826, 27, 28 и 29 годах, флота капитана Литке. СПб., 1836.
- Ливанов М.Н., Козлов А.Н., Корневский А.В. и др.* О регистрации магнитных полей человека // Докл. АН СССР. 1978. Т. 238, № 1. С.253-256.
- Литвинова Т.П., Макарова З.А., Шмиярова Н.П.* Карта аномального магнитного поля (T_a) территории СССР и некоторых прилегающих акваторий: М-б 1: 10 000 000. Объяснит. записка. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 52 с.
- Лишневский Э.Н.* Магнитное поле как индикатор провинций оловорудного и молибденового профиля // Докл. АН СССР. 1982. Т. 266, № 2. С.429-432.
- Лишневский Э.Н.* Геолого-геофизическая характеристика олово- и молибденоносных рудообразующих систем // Геология рудных месторождений. 1991. № 5. С. 55-68.
- Лишневский Э.Н., Бескин С.М.* Структурно-геологическая позиция редкометальных и щелочных гранитов по геофизическим данным // Геология рудных месторождений. 1993. № 6. С.481-492.
- Логачев А.А.* Опыт магнитной съемки с самолета // Разведка недр. 1936. № 17. С.40-41.
- Логачев А.А.* Воздушная магнитная съемка и опыт ее применения в геолого-поисковых работах. М.;Л.: Госгеолтехиздат, 1947а. 80 с.
- Логачев А.А.* Применение аэромагнитной съемки при поисках железорудных месторождений // Материалы ВСЕГЕИ. Геофизика. М.;Л.: Госгеолиздат, 1947б. Сб. 11. С.3-7.
- Логачев А.А.* Методическое руководство по аэромагнитной съемке. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 145 с.
- Лозинская А.М., Миндлин Л.Е.* Опыт радиогеодезической привязки детальной аэромагнитной съемки // Прикладная геофиз. М.: Гостоптехиздат, 1960. Вып. 24. С.213-221.
- Ломоносов М.В.* Рассуждение о большей точности морского пути // Полн. собр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 4. С.162-170.
- Лощаков А.И.* К вопросу об интерпретации аэромагнитных наблюдений, проведенных в алмазонасных районах Западной Якутии // Применение аэрометодов при поисках коренных месторождений алмазов. Иркутск, 1960. С.85-100.

- Луговенко В.Н.* Статистический анализ аномального магнитного поля территории СССР. М.: Наука, 1974. 200 с.
- Лысенко П.А., Лебедев Т.И., Каменская Т.Я., Масленников А.Н., Мухин А.С.* Общая характеристика магнитных аномалий Горной Шории, Кузнецкого Алатау и Салаира // Железородные месторождения Алтае-Саянской области. М.: Изд-во АН СССР, 1958. Т. 1. Кн. 1.
- Лысенко Н.М., Матвеев М.А.* Опыт применения феррозондов для искательной системы магнитного рельсового дефектоскопа // Тр. ИФМ АН СССР. Свердловск, 1959. Вып. 21.
- Любимов В.В., Гурфинкель Ю.И., Ораевский В.Н.* Опыт применения диагностических магнитометров в условиях города и в клиниках: Препр. ИЗМИРАН. № 99 (1046). М., 1993. 23 с.
- Любимов В.В., Заруцкий А.А.* Диагностический магнитометр – индикатор магнитных бурь // Приборы и техника эксперимента. 1996. № 2. С.171.
- Любимов В.В., Перфилов В.И.* Новые разработки квантовой магнитометрической аппаратуры СКБ ФП АН СССР // Исследования космической плазмы. М.: ИЗМИРАН, 1980. С.159-170.
- Любимов В.В., Перфилов В.И.* Выбор метода измерений и прогнозные оценки точности квантовых компонентных магнитометров при ГМС // Аппаратура для исследований геомагнитного поля. М.: ИЗМИРАН, 1983. С.134-142.
- Ляхов Б.М.* История геомагнитных исследований в ИЗМИРАН. М., 1989. 58 с.
- Мавлянов Г.А., Уломов В.И., Абдуллабеков К.Н. и др.* Аномальные вариации геомагнитного поля в Восточной Фергане – предвестник Алайского землетрясения 2.XI.1978 г. // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246, № 2. С.294-297.
- Мавричев В.Г., Травников Б.П., Тихонова В.А. Хатьянов Ф.И.* Возможности аэромагниторазведки с высокочувствительной аппаратурой в изучении послылой зональности осадочных отложений при поисках локальных структур // Латеральная изменчивость состава и физических свойств отложений и их отражение в геофизических полях при поисках нефти и газа. Пермь, 1978. С.53-56.
- Магницкий В.А.* Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 378 с.
- Мазарович О.А., Найдин Д.П., Цейслер В.М.* Палеомагнитные и историко-геологические реконструкции: проблемы и нерешенные вопросы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1991. Т. 66, вып. 1. С.103-110.
- Майдель Э.* Магнитная аномалия у Одессы // Морской сб. 1883. Вып. 3. С.107-112.
- Майдель Э.* Магнитные наблюдения Черного моря с 1880 по 1886 г. // Морской сб. 1890. Вып. 10.
- Мак-Дональд Д.* Фарадей, Максвелл и Кельвин. М.: Атомиздат, 1967. 157 с.
- Максимов Б.И.* Применение магнитометрии в разведке соляных структур центральной части Днепров-Донецкой впадины // Разведка недр. 1938. № 10.
- Максимов Б.И.* Магнитная разведка в нефтяной промышленности // Прикл. геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1950. Вып. 7. С.85-97.
- Малинина Н.Е.* Изучение магнитного поля Земли в СССР. М.: Наука, 1978. 59 с.
- Малинина Н.Е., Розе Н.В.* Некоторые результаты изучения векового хода земного магнетизма на Европейской территории СССР // Геофизика и метеорология. 1926. № 3.
- Мальшиев Ю.Ф.* Геофизические исследования докембрия Алданского щита. М.: Наука, 1977. 127 с.
- Манилов Ф.И., Саксин Б.Г., Иволга Е.Г.* Крупномасштабное объемное геолого-геофизическое картирование рудных районов Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 1986. № 2. С.106-112.
- Мансуров С.М.* О некоторых особенностях переменного магнитного поля в районе южнополярной обсерватории Мирный // Магнитосферные возмущения. М.: Наука, 1959. С.64-66.
- Мардерфельд Б.Е.* Береговой эффект в геомагнитных вариациях. М.: Наука, 1977. 80 с.
- Мардерфельд Б.Е., Верховский В.Н.* Выявление и изучение локальных источников вековых вариаций магнитного поля Земли на острове Сахалин и связь их с сильными землетрясениями // Земная кора и верхняя мантия Азиатской части Тихоокеанского кольца. Геофиз. сб. Южно-Сахалинск, 1975. № 5. С.258-260. (Тр. СахКНИИ ДВНЦ АН СССР; Вып. 37).
- Матусевич Н.* Исследование нового универсального магнитного теодолита системы Н.Н.Оглоблинского // Зап. по гидрографии. 1927. Т. 52.
- Мачинин В.А., Цветков Ю.П., Пушков А.Н., Харитонов А.Л.* Буйковый дифференциальный протонный магнитометр для учета временных вариаций геомагнитного поля // Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований / Под ред. А.Н.Пушкова. М.: ИЗМИРАН, 1980. С.51-59.
- Мегеря В.М., Чащин А.Н.* Связь гравимагнитных полей со структурами чехла и их нефтеносностью // Проблемы нефти и газа Тюмени. Тюмень, 1979. С.7-8. (Тр. ЗапСибНИГНИ; Вып. 43).

- Меджитов Р.Д., Молочнов В.Я., Есипенко Е.И., Герасимов В.А.* Морской магнитометр на основе эффекта Джозефсона // *Электромагнитные зондирования*. М., 1987. С.140-141.
- Мельгуй М.А.* Магнитный контроль механических свойств сталей. Минск: Наука и Техника, 1980.
- Менакер Г.И.* Координаты рудных месторождений в физических полях как основа для модели регионального металлогенического районирования // *Докл. АН СССР*. 1970. Т. 191, № 4. С.889-892.
- Менделеев Д.И.* Магнитные наблюдения, произведенные при поездке на Урал // *Собр. соч.* Т. 7. М.: Изд-во АН СССР, 1946.
- Меньшиков П.Н.* Опыт применения геофизических методов при поисках кимберлитовых трубок // *Разведка и охрана недр*. 1957. № 4. С.42-49.
- Мигдал А.* От догадки до истины // *Природа*, 1992. № 4. С.101.
- Милов Б.Д.* Гравиразведка и магниторазведка при поисках объектов трубчатой формы. М.: Недра, 1985. 92 с.
- Милов Б.Д., Авраменко В.И., Мосиенко Б.А., Изаров В.Т., Романов Н.Н.* Методика изучения, обработки и интерпретации магнитных и гравитационных полей при поисках кимберлитовых тел в траппах (Методические рекомендации). Новосибирск: СНИИГГиМС, 1977. 103 с.
- Милов Б.Д., Изаров В.Т., Мосиенко Б.А., Ватлин Б.П., Писарева Т.И., Безбородов Л.И.* Методика стохастического анализа магнитного поля в связи с поисками кимберлитовых тел в условиях развития траппов // *Вопросы рудной геофизики Сибири*. Новосибирск, 1969. С.61-64. (Тр. СНИИГГиМС; Вып. 92).
- Милов Д.С.* Магнитометрические работы на Урале // *Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству*. Л.;М.: Изд-во Гл. упр. Гидромет. службы СССР при СНК СССР, 1937. № 3. С.81-83.
- Миллер Ф.Ф.* Исследование земного магнетизма в восточной Сибири. Результаты экспедиции на Нижнюю Тунгуску и Оленек // *Изв. Росс. геогр. общ-ва*. 1895. Т. 29, № 1.
- Михлин Б.З., Селезнев В.П., Селезнев А.В.* Геомагнитная навигация. М.: Машиностроение, 1976. 280 с.
- Моисеев Н.Н.* Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990. 351 с.
- Морозов Л.Н., Коровкина Г.М., Моренко В.С. и др.* Методические рекомендации по применению автоматизированной системы обработки и интерпретации геофизических данных на железорудных месторождениях на ЭВМ ЕС (СМАГ). Алма-Ата: КазВИРГ, 1987. 154 с.
- Мошинская И.П.* Кольцевые магнитные аномалии Русской плиты и их связь с кольцевыми магматическими структурами // *Прикладная геофиз.* М.: Недра, 1978. Вып. 90. С.135-146.
- Муро Т.* Магнитные наблюдения, произведенные в Курской губернии в 1896 г. // *Зап. Императ. Русск. Геогр. общ-ва*. 1898. Т. 32, № 3.
- Мухаметшин А.М.* Подземная векторная магнитометрия в рудничной геологии. Екатеринбург: ИГД УрО АН СССР, 1997. 214 с.
- Мюхкюра В.И.* К вопросу о создании мобильного компонентного протонного магнитометра (компонентный вариант ММП-203) // *Геофизическая характеристика и сейсмичность Киргизского Тянь-Шаня*. Фрунзе, 1984. С.189-202.
- Назаров В.П.* Применение магнитометров и магнитоприводов в космических аппаратах за рубежом // *Геофиз. аппаратура*. Л.: Недра, 1965. Вып. 23. С.27-42.
- Налимов В.В.* Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 207 с.
- Нассонов В.А.* Оценка геологической перспективности магнитных и гравитационных аномалий при поисках месторождений полезных ископаемых. Алма-Ата, 1975. 102 с.
- Никитин С.Н.* Два глубоких бурения в связи с явлениями магнитных аномалий в Курской губернии // *Изв. Геол. комитета*. 1900. Т. 19. Вып. 1. С.1-22.
- Никитский В.Е.* Новый аэромагнитометр АМ-13 // *Бюлл. научно-техн. информ. ОНТИ ВИМС*. М., 1960. № 4. С.52-54.
- Никитский В.Е.* Новый переносный магнитометр М-17. // *Бюлл. научно-техн. информ. ОНТИ ВИМС*. М., 1961. № 3. С.40-42.
- Никитский В.Е.* Наземная магнитная съемка // *Справочник геофиз.* Т. 6. Магниторазведка. М.: Недра, 1969. С.139-181.
- Никитский В.Е.* К истории аэромагнитной съемки // *Геофиз. вестн.* 1996. № 7. С.15-17.
- Никитский В.Е., Бродовой В.В.* Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач. М.: Недра, 1976. 495 с.

- Николаевский А.А.* Основные черты строения земной коры и верхней мантии Северо-Востока СССР по данным геофизических работ // Тектоника Восточной Сибири и Дальнего Востока СССР. Новосибирск, 1967. С.130-132.
- Николаевский А.А.* Глубинное строение восточной части Сибирской платформы. М.: Наука, 1968. 184 с.
- Никольский Ю.И., Милай Т.А., Коган Л.З.* Геолого-геофизические исследования тектоники, магматизма и металлогении Кавказа. Л.: Недра, 1975. 216 с.
- Новоселова М.Р.* Магнитные аномалии Байкальской рифтовой зоны // Проблемы рифтогенеза. Иркутск, 1975. С.66-68.
- Новьш В.В., Беляев И.И., Фингер Д.Л., Абрамова Л.М.* Морская магнитометрическая аппаратура: Обзор ВИЭМС. Сер. Морская геология и геофизика. М., 1974. 58 с.
- Овдов А.* Магнитные наблюдения, произведенные во время походов русских войск в Хиву в 1873 г. Оренбург: Изд-во Оренб. отд. РГО, 1877. 53 с.
- Оганесян С.Р., Пушкин А.Н., Баграмян А.Х., Геодакян Э.Г.* О временных изменениях геомагнитного поля и сейсмичности на территории водохранилища "Азат" // Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1979. Т. 32, № 5. С.72-79.
- Оглоблинский Н.Н.* Новый универсальный теодолит для определения элементов земного магнетизма. СПб, 1913.
- Орлов В.П.* Привязка аэромагнитных съемок (ΔT) к абсолютным значениям // Всес. междувед. совещ. по аэросъемке. Л., 1956. С.41-43.
- Орлов В.П.* Магнитные аномалии векового хода в Средней Азии // Изв. АН СССР. Серия геофиз. 1958. № 10. С.1245-1247.
- Орлов В.П.* Магнитные аномалии векового хода в Средней Азии и их связь с тектоникой // Тр. НИИЗМР. М.: Связьиздат, 1959. Вып. 15 (25). С.65-71.
- Орлов В.П., Трубяччинский Н.Н.* Руководство по работе с вертикальными весами Шмидта. Л.: ГГО, 1936.
- Орлов В.П., Трубяччинский Н.Н.* Руководство по работе с вертикальными и горизонтальными весами Шмидта. Л.: ГГО, 1939.
- Орлов Г.Г.* Геологическая интерпретация магнитных аномалий Z или T при отвесном и косом намагничении объектов с использованием повысотных измерений при поисках и разведке магнетитовых месторождений на Урале: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1962.
- Павлинов В.Я.* Прибор для калибровки магнитометров на Магнитной Станции Института Прикладной Геофизики // Изв. Ин-та прикл. геофиз. Л., 1926. Вып. 2. С.177-183.
- Павлинов В.Я.* Дефлекторный магнитометр. М.;Л., 1932.
- Пак В.П.* Пешеходный протонный магнитометр ММП-203 // Скважинные и наземные геофизические исследования при поисках рудных месторождений. Л., 1979. С.3-7.
- Пак В.П., Трипольский В.П.* Методическое пособие по аэромагнитной съемке с магнитометрической самоходной станцией (МАСС). Алма-Ата: КазВИРГ, 1973. 88 с.
- Паламарчук В.К.* Учет вариаций геомагнитного поля и увязка наблюдений при высокоточных аэромагнитных съемках // Геология и геофизика. 1983. № 10. С.107-114.
- Пандул И.С.* Определение магнитных склонений на пунктах государственной геодезической сети // Геомагнетизм и аэрономия. 1963. Т. 3, № 2. С.386-389.
- Панов Т.Н.* Определение цены деления вариометра склонения методом абсолютных наблюдений // Тр. НИИЗМ. М., 1955. Вып. 11 (21). С.151-154.
- Паркинсон У.* Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986. 527 с.
- Пасальский П.Т.* Изучение распределения магнетизма на земной поверхности. Одесса: Экономическая тип., 1901. 547 с.
- Пасецкий В.М.* Адольф Яковлевич Купфер. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Пасхин Е.В.* Радиогеодезическая система Поиск Д // Развед. геофиз. М.: Недра, 1974. Вып. 65. С.131-135.
- Пашкевич И.К., Орлюк М.И., Елисеева С.В., Мозговая А.П.* Связь магнитных неоднородностей платформенных областей Европы со строением и развитием земной коры // Геофиз. журн. 1989. Т. 11, № 6. С.3-15.
- Пашкевич И.К., Марковский В.С., Орлюк М.И., Елисеева С.В., Мозговая А.П., Таращан С.А.* Магнитная модель литосферы Европы / Под ред. А.В.Чекунова. Киев: Наук. думка, 1990. 166 с.

- Пенкевич М.С.* Универсальный магнитометр системы ЦИЗМАЭ // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству / Под ред. Н.В.Пушкова. Л.;М.: Изд. Гл. упр. Гидрометслужбы при СНК СССР, 1937. № 3. С.35-37.
- Пенкевич М.С.* Руководство к производству и обработке магнитных наблюдений по Генеральной магнитной съемке СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1946.
- Персиц Ф.М., Контарович Р.С.* Опыт эксплуатации комплексной аэрогеофизической станции фирмы Макфар // Экспресс-информ. ВИЭМС. Сер. Региональная, развед. и промысл. геофиз. М.: ВИЭМС, 1975. № 21.
- Пильчиков Н.Д.* Магнитные наблюдения между Харьковом и Курском в 1883 г.// Изв. Росс. Геогр. общ-ва. 1883. Т. 19, вып. 5. С.397-402.
- Писарев В.В.* Фотографическая привязка маршрутов и аномалий при крупномасштабной аэрогеофизической съемке // Разведка и охрана недр.1957. № 8. С.32-37.
- Полонский А.М.* Оценка запасов прямыми методами интерпретации по данным магниторазведки // Разведка и охрана недр. 1960. № 6. С.30-35.
- Поляков А.В.* Об исследовании вековых вариаций геомагнитного поля в сейсмоопасных районах Северного Тянь-Шаня // Прикладная геофиз. Вып. 81. М.: Недра, 1976. С.150-157.
- Померанцев Н.М., Рыжков В.М., Скряцкий Г.В.* Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972. 448 с.
- Поморцев М.М.* Абсолютные определения элементов земного магнетизма (теория, способы наблюдений и вычислений). СПб.: Тип. Имп. Акад. Наук., 1900. 124 с.
- Пономарев В.Н., Авдонин А.Н.* Руководство по скважинной магниторазведке и магнитному каротажу. Свердловск: Уральский рабочий, 1966.
- Пономарев В.Н., Бахвалов А.Н.* Магнитные измерения в скважинах и горных выработках // Магниторазведка. Справочник геофизика / Под. ред. В.Е.Никитского и Ю.С.Глебовского. 2-е изд. М.: Недра, 1990. С.224-259.
- Пономарев В.Н., Суворов Е.А.* Скважинная магнитометрическая установка // Изв. Вост. филиалов АН СССР. 1957. № 9. С.46-52.
- Пономарев В.Н., Суворов Е.А.* Скважинная магниторазведка // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1958. № 6. С.787-790.
- Попкова Л.И., Ротштейн А.Я., Фармаковский С.Ф.* Погрешности устройства для измерения углов склонения и наклонения // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1971. Вып. 46. С.20-23.
- Поплавский В.Б., Серебряный С.А., Чигарнов Б.Л.* Структура математического обеспечения автоматизированной системы обработки аэрогеофизических данных на ЕС ЭВМ // Применение ЭВМ для решения геолого-геофизических задач в Сибири. Новосибирск, 1985. С.67-76.
- Попов А.А., Брызгалов Е.А., Тенишев В.Ш., Филиппычева Л.Г.* Скважинный протонный магнитометр МСП-2 // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1986. Вып. 87. С.36-44.
- Поппер К.* Объективное знание. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 384 с.
- Попруженко С.* Одесская магнитная аномалия // Метеор. обозр. А.В.Клосовского. 1892. Вып. III.
- Почтарев В.И., Михлин Б.З.* Тайна намагниченной Земли. М.: Педагогика, 1986. 111 с.
- Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Возвращенное очарование мира // Природа. 1986а. № 2. С.86-95.
- Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986б. 431 с.
- Проводников Л.Я.* Схема структурных элементов, вещественного состава и рельефа фундамента Западно-Сибирской низменности по геофизическим данным // Известия Вост. филиала АН СССР. 1957. № 6.
- Проводников Л.Я.* Фундамент платформенных областей Сибири. Новосибирск: Наука, 1975. 272 с.
- Пуанкаре А.* Наука и метод // О науке. М.: Наука, 1990. С.369-521.
- Пудовкин И.М.* О вариациях магнитного поля при производстве точных региональных аэромагнитных съемок // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1956. № 8. С.997-998.
- Пудовкин И.М., Павлов В.С., Решетов Б.П., Рязанцев Г.А., Таничев А.А.* Некоторые итоги изучения аномальности векового хода геомагнитных элементов на Камчатке // Настоящее и прошлое магнитного поля Земли / Под ред. М.Л.Озерской. М.: Наука, 1965. С.96-100.
- Пушкин Н.Ф.* К 110-летию Казанской магнитной обсерватории // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству / Под ред. Н.В.Пушкова. Л.;М.: Гидрометеиздат, 1940. № 5. Вып. 2. С.62-65.
- Пушков А.Н.* Идеи, пережившие время (к 200-летию со дня рождения К.Ф.Гаусса) // Исследование пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, 1977. С.6-17.

- Пушков А.Н., Чернова Т.А., Ивченко М.П.* Аналитическая модель геомагнитного поля и его вековой вариации для интервала 1950–1970 гг. с экстраполяцией на 1975 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. 15, № 4. С.698-704.
- Пушков А.Н., Чернова Т.А.* Пространственно-временная структура геомагнитного поля и вековой вариации для 1550–1970 гг. // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. 15, № 4. С.705-708.
- Пушков А.Н., Оганесян С.Р., Саркисян Г.В.* Локальные изменения геомагнитного поля при заполнении водохранилища на р. Азат и их интерпретация // Геомагнетизм и аэрономия. 1981. Т. 21, № 1. С.155-158.
- Пуцин Н.* Магнитные наблюдения, произведенные при гидрографическом исследовании шхер Балтийского моря в 1875–1882 гг. // Морской сб. 1884. Вып. 2.
- Пьянков В.А., Шапиро В.А.* Некоторые аспекты природы Буткинской аномалии векового хода геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 1977. Т. 17, № 3. С.548-549.
- Пятницкий В.К., Каратаев Г.И.* Построение поверхности фундамента Западно-Сибирской низменности по магнитным данным // Состояние и перспективы развития разведочной геофизики. Материалы научн.-техн. геофиз. конф. М.: Гостоптехиздат, 1961. С.517-523.
- Раннев Б.А.* Опыт применения шахтной магниторазведки на железорудных месторождениях Горной Шории // Вопросы разведочной геофизики Сибири. Новосибирск, 1969. С.143-147. (Тр. СНИИГ-ГиМС; Вып. 92).
- Резник Э.Е., Канторович В.Л.* Некоторые вопросы компенсации магнитных помех самолета // Геофиз. приборостроение. Л.: Недра, 1964. Вып. 18. С.26-38.
- Рейнеке М.Ф.* Магнитные наблюдения в Беломорской экспедиции 1828–1832 гг. // Зап. Гидрограф. деп. СПб., 1836. Ч. 2. С.281-330.
- Рейнеке М.Ф.* Наставление для делания метеорологических наблюдений в военных портах и об исправлении погрешностей корабельных компасов. СПб., 1843. 43 с.
- Ремпель Г.Г.* Возможности аэромагнитной съемки для предварительной оценки перспектив на латеритные бокситы // Геофизические методы поисков и разведки месторождений рудных полезных ископаемых Сибири. Новосибирск, 1971. С.66-71. (Тр. СНИИГГиМС; Вып. 136).
- Ремпель Г.Г.* Геологические и геофизические критерии прогнозирования медно-никелевого оруденения на северо-западе Сибирской платформы // Методика геофизических поисков и изучения глубоководных рудных месторождений. Новосибирск, 1983. С.4-15.
- Ремпель Г.Г., Исаев Г.А., Ицкович Г.Б., Николаенко А.Н., Тригубович Г.М., Филатов В.В., Стародубов Г.С., Наумов А.Г.* Методические рекомендации по комплексной интерпретации геофизических данных при поисках рудных месторождений (на примере медно-никелевых месторождений северо-запада Сибирской платформы). Новосибирск: СНИИГГиМС, 1979. 92 с.
- Рикитаке Т.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.
- Розе Е.Н.* Исследование структуры магнитного поля Земли по материалам наблюдений в океанах: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Л.: Ленингр. ун-т, 1969. 22 с.
- Розе Е.Н., Марков И.М.* Градиентометрический метод измерения геомагнитного поля в океане // Учет временных вариаций при проведении морской магнитной съемки. М.: ИЗМИРАН, 1984. С.194-224.
- Розе Е.Н., Пылаева Т.А.* Метод оценки естественных электромагнитных полей внешних источников по данным площадных гидромагнитных съемок // Геомагнетизм и аэрономия. 1981. Т. 21, № 6. С.1075-1080.
- Розе Н.В.* Карта магнитного склонения в Европейской части СССР для эпохи 1925 года. Л.: ГГО, 1925.
- Розе Н.В.* Магнитная рекогносцировка в Тульском железорудном районе в 1925 г. // Тр. Ин-та прикл. геофиз. Л., 1927. Вып. 3. С.137-147.
- Розе Н.В., Трубяччинский Н.Н.* Краткое руководство для работ по магнитной съемке. Л.: ГГО, 1928; 2-е изд. 1931.
- Розе Н.В., Трубяччинский Н.Н., Яновский Б.М.* Земной магнетизм и магнитная разведка. Л.;М.: Гостехтеориздат, 1934. 351 с.
- Розе (Симоненко) Т.Н.* Региональные магнитные аномалии Украины и их связь с геотектоникой // Информ. сб. по земному магнетизму и электричеству / Под ред. Н.В.Пушкова. М.: Изд-во Гл. упр. Гидрометслужбы при СНК СССР, 1937. № 3. С.8-10.

- Розе (Симоненко) Т.Н.* Гаусс и его работы по земному магнетизму // Послесловие и коммент. в кн. К.Ф.Гаусса “Избранные труды по земн. магнетизму”. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С.257-333.
- Рокитянский И.И.* Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук. думка, 1975. 278 с.
- Ротштейн А.Я.* Возможные пути повышения точности морских компонентных геомагнитных измерений в движении // Морские геомагнитные исследования на НИС “Заря” / Под ред. В.И.Почтарева. М.: Наука, 1986. С.135-168.
- Ротштейн А.Я., Хвостов О.П., Прищепо В.А.* Измерение наклоения, склонения и модуля геомагнитного поля квантовым самогенерирующим магнитометром // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1973. Вып. 53. С.31-34.
- Ротштейн А.Я., Цирель В.С.* Использование простейшего ядерно-резонансного магнитометра // Геология. Сб. тр., посвящ. 250-летию Ленинграда. Л., 1957. С.140-146.
- Ротштейн А.Я., Цирель В.С.* Протонные геомагнитометры. Основы устройства и область применения. Л.: Госгеолтехиздат, 1963. 48 с.
- Русаков О.М., Крутиховская З.А.* Некоторые результаты исследований вековых вариаций магнитного поля в Карпато-Балканском регионе и сопредельных территориях // Геофизические исследования строения земной коры юго-восточной Европы. М.: Наука, 1967. С.99-106. (Верхняя мантия; № 5).
- Русанова Н.В.* Двухкомпонентный магнитометр для морской магнитной съемки // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1966. Вып. 30. С.74-81.
- Русанова Н.В., Баткова Л.А., Вартанов А.В.* Применение микроЭВМ “Микрон” для создания единого измерительно-вычислительного комплекса на нис “Заря” // Геомагнитные измерения и приборы. М.: ИЗМИРАН, 1986. С.86-90.
- Рыбалтовский Н.Ю.* Магнитно-компасное дело. М., 1939.
- Рыкачев М.А.* Магнитные наблюдения на Каспийском море // Морской сб. 1883. Вып. 10. С.33-95.
- Рыкачев М.А.* Магнитные карты Каспийского моря // Морской сб. 1885. Вып. 1. С.57; Вып. 2. С.91.
- Рыкачев М.А.* Исторический очерк Главной физической обсерватории за 50 лет. СПб., 1899. Ч. 1. 126 с.
- Рыкачев М.А.* О магнитной съемке земного шара и подготовительных работах по магнитной съемке России // Метеорологический вестник. 1910. № 2. С.1-13.
- Рыманов В.М.* Методика и результаты региональной аэромагнитной съемки с применением аэрофотопривязки на юго-востоке Русской платформы. // Тр. Лаборатории аэрометодов АН СССР. Л., 1959. Т. 8. С.267-271.
- Седов Л.И.* Теоретические конструкции выделения действительных событий из мысленно возможных // Размышления о науке и об ученых. М.: Наука, 1980. С.221-236.
- Седов С.Г.* Введение вариационных поправок в материалы высокоточных аэромагнитных съемок // Развед. геофиз. М.: Недра, 1986. Вып. 104. С.110-113.
- Семенов И.Х.* Метод раскручивания нитей Н-магнитометров и деklinометров // Геомагнетизм и аэрономия. 1974. Т. 14. № 1. С.176-177.
- Семенов И.Х.* Погрешности кварцевых Н-магнитометров (КМН) и способы их устранения // Вариации магнитного поля в околоземном пространстве. М., 1986. С.167-171.
- Семенов И.Х.* Анализ погрешностей и метод юстирования теодолита с феррозондом для измерения склонения и наклоения геомагнитного поля // Методы и средства исследования структуры геомагнитного поля / Под ред. В.Н.Луговенко. М., 1987. С.139-146.
- Семинский Ж.В., Давыденко А.Ю.* Модели рудных районов и месторождений Сибири. М.: Недра, 1994.
- Сенько П.К.* О необычайной локальности магнитных вариаций в районе Мирного // Информ. бюлл. САЭ. Л., 1958. Вып. 1.
- Сибрук В.* Роберт Вуд. Современный чародей физической лаборатории М.: Наука, 1980. 319 с.
- Сизов Ю.П.* Теоретические и экспериментальные исследования магнитостатических вариометров для регистрации вариаций магнитного поля Земли: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1979.
- Симоненко Т.Н.* Использование результатов аэромагнитной съемки для выявления рельефа поверхности фундамента Западно-Сибирской низменности // Информ. сборник ВСЕГЕИ. Л.: Госгеолтехиздат, 1956. Вып. 3. С.96-102.

- Симоненко Т.Н., Литвиненко И.В.* Сопоставление магнитного поля литосферы по спутниковым данным с геотермическим режимом и мощностью земной коры // Методика комплексного изучения тектоносферы. М.: Радио и Связь, 1984. С.82-90.
- Симоненко Т.Н., Толстихина М.И.* Блоковое строение складчатого фундамента Европейской части СССР // Геотектоника. 1968. № 4. С.37-53.
- Симонов И.М.* Астрономические и физические наблюдения, сделанные во время путешествия около света. СПб., 1828. Ч. 1.
- Симонов И.М.* Опыт математической теории земного магнетизма // Уч. зап. Казанского ун-та. Казань, 1835. Кн. 3. С.49-68.
- Скворцов А.К.* Логика и аналогия в теории эволюции // Природа. 1988. № 1. С.16-25.
- Сковородкин Ю.П.* Изучение тектонических процессов методами магнитометрии. М.: ИФЗ АН СССР, 1985. 197 с.
- Скряцкий Г.В., Степанов А.П., Стоцкий В.М., Филатов А.И.* Применение динамической поляризации ядер для увеличения чувствительности и быстродействия прецессионных магнитометров // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1970. Вып. 42. С.10-56.
- Смирнов И.Н.* О магнитных измерениях в России за 1874 г. // Изв. и уч. зап. Казанского ун-та. 1874. Т. 9, № 416. С.866-875.
- Смирнов И.Н.* Результаты магнитных наблюдений летом 1878. Казань, 1879.
- Соловьев О.А.* К вопросу о разделении магнитных аномалий на рудные и безрудные // Геология и геофизика. 1960. № 9. С.93-99.
- Соловьев О.А.* Использование интегральных преобразований при анализе магнитных и гравитационных аномалий на примере некоторых железорудных месторождений Алтае-Саянской области: Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1962.
- Соловьев О.Н.* Аэромагнитная съемка в районе Курило-Камчатской островной дуги // Прикладная геофиз. М.: Гостоптехиздат, 1961. Вып. 29. С.168-173.
- Стадухин В.Д.* Определение магнитной восприимчивости горных пород в естественном залегании по измерению напряженности магнитного поля в центре квадратной рамки // Геофиз. сб. Свердловск, 1962. № 3. С.79-84. (Тр. Ин-та геофиз. УФ АН СССР; Вып. 2).
- Стадухин В.Д., Туранов В.Н., Шабанова Н.Н., Медведев А.Е., Захарченко В.Ф.* Метод искусственного подмагничивания при поисках магнетитовых месторождений. Свердловск: РИСО УНЦ АН СССР, 1982. 107 с.
- Степанов В.П., Гольштейн Б.Л., Халабуда Э.П., Кензин Ф.А., Дорофеев В.В., Исхакова Н.С., Пушкина Л.Я.* О выявлении структур рифогенного типа по материалам высокоточных гравиразведки и магниторазведки // Нефтепоисковые геофизические исследования на территории Татарии. Казань: Казанск. ун-т, 1974. С.93-100.
- Страхов В.Н.* О путях построения математической теории интерпретации магнитных и гравитационных аномалий // Прикл. геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1962. Вып. 35. С.95-128.
- Страхов В.Н.* Основные идеи и методы извлечения информации из данных гравитационных и магнитных наблюдений // Теория и методика интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. М.: ИФЗ АН СССР, 1979. С.146-268.
- Страхов В.Н.* Три парадигмы в теории и практике интерпретации потенциальных полей. М.: ОИФЗ РАН, 1999а. 77 с.
- Страхов В.Н.* Что делать? (о развитии гравиметрии и магнитометрии в России в начале XXI века // О некоторых вопросах теории интерпретации потенциальных полей. М.: ОИФЗ РАН, 1999б. С.5-17.
- Страхов В.Н.* Определяющая роль науки в деле преобразования России в ведущую державу третьего тысячелетия // Наука и технология в России. 2000. № 5-6 (42-43). С.3-10.
- Строна А.А.* Криворожско-Кременчугские магнитные аномалии // Сов. геология. 1939. Т. 9, № 10-11. С.78-93.
- Сурков В.С.* О природе различных соотношений между геофизическими аномалиями и геологическими структурами (на примере Алтае-Саянской складчатой области) // Геология и геофизика. 1965. № 9. С.12-21.
- Сурков В.С.* Глубинная структура и поверхностная тектоника Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 1972. № 11. С.15-25.
- Сурков В.С.* Новые представления о строении и возрасте складчатого фундамента Западно-Сибирской низменности // Геология и геофизика. 1963. № 2. С.19-27.

- Сурков В.С.* Тектонические структуры фундамента Западно-Сибирской плиты, особенности отображения их в гравитационном и магнитном аномальных полях // Региональные геофизические исследования в Сибири. Новосибирск, 1967. С.49-59.
- Сурков В.С., Таруц Г.М.* Применение высокоточной аэромагнитной съемки для прогнозирования локальных структур в платформенном чехле Западно-Сибирской плиты // Вопросы разведочной и промысловой геофизики в Сибири. Новосибирск, 1973. С.3-10. (Тр. СНИИГГиМС; Вып. 169).
- Таруц Г.М.* Прогноз коллекторов в юрских отложениях по аномалиям магнитного поля в юго-восточных районах Западно-Сибирской плиты // Тр. СНИИГГиМС. Вып. 194. Новосибирск, 1974. С.61-68.
- Терехов И.Н.* Элементы теории и практики магнитного компаса. М., 1942.
- Тилло А.А.* Исследование о географическом распределении и вековом изменении склонения и наклона магнитной стрелки в пространстве Европейской России // Метеорол. сб. 1883а. Т. 8, вып. 2.
- Тилло А.А.* Магнитные наблюдения, произведенные на берегах Сибири во время плавания парохода "Vega" в 1878 и 1879 гг. // Изв. Русск. Геогр. Общ-ва. 1883б. Т. 19. С.397-402.
- Тилло А.* Исследование о географическом распределении и вековом изменении силы земного магнетизма в пространстве Европейской России (с 3 картами) // Метеор. сборник. 1885. Т. IX, № 5. С.1-79.
- Тилло А.* Белгородская и Непхаевская аномалии земного магнетизма по наблюдениям И.Н.Смирнова, Н.Д.Пильчикова, Д.Д.Сергиевского // Изв. Русского Геогр. Общ-ва. 1891. Т. 27. С.201-214.
- Тихонов Б.Н.* Опыт применения аппаратуры ТСМ-3 в горных выработках // Шахтно-рудничная геофизика. Л.: Недра, 1968. С.175-178. (Тр. ВИРГ. Вопросы разведочной геофизики; Вып. 7).
- Томода И., Фуджимоту Х.* Возможность измерения суточных геомагнитных вариаций во время плавания судна // Экспресс-информ. ВИЭМС. Сер. Морская геология и геофизика. М.: ВИЭМС, 1982. № 3. С.1-4.
- Тоффлер О.* Наука и измерение // Предисловие к кн. И.Пригожина и И.Стенгерс "Порядок из хаоса". М.: Прогресс, 1986. С.11-33.
- Трубятчинский Н.Н.* Магнитометрическое обследование марганцево-рудных месторождений // Тр. Всес. геол.-развед. объединения. М., 1932. Вып. 106.
- Трубятчинский Н.Н.* Генеральная магнитная съемка в 1931–1935 гг. (Общие итоги и перспективы) // Информ. бюлл. по земному магнетизму и электричеству. Л.: Ред.-изд. отд. ЦУЕГМС, 1936.
- Тюрмина Л.О.* Аналитическая модель главного геомагнитного поля по данным ИСЗ "Космос-49" // Геомагнетизм и аэрономия. 1968. Т. 8, № 5. С.977-979.
- Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т.* Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. М.: Недра, 1982. 239 с.
- Тяпкин О.К.* Физико-геологические модели редкометалльных рудных узлов и рудных полей в Западном Приазовье // Геофиз. журн. 1999. Т. 21, № 2. С.112-119.
- Углов Б.Д., Маловицкий Я.П., Федьинский В.В.* Новые геологические возможности морской магнитометрии // Докл. АН СССР. 1976. Т. 231, № 1. С.64-67.
- Углов Б.Д., Ундзенков Б.А.* Аномалии вековой вариации в Тихом океане и их связь со строением океанической литосферы // Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии на акваториях морей и океанов электромагнитными методами / Под ред. М.С.Жданова. М.: ИЗМИРАН АН СССР, 1981. С.219-225.
- Углов Б.Д., Ундзенков Б.А.* Аномалии вековой вариации в Индийском океане // Проблемы исследования электромагнитных полей на акваториях. М.: ИЗМИРАН, 1983. С.287-297.
- Уиттекер Э.* История теории эфира и электричества. Москва–Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика. 2001. 512 с.
- Ульянин В.А.* Электрический способ определения горизонтальной слагающей земного магнетизма // Геофиз. сборник. 1916. Т. 2. Вып. 3.
- Умов Н.А.* Построение геометрического образа потенциала Гаусса как прием изыскания законов земного магнетизма // Тр. отд. физич. наук Московск. общ-ва любителей естествознания, антропологии и этнографии. 1904. Т. 12, вып. 1. (См. также Избр. соч. М., 1950. С.227-370).
- Уразаев И.М.* Глубинное строение кристаллического фундамента Удмуртии и северо-востока Татарии по данным интерпретации геомагнитного поля // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1964. № 5. С.42-55.
- Фарадей М.* Экспериментальные исследования по электричеству. М.: Изд-во АН СССР, 1947. Т. 1.

- Фармаковский С.Ф., Ротштейн А.Я., Попкова Л.И.* Метод измерения углов склонения и наклона магнитного поля Земли // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1969. Вып. 41. С.47-54.
- Федорова Н.В.* Источники спутниковых геомагнитных аномалий Северной Евразии // Физика Земли. 1997. № 8. С.13-19.
- Фейерабенд П.* Избранные труды по методологии науки. М.: Наука, 1986. 450 с.
- Филатов А.И., Степанов А.П., Стоцкий В.М.* Ядерный прецизионный магнитометр с совмещенными процессами поляризации и измерения // Приборы и техника эксперимента. 1965. № 1. С.169.
- Филиппов С.В.* Спектральный анализ временных рядов среднегодовых значений геомагнитного поля с длиной записи более 50 лет // Исследования структуры геомагнитного поля. М.: ИЗМИР АН СССР, 1983. С.29-42.
- Филиппычева Л.С., Сараев А.К., Коверя Н.Т., Кудрявцева Т.А.* Опыт применения скважинной магнитоторазведки при прямых поисках кимберлитовых трубок // Экспресс-информ. Сер. региональная, развед. и промысл. геофиз. 1984. № 1. С.11-19.
- Фингер Д.Л., Коломийцева Г.И., Новых В.В., Приезжаев Г.М.* Опытная съемка земного магнитного поля магнитометрами, буксируемыми за железным кораблем // Геомагнетизм и аэрономия. 1961. Т. 1, № 3. С.421-426.
- Фотиади Э.Э.* Геологическое строение Русской платформы по данным региональных геофизических исследований. М.: Гостоптехиздат, 1958. 244 с.
- Фусс Г.* Географические, магнитные и гипсометрические наблюдения по маршруту из Сибири в Китай, выполненные в 1830–1832 гг. на средства Императорской Академии Наук // Зап. Имп. Акад. Наук. Серия 6: отд. матем., физики и естеств. наук. 1838. Т. 6. Ч. 1.
- Харламов Ю.С.* Результаты опытно-методических работ с квантовым магнитометром КАМ-28 в районе нефтяных месторождений БССР // Парашелочные квантовые магнитометры и их применение Л.: НПО “Геофизика”, 1976. С.38-42. (Методы разведочной геофизики; Вып. 23).
- Хесин Б.Э.* Рудная геофизика в горных областях. М.: Недра, 1969. 199 с.
- Хесин Б.Э.* Прогноз и локализация скрытого оруденения в горных областях по геофизическим данным. М.: Недра, 1976. 205 с.
- Хлюстин Б.П.* Девияция магнитного компаса. М.;Л., 1939.
- Храмов А.Н., Петрова Г.Н., Комаров А.Г., Кочегура В.В.* Методика палеомагнитных исследований. Л., 1961. 131 с. (Тр. ВНИГРИ. Вып. 161).
- Хребтов А.А., Корякин В.И., Кошкарев В.Н.* Путь в океане. Л.: Судостроение, 1988. 171 с.
- Цирель В.С.* Применение ядерного пешеходного магнитометра для съемки на море // Новое в методике и технике геологоразведочных работ. М., 1961. № 3. С.241-257. (Тр. ВИТР).
- Цирель В.С.* Современные методы аэромагнитной съемки и обработки результатов // Геомагнитные исследования. М.: Сов. Радио, 1977. № 19. С.18-24.
- Цирель В.С.* Аэромагнитометрия – от А.А.Логачева до наших дней // Геофизика. 1999. № 2. С.4-6.
- Цуцкарев Б.М.* Исследование погрешностей определения магнитного склонения на море // Геофиз. аппаратура. Л.: Недра, 1972. Вып. 49. С.22-25.
- Цуцкарев Б.М., Бакалинский С.П., Русанова Н.В.* Магнитометрический комплекс для измерения составляющих вектора индукции магнитного поля Земли // Морские геомагнитные исследования на нис “Заря”. М.: Наука, 1986. С.17-43.
- Чистова З.Б., Кутиков Ю.Г., Губайдуллин М.Г.* Некоторые закономерности проявления трубок взрыва в геофизических полях на северо-восточном борту Онежского грабена // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 4. С.108-115.
- Шаблинская Н.В.* К методике тектонического районирования фундамента Западно-Сибирской низменности по геофизическим данным // Геология нефти и газа. 1961. № 1. С.45-48.
- Шаблинская Н.В.* Разрывы в осадочном чехле эпигерцинских плит // Тр. ВНИГРИ. Л., 1965. Вып. 236. С.149-151.
- Шаблинская Н.В.* Разломы по геофизическим данным и их роль в формировании структур Западно-Сибирской и Тимано-Печорской плит // Разломы земной коры. М.: Наука, 1977. С.160-175.
- Шапиро В.А.* Динамика аномального магнитного поля и геодинамика // Современное состояние исследований в области геомагнетизма / Под редакцией Л.С.Безуглой. М.: ИФЗ АН СССР, 1984. С.107-120.
- Шапиро В.А., Абдуллабеков К.Н.* Наблюдения вариаций геомагнитного поля во время Газлийского землетрясения 17 мая 1976 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 1978. Т. 18, № 1. С.177-179.

- Шапиро В.А., Корокина Т.П.* Сопоставление результатов геомагнитных наблюдений и данных повторного нивелирования в пределах Уральского геодинамического полигона // *Современные движения земной коры на геодинамических полигонах.* М., 1981. С.119-121.
- Шапиро В.А., Пьянков В.А.* Токовые аномалии векового хода магнитного поля Т в Башкирии // *Геомагнетизм и аэрономия.* 1976. Т. 16, № 5. С.943-945.
- Шапиро В.А., Ундзенков Б.А.* Сейсмомагнитный эффект на месторождении магнетита // *Изв. АН СССР. Физика Земли.* 1967. № 1. С.121-126.
- Шарловская Л.А.* Опыт выделения металлогенических провинций в Алтае-Саянской складчатой области по результатам интерпретации магнитных аномалий // *Геология и геофизика.* 1976. № 3. С.123-127.
- Шварц Ф.* Магнитные наблюдения, произведенные в Средней Азии в 1877–1882 гг. // *Зап. Ташкентской Астрон. и Физ. обсерв.* Ташкент, 1889. Вып. 3. С.1-252.
- Шварц Ф.* Астрономические, магнитные и барометрические наблюдения, произведенные в 1886 году в Бухаре, Дарвазе и в Зеравшанской, Ферганской и Сырдарьинской областях // *Зап. Импер. Русск. Геогр. об-ва.* 1893. Т. XXV, № 3. 56 с.
- Шельтинг В.Ф.* Несколько замечаний об абсолютном измерении магнитного склонения // *Тр. НИИЗМ.* Л.: Гидрометеиздат, 1950. Вып. 5 (15). С.107-111.
- Шельтинг В.Ф.* Кварцевый Z-магнитометр // *Тр. НИИЗМ.* Л., 1953. Вып. 7 (17). С.144-187.
- Шмидт Н.Г.* Геофизические методы разведки богатых железных руд КМА // *Горный журн.* 1956. № 11. С.10-15.
- Шмидт Н.Г.* Оценка железорудных месторождений при поисках и разведке. М.: Недра, 1970.
- Шмидт О.Ю.* Важнейшие задачи геофизики // *Избранные труды. Геофизика и космогония.* М.: Изд-во АН СССР, 1960. С.25-32.
- Шрамков Е.Г.* Создание магнитных эталонов в абсолютных единицах // *Тр. ВНИИМ.* М.;Л., 1952. Вып. 10 (70). С.5.
- Штерев Г.С.* Об абсолютном измерении магнитного склонения // *Геомагнетизм и аэрономия.* 1971. Т. 11, № 4. С.745-747.
- Штуркин Д.А.* О применимости в дефектоскопии дифференциальных феррозондов с поперечным возбуждением // *Тр. ИФМ АН СССР. Свердловск,* 1959. Вып. 21.
- Шубин П.* Результаты определения координат земного магнетизма в окрестностях Кронштадтских рейдов // *Зап. по гидрогр.* 1888.
- Шубин П.* Магнитные наблюдения, произведенные в 1889 году во время плаванья клиппера “Разбойник” у северо-восточных берегов Азии // *Зап. по гидрогр.* 1892. Вып. 13. С.236-270.
- Шумиловский Н.Н., Блажкевич Б.И.* Пути использования магнитомодуляционных датчиков при контроле направления пробуриваемых скважин // *Автоматика и телемеханика.* 1950. Т. 11, № 6. С.382-406.
- Эйнштейн А.* Исаак Ньютон // *Физика и реальность.* М.: Наука, 1965. С.100-103.
- Эринчек Ю.М., Мильштейн Е.Д.* Центрально-Русская трансплатформенная рифтовая система // *Докл. РАН.* 1993. Т. 329, № 1. С.82-85.
- Яновский Б.М.* Аномалия вертикальной составляющей земного магнетизма в районе Западного Урала // *Тр. НИГРИ.* Л., 1932. Вып. 30.
- Яновский Б.М.* Прибор для определения индукционного и температурного коэффициентов постоянных магнитов и для измерения магнитных моментов // *Изв. ГГО.* 1933. № 2-3. С.30-37.
- Яновский Б.М.* О вариациях элементов магнетизма в аномальном поле // *Тр. Гл. Геофиз. обс. Ленинград,* 1936. Вып. 17. С.77-91.
- Яновский Б.М.* Магнитографы // *Тр. ВНИИМ.* Л., 1938. Вып. 18 (34). С.167.
- Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л.;М., Изд-во Главсевморпути, 1941. 283 с.; 2-е изд. М.: Гостехтеориздат, 1953. 591 с.
- Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. Т. 1. 445 с.
- Яновский Б.М.* Развитие работ по геомагнетизму в СССР за годы Советской власти // *Изв. АН СССР. Физика Земли.* 1967. № 11. С.54-89.
- Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1978. 482 с.
- Ярош А.Я.* Методика построения поверхности кристаллического фундамента Волго-Уральской нефтеносной области по данным геофизики // *Вопросы разведочной геофизики.* Свердловск, 1963. С.3-21. (Тр. Свердл. горн. ин-та; Вып. 44).

- Ястребов В.С., Валяшко Г.М., Городницкий А.М., Римский-Корсаков Н.А.* Придонная магнитная съемка с буксируемого носителя // *Океанология*. 1991. Т. 31, N 1.
- Abels H.* Beobachtungen der Inclination in Sprout, Obdorsk und Kandinsk // *Repertorium für Meteorologie*, herausgeg. von der Keiser. Akad. der Wissenschaft. 1888. B. 12.
- Acuna M.H.* Fluxgate magnetometer for outer planets exploration // *IEEE Trans. on Magn.* 1974. V. Mag.-10. N 3.
- Adam N.V., Benkova N.P., Khramov A.N., Cherevko T.N.* Spherical harmonic analysis of the geomagnetic field of the Brunhes epochs // *Studia Geophys. et Geodet.* 1975. Vol. 19, N 2. P. 141-149.
- Adams G.* Comparison of simultaneous magnetic disturbances at several observatories // *Phil. Trans. Roy. Soc. London*. 1892. Vol. 183. P. 131-140. AGAMENNONE G. L'anomalia magnetica attribuita al terremoto di Cumana der 1799 // *Boll. Soc. Sismol. Ital.* - 1926. - Vol. 26. - P. 49.
- Allredge L.R.* A proposed automatic standard magnetic observatory // *J. Geophys. Res.* 1961. Vol. 65, N 11. P.3777.
- Allredge L.* Analysis of long magnetic profiles // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1965. Vol. 17, N 3-4. P.173-185.
- Angenheister G.* Propagation velocities of magnetic disturbances and pulsations // *Nachr. Gess. Wissenschaft Goettingen, Math-Phys. Klasse.* Goettingen, 1913. Vol. 4. P.565-581.
- Aschenbrenner H., Gaubau G.* Eine Anordnung zur Registrierung racher magnetischer Störungen // *Hochfrequenz und Electroakustik*. Leipzig, 1936. B. 47, N 6. P.177-181.
- Atwater T., Menard H.W.* Magnetic lineations in the Northeast Pacific // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1970. Vol. 7. P.445-450.
- Atwater T., Mudie J.D.* Detailed near-bottom geophysical study of the Gorda Rise // *J. Geophys. Res.* 1973. Vol. 78, N 35. P.8665-8686.
- Babour K.J., Mosnier J., Daignieres M., Vasseur G., Le Mouel J.R., Rossignol J.C.* A geomagnetic variation anomaly in north Pyrenees // *Geoph. J. Roy. Astron. Soc.* 1976. Vol. 45. P.583-600.
- Bagenal F.* Magnetospheres of the giant planets // *Rev. Earth Planet. Sci.* 1992. Vol. 20. P.289-328.
- Banks R.J., Ottey P.* Geomagnetic deep sounding in and around the Kenya rift valley // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1974. Vol. 36. P.321-335.
- Barker F.S., Barraclough D.R., Malin S.R.C.* World magnetic charts for 1980 - spherical harmonic models of the geomagnetic field and its secular variation // *Geoph. J. Roy. Astron. Soc.* 1981. Vol. 65, N 2. P.525-533.
- Barlow P.* On the probable electric origin of the phenomena of terrestrial magnetism // *Phil. Trans. Roy. Soc. London*. 1831. Vol. 121. P.99-108.
- Barnett S.J.* A since galvanometer for determining in absolute measure the horizontal intensity of Earth's magnetic field // *Researches Dep. Terrestrial Magnetism*. Washington: Carnegie Inst. Publ., 1921. Vol. 4. P.373-394.
- Barraclough D.R., Malin S.R.C.* Geomagnetic secular acceleration // *Geoph. J. Roy. Astron. Soc.* 1979. Vol. 58, N 3. P.785-793.
- Bartels J.* Erdmagnetische Seebeobachtungen und anschliessende Untersuchungen. Total Intensitat // *Deutsche Sudpolar Expedition*. Berlin, 1925. B. V. Teil IV.
- Bartels J.* Erdmagnetische erschliessbare lokale Inhomogenitaeten der electrischen Leitfähigkeit im Untergrund // *Nachr. Akad. Wiss. Goettingen. Math. Phys. Kl.* 1954. B. 2a. P.95-100.
- Bauer L.A.* On the distribution and the secular variation of terrestrial magnetism // *Amer. J. Sci.* 1895. Vol. 50, N 296. P.109-115; N 297. P.189-204; N 298. P.314-325.
- Bauer L.A.* Halley's earliest equal variation chart // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1896. Vol. 1.
- Bauer L.A.* The physical decomposition of the Earth's permanent magnetic field // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1899. Vol. 4, N 1. P.33-52; 1904. Vol. 9. P.173-186.
- Bauer L.A.* Magnetograph records of earthquakes with special reference to the San Francisco earthquake of April. 18. 1906 // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* 1906. Vol. 11, N 9.
- Bauer L.A.* The results of Halley's expedition // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1913. Vol. 16.
- Bauer L.A.* The local magnetic constant and its variations // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* 1914. Vol. 19, N 3. P.113-125.
- Bauer L.A.* Relation between the secular variation of the Earth's magnetism and solar activity // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1918. Vol. 23, N 1. P.1-22; N 2. P.61-68.

- Bauer L.A., Peters W.J., Fleming J.A.* The Compass-Variometer // Researches Dep. of Terrestrial Magnetism. Washington: Carnegie Inst. Publ., 1926. Vol. 5. P.339-358.
- Bell W., Bloom A.L.* Optical detection of magnetic resonance in alkali metal vapor // Phys. Rev. 1957. Vol. 107. P.1559-1570.
- Bemmelen Van D.W.* De Isogones in de XVI en XVII Eeuw. Utrecht, 1893.
- Bemmelen Van D.W.* Die Abweichung der Magnetnadel, Beobachtungen Secular Variation, Wert and Isogonen-systeme bis zur mitte des 18. Jahrhunderts. Batavia, 1899. Vol. 21. 119 p.
- Bemmelen Van D.W.* On pulsations // Batavia Observatory. Magn. and Met. obs. 1906. Vol. 29.
- Bemmelen Van D.W.* Magnetic survey of the Dutch East Indies, 1903–1907. Batavia: Observations made at the Roy. Magn. and Meteor. Observatory, 1909. Vol. 30. 70 p.
- Benkova N.P., Dolginov Sh.Sh., Simonenko T.N.* Residual geomagnetic field from satellite Cosmos-49 // J. Geoph. Res. 1973. Vol. 74, N 5. P.798-803.
- Bergdahl S.* The drill hole magnetometer and its use for magnetic ore-prospecting // Quarterly of the Colorado school of mines. 1963. Vol. 58, N 4. (Ðóññê. ìãð.: Áãðãããëü Ñ. Ñêããæëíúé ìãíèòìãòð // Ããíðèç. àñãðãðóðà. Ë.: Íããðà, 1968. Áü. 35. Ñ.5-6).
- Bernacchi L.C.* Position of the south magnetic pole // J. Geoph. Res. 1908. Vol. 13. P.186-187.
- Bernardiere D.E.* Observations de declinaison, d'inclinaison et d'intensite horizontale dans le bassin de la Mediterranee // Comp. Rend. l'Acad. Sci. Paris. 1879. Vol. 89. P.661-662.
- Bertelli T.* Full reverences to this studies (between 1866 at 1903) on the history of terrestrial magnetism, mostly published in Italian journals // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1903. Vol. 8. P.179-183.
- Bezold W.* Der normale Erdmagnetismus // Sidebar. Akad. Wiss. Berlin, 1895. H. 17, N 12. S.1119-1134.
- Bhattacharya B.K.* An automatic method of compilation and mapping of high-resolution aeromagnetic data // Geophysics. 1971. Vol. 36, N 4. P.695-716.
- Bidlingmayer F.* Der Doppelkompass, seine Theorie und Praxis // Ann. du Hydrograph. 1907. H. 35. P.198.
- Bidlingmayer F.* Erdmagnetische Seebeobachtungen und anschliessende Untersuchungen // Deutsche Sudpol-Expedition. 1901–1903. Berlin: W. de Groyter & Co, 1912. B. 5. Teil 2. 1912.
- Birkeland K.* Norwegian aurora polar expedition 1902-1903. Christiania-Oslo: H.Aschehoud & Co, 1908. Vol. 1. 801 p.
- Bloch F.* Nuclear induction // Phys. Rev. 1946. Vol. 70, N 7-8. P.470-474.
- Bloch F., Hansen W.W., Packard M.* The nuclear induction experiment // Phys. Rev. 1946. Vol. 70, N 7-8. P.474-485.
- Bloemberfer N., Pурсell E.M., Pound R.V.* Relaxation effects in nuclear magnetic resonance absorption // Phys. Rev. 1948. Vol. 73. N 7. P. 679-712.
- Bloom A.L.* Principles operation of the rubidium vapor magnetometer // Appl. Optics. 1962. Vol. 1, N 1. P.61-75.
- Bloxham J., Gubbins D.* The secular variation of the Earth's magnetic field // Nature. 1985. Vol. 317, N 6040. P.777-781.
- Börger C.* Beeinflussung der magnetischen Registrirapparate in Wilhelmshaven durch das Erdbeben in Ober-Italien am 23 Februar 1887 // Met. Zeitschr. 1887. B. IV. P.147.
- Breiner S.* Ocean magnetic measurements // Geometrica Prospect. 1966. P.285-301.
- Breiner S., Covach R.L.* Local geomagnetic events associated with displacements on the San-Andreas fault // Science. 1967. Vol. 158, N 3797. P.116-117.
- Brennan B.J., Hastie L.M.* Piezomagnetic effect of ground loading by lake Gordon // Tectonophysics. 1979. Vol. 56, N 314. P.9-16.
- Bridge H.S., Lazarus A.J., Snyder C.W., Smith E.L., Davis L.J., Coleman P.J., Jones D.E.* Mariner-5: plasma and magnetic field observed near Venus // Science. 1967. Vol. 158, N 3809. P.1669-1673.
- Brooke Ch.* On the automatic registration of magnetometers, and other meteorological instruments, by photography // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1847. Vol. 137. P.59-77; 1850. Vol. 140. P.83-91; 1852. Vol. 142. P.19-24.
- Brown J.A.* On certain results of magnetical observations // Phil. Magazine. 1858. Vol. 16. P.81-99.
- Bullard E.C.* Edmond Halley (1656-1742) // Endeavor. 1956. Vol. 15. P.189.
- Burbank J.E.* Earthquake disturbances recorded on the magnetographs at the observatories of the United States Coast and Geodetic Survey // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1905. Vol. 10, N 3. P.113.
- Busse F.H.* Generation of magnetic field by convection // J. Fluid. Mech. 1973. Vol. 57. P.529-544.

- Cahill L.J.* Investigation for the Equatorial Electrojet by rocket magnetometer // *J. Geophys. Res.* 1958. Vol. 63, N 1. P.270-273.
- Cain J.C.* In search of a complete geomagnetic model // *IAGA Bull.* 1981. N 45. P.116.
- Cain J.C., Shapiro I.N., Stolaric J.D., Heppner J.P.* Vanguard III magnetic field observation // *J. Geophys. Res.* 1962. Vol. 67, N 13. P.5055-5059.
- Camfield P.A., Gough D.I., Porath H.* Magnetometer array studies in the north western United States and south western Canada // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1971. Vol. 22. P.201-221.
- Carlheim-Gyllensköld V.* Memorie sur le magnetisme terrestre dans la Süde Meridionale // *Konigliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar.* Stockholm, 1895. B. 27.
- Cawood I.* The magnetic crusade. Science and politics in early Victorian Britain // *Isis.* 1979. Vol. 70. P.493-519.
- Chapman S.* Edmond Halley and geomagnetism // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1943. Vol. 48. P.131-144.
- Chapman S., Bartels J.* Geomagnetism. London: Oxford Univ. Press. 1940. 1049 p.
- Chapman S., Ferraro V.C.A.* A new theory of magnetic storms // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* 1931. Vol. 36. P.77-97; 1932. Vol. 37. P.147-156.
- Chree C.* British (Terra Nova) Antarctic expedition 1910-1913. Terrestrial magnetism. London: Harrison & Sons, 1921. 548 p.
- Cloutier J.R.* A technique for reducing low-frequency, time-dependent errors present in network-type surveys // *J. Geophys. Res.* 1983. Vol. 88, N B1. P.659-663.
- Cloutier P.A., Haymes R.C.* Vector measurements of the mid- latitude S_q ionospheric current systems // *J. Geophys. Res.* 1968. Vol. 73. P.1771-1787.
- Cox A.H.* Magnetic disturbances in Nottinghamshire and Leicestershire and their relations to the geological structure // *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A.* 1919. Vol. 219. P.73-135.
- Dahlblom T.* Om magnetiska Fyndigheter och deras Undersökning medelsk Magnetometer. Falun, 1898.
- Daignieres M., Mosnier J., Rossignol J.C.* Anomalies des variations du shap magnetique terrestre dans la partie orientale des Pyrenees // *Comp. Rend. Acad. Sci. Paris.* 1973. Vol. 277 (B). P.739-748.
- Davis P.M., Stacey F.D.* Geomagnetic anomalies caused by a man made lake // *Nature.* 1972. Vol. 240, N 5380. P.348-349.
- Davis T.N., Stolaric J.D., Heppner J.P.* Rocket measurements of mid-latitude S_q currents // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1966. Vol. 18. P.183-188.
- Dehmelt H.G.* Slow spin relaxation of optically polarized sodium atoms // *Phys. Rev.* 1957. Vol. 106. P.1487.
- Dolginov Sh.Sh., Yeroshenko Ye.G., Zhuzgov L.N., Pushkov N.V.* A study of the magnetic field of the Moon // *The Moon / Ed. by Z.Kopal.* London and N.Y.: Academic Press, 1962. P.45-52.
- Donovan T.J., Forgey R.L., Roberts A.A.* Aeromagnetic detection of digenetic magnetite over oil fields // *AAPG Bull.* 1979. Vol. 6, N 2.
- Duderstadt H.D.* Magnetische Beobachtungen auf Helgoland // *Ann. Hydrogr. maritimen Met. Deutsch. Seewarte.* 1889. Vol. 18. P.519.
- Duderstadt E.* Magnetische Beobachtungen an den Küsten der Adria // *Ann. Hydrogr. maritimen Met. Deutsche Seewarte. Hamburg.* 1892. Vol. 20.
- Dupont-Roc J.* Determination par res methodes optiques des trois composantes d'un champ magnetique tres faible // *Rev. Phys. Appl.* 1970. Vol. 5, N 8. P.853-864.
- Dyal P., Parkin C.W., Daily W.D.* Magnetism and interior of the Moon // *Rev. Geophys. Space Phys.* 1974. Vol. 12, N 4. P.568-591.
- Dye D.W.* A magnetometer for the measurement of the Earth's vertical magnetic intensity in C.G.S. measure // *Proc. Roy. Soc. London. Ser. A.* 1928. Vol. 117. P.434-458.
- Edwards R.N., Law L.K., White A.* Geomagnetic variations in the British isles and their relation to electrical currents in the ocean shallow seas // *Phil. Trans. Roy. Soc. London.* 1971. Vol. 270, ser. A. P.289-323.
- Eggers D.E., Thompson D.T.* An evaluation of the marine magnetic gradientometer // *Geophysics.* 1984. Vol. 49, N 6. P.771-779.
- Ellis W.* On the simultaneity of magnetic variations at different places on occasions of magnetic disturbance and on the relation between magnetic and Earth current phenomena // *Proc. Roy. Soc. London.* 1893. Vol. 52. P.191-212.
- Ennis F.* Magnetic results of the United States exploring expedition 1838-42. Leut. Charles Wilkes // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1935. Vol. 39.
- Erman A.* Reise um die Erde durch Nord-Asian und die beide Oceans in den Jahren 29 und 30. Berlin, 1841.

- Erman A.* Über einige magnetische Bestimmungen. Die Elemente des Erdmagnetismus und der saclaren Veraenderungen für Berlin // Fortschrifte der Physik. 1869. B. XXV. P.947.
- Errulat F.* Zur Frage der lokalen und regionalen Anomalien der erdmagnetischen Säkularvariation // Deutsche Hidr. Zeitschr. 1950. N 3. P.153.
- Eschenhagen M.* Einige magnetische Beobachtungen im Nordseegebiet // Ann. Hydrogr. maritimen Met. Deutsch. Seewarte. 1888. Vol. 17. P.41-48.
- Eschenhagen M.* Über Simultian-Beobachtungen erdmagnetischen Variationen // Terr. Magn. Atmos. Electr. 1896. Vol. 1. P.55-61.
- Evans F.J.* On the present amount of westerly magnetic declination on the coasts of Great Britain and its annual changes // Proc. Roy. Soc. London. 1872. Vol. 20. P.434-435.
- Evavs F.J., Smith A.* Admiralty manual for the deviations of the compass. 7th ed. London: H.M.Stat. Off., 1920. 220 p.
- Fanselau G.* Die Erzeugung weitgehend homogener Magnetfelder durh Kreisströme // Zeitschr. für Phys. 1929. B. 54. P.260-269.
- Fanselau G.* Über eine magnetische Verticalfadenwaage // Zeitschr. Meteorol. 1948. B. 2. P.116-125.
- Faradey M.* Experimental researches in Electricity // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1832. Vol. 122.
- Fisk H.W.* Isopors and isoporic movements // Comptes Rendus de l'Assemblee de Stockholm. 13-23 Aug. 1930. Paris, 1931. P.280-292.
- Fitterman D.V.* Theory of electrokinetic-magnetic anomalies in a faulted half-space // J. Geophys. Res. 1979. Vol. 84, N B11. P.6031-6040.
- Fleming J.A.* Latest annual values of the magnetic elements at observatories // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1899. Vol. 4. P.135; 1900. Vol. 5. P.128; 1903. Vol. 8. P.7-8; 1907. Vol. 12. P.175-182; 1911. Vol. 16. P.209-214; 1915. Vol. 20. P.131-135; 1917. Vol. 22. P.179-181; 1921. Vol. 26. P.147-149; 1922. Vol. 27. P.157-160; 1924. Vol. 29. P.149-153; 1926. Vol. 31. P.27-31; 1927. Vol. 32. P.27-30; 1928. Vol. 33. P.95-99; 1930. Vol. 35. P.165-176.
- Flemibg J.A.* Description of the C.I.W. marine Earth inductor // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1913. Vol. 18. P.39-45.
- Fleming J.A., Ault I.* Cruise VII of the Carnegie 1928-31 in the Pacific and Indian ocean // Proc. Fourth Pacific Sci. Congr. Java, 1929.
- Fleming J.A., Ennis C.C.* Latest annual values of the magnetic elements at observatories // Comptes Rendus de l'Assemblee de Stockholm. 13-23 Aug. 1930. Paris, 1931 P.233-263; Comptes Rendus de l'Assemblee de Lisbonne. 17-25 Sept. 1933. Copenhagen, 1934. P.213-218; Transactions of EdinboyrgH Meeting. 17-24 Sept. 1936. Copenhagen, 1937. P.323-330.
- Fleming J.A., Scott W.E.* List of geomagnetic observatories and thesaurus of values // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1943. Vol. 48. P.95-108, 171-182, 237-242; 1944. Vol. 49. P.47-52, 109-118, 199-200, 267-269; 1948. Vol. 53. P.199-240.
- Flinders M.* Concerning the differences in the magnetic needle on board the Investigator, arising an alteration in the direction of the ship's head // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1805. Part. 11.
- Forschmann L.A.* Observationen over jordmagnetiska horisontal-intensiteten och inclination in om vesterbotten oñh Lappland // Konigl. Svenska Vetensk. Akad. Handl. 1871. Vol. 10. P.1-26.
- Forster M.R., Jines W.R., Van der Weg R.* Statistical estimation of systematic errors at intersections of lines of aeromagnetic survey data // J. Geoph. Res. 1970. Vol. 75. P.1507-1511.
- Frank L.A.* On the extraterrestrial ring current during geomagnetic storms // J. Geophys. Res. 1967. Vol. 72. P.1263-1268.
- Frey H.* Magsat scalar anomaly distribution the global perspective // Geophys. Res. Lett. 1982. Vol. 9, N 4. P.277-280.
- Frey H.* Magsat and POGO magnetic anomalies over the Lord Howe Rise: Evidence against a simple continental crustal structure // J. Geophys. Res. 1985. Vol. 90, N B3. P.2631-2639.
- Fritsche H.* Über die Bestimmung der geographischen Länge und Breite und der drei Elemente des Erdmagnetismus durch Beobachtung zu Lande, sowie erdmagnetische und geographische Messungen an mehr als tausend verschiedenen Orten in Asien und Europa ausgeführt in den Jahren 1867-1892. St. Petersburg, 1893a.
- Fritsche H.* Die magnetische Localabweichung bei Moskau und ihre Beziehung zur dortigen Localattraction // Bull. de la Soc. Imp. des Natur. de Moskau. 1893b. N 4.

- Fritsche H.* Über die Bestimmung der Koeffizienten der Gaussischen "Allgemeinen Theorie der Erdmagnetismus" für das Jahr 1885. St. Peterburg, 1897a.
- Fritsche H.* Observations magnetiques sur 500 lieux, faites en Asie et en Europe pendant la periode 1867-1894. St. Petersburg, 1897b. 41 p.
- Fritsche H.* Die Elemente des Erdmagnetismus und ihre secular Änderungen während Zeitraumes 1550 bis 1915. St. Peterburg, 1900.
- Fuller M.D.* Expression of E-W fractures in magnetic surveys in parts of the U.S.A. // *Geophysics*. 1964. Vol. 29, N 4. P.602-622. (Русск. пер.: *Фуллер М.Д.* Отражение разломов широтного простирания в магнитных съемках некоторых районов США // *Аэромагнитные методы в геофизике*. М.: Мир, 1966. С. 184-216).
- Giret R., Molnar L.* A new airborne magnetometer, the cesium vapor magnetometer // *Geophys. Prosp.* 1963. Vol. 11. P.372.
- Glatzmaier G.A., Roberts P.H.* A three-dimension self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal // *Geophys. and Astrophys. Fluid Dynamics*. 1995. Vol. 377. P.203.
- Gold T.* Motion in the magnetosphere in the Earth // *J. Geophys. Res.* 1959. Vol. 64, N 9. P.1219-1224.
- Gordon D.J., Brown R.E.* Recent advances in fluxgate magnetometry // *IEEE Trans. on Magn.* 1972. V. Mag. 8. N 1. P.76-82.
- Gough D.I.* Geophysical significance of geomagnetic variation anomalies // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1973. Vol. 7. P.376-388.
- Gringmuth H.* Wie erklären sich Erdmagnetismus und Erdbeben? Dresden, 1882.
- Grotvahl V.* Bericht über der Versuchfahrt des Bidlibgmayerschen Doppelcompass mit dem Luftschiff "Graf Zeppelin" // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* 1930. Vol. 34.
- Haalck H.* Die neue magnetische Universalwaage // *Zeitschr. für Geophys.* 1927. B. 3. P.58-68.
- Haalck H.* Die magnetischen Methoden der angewandten Geophysik // *Handbuch der Experimentalphysik* / Red. Wien-Harms. Leipzig: Akad. Verlagsges., 1930. B. 25. Teil 3. P.303-398. (Русск. пер.: *Ангенхай-стер Г.* и др. Прикладная геофизика. Вып. 3: Магнитометрия. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. С. 97-180).
- Hammer E.* Misvisnings Undersogeliet ved Bornholms Kuster // *Peterman's Mitth. Just. Perthes' geogr. Anstalt*. Gotha. 1893. N 456.
- Hansteen Ch.* Untersuchungen über Magnetismus der Erde. Christiania: Lehman und Grondohl, 1819. 502+148 pp.
- Hansteen Ch.* Perturbation magnetique a Christiania le 21 fevrier 1866 // *Bull. d. Brux.* 1866. Vol. 21. P.280.
- Hansteen Ch., Due C.* Resultate magnetischer, astronomischer und meeorologischer Beobachtungen auf einer Reise nach dem ostlichen Sibirien in den Jahren 1828 bis 1830, nebst Angang enthaltend magnetische Beobachtungen auf verschiedenen Land- und Seereisen von dem Verfasser und seinen Landsleuten. Christiania, 1863.
- Harang L.* Observations of micropulsations at Tromse // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* 1931. Vol. 37. P.57-61.
- Harradon H.D.* Some early contributions to the history of geomagnetism // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1943. Vol. 48. P.3-17.
- Harrison C.G.A., Jaggard R., Vacquier V., Larson R.L.* Paleomagnetism of Cretaceous Pacific seamounts // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1975. Vol. 42. P.859-882.
- Harrison C.G.A., Carle H.M., Hayling K.L.* Interpretation of satellite elevation magnetic anomalies // *J. Geophys. Res.* 1986. Vol. 91, N B3. P.3633-3650.
- Hasbrouck W.R., Allen J.H.* Quasi-static magnetic field changes associated with the Cannikin nuclear explosion // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1972. Vol. 62, N. 6. P.1479-1587.
- Hatakeyama H.* On the bau-disturbance in the terrestrial magnetism // *Geophys. mag.* 1938. Vol. 12. P.15-66.
- Hayling K.L., Harrison C.G.A.* Magnetization modeling in the north and equatorial Atlantic Ocean using Magsat data // *J. Geophys. Res.* 1986. Vol. 91, N B12. P.12423-12443.
- Heck N.H.* Secular changes in the magnetic elements in the United States (180 years of declination and 80 years of horizontal intensity) // *Intern. Geodet. and Geophys. Union. Lisbon Meet., 1933. Section Terr. Magn. Atmos. Electr.* Copenhagen, 1934. Bull. N 5. P.263-276.
- Heck N.H., Parker W.E.* Instructions for the compensation of the magnetic compass. U.S. Dept. Comm., Coast and Geodetic Survey. Spec. Publ. Washington, 1923. Vol. 96. 49 p.

- Heiland C.A.* Geophysical methods of prospecting. Principles and recent successes // Quarterly of the Colorado School of Mines. Colorado, 1929. Vol. 24, N 1. 163 p.
- Heiland C.A.* Geophysical mapping from the air, its possibilities and advantage // Eng. and Min. J. 1935. Vol. 136. P.609.
- Heirtzler J.R., Dickson G.O., Herron E.M., Pitman W.C.* Marine magnetic anomalies, geomagnetic reversals, and motion of the ocean floor and continents // J. Geophys. Res. 1968. Vol. 73, N 6. P.2119-2136.
- Hellmann G.* The beginnings of magnetic observations // Terr. Magn. Atmos. Electr. 1889. Vol. 4. P.73-86.
- Hellmann G.* Rara Magnetica. Berlin, 1898.
- Hellmann G.* Magnetische Kartografie in historische-kritischer Darstellung // Veroff. Pr. Meteorol. Inst. 1909. Bd. 3. N 3.
- Herbert B., Langan L.* The airborne rubidium magnetometer // Varian assoc. Calif. geophys. techn. mem. 1965. N 19.
- Hide R., Malin S.R.C.* The size of Jupiter's electrically conducting fluid core // Nature. 1979. Vol. 280. N 5717. P. 42-43.
- Hood P.* Gradient measurements in aeromagnetic surveying // Geophysics. 1965. Vol. 30. P.891-902.
- Hood P.* Mineral exploration, trends and developments in 1969 // Canad. Mining J. 1970. Vol. 91, N 2.
- Hood P.* Mineral exploration, 1985: Trends and developments // Canad. Mining J. 1986. Vol. 107, N 1. P.20-45.
- Hubert H.* Lignes de deviation magnetique en Afrique tropicale Francaise // Ann. Phys. Globe France d'Outre-Mer, Paris. 1938. Vol. 5. P.29-30.
- Hughes J., Hendrix D., Coen J. et al.* Relationship of the magnetoencephalogram to the electroencephalogram. Normal wake and sleep activity // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1976. Vol. 40. P.1976.
- Hurst H.E.* The magnetic survey of Egypt and the Sudan // Phys. Dep. Papers. Cairo: Ministry Public Works. Phys, 1924. N 15. 15 p.
- Johnson B.D.* Viscous remanent magnetization model for the Broken Ridge satellite magnetic anomaly // J. Geophys. Res. 1985. Vol. 90, N B3. P.2640-2646.
- Johnston M.J.C., Smith B.E., Mueller R.* Tectonomagnetic experiments and observations in western USA // J. Geomagn. and Geoelectr. 1976. Vol. 28, N 2. P.85-97.
- Johnston M.J.C., Stacey F.D.* Volcano-magnetic effects observed on Mt. Ruapehu N.Z. // J. Geophys. Res. 1969. Vol. 74, N 27. P.6541-6544.
- Jorden T.B.* Description and use of a dipping needle deflector inferred by Robert Were Fox // Esq. Ann. Electr. 1838. Vol. 3.
- Kakuchi D.* Recent seismological investigation // Japan J. Sci. Coll. Tokyo. 1904. Vol. 11. P.315.
- Kalinowski S.* Leve magnetique de la Pologne // Travaux Obs. Magn. Swirgze. Warsaw, 1933. N 5; 1935. N 7. 152 p.
- Käemptz L.F.* Resultate magnetischer Beobachtungen in Finnland // Mem. l'Acad. Imp. Sci. St. Peterb. 1849. Vol. 6. P.349.
- Kato Y.* Investigation of the changes in the Earth's magnetic field accompanying Earthquakes or volcanic eruption // Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. 1938. Vol. 27, N 1-2.
- Kato Y.* Investigation of the changes in the Earth's magnetic field accompanying earthquakes or volcanic eruptions; on the strong earthquake of May 29th 1938, which occurred near Kuttuaro lake, Hokkaido // Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. 1940. Vol. 29, N 3. P.315-328.
- Kato Y., Nakamura S.T.* Magnetic disturbance in the seismic area of the earthquake of November 26. 1930 // Sci. Rep. of the Tohoku Imp. Univ. Ser. 1. 1930. Vol. 21, N 1. P.96-113.
- Kato Y., Nakamura S.T.* Anomalous secular variation of magnetic dip in the epicentral area of the destructive Earthquake of November 26. 1930 // Proc. Imp. Acad. Japan. 1934. Vol. 10. P.256.
- Kato Y., Takagi A.* Further note on the investigation of the changes in the Earth's magnetic field accompanying earthquake or volcanic eruption // Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5. Geophys. 1953. Vol. 5, N 2. P.67-74.
- Keränen J.* On the secular change of the Earth's magnetic force in Northern Europa during the period 1910-25 // Ann. Acad. Sci. Fennicae. Helsingfors, 1927. Vol. 28, N 3. 17 p.
- Keränen J.* Magnetic survey of Finland on July 1, 1930 // Meteorol. Zentralanst., Erdmagn. Untersuchungen. Helsinki, 1933. N 17. 39 p.
- Keränen I., Odelsio M.* Magnetic measurements in the Baltic sea South Quarter. Helsingfors, 1926.

- Kersten P.* Bericht über einige magnetische Messungen in Palestina // Mitth. Ver. Erdk. in Leipzig. 1874. P.98.
- Keyser A.R., Rice J.A., Schearer L.D.* A metastable-helium magnetometer for observing small geomagnetic fluctuations // J. Geophys. Res. 1961. Vol. 66. P.4163.
- Kohlrausch F.* Über absolute Messungen mittels bifilarer Aufhängung, insbesondere zwei Methoden zur Bestimmung der erdmagnetischen Horizontal-Intensität ohne Zeitmessung // Widemann's Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge. 1882. B. 17. P.737.
- Kohlrausch F.* Über sehr rasche Schwankungen des Erdmagnetismus // Annalen der Physik und Chemie, herausgeg. von G. und E. Widemann. 1896. B. 60. P.336-339.
- Königsberger J.G.* Die magnetische Feststellung von Salzlagerstätten // Zeitschr. Kali. 1924. 1924. H. 5.
- Koulomzine T., Boesch A.* Über die von Askania-Werken erbaute Vertical-Feldwaage von Schmidt // Zeitschr. für Geophys. 1932. B. 8. P.166-180.
- Kreil C.* Einfluss des Mondes auf die magnetische Declination // Denkschriften der Kaiser. Akad. der Wiss. Math.-naturwiss. Classe. Wien, 1852. B. 3. N 1.
- Kreil C.* Magnetische und geographische Ortsbestimmungen im südöstlichen Europa und an einigen Küstenpunkten Asiens // Denkschriften der Kaiser. Acad. der Wissenschaften. Math.-natur. Classe. Wien, 1860. B. 44. P. 324-344.
- Kremser G.* Ergebnisse erdmagnetischer Tiefensondierung in der Umgebung von Göttingen // Zeitschr. Geophys. 1962. B. 28. P.1-10.
- Labreque J.L., Cande S.C.* Intermediate wavelength magnetic anomalies over Central Pacific // J. Geophys. Res. 1984. Vol. B89. P.11124-11134.
- Labreque J.L., Raymond C.A.* Seafloor spreading anomalies in the Magsat field of the North Atlantic // J. Geophys. Res. 1985. Vol. 90, N B3. P. 2565-2575.
- La Cour D.* Le Quartz-Magnetometere QHM // Det Danske Meteorol. Inst. Copenhagen. Communication magnetiques. 1936. Vol. 16.
- La Cour D.* The magnetometric zero balance // Communication magnetiques. Det Danske Meteorologiske Inst. Copenhagen, 1942. Vol. 19.
- La Cour D., Laursen V.* Le variometre de Copenhague // Commun. Magnet. Copenhagen, 1930. N 11. P.1-11.
- Lamont J.* Beiträge zu magnetischen Ortbestimmung // Annalen der Physik und Chemie herausgegeben zu Berlin von Poggendorf. 1847. Vol. 70.
- Lamont J.* Über die zehnjährige Periode, welche sich in der Größe der täglichen Bewegung der Magnetnadel darstellt // Annalen der Physik und Chemie, herausgeg. zu Berlin von J.C.Poggendorf. 1851. B. 84. P.572.
- Lamont J.* Sur la carte magnetique de l'Europe; determination des constantes magnetiques dans le midi de la France et de l'Espagne // Comp. rend. l'Acad. Sci. Paris. 1858. Vol. 46. P.648-653.
- Lamont J.* Magnetische Untersuchungen in Nord-Deutschland, Belgien, Holland, Danemark. München. 1859.
- Lamont J.* Zusammenhang zwischen Erdbeben und magnetische Störungen // Annalen der Physik und Chemie, herausgeg. zu Berlin von J.C.Poggendorf. 1862. B. 95. P. 176-179.
- Langel R.A.* The MASSAT mission // Geophys. Res. Lett. 1982. Vol. 9. N 4. P. 243-245.
- Langel R.A., Estes R.H., Mead G.D.* Some new methods in geomagnetic field modelling applied to the 1960-1980 epochs // J. Geomagn. and Geoelectr. 1982. Vol. 34, N 6. P.327-349.
- Langel R.A., Benson B.J., Orem R.M.* The Magsat bibliography. Greerbelt: Goddard Space Flight Center, 1991. 99 p.
- Larson R.L., Larson P.A., Mudie J.D., Spiess F.N.* Models of near-bottom magnetic anomalies on the East Pacific rise crest 21°N // J. Geophys. Res. 1974. Vol. 79. P.2686-2689.
- Lasarev B.G., Schubnikov L.V.* Das magnetische Moment des Protons // Phys. Zeitschr. Sowjetunion. 1937. B. 2. P.455-457.
- Layendyk B.R.* Origin of short wave length magnetic lineations observed near the ocean bottom // J. Geophys. Res. 1969. Vol. 74. P.1217-1227.
- Lawrie J.A.* Direction of geomagnetic fluctuations near coastline // N.Z. J. Geol. and Geophys. 1965. Vol. 8, N 5. P.869-884.
- Lenz R.* Positionbestimmungen und magnetische Beobachtungen in Persien // Peterman's Mittheilungen aus Justus Perthes' geogr. Anstalt. Gotha, 1869. P.70-72.
- Lephay.* Magnetische Messungen im östlichen Mittelmeerbecken // Met. Zeitschr. Wien. 1890. B. 7. P.78.

Levanto A.E. A three-component magnetometer for small drill-holes and its use in ore prospecting // Geophys. Prosp. 1959. Vol. 7, N 2.

- Lewis A.D.* Magnetic declination in South Africa, 1936. Pretoria: Union of South Africa Dep. Irrigation, 1937. 19 p.
- Lilley F.E.M.* Magnetic daily variations compared between the east and west coasts of Canada // *Canad. J. Earth Sci.* 1979. Vol. 16. P.585-592.
- Lilley F.E.M., Bennet D.J.* An array experiment with magnetic variometer near the coasts south-east Australia // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1972. Vol. 29, N 1. P.49-64.
- Liznar J.* Über den jährlichen Gang der magnetischen Declination // *Met. Zeitschr.* 1888. B. 5. P.225.
- Liznar J.* Magnetische Messungen auf Island, Jan Maynen und Spitzbergen // *Met. Zeitschr.* 1894. B. 11, N 10. P.394.
- Ljungdahl G.* Preliminary report of the magnetic observations made during the aerostatic expedition of the "Graf Zeppelin" 1931 // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* 1931. Vol. 35.
- Ljungdahl G.S.* Magnetic secular change in Sweden, 1929-1936 // *Terr. Magn. and Atmos. Electr.* - 1937. Vol. 42, N 2. P.127-128.
- Lloyd H.* A treatise on magnetism, general and terrestrial. London: Longmans, Green and company, 1874.
- Loper D.E.* The gravitationally powered dynamo // *Geoph. J. Roy. Astron. Soc.* 1978. Vol. 54. P.389-404.
- Lundberg H.* Results obtained by the helicopter-borne magnetometer // *Trans. Can. Inst. Min. Met.* 1947. Vol. 50. P.392.
- Lutzow-Holm O.* Carta magnetica de la Rep. Argentina, 1931. Buenos-Airea: Min. Agric., Dir. Met. Geofis. Hidrol., 1933. Ser. A. N 1. 15 p.
- Macdonald K.C.* Near-bottom magnetic anomalies, asymmetric spreading, oblique spreading, and tectonics of the Mid-Atlantic ridge, near lat. 37 N // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1977. Vol. 88. P.541-555.
- Machmoud-Effendi.* Memorie sur l'etat actuel des lignes isocliniques et isodinamiques dans la Grande Bretagne, la Hollande, la Belgique et la France // *Bull. Acad. Sci. Belgique.* 1856. Vol. 23. P.620-625.
- Maple E., Singer S., Bowen W.* Evidence for ionosphere currents from rocket experiments near the geomagnetic equator // *Phys. Rev.* 1951. Vol. 83. P.957; 1953. Vol. 85. P.558.
- Mascart E.* Sur les effets magnetiques des tremblements de terre // *Comp. Rend. l'Acad. Sci. Paris.* 1887. Vol. 105. P.634.
- Mascart E.* Sur la relation de certaines perturbations magnetiques avec les tremblements de terre // *Comp. Rend. l'Acad. Sci. Paris.* 1889. Vol. 109. P.660.
- Mason R.G., Raff A.D.* Magnetic survey off the West Coast of North America 32 N latitude to 42 N latitude // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1961. Vol. 72. P.1259-1266.
- Mizutani H., Ishido T.* A new interpretation of magnetic field variations associated with the Matsushiro earthquake // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1976. Vol. 28. P.179-188.
- Meyer O.* Über eine besondere Art von Boystörungen // *Deutsche Hedrograph. Zeirschr.* 1951. B. 4. P.61-65.
- Mayhew M.A.* Magsat anomaly field inversion for the U.S. // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1984. Vol. 71, N 2. P.290-296.
- Mayhew M.A.* Curie isotherm surface inferred from high-altitude magnetic anomaly data // *J. Geophys. Res.* 1985. Vol. 90. N B3. P. 2647-2654.
- Mayhew M.A., Estes R.H., Mayers D.M.* Magnetization model for the source of the "Kentucky anomaly" observed by Magsat // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1984. Vol. 74. P. 2511-2522.
- Mayhew M.A., Johnson B.D.* An equivalent layer magnetization model for Australia based on Magsat data // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1987. Vol. 83, N 1/4. P.167-174.
- Mielberg J.* Die magnetische Declination in St. Peterburg // *Repertorium für Meteorologie, herausgeg. von der keiser. Akad. der Wissenschaft. St. Peterburg,* 1874. B. IV. P.1-58.
- Meilleroux J.P.* Progress resents sur le magnetometre a vapeur de cesium type "ASSERVI" // *Rev. Phys. Appl.* 1970. Vol. 5. P.121-130.
- Milne J.* Earthquakes in connection with electric and magnetic phenomena // *Trans. Seismol. Soc. Japan.* 1890. Vol. 15. P.135.
- Mitchell A.* Charters in the history of terrestrial magnetism // *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 1937. Vol. 42. P.241-280; 1939. Vol. 44. P.77-80.
- Morley L.W., Larochelle A.* Paleomagnetism as a means of dating geological events // *Roy. Soc. Can. Srec. Publ.* 1964. Vol. 8. P.512-521.
- Mosnier J.* Induction in the Earth's crust. Observational methods on land and sea // *Geophys. Surveys.* 1982. Vol. 4. P.353-371.

- Mountaine W., Dodson J.* A letter to the Right Honorable the Earl Macclesfield, President of the Council and Fellow of the Royal Society, concerning the Variation of the Magnetic Needle with a set of Tables annexed, exhibit the Result of upward of fifty thousand observations in six periodic reviews from the year 1700 to the year 1756, both inclusive and are adopted to every 5 degree of latitude and longitude in the more frequented oceans // *Phil. Trans. Roy. Soc. London.* 1757. Vol. 50. P.329-350.
- Moureaux Th.* Determinations magnetiques dans le bassin occidentale de la Mediterranee // *Comp. Rend. l'Acad. Sci. Paris.* 1888. Vol. 107. P.229-327.
- Moureaux T.* Sur les relations qui peuvent exister entre les perturbations magnetiques et les tremblements de terre du 30 mai 1887 // *Comp. Rend. l'Acad. Sci. Paris.* 1889. Vol. 108. P.1189.
- Moureaux Th.* Cartes magnetiques de la France at 1 janvier 1895. // *Annuaire pour l'an 1895* publie par le bureau des longitudes. Paris: Ganthier-Villars, 1896.
- Müeller D.* Sur les declinaisons absolues observees sur la cote de la mer Adriatique // *Comp. Rend. l'Acad. Sci. Paris.* 1874. Vol. 78. P.1368-1369.
- Munoz R.* The ames magnetometer // *Proc. Nat. Telem. Conf. USA.* May, 1966. P.77-80.
- Nagata T.* Tectonomagnetism // *IAGA Bull.* 1969. Vol. 27. P.12-43.
- Nagata T.* National magnetic survey over Japan and adjacent area // *IAGA Bull.* 1971. N 28. P.36-44.
- Naumann E.* Geotectonic und Erdmagnetismus // *Verhandl. d. XII. Deutsch. Geographentages.* Berlin, 1897. P.142-166.
- Negi J.C., Thakur N.K., Agrawal A.K.* Crustal magnetization- model of the Indian subcontinent through inversion of satellite data // *Tectonophysics.* 1986. Vol. 122. P.123-133.
- Nelle P.* Erdmagnetische Seebeobachtungen und anschliessende Untersuchungen. Inclination und Horizontallintensitat // *Deutsche Sudpolar Expedition.* Berlin, 1925. B. Vol. Teil III und IV.
- Ness N.F.* Magnetometers for space research // *Space Sci. Rev.* 1970. Vol. 11. P.459-554.
- Ness N.F., Behannon K.W., Lepping R.P., Whang Y.C.* The magnetic field of Mercury // *J. Geophys. Res.* 1975. Vol. 80. P.2708-2716.
- Neumayer G., Petersen H.* Über das gegenwartige vorliegende Material für die Erd- und Weltmagnetische Forschung // *Verhandl. Des 8. Deutsch Geograph. Tages.* Berlin, 1889. P.33-36.
- Niblett E.R., Whitham K.* Multidisciplinary studies of geomagnetic variation anomalies in the Canadian Arctic // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1970. Vol. 22. P.99-111.
- Nordenskiöld A.E.* *Periplus.* Stockholm., 1897. 208 p.
- Olczak T.* Jan Gewelusz i magnetizm ziemski // *Postepy Astronomii.* 1955. T. 3. Z. 2.
- Otala M.* The theory and construction of proposed superconducting aeromagnetic gradiometer // *Acta Polytechn. Scand. Electr. Engn. Sep.* 1969. N 21. P.1-55
- Packard M., Varian R.* Free nuclear induction in the Earth's magnetic field // *Bull. Amer. Phys. Soc.* 1953. Vol. 28. P.7; *Phys. Rev.* 1954. Vol. 93. P.941.
- Parkinson W.D.* Directions of rapid geomagnetic fluctuations // *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 1959. Vol. 2, N 2. P.1-14.
- Parkinson W.D.* Conductivity anomalies of Australia and the ocean effect // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1964. Vol. 15, N 4. P.222-226.
- Parkinson W.D., Jones F.W.* The geomagnetic coast effect // *Rev. Geophys. and Space Phys.* 1979. Vol. 17. P.1999-2015.
- Paulsen A.* Regime magnetique de l'ile de Bornholm // *Extrait Bull. l'Acad. Roy. Sci. Lett. Danemark.* Copenhague, 1896.
- Peddie N.M.* International geomagnetic field: The third generation // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1982. Vol. 34, N 3. P.309-326.
- Pelen J.* Les aspects metrologiques des mesures magnetiques au sol et dans l'espace // *Rev. Phys. Appl.* 1970. Vol. 5. P.191-193.
- Peter C.* Discussion of paper by Layendyk "Origin of short wave length magnetic lineations observed near the ocean bottom" // *J. Geophys. Res.* 1970. Vol. 75, N 32.
- Piltschikoff N.D.* Sur les variations peridiques des elements du magnetisme terrestre dans les regions anormales. Acad. de Toulouse, 1900.
- Pitman III W., Herron E.M., Heirtzler J.R.* Magnetic anomalies in the Pacific and sea-floor spreading // *J. Geophys. Res.* 1968. Vol. 73, N 6. P.2069-2085.
- Pitman III W., Larson R., Herron E.* Age of the ocean basins determined from magnetic anomaly lineations. N. Y., 1974. 2 sh.

- Poisson S.D.* Memorie sur la theorie du magnetisme // Mem. Acad. Roy. Sci. Inst. France. 1826. T. 5.
- Procopiu S.* Cartes Magnetique de la Roumanie, 1934 // Ann. Sci. Univ. Jassy. 1935. Vol. 21. P.270-302.
- Pursell E.M., Torrey H.C., Pound R.V.* Resonance absorption by nuclear magnetic moments in solid // Phys. Rev. 1946. Vol. 69. P.37.
- Putnam J.R.* Note in regard to disturbances on St. George island, Bering sea // Terr. Magn. Atmos. Electr. 1898. Vol. 3. P.44.
- Raff A.D., Mason R.G.* Magnetic survey off the West Coast of North America 40 N latitude to 52 N latitude // Bull. Geol. Soc. Amer. 1961. Vol. 72. P.1267-1270.
- Ravat D.N., Hinze W.J., Von Frese R.R.B.* Analysis of Magsat magnetic contrasts across the Africa and South America // Tectonophysics. 1992. Vol. 212, N 1/2. P.59-76.
- Read H.F.* The free and forced variations of a suspended magnet // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1914. Vol. 19, NN 6, 12.
- Reford M.S., Sumner J.S.* Aeromagnetism // Geophysics. 1964. Vol. 29, N 4. P.482-516. (Русск. пер.: Рефорд М.С., Самнер Дж.С. Аэромагнитная съемка // Аэромагнитные методы в геофизике. М.: Мир, 1966. С. 9-68.).
- Regan R.A., Davis W.M., Cain J.C.* The detection of "intermediate" size magnetic anomalies in Cosmos-49 and OGO-2, -4, -6 data // CASPAR space res. 13. Proc. open meet. working group phys. sic. 15-h plenary meet. 1972. Vol. 2. P.32-57.
- Regan R.D., Cain J.C., Davis W.M.* A global magnetic anomaly map // J. Geoph. Res. 1975. Vol. 80, N 5. P.794-802.
- Reich H., Wolf W.* Über das magnetische Verhalten verschiedener Harzgesteine // Zentrabl. für Min. usw. 1929. Abt. B. N 5. P.153-160.
- Rikitake T.* Changes of magnetic dip that accompanied the activities of volcano Mihara // Bull. of Earthquake Res. Inst. 1950. Vol. 29, N 1, 3.
- Rikitake T.* Anomaly of geomagnetic variations in Japan // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1959. Vol. 2. P.276-287.
- Rikitake T.* Geomagnetism and earthquake prediction // Tectonophysics. 1968. Vol. 6, N 1. P.59-68.
- Rikitake T.* Earthquake prediction. Amsterdam—Oxford—New York: Elsevier Sci. Publ. Comp., 1976. (Русск. пер.: Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.).
- Rikitake T., Yokoyama I., Hishiyama Y.* A preliminary study on the anomalous behaviour of geomagnetic variations of short period in Japan and its relation to the subterranean structure // Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. 1952. Vol. 30. P.207-221.
- Rikitake T., Yokoyama I., Sato S.* Anomaly of the geomagnetic S_q variation in Japan and its relation to the subterranean structure // Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ. 1956. Vol. 34, N 2. P.207-221.
- Rijkevorsel Van.* A magnetic survey of Netherlands for the epoch January 1, 1891. // Nieuwe Verhandelingen van het Bataafsche Genootschap der proefondervindelijke Wijsbbgeerte te Rotterdam. Bu- itengewone Aflevering. Rotterdam, 1895.
- Rössiger M.* Die Messung von H und Z mit dem Magnetron // Zeitschr. für Geophys. 1928. B. 4. P.371-372.
- Rolf B.* Giant micropulsations at Abisko // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1931. Vol. 36. P. 9-14.
- Rooney D., Hatton V.R.S.* A magnetotelluric and magnetovariational study of the Gregory rift valley // Geophys J. Roy. Astron. Soc. 1977. Vol. 51. P.91-119.
- Rosen A., Inouge G.T., Morse A.L., Judge D.L.* Ultrasensitive magnetic field measurements in the presence of high ambient noise levels-application to magnetocardiography // J. Appl. Phys. 1972. Vol. 45, N 4. P.1908-1914.
- Ross J.C.* On the position of the north magnetic pole // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1834. Vol. 124. P.47-52.
- Rothe J.P.* Deformations des anomalies magnetique et seismis // Travaux Scientifiques. 1950. Vol. 17. P.157-169.
- Ruecker A.W., Thorpe T.E.* A magnetic survey of the British Isles for the epoch January 1. 1891 // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1896. Vol. 188. P.1-661.
- Sabine E.* On irregularities observed of the compass needle of HMS Isabelle and Alexander, in their late voyage of Discovery, and caused by attraction of the iron contained in the ship // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1819. Part. 1.
- Sabine E.* Contribution to terrestrial magnetism // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1849. Vol. 139; 1866. Vol. 156; 1868. Vol. 158; 1870. Vol. 160; 1872. Vol. 162; 1875. Vol. 165; 1877. Vol. 167.

- Sabine E.* On periodical laws discoverable in the mean effects of the larger magnetic disturbances // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1851. Vol. 141. P.123-139; 1852. Vol. 142. P.103-124.
- Sabine E.* On the influence of the moon on the magnetische declination at Toronto, Saint Helena and Hobar-ton // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1853. Vol. 143. P.579.
- Sabine E.* On what the colonial magnetic observatories have accomplished // Proc. Roy. Soc. London. 1857. 19 p.
- Sabine E.* On hourly observations of the magnetic declination made by R. Maguire and officers of the H. M. Ship "Plover" in 1852, 1853 and 1854, at points Borrow. on the shores of the polar sea // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1857. Vol. 147. P.497-532.
- Sabine E.* Report on the repetition of the magnetic survey of England, made at the request of the General Committee of the British Association // Rep. of the Brit. Assoc. for the advancement of science. 1861. Vol. XXI.
- Schmidt A.* Mathematische Entwicklungen zur allgemeine Theorie der Erdmagnetismus // Arch. Deutsch. Seewarte. 1889. B. 12. N 3. 30 p.
- Schmidt A.* Ein Lokalvariometer für die Verticalintensitat // Berichte über die Tätigkeit in Jahre 1914. Preuss. Meteorol. Inst. Potsdam. Berlin, 1914. N 284. P.119-134.
- Schmidt A.* Die Sakularänderung der erdmagnetischen Elemente im westlichen Europa während der letzten Zeit // Meteorol. Zeitschr. 1919. B. 36. P. 37-240.
- Schmidt A.* Über die Bestimmung der Parameter von Magneten auf galvanischen Wege // Bericht über die Tätigkeit im Jahre 1929. Berlin: Preuss. Meteor. Inst., 1930. N 372. P.119-137.
- Schmidt A.* Der magnetische Mittelpunkt der Erde und seine Bedeutung // Gerl. Beitr. zur Geophys. 1934. B. 41. H. 3. P.346-358.
- Schmuker U.* Erdmagnetische Tiefensondierung in Deutschland 1957-1959: Magnetogramme und erste Auswertung // Abhandl. Akad. Wiss. Goettingen. Math. Phys. Kl. Beitr. I.G.J. 1959. B. 5. P.1-50.
- Schmuker U.* Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States // J. Geomagn. and Geoelectr. 1964. Vol. 15, N 4. P.193-221.
- Schonstedt E., Irons H.* Airborne magnetometer for determining magnetic components // Trans. Amer. Geophys. Union. 1953. Vol. 34.
- Schott Ch.A.* Report of the proceeding of the U.S. expedition to Lady Franklin Bay by A. Greely. Washington. 1888. Vol. 2. P.479-635.
- Schott Ch.A.* Secular variation in the position of the agonic line of the North Atlantic and of America between the epochs 1500 and 1900 // U.S. Coast Geodet. Surv. Bull. 1889. N 6.
- Schott Ch.H.* On the magnetic observations made during Berihg's first voyage to the coast Kamtschatka and eastern Asia. 1725-30 // Rep. U. S. Coast and Geodet. Survey for 1891. N.-Y., 1892. Part 2. P.269-273.
- Schott Ch.A.* Secular variation in the position of the agonic line of North America between A.D. 1700 and 1900 // Terr. Magn. Atmos. Electr. 1897. Vol. 2, N 3. P.123.
- Schott Ch.A.* Distribution of the magnetic dip and magnetic intensity in the United States for the epoch January 1, 1890 // Rep. U. S. Coast and Geodet. Survey. 1897. Washington, 1898. P. 161-196.
- Schuh Fr.* Magnetische Messungen in südwestlichen Mecklenburg // Mitteilung der Meckl. Geol. Landesanstalt. Rostok, 1920. Vol. 32.
- Schueck E.* Beobachtungen der Declination, Inclination und Schwingenzeit der Magnetnadel auf der Erde und der Nordsee zwischen Hamburg und Rouen 1884, 1885 // Abhandl. Naturwiss. Verein von Hamburg. 1886. Vol. 9.
- Schueck E.* Magnetische Beobachtungen auf der Nordsee, angesellt in den Jahren 1884 bis 1886, 1890 und 1891. Hamburg. 1893.
- Schueck E.* Der Kompass. B.I. 46 Tafeln und Verzeichnis. Hamburg, 1911. B. II. Sagen von der Erfindung des Kompasses. Hamburg, 1915.
- Scoresby W.* On the anomaly in the variation of the magnetic needle as observed on ship board // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1819. Part 1.
- Serson P.H., Mack S.Z., Whitham K.* A tree-component airborne magnetometer // Publication of the Dominion Observatory. Ottawa, 1957. Vol. 19, N 2. 45 p.
- Shapiro V.A., Abdullabekov K.N.* Anomalous variations of the geomagnetic field in East Fergana - magnetic precursor of the Alay earthquake with 7.0 (1978. November 2) // Geophys. J. 1982. Vol. 6, N 1. P.1-5.
- Sharpe H.M., Strangway D.W.* The magnetic field of Mercury and models of thermal evolution // Geophys. Res. Lett. 1976. Vol. 3, N 5. P.285.

- Slenz E., Olczak T.* O zmianach wiekowych skladowej pionowej magnetyzmu ziemskiego na ziemiach polskich // Biul. Towarz. geofic. 1936. Vol. 13. P.18-28.
- Smirnow I.N.* Rapport sur les observations magnetiques faites en 1871-1872 dans la Russie l'est et du midi. Kasan, 1872.
- Smirnov I.N.* Magnetische Declination-Bestimmungen in Russland // Repert. für Experimental Phys., physic. Technik, math. und astron. Instrumentenkunde. Hrsg. von Ph.Carl. Munchen und Leipzig, 1875. B. 11. P.59.
- Smirnow I.N.* Ergebnisse magnetischer Beobachtungen // Repert. für Experimental Phys., physic. Technik, math. und astron. Instrumentenkunde. Hrsg. von Ph.Carl. Munchen und Leipzig, 1878. B. 14. P.57-102, 577-605.
- Smirnow I.N.* Ergebnisse magnetischer Beobachtungen, ausgeführt in Russland im Sommer 1878 // Repert. für Experimental Phys., physic. Technik, math. und astron. Instrumentenkunde. Hrsg. von Ph.Carl. Munchen und Leipzig, 1880. B. 16. P.283.
- Smith B.E., Johnston M.J.S.* A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister, California // J. Geophys. Res. 1976. Vol. 81. P.3556-3560.
- Smith E.L., Davis L.J., Jones D.E. et al.* The planetary magnetic field and magnetosphere of Jupiter. Pioneer-10 // J. Geophys. Res. 1974. Vol. 79. P.3501-3513.
- Smith E.L., Davis L.J., Jones D.E. et al.* Jupiter magnetic field, magnetosphere and interaction with the solar wind. Pioneer-11 // Science. 1975. Vol. 188. P.451-455.
- Smith F.E.* On an electromagnetic method for the measurement of the horizontal intensity of Earth's magnetic field // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1922. Vol. 223A. P.175-200.
- Smith P.L.* Petrus Peregrinus epistola // Earth Sci. Rev. 1970. Vol. 6. P.A11-A17.
- Smith P.L., Needham J.* Magnetic declination in mediaeval China // Nature. 1967. Vol. 214. P.1213-1214.
- Spiess F.N., Mudie J.D.* Small scale topographic and magnetic features // The Sea. New York: Wiley, 1970. Vol. 4. P.205-250.
- Stacey F.D.* The seismomagnetic effect // Pure Appl. Geophys. 1964. Vol. 58. P.5-22.
- Stagg J.M.* Terrestrial magnetism and aurora // British Polar Year Expedition, Fort Rae, N.W. Canada. - London: Royal Society, 1937. Vol. 1. P.120-138.
- Steiner L.* On a special form of magnetic disturbance // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1921. Vol. 26. P.1-14.
- Stern D.P.* Millennium of Geomagnetism // Rev. of Geophysics. 2002. Vol. 40, N 3. P.1.1-1.29.
- Stevenson D.* Planetary magnetism // Icarus. 1974. Vol. 22, N 4. P.403-415.
- Stewart B.* On the great magnetic disturbances of 28 Aug. to 7 Sept. 1859 // Phil. Trans. Roy. Soc. London. 1861. Vol. 151. P. 423-430.
- Stewart B.* Of the comparison of curves afforded by self-recording magnetographs at Kew and Lissabon // Rep. Brit. Assoc. 1863. Vol. 2. P. 25-26; Proc. Roy. Soc. 1864. Vol. 13. P.111-120.
- Stewart B., Dogson W.* Note on comparison of the diurnal ranges of magnetic declination at Toronto and Kew // Proc. Roy. Soc. 1881. Vol. 32. P.406-407.
- Stockard H.* Worldwide survey by project Magnet // IAGA Bull. 1971. N 28. P.60-63.
- Strangway D.W.* The magnetic field of the terrestrial planets // Phys. Earth and Planet. Inter. 1977. Vol. 15, N 2-3. P.121-130.
- Suksdorff E.* Occurrence of rapid micropulsations at Sodankyla during 1932 to 1935 // Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1936. Vol. 41. P.337-344.
- Tanakadate A., Nagaoka H.* The isomagnetic disturbance attending the Mino-Owari earthquake of 1891 // J. College Sci. Imp. Univ. Tokyo, Japan. 1893. Vol. 5. P.149.
- Taylor P.T., Frawley J.J.* Magsat anomaly data over the Kursk region U.S.S.R. // Phys. Earth Planet. Inter. 1987. Vol. 45. P.255-265.
- Thalen R.* Jordmagnetiska Bestamninger 1869-1871 // Konigl. Svenska Vetensk. Akad. Handling. 1872. Vol. 10, N 12. P.1-80.
- Thalen R.* Sur la recherche des mines de fer l'aide des mesuren magnetiques // Nova acta Regiae societatis scientiarum. Ser. III. Upsala, 1877. 36 p. (Русск. пер.: *Тален Р.* Исследование местностей на месторождениях железных руд посредством магнитных измерений // Горный журн. 1883. Т. 1. N 2. С. 179-264)
- Thalen R.* Untersuchung Eisenerzfeldern durch magnetischen Messungen. Leypzig, 1879.
- Thalen R.* Jordmagnetiska Bestamninger i Sverige unde aren 1872-1882 // Konigl. Svenska Vetensk. Akad. Handling. 1883. Vol. 20, N 3. P.1-66.

- Thomas J.* Le magnetometre airoparte // *Geophys. Prosp.* 1965. Vol. 13, N 1. P.22-37. (Русск. пер.: Тома Ж. Аэромагнетометр МР-121 // Геофиз. аппаратура. - Л.: Недра, 1966. Вып. 29. С. 5-7.)
- Thompson S.L.* Petrius Peregrinus de Mariocurt and his Epistola de Magnete. London, 1907.
- Thomson W.* On the electric currents by wich the phenomena of terrestrial magnetism may be produced // *Rep. of the Brit. Assoc. for the advancement of science.* 1847. Vol. XVII. P.38.
- Thomson W.* On the perturbations of the compass produced by the Rolling of the Ship // *Phil. Mag.* 1874. Vol. 48. P.363-369.
- Tieberg E.* Uber magmnetische Untersuchungen der Eiseerzlager // *Berg- und Huttenmannische Zeitung.* 1884. P.36-39.
- Tigerstedt A.F.* Magnetiska undersokningar i trakien af Jussaro // *Fennia. Bull. Soc. Gogr. Finlande.* Helsingfors, 1899. Vol. 14, N 8.
- Tillo A.* Zur Hypothese: der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, dass die Gesamtwirkung nach Anseen der Wirkung eines fingirten unendlich kleinen Zentralmagneten aquivaliere // *Peterm. Mitheilungen aus Justas Pertes' geogr. Ahstalt.* Gotha. 1894. P.290.
- Tomoda I., Fujimoto H., Uchiyama A., Emura T., Nakano I.* Ocean bottom magnetometer // *J. Ceomagn. and Geoeletr.* 1981. Vol. 33, N 5. P.335-339.
- Trenkler G.* Die Messung schwacher magnetischer Felder mittels Magetometer mit direkter Zeitverschlus-
lung Messtechnik // *Messtechnik.* 1970. H. 10-12. P.17-21.
- Troitskaya V.A.* Rapid varianions of the electromagnetic field of the Earth // *Research in Geophysics. Sun, Upper Atmosphere and Space.* Massachusetts, 1964. P.485-532.
- Troitskaya V.A.* Micropulsations and state of the Magnetosphere // *Solar-terrestrial Physics.* N. Y., 1967. P.213-274.
- Ueda S., Richards M.L.* Magnetization of four Pacific seamounts near the Japanes islands // *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.* 1966. Vol. 44. P.179-213.
- Vacquier V.* Geomagnetism in marine geology. Amsterdam-London- New York: Elsevier, 1972. (Русск. пер.: Вакье В. Геомагнетизм в морской геологии. Л.: Недра, 1976. 192 с.)
- Vacquier V., Steenland N.C., Henderson R., Zietz I.* Interpretation of aeromagnetic maps: *Geol. Soc. Amer. Memoir.* 1951. Vol. 47. 151 p.
- Vacquier V., Ueda S.* Paleomagnetism of Nine seamounts in the western Pacific and of tree volcanoes in Japan // *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.* 1967. Vol. 45. P.815-848.
- Vahlen Th.* Deviation und Compensation. Braunschweig: Fr.Viweg & Sohn, 1929. 188 p.
- Venske O.* Einige Beobachtungen mit einem neuen magnetometrischen Apparat über Veränderlichkeit des Induction koeffizienten von Magneten // *Bericht über die Tätigkeit im Jhare 1912.* Berlin: Preuss. Meteor. Inst., 1912. P.139-146.
- Venske O.* Die erdmagnetischen Beobachtungen von Dr. Filchner in China und Tibet, 1926–1928 // *Preuss. Meteorol. Inst. Abhandl.* 9. Berlin: J. Springer, 1931. N 7 (379).
- Vestine E.* The survey of the geomagnetic field in space // *Trans. Amer. Geophys. Union.* 1960. Vol. 4. N 1.
- Vine F.J., Matthews D.H.* Magnetic anomalies ovet ocean ridges // *Nature.* 1963. Vol. 199. P.947-949. (Русск. пер.: Вайн Ф., Метьюз Д. Магнитные аномалии над океаническими хребтвми // *Новая глобальная тектоника.* М.: Мир, 1974. С. 32-37).
- Ward S.H.* Unique determination of conductivity susceptbility, size and depth in multifrequency electro-
magnetic exploration // *Geophysics.* 1959. Vol. 24, N 3. P.531-546.
- Ward S.H.* The electromagnetic response of magnetic iron ore deposit // *Geophys. Prosp.* 1961. Vol. 9, N 2.
- Ware R.H.* High-accuracy magnetic field difference measurements and improved noise reduction techniques for use in tectonomagnetic studies // *J. Geophys. Res.* 1979. Vol. 84, N B11. P.6291-6295.
- Watanabe N., Kawamura T.* The measurement of the horizontal intensity Earth's magnetic field of portable electric magnetometers // *Japan. J. Astronomy and Geophys.* 1924. Vol. 1, N 6. P.191-206.
- Weidelt P.* Electromagnetic fluctuation in two thin half sheets // *Zeitschr. Geophys.* 1971. B. 37, N 4. P.649-665.
- Weyer E.* Über die magnetische Declination zu Christiania und ihre seculare Anderung // *Astr. Nachricht.* 1890. B. 123. P.33-40.
- Whang Y.C.* Magnetospheric magnetic field of Mercury // *J. Geophys. Res.* 1977. Vol. 82, N 7. P.1024-1030.
- Whitham K.* Measurement of the geomagnetic elements // *Methods and techniques in geophysics / Ed. S.K.Runcorn.* N.Y., Interscience. 1960. Vol. 1. P.104-167.

- Whitham K.* Anomalies in geomagnetic variation in the Arctic archipelago of Canada // *J. Geomagn. and Geoelectr.* 1964. Vol. 15, N 4. P.227-240.
- Whitham K., Niblett E.R.* The diurnal problem in aeromagnetic surveying in Canada // *Geophysics.* 1961. Vol. 26, N 2. P.211-229.
- Wiechert E.* Untersuchungen on Boysstorungen // *Mitt. Geophys. Warte Konigsberg.* 1934. N 22. 26 p.
- Wiese H.* Geomagnetische Tiefentellurik. 2. Die Streichrichtung der Untergrundstrukturen des elektrischen Widerstandes, Erschlossen aus geomagnetischen Variationen // *Geophys. Pura Appl.* 1952. Vol. 52. P.83-103.
- Wilcke J.C.* Fourcok til en Magnetisk Inclinations-Charta // *Kongl. Vetenskaps Acad. Handlingar.* - Stockholm, 1768. Vol. 29. P.193-225.
- Wild H.* Das magnetische Ungewitter vom 30 Jahnuar bis 1 Februar (n. st.) 1881 // *Mem. de l'acad. Imp. de sciences de St. Petersb.* 1886. Vol. XXX, N 3. P.1-30.
- Wild H.* Beobachtungen eines Erdbebens in Wernyj an den magnetischen und electrischen Registrirapparaten zu Pawlowsk // *Naturwissenschaftlichen Rundschau, herausgeg. von Dr. W.Sklarek.* Braunschweig, 1889. B. 4. P.417.
- Wild H.* Inductions-Inklinatorium neuer Konstruktion // *Mem. l'Acad. Sci. St. Petersbourg.* 1891. Vol. 33, ser. 7. N 3.
- Wolf R.* Sur la retour periodique de minimums de taches solaries; concordance entre des periodes et les variations de declinaison magnetique // *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'acad. des sciences.* Paris. 1852. Vol. XXXV. P.704-705.
- Wollaston C.* Discussing on Mr. Adam's paper // *J. Soc. Telegr. Engine and Electr.* 1881. Vol. 10, N 50. P.50-51.
- Zietz I.* Aeromagnetic investigation of the Earth's crust in the U.S. // *The Earth's crust and upper mantle / Ed. P.G.Hart.* – AGU Monogr. Baltimore, 1969. Vol. 13.
- Zimmerman J.E., Frederik N.V.* Miniature ultrasensitive superconducting magnetic gradiometer and its use in cardiography and other applications // *Appl. Phys. Lett.* 1971. Vol. 19, N 1. P.16-19.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абдуллабеков К.Н. (Abdullabekov K.N.) 82, 84, 85, 112, 126, 134, 146
Абельс Г.Ф. (Abels H.) 38, 136
Абельс Р.Г. 45
Абих Г.В. 37
Абрамова Л.М. 128
Авдонин А.Н. 61, 79, 112, 129
Авогадро А. (Avogadro A.) 90
Авраменко В.И. 78, 127
Аганин М.М. 45
Агравал А.К. (Agrawal A.K.) 144
Агульник О.И. 124
Адам Н.В. (Adam N.V.) 24, 112, 114, 136
Адамс Г. (Adams G.) 18, 25, 136, 149
Айронс Г. (Irons H.) 60, 65, 146
Аквинат Томас (Аквинский Фома) 26, 103
Акопян Ц.Г. 82, 112
Акрамовский И.И. 120
Акуна М. (Acuna M.N.) 62, 136
Александров Е.Б. 59, 62, 63, 112
Алексеев В.В. 88, 112
Алексеев Г.В. 23, 66, 112
Аллен Дж.Г. (Allen J.H.) 82, 140
Альбрехт Прусский (Albrecht, Дук) 27
Аль-Идриси 8
Амосов А.П. 57, 112
Ампер Андре Мари (Ampere A.M.) 33, 34, 88, 108
Ананьева Е.М. 76, 112
Ангенхайстер Г. (Angenheister G.) 47, 136
Андреев Б.А. 75, 80, 112
Андреев В.Я. 117
Андреев К.А. 38
Андрианов Б.А. 62, 112
Анжу П.Ф. 15, 110
Аничкина М.К. 123
Аношин Ю.К. 119
Ансон Джордж 12, 110
Антонец А.Г. 77
Антонов Ю.В. 79, 112
Антонович Р.М. 80, 112
Апинус Петрус (Apianus Petrus) 9
Аплонов В.С. 120
Аплонов С.В. 75, 112
Араби-Паша 21
Араго Доминимк Франсуа (Arago D.F.) 15, 33, 34, 110
Аристов В.В. 78, 112
Артамонова Н.А. 79, 121
Архангельский А.Д. 49, 75, 113
Ассафрей Э.Р. 38, 113
Астраханцев Ю.Г. 81, 113, 121
Афанасьев Ю.В. 57, 60, 61, 62, 66, 113
Ашенбреннер Г. (Aschenbrenner H.) 60, 109, 136

Б

Бабаянц П.С. 81, 113
Бабкина Т.Г. 79, 113
Бабур К. (Babour K.J.) 74, 136
Багиналь Ф. (Bagenal F.) 72, 136

Баграмян А.Х. 128
Байрон Джон 12, 110
Бакалинский С.П. 134
Баклунд О.А. 39
Балабас М.А. 112
Балакшин Г.Д. 78
Баранова Т.Н. 112
Баринов Е.А. 61, 77, 113
Баркер 16
Баркер Ф.С. (Barker F.S.) 111, 136
Барлоу Питер (Barlow P.) 15, 34, 35, 136
Барнетт С.Дж. (Barnett S.J.) 52, 136
Барраклоу Д.Р. (Barraclough D.R.) 70, 136
Барсуков О.М. 82, 113
Бартельс Дж. (Bartels J.) 9, 17, 29, 32, 39, 44, 47, 54, 73, 136, 138
Барулин Б.С. 65, 78, 113
Барышев А.С. 78, 113, 117
Барышникова И.А. 65, 113
Баткова Л.А. 131
Баттачария Б.К. (Bhattacharya B.K.) 65, 137
Бауман В.И. 48, 49, 50, 93, 113
Бауэр Л. (Bauer L.A.) 12, 19, 22, 41, 48, 52, 91, 109, 136, 137
Баффин Уильям 29, 110
Бахвалов А.Н. 61, 77, 129
Бахурин И.М. 48, 50, 51, 93, 113
Безбородов Л.И. 127
Безуглая Л.С. 84, 113
Бекович-Черкасский А. 13
Белавенец И.П. 17, 113
Белецкий В.В. 61, 114
Белл У. (Bell W.) 57, 109, 137
Беллинсгаузен Ф.Ф. 14, 94, 110
Белов Б.А. 60, 114
Беловежец И.Г. 79, 114
Белоусов В.В. 38, 101, 114
Белье Де 11
Белый В.А. 112
Беляев И.В. 75, 114
Беляев И.И. 58, 67, 69, 114, 128
Беляева Д.Н. 114
Белякова С.И. 113
Беммелен Ван Д. (Bemmelen Van D.W.) 19, 24, 45, 47, 137
Беннет Д.Дж. (Bennet D.J.) 74, 143
Бенон К.В. (Behannon K.W.) 144
Бенсон Б.Дж. (Benson B.J.) 142
Бенькова Н.П. (Benkova N.P.) 24, 70, 109, 112, 114, 136, 137
Бербанк Дж. (Burbank J.E.) 41, 137
Бергдаль С. (Bergdahl S.) 61, 137
Бёрген К. (Börgen C.) 41, 137
Бердалиев Е.Б. 84, 112, 114
Бердичевский М.Н. 65, 74, 114
Бердяев Н.А. 107, 114
Березкин В.М. 80, 81, 114, 122
Берилко В.И. 113
Беринг Витус 13, 110, 146

- Берковский А.Н. 63, 121, 124
 Берлянд Н.Г. 63, 64, 114
 Бернал Джон 87, 114
 Бернардieri Де (Bernardiere De) 16, 137
 Берначи Л. (Bernacchi L.C.) 44, 137
 Бернштейн В.А. 82, 114
 Берсудский Л.Д. 50, 51, 114
 Бертелли Т. (Bertelli T.) 8, 137
 Бескин С.М. 76, 125
 Бецольд В. (Bezold W.) 38, 91, 109, 137
 Бидлингмайер Ф. (Bidlingmayer F.) 44, 52, 55, 90, 91, 137
 Биезайс Я.Я. 115
 Билинский А.И. 115
 Биллингс Иосиф 13, 110
 Био Жан-Батист (Bio J.-B.) 32, 33, 90, 108
 Биркеланд К. (Birkeland K.) 46, 47, 73, 109, 111, 137
 Блажкевич Б.И. 61, 135
 Блат Н.С. 64, 115
 Блейкли Р. (Blakely R.J.) 68
 Блок М. (Bloch Marc) 86, 115
 Блоксхем Дж. (Bloxham J.) 12, 137
 Бломбергер Н. (Bloemberger N.) 56, 137
 Блох Ф. (Bloch F.) 56, 115, 137
 Блох Ю.И. 39, 75, 79, 113, 115
 Блум А. (Bloom A.L.) 57, 109, 137
 Блумбах Ф. 40, 115
 Блюменцвайг В.И. 63
 Бобров В.Н. 23, 60, 115
 Бойш А. (Voesch A.) 53, 142
 Бокитько И.Д. 116
 Болт Б.А. (Bolt B.A.) 41, 115
 Бондаренко А.П. 74, 115
 Бондаренко Л.П. 124
 Бондаренко С.И. 63, 79, 115
 Бондарь Т.Н. 114
 Бонч-Бруевич В.А. 112
 Бор Нильс (Bohr Niels) 56, 88, 89, 115
 Борисов А.А. 75, 76, 115
 Борн Макс (Born M.) 89, 115
 Боровко Н.Н. 78, 116, 121
 Бородин А.Д. 64
 Бородин В.В. 50
 Боронин В.П. 17, 80, 116
 Борри Христофоро 12, 108
 Борроу Стефан 10, 110
 Борроу Уильям (Borrough W.) 10, 11, 12, 27, 90, 108
 Боуэн У. (Bowen W.) 143
 Бошнякович И.Д. 65, 116
 Брагинский С.И. 24, 116
 Брайнер С. (Breiner S.) 69, 82, 137
 Брейт Грегори (Breit G.) 56, 98
 Бреннен Б.Дж. (Brennan B.J.) 85, 137
 Бридж Г. (Bridge H.S.) 72, 137
 Бродовой В.В. 78, 102, 116, 127
 Бронштейн К.Г. 49, 51, 116, 120
 Браун Р.Е. (Brown R.E.) 140
 Броун Дж.А. (Broun J.A.) 17, 109, 137
 Брук Ч. (Brooke Ch.) 17, 37, 137
 Бруннер 41, 42
 Бруно Джордано 87
 Брызгалов Е.А. 129
 Брюнелли Б.Е. 52, 116
 Бугенвилль Луи-Антуан 12, 110
 Булашевич Ю.П. 83, 116
 Булгаков М.А. 28
 Булина Л.В. 75, 116
 Буллард Э. (Bullard E.C.) 90, 109, 137
 Булмасов А.П. 76, 116
 Булычев А.А. 125
 Булычев Е.В. 114
 Бунге А. 14, 110
 Бураков А.И. 59, 116
 Бургманс Антон 30
 Бурлацкая С.П. 24, 116
 Бурцев Ю.А. 23, 114, 115, 116
 Буссе Ф. (Busse F.H.) 102, 137
 Бусыгин И.А. 40, 48, 116
 Бутаков А.И. 110
 Бутаков Г.С. 50, 116
 Бэкон Роджер (Bacon R.) 9
 Бэкон Френсис (Bacon F.) 87, 100
 Бэнкс Р.Дж. (Banks R.J.) 74, 136
 Бюлер В. 35, 96, 116
- B*
- Вавилин Л.Н. 65, 113, 116
 Вайдельт П. (Weidelt P.) 74, 148
 Вайн Ф. (Vine F.J.) 68, 102, 106, 109, 148
 Вайпрехт К. (Weyprecht K.) 109, 111
 Вакье В. (Vacquier V.) 60, 63, 68, 75, 89, 102, 140, 148
 Вален Т. (Vahlen T.) 25, 148
 Вальский Э.И. 52, 117
 Валяшко Г.М. 69, 117, 136
 Ваньян Л.Л. 74, 117
 Вариан Р. (Varian R.) 56, 109, 144
 Варнеке А.И. 16, 117
 Вартанов А.В. 131
 Василевский А.Н. 118
 Васильев М.Н. 14, 110
 Васильев Р.Т. 64, 117
 Васильева М.А. 122
 Васко да Гама 8
 Вассье Ж. (Vasseur G.) 136
 Васюточкин Г.С. 62, 117
 Ватанабе Н. (Watanabe N.) 52, 148
 Ватлин Б.П. 78, 127
 Вахромеев Г.С. 78, 79, 102, 113, 117, 120
 Вацура А.Э. 65, 117
 Вебер Вильгельм (Weber W.E.) 15, 34, 35, 36, 95, 96, 97
 Вег Р. ван дер (Weg R. van der) 139
 Вейер Э. (Weyer E.) 19, 148
 Вейнберг А.К. 77
 Вейнберг Б.П. (Weinberg B.P.) 10, 11, 24, 39, 51, 81
 Венске О. (Venske O.) 46, 52, 148
 Веркин Б.И. 115
 Вернадский В.И. 87, 100, 105, 117
 Верховский В.Н. 84, 126
 Вестин Э. (Vestine E.) 64, 109, 148
 Визе Г. (Wiese H.) 174, 149
 Вильд Г.И. (Wild H.) 18, 39, 41, 43, 98, 99, 122, 149
 Вильке Иоганн Карл (Wilke J.C.) 29, 30, 149
 Виноградов А.М. 76, 118

Виноградова А.Г. 64
Витри Де (Vitry de) 8
Вигте Л.В. 75, 118
Вихерт Э. (Wichert E.) 47, 149
Владимиров О.Е. 77
Внучков Г.А. 113, 120
Волк В.Э. 76, 118
Володарский Р.Ф. 80, 118
Вольф В. (Wolf W.) 50, 148
Вольф Р. (Wolf R.) 17, 149
Вонг Дж. (Whang J.C.) 72, 144, 148
Воронков И.О. 59, 124
Ворошилов А.А. 64
Врангель Ф.П. 15, 32, 37, 94, 95, 99, 110
Вуд Роберт (Wood R.) 56, 89, 97, 98, 109, 131
Вуколов С.П. 40, 93, 115
Вуллерсдорф-Урбайр Б. (Wullersdorf-Urbeir B.) 111
Вэйр Р. (Ware R.H.) 82, 148

Г

Габбинс Д. (Gubbins D.) 12, 137
Гагенмайстер Л.В. 14, 110
Гайдуков Н.Е. 78, 118
Гайнанов А.Г. 76, 118, 125
Галахов Ф.В. 50, 118
Галилей Галилео 92
Галлей Эдмунд (Halley E.) 10, 12, 25, 90, 100, 108, 110, 136, 137, 138
Ганстин Х. (Hansteen Ch.) 14, 29, 32, 38, 41, 110, 140
Гаранский Е.М. 115
Гаудсмит С. (Gaudsmit S.) 56, 109
Гаусс Карл-Фридрих (Gauss K.-F.) 5, 15, 25, 26, 34, 35, 36, 41, 51, 55, 88, 89, 90, 95, 96, 97, 100, 108, 109, 116, 118, 129, 131
Гафаров Р.А. 64, 75, 118
Гевелий Ян (Hevelius J.) 12
Гей-Люссак Жозеф Луи (Gay-Lussac L.J.) 32, 90
Геллибранд Генри (Gellibrand H.) 11, 89, 108
Гельмгольц Г. (Helmholtz H.) 52, 53, 54
Гендерсон Р. (Henderson R.) 148
Геодакян Э.Г. 128
Герасимов В.А. 127
Гершанок Л.А. 80, 118
Гийом Прованский (Guyot de Provins) 8
Гильберт Уильям (Gilbert W.) 5, 11, 12, 13, 26, 28, 29, 31, 34, 87, 89, 90, 98, 100, 108, 118, 122
Гиммельфарб А.Я. 49, 118
Гиндикин С.Г. 90, 118
Гинтов О.Б. 75, 118
Глаголев В.А. 65, 118
Глазунова А.В. 75, 80, 118
Глатцмайер Г.А. (Glatzmaier G.A.) 102, 140
Глебовский Ю.С. 63, 64, 65, 113, 116, 118
Глухих И.И. 77, 121
Голд Т. (Gold T.) 73, 109, 140
Голицын Б.Б. 39, 118
Головин И.В. 76, 118
Головков В.П. 24, 82, 119
Головнев Е.А. 115
Головнин А.В. 98
Головнин В.М. 14, 94, 110
Голуб Д.П. 67, 119

Голубков В.В. 114
Гольд्रेер И.Г. 113
Гольдшмидт В.И. 65, 78, 119, 122, 123
Гольцман Ф.М. 75, 79, 119
Гольштейн Б.Л. 132
Горбаш В.Г. 62, 121
Гордин В.М. 14, 24, 27, 58, 59, 67, 69, 102, 119
Гордон Д.Дж. (Gordon D.J.) 62, 140
Горелик Г.С. 60, 119
Городницкий А.М. 68, 69, 119, 120, 136
Горшков Э.С. 123
Гоу Д.И. (Gough D.I.) 74, 138, 140
Гохберг М.Б. 84, 119
Грачев Е.А. 62, 119
Григорян О.Р. 119
Грили А.У. (Greely A.W.) 38
Грин А.С. 107
Грин Джорж (Green J.) 108
Грингмут Г. (Gringmuth H.) 41, 140
Гриневицкий Г.З. 64
Гринуолт Д. (Greenwalt D.) 68
Гринько И.Е. 112
Гришин М.П. 75, 119
Гротвейл В. (Grotvahl V.) 55, 140
Грэхем Джордж (Graham G.) 12, 18, 90, 108
Грязновская Ф.В. 83, 119
Губайдуллин М.Г. 134
Губо Г. (Gaubau G.) 60, 109, 136
Гуд П. (Hood P.) 57, 58, 68, 141
Гуиллен Филипп (Guillen F.) 9
Гумбольдт Александр фон (Humboldt A. von.) 7, 14, 15, 31, 32, 34, 41, 95, 97, 110
Гурфинкель Ю.И. 23, 119, 126
Гурштейн А.А. 86, 119
Гусев П.И. 51, 120
Гусманов Г.А. 77
Гутерман В.Г. 118
Гуфельд И.Л. 119
Гюйгенс Христиан 92
Гюнтер Эдмунд (Gunter E.) 11

Д

Давыденко А.Ю. 79, 102, 117, 120, 131
Дайэл П. (Dyal P.) 62, 72, 120, 138
Дальблом Т. (Dahlblom T.) 42, 43, 138
Дальтон Дж. (Dalton J.) 90
Дашевская Е.И. 57, 120
Дедеев В.А. 121
Декарт Рене (Cartesius) 29, 31, 87, 108, 120
Демельт Г. (Demelt H.G.) 57, 138
Деменицкая Р.М. 68, 112, 120
Демина И.М. 67, 120
Денисов Ю.Н. 57, 120
Джеггард Р. (Jaggard R.) 140
Дженни В.П. (Jenny W.P.) 51, 120
Джиницели 13
Джинс У.Р. (Jines W.R.) 139
Джойя Флавио (Gioja F.) 8
Джозефсон Б. (Josephson B.) 62, 124
Джонс Д.Е. (Jones D.E.) 137, 147
Джонс Ф.М. (Jones F.M.) 74, 144
Джонсон Б. (Johnson B.D.) 68, 71, 76, 141, 143
Джонстон М. (Johnston M.J.S.) 82, 83, 84, 141, 147

Джорден Т.Б. (Jordan T.B.) 36, 141
Дзабаев А.А. 80, 120
Диас Бартоломео 9
Диков И. 16, 111, 120
Диксон Г. (Dickson G.O.) 141
Добровольский И.П. 119
Добролюбский Б.М. 45
Доброхотова И.А. 115
Догсон У. (Dogson W.) 18, 147
Додсон Дж. (Dodson J.) 12, 108, 143
Дозмарова Г.С. 77
Долгаль А.С. 79, 120
Долгинов Ш.Ш. (Dolginov Sh.Sh.) 61, 66, 69, 71, 72,
109, 113, 120, 137, 138
Долгов С.В. 123
Донован Т. (Donovan T.J.) 80, 81, 138
Дорогова С.П. 119
Дорофеев В.В. 132
Дорфман Я.Г. 33, 34, 120
Дригальский Эрих (Drygalski E.) 44, 111
Дубинский В.Х. 38, 120
Дудерштедт Э. (Duderstedt E.) 16, 138
Дудерштедт Г. (Duderstedt H.D.) 16, 138
Дульчерг Анджело 8
Духовский А.А. 78, 79, 114, 120, 121
Дуэ Карл (Due C.) 14, 38, 140
Дью Д.У. (Dye D.W.) 52, 138
Дэвис Л.Дж. (Davis L.J.) 137, 147
Дэвис П.М. (Davis P.M.) 85, 138
Дэвис У.М. (Davis W.M.) 145
Дэвис Т.Н. (Davis T.N.) 73, 138
Дэйгнирез М. (Daignieres M.) 74, 136, 138
Дэйли У.Д. (Daily W.D.) 138
Дюмон д'Юрвиль Ж. 15, 110
Дюперре 15, 96, 110
Дюпон-Рок Ж. (Dupont-Roc J.) 62, 138
Дю-Пти-Туар 110

Е

Евдокимов И.М. 79, 121
Евдокимов С.И. 121
Егоров К.Н. 40, 93, 115
Елизаров Б.В. 123
Елисеева С.В. 124, 128
Емельянов Г.И. 80, 121
Еркин М.А. 50
Ерошенко Е.Г. (Yeroshenko Ye.G.) 120, 138
Есипенко Е.И. 127

Ж

Жаворонкин В.И. 79, 112
Жаворонкин И.С. 77, 121
Жакеев Т.М. 79, 121
Жакье Френсис 30
Жданко М.Е. 16, 111, 121
Жданов М.С. 74, 114
Желамков В.А. 78, 121
Жире Р. (Giret R.) 57, 140
Жиров Г.К. 59, 121
Житков А.Н. 113
Жонголович И.Д. 49
Жоао Третий (Joao III) 9
Жузгов Л.Н. (Zhuzgov L.N.) 120, 138

З

Заборовский А.И. 49, 51, 93, 121
Завьялова Л.И. 64
Задорожко Л.И. 118
Зайцев О.Ф. 23
Залипухин М.И. 64
Зандер В.Н. 75, 121
Запорожский Э.Ф. 118
Зарудный В. 16, 121
Заруцкий А.А. 23, 126
Захарченко В.Ф. 132
Захаров П.И. 116
Зацепин Н.Н. 62, 121
Зверев А.С. 23, 121
Зеeman П. (Zeeman P.) 56, 109
Зимин И.А. 77, 121
Зитц И. (Zietz I.) 70, 75, 148, 149
Золоев К.К. 112
Золотарева Л.А. 77
Золотов И.Г. 123
Зоммерфельд А. (Sommerfeld A.) 56
Зорин Г.К. 77

И

Иванов М.М. 11, 12, 20, 22, 23, 44, 55, 65, 66, 67
109, 111, 112, 121
Иванов Н.А. 119
Иванов С.С. 118
Иволга Е.Г. 126
Ивченко М.П. 130
Игнатъев О.Н. 77
Иголкина Г.В. 81, 113, 121
Изаров В.Т. 78, 127
Измайлов П.Н. 50
Изотопов В.П. 62, 121
Ильина Т.Д. 12, 14, 15, 17, 32, 122
Иноходцев П.Б. 13, 108, 122
Иноуж Г.Т. (Inouge G.T.) 145
Иокояма И. (Yokooyama I.) 145
Исаев Г.А. 130
Исаев С.И. 48
И Сун 7
Исхакова Н.С. 132
Ицкович Г.Б. 130
Ишидо Т. (Ishido T.) 82, 143

К

Кабео Никколо 29, 108
Кабот Себастьян 10
Кавамура Т. (Kawamura T.) 52, 148
Каврайский В.В. 23, 66
Кадари 111
Казанли Д.Н. 76, 122
Кайзер А.Р. (Keyser A.R.) 57, 142
Какучи Д. (Kakuchi D.) 41, 141
Калашников А.Г. 8, 10, 11, 13, 28, 87, 100, 122
Калинин Ю.Д. 10, 24, 47, 122
Калинина Т.Б. 75, 79, 119, 122
Калиновский С. (Kalinowski S.) 46, 141
Кальварская В.П. 77, 122
Каменская Т.Я. 77, 126
Каминский В.Д. 120
Кант Иммануил 88, 103, 122

Канторович В.Л. 65, 122, 130
 Капица П.Л. 30, 122
 Карасик А.М. 64, 65, 66, 68, 102, 122, 123
 Каратаев Г.И. 75, 76, 80, 122, 130
 Карев Ю.Ф. 115
 Карл Г.М. (Carle H.M.)
 Карльхейм-Гилленшельд В. (Carlheim-Gyllenskold V.) 51, 93, 138
 Карнеги Эндрю 22
 Карно Сади (Carnot N.L.S.) 90
 Кароль Б.П. 43, 98, 122
 Карпова А.С. 118
 Карус Е.В. 80
 Карцев В.П. 7, 123
 Каспарова Е.А. 64
 Кассин Г.Г. 80, 123
 Кастро Жоао де (Castro J. de) 10, 110
 Касьяненко Л.Г. 66, 69, 119, 123
 Като Ю. (Kato Yochio) 46, 81, 82, 141
 Каулинг Т. (Cowling T.) 109
 Кахилл Л.Дж. (Cahill L.J.) 73, 138
 Кацков А.И. 64
 Каштанов В.А. 80, 123
 Кедров Б.М. 6, 99, 123
 Кейвуд И. (Cawood I.) 92, 138
 Кейн Дж. (Cain J.C.) 69, 70, 138, 145
 Кемпц Л.Ф. (Kämpz L.F.) 16, 111, 141
 Кемфильд П.А. (Camfield P.A.) 74, 138
 Кензин Ф.А. 132
 Кёнигсбергер И. (Königsberger J.G.) 51, 142
 Керанен Ю. (Keränen J.) 23, 46, 55, 141
 Керстен П. (Kersten P.) 16, 141
 Кетле А. 96
 Кивелюк Т.Т. 75, 133
 Кириаков В.Х. 121
 Кириллов Р.Н. 115
 Кирхер Атанасиус (Kircher A.) 11, 108
 Киселев М.И. 50, 51, 123
 Китаев В.А. 50, 118
 Клапрот 7
 Клерк 15, 92, 110
 Климов Н.И. 46, 52, 123
 Клитгорд К. (Klitgord K.D.) 68
 Кнорре М. 37
 Клотье Ж. (Cloutier J.R.) 67, 138
 Клотье П.А. (Cloutier P.A.) 73, 138
 Княжев В.А. 113
 Кобец Н.В. 78
 Ковалевич В.Б. 113
 Коваль Л.А. 65, 123
 Ковач Р.Л. (Kovach R.L.) 82, 137
 Коверя Н.Т. 134
 Коган А.Б. 75, 123
 Коган Л.З. 128
 Козлов А.Н. 57, 59, 62, 63, 82, 117, 120, 123, 125
 Кокс А. (Cox A.H.) 50, 138
 Колеман П.Дж. (Coleman P.J.) 137
 Колесова В.И. 17, 38, 69, 123
 Коллингвуд Р.Дж. (Collingwood R.G.) 5, 55, 86, 99, 100, 101, 102, 103, 123
 Коломийцева Г.И. 24, 114, 123, 134
 Колонг И.П. де 20, 21, 42, 49, 53, 55
 Колумб Христофор (Columbus Ch.) 8, 9, 108
 Кольрауш Р. (Kohlrausch R.) 35
 Кольрауш Ф. (Kohlrausch F.) 19, 43, 47, 142
 Колубакин В.В. 49, 113
 Комаров А.Г. 134
 Комиссаров И.Б. 112
 Константинов Г.Н. 78, 123
 Константинова Л.С. 78, 123
 Конт О. (Comte A.) 101
 Контарович Р.С. 65, 129
 Конфедератов И.Я. 97, 124
 Коперник Николай 26, 87
 Кореневский А.В. 125
 Корепанов В.Е. 59, 123
 Коржинский А.В. 52
 Коржова Л.В. 62, 121
 Корнилов Ф.М. 65, 116
 Коровкина Г.М. 127
 Корокина Т.П. 83, 135
 Корякин А.П. 77
 Корякин В.И. 134
 Котляревский Л.Н. 64
 Коцебу О.Е. 14, 32, 94, 110
 Кочегура В.В. 134
 Кошкарев В.Н. 134
 Коэн Дж. (Coen J.) 141
 Кравченко В.В. 115
 Кракау Е.В. 46, 50, 123
 Красильников А.И. 58, 59, 124
 Красин Л.Б. 49
 Кратц К.О. 75, 121, 124
 Кратценштерн Х.А. 19
 Крейль К. (Kreil C.) 18, 38, 110, 142
 Кремсер Г. (Kremser G.) 74, 142
 Крех 16, 111
 Кри К. (Chree C.) 44, 138
 Кривчиков А.Ф. 118
 Криго Франсиско (Crignon F.) 9
 Крик Э.В. (Creak E.W.) 16, 44
 Кругляков А.А. 114
 Круглякова Г.И. 76, 115
 Крузенштерн И.Ф. 10, 14, 20, 94, 110
 Крутиховская З.А. 75, 76, 77, 78, 82, 116, 124, 131
 Крылов А.Н. 7, 11, 13, 20, 21, 25, 27, 28, 30, 42, 49, 90, 124
 Крюгер Петр 12
 Крюков С.М. 64, 65, 124, 125
 Кудревский А.И. 115
 Кудрявцев П.С. 97, 124
 Кудрявцев Ю.И. 77
 Кудрявцева Т.А. 134
 Кужелов Г.К. 78, 124
 Кузанский Николай 29, 108
 Кузнецов Б.М. 59, 124
 Кузцова В.Г. 82, 83, 124
 Кук Джеймс (Cook J.) 12, 110
 Кукин П.А. 64
 Куланин Н.В. 8, 9, 12, 24 116 119, 124
 Кулик И.О. 62, 124
 Куликов Г.Н. 81, 124
 Куломзин Т. (Koulomzine T.) 53, 142
 Кулон Шарль Огюстен (Coulomb Ch.A.) 5, 14, 26,

30, 31, 32, 34, 35, 88, 89, 90, 100, 108
Кун Т. (Kuhn T.S.) 6, 87, 90, 99, 124
Кунин Н.Я. 75, 124
Купфер А.Я. 12, 32, 34, 37, 92, 93, 94, 96, 98, 128
Кутиков Ю.Г. 134
Кэнди С. (Candy S.C.) 68, 142

Л

Лабрек Дж.Л. (LaBrecque J.L.) 68, 142
Лавровский Э.К. 114
Лазарев А.П. 14, 124
Лазарев Б.Г. (Lasarev B.G.) 56, 89, 109, 142
Лазарев М.П. 14, 94, 110
Лазарев П.П. 49, 93, 113
Лазарус А.Дж. (Lazarus A.J.) 137
Ламанон 31, 32
Ламберт Иоганн Генрих (Lambert J.H.) 31
Ламон Ж. (Lamont J.) 17, 36, 38, 41, 51, 55, 109, 111, 142
Ланган Л. (Langan L.) 57, 141
Лангл Р. (Langel R.A.) 70, 71, 109, 142
Лаперуз Жан Франсуа 31, 110
Лапин С.С. 77
Лапина Е.Г. 64
Лапина М.И. 77, 81, 124
Лапинский И.Н. 50
Лапко А.П. 65, 124
Лаплас П. 88
Лаптев Д.Я. 13
Лаптев Х.П. 13
Ларионов В.А. 77, 83, 84, 125
Ларкин В.Г. 116
Лармор Джозеф (Larmor J.) 109
Ларсон П.А. (Larson P.A.) 142
Ларсон Р.Л. (Larson R.L.) 68, 140, 142, 144
Лаури Дж.А. (Lawrie J.A.) 74, 142
Лаурсен В. (Laursen V.) 47, 142
Лебедев Т.И. 126
Лебедев Ю.А. 65, 125
Леванто А.Э. (Levanto A.E.) 61, 142
Левин Д.В. 64, 65, 124, 125
Лейбниц Готфрид (Leibniz G.W.) 12, 13
Лейбов М.Б. 69, 125
Лейст Э.Е. (Leyst E.) 48, 49, 51, 91, 93, 111, 116
Ле Муэль Ж.Р. (Le Mouel J.R.) 136
Ленин В.И. 93
Ленц В. (Lenz W.) 40
Ленц Р. (Lenz R.) 14, 142
Ленц Э.Х. 32, 94, 125
Леппинг Р.П. (Lepping R.P.) 144
Ле Сер Томас 30
Лефау (Lephau) 16, 142
Ливанов М.Н. 63, 125
Лизунова М.М. 119
Лилли Ф. (Lilley F.E.M.) 74, 143
Линдберг Чарльз 91
Лиокумович Г.Б. 123
Лисянский Ю.Ф. 10, 14, 94, 110
Литвиненко И.В. 71, 76, 132
Литвинов Е.П. 121
Литвинов Э.М. 120
Литвинова Т.П. 64, 114, 125
Литке Ф.П. 15, 32, 94, 98, 110

Лицнар И. (Liznar J.) 18, 39, 143
Лишневецкий Э.Н. 76, 125
Ллойд Гемпфри (Lloyd H.) 43, 44, 53, 90, 96, 110, 143
Логачев А.А. 52, 63, 75, 77, 89, 90, 91, 109, 114, 125
Лоендик Б.Р. (Layendyk B.R.) 68, 142, 144
Лозинская А.М. 65, 125
Ломакин А.Б. 77
Ломоносов М.В. 11, 13, 26, 87, 100, 108, 125
Лопер Д.Э. (Loper D.E.) 102, 143
Лоу Л.К. (Law L.K.) 138
Лошаков А.И. 78, 125
Лошаков А.М. 114
Луговенко В.Н. 76, 126
Лукошин А.Ф. 112
Лундберг Г. (Lundberg H.) 63, 143
Лундквист Г. (Lundquist G.) 38
Лутков Р.И. 112
Льюис А.Д. (Lewis A.D.) 46, 142
Лысенко Н.М. 62, 126
Лысенко П.А. 77, 126
Любимов В.В. 23, 59, 119, 121, 124, 126
Льонгдаль Г. (Ljungdahl G.) 23, 44, 55, 91, 143
Лютцов-Хольм О. (Luizow-Holm O.) 46, 143
Ля-Кур Д. (La Cour D.) 47, 54, 59, 142
Ляпунов А.Н. 49
Лярошель А. (Laroshelle A.) 68, 143
Ляхов Б.М. 32, 45, 48, 126
Ляхов Л.Л. 112

М

Мавлянов Г.А. 84, 126
Маврикий Оранский 11, 110
Мавричев В.Г. 80, 81, 124, 126
Магницкий В.А. 102, 126
Маджид Ибн Ахмад 8
Мадью Дж. (Mudie J.D.) 68, 136, 142, 147
Мазарович О.А. 103, 126
Майборода А.Т. 63, 90, 91, 109
Майдель Э. 16, 126
Майер Тобиас 31
Мак С.З. (Mack S.Z.) 146
Макарова З.А. 64, 122, 125
Мак-Дональд Д. 22, 126
Макдональд К. (Macdonald K.C.) 68, 143
Максвелл Джеймс Кларк (Maxwell J.C.) 88, 109
Максимов Б.И. 80, 126
Максимчук В.Е. 124
Максудов С.Х. 82, 112
Малинина Н.Е. 14, 23, 38, 39, 45, 46, 50, 123, 126
Маловицкий Я.П. 133
Малыгин С.Г. 13
Малышев Ю.Ф. 75, 126
Малютин Ю.Д. 119
Манилов Ф.И. 79, 126
Мансуров С.М. 74, 126
Мардерфельд Б.Е. 74, 84, 117, 126
Марикур Пьер де см. Перегирин
Марков И.М. 69, 130
Марковский В.С. 128
Маскар Э. (Mascart E.) 41, 42, 143
Масленников А.Н. 126
Матвеев М.А. 62, 126

- Магусевич Н. 53, 126
 Маунгайн У. (Mountaine W.) 12, 108, 143
 Мауро (Mauro) 9
 Мах Э. (Mach E.) 88, 101
 Махмуд-Эффенди (Machmoud-Effendi) 38, 111, 143
 Мачинин В.А. 59, 126
 Мегеря В.М. 80, 126
 Медведев А.Е. 132
 Меджитов Р.Д. 63, 127
 Медина де Педро (Medina P. de) 10
 Мейер В.А. 77
 Мейер О. (Meyer O.) 73, 143
 Мейерс (Mayers D.M.) 143
 Мейлин С. (Malin S.R.C.) 70, 72, 136, 141
 Мейпл Э. (Maple E.) 73, 143
 Мейсон Р.Г. (Mason R.G.) 64, 68, 109, 143, 145
 Мелихов В.Р. 125
 Меллеро Ж.П. (Meilleroux J.P.) 143
 Мельгуй М.А. 62, 127
 Мельничук М.И. 124
 Менакер Г.И. 76, 127
 Менард Г. (Menard H.W.) 68
 Менделеев Д.И. 40, 53, 93, 127
 Меньшиков П.Н. 78, 127
 Меррилл Р. (Merrill R.T.) 68
 Меркатор Герхард (Mercator G.) 10
 Меррей Джон 111
 Меттьюс Д. (Matthews D.H.) 68, 102, 106, 109, 148
 Мехью М. (Mayhew M.A.) 71, 76, 143
 Мигдал А. 104, 127
 Мигович И.М. 114
 Мид Г.Д. (Mead G.D.) 142
 Миков Б.Д. 78, 79, 113, 118, 127
 Миков Д.С. 48, 127
 Микулинский С.Р. 86
 Милай Т.А. 128
 Миллер Ф.Ф. 17, 127
 Милн Дж. (Milne J.) 41, 143
 Мильберг И.Г. (Mielberg J.) 18, 143
 Мильштейн Е.Д. 75, 135
 Миндлин Л.Е. 65, 125
 Минин Ф.А. 13
 Мирлин Е.Г. 68
 Митчелл Кричтон (Mitchell A.Crichton) 7, 143
 Мицутани Г. (Mizutani H.) 82, 143
 Михлин Б.З. 24, 25, 127, 129
 Мичелл Джон (Michell J.) 30, 31, 87, 90, 108
 Мишин А.Н. 63, 65, 118
 Мозговая А.П. 128
 Моисеев Н.Н. 105, 127
 Молнар Л. (Molnar L.) 57, 140
 Молочнов В.Я. 127
 Молчанов О.Н. 77
 Монин А.С. 112
 Моренко В.С. 127
 Морз А.Л. (Morse A.L.) 145
 Морли Л. (Morley L.W.) 68, 143
 Морозов А.С. 64, 122
 Морозов Л.Н. 79, 127
 Мосиенко Б.А. 78, 127
 Моснье Ж. (Mosnier J.) 63, 136, 138, 143
 Мошинская И.П. 75, 127
 Муноц Р. (Munoz R.) 62, 144
 Мур (Moore) 15, 92, 110
 Мурашов Б.П. 114
 Мурро Т. (Moureaux Th.) 16, 39, 40, 41, 42, 48, 52, 111, 127, 144
 Муромцева З.Г. 77
 Мухаметшин А.М. 79, 127
 Мухин А.С. 126
 Мухин Б.М. 113
 Мушенброк Питер ван 30, 31
 Мюллер Д. (Müller D.) 16, 144
 Мюллер Р. (Müller R.) 141
 Мюхкюря В.И. 59, 127
- Н*
- Нагаока Г. (Nagaoka H.) 41, 147
 Нагапетян В.В. 112
 Нагата Т. (Nagata T.) 64, 82, 144
 Нагорский Д.А. 83, 125
 Назаров В.П. 61, 127
 Найдин Д.П. 126
 Накамура С.Т. (Nakamura S.T.) 46, 141
 Накано И. (Nakano I.) 148
 Налимов В.В. 102, 127
 Нансен Фритъоф (Nansen F.) 39
 Нассонов В.А. 78, 127
 Науман Э. (Nauman E.) 23, 144
 Наумов А.Г. 120, 130
 Неги Дж.К. (Negi J.C.) 76, 144
 Негруца В.З. 124
 Некрасова К.А. 118
 Нелле П. (Nelle P.) 44, 144
 Нервандер А.Я. 37
 Несс Н.Ф. (Ness N.F.) 62, 72, 144
 Ниблетт Э.Р. (Niblett E.R.) 65, 74, 144, 148
 Нидхем Дж. (Needham J.) 7, 147
 Никитин С.Н. 48, 127
 Никитский В.Е. 59, 61, 63, 78, 127
 Николаев М.И. 114
 Николаевский А.А. 75, 128
 Николаенко А.Н. 130
 Никольский Ю.И. 76, 128
 Нобили Л. 33
 Новоселова М.Р. 75, 128
 Новыш В.В. 58, 59, 128, 134
 Нодиа М.З. 45
 Ноймейер Г. (Neumayer G.) 37, 111, 144
 Норденшельд А. (Nordenskiöld A.E.) 8, 17, 144
 Норман Роберт (Norman R.) 10, 11, 27, 28, 89, 90, 100, 108
 Нуньес Педро (Nunes P.) 9, 10
 Нэкем Александр (Neckam A.) 7, 8, 108
 Ньютон Исаак (Newton I.) 29, 30, 31, 87, 90, 100, 101
 Нысанбаев Т.Е. 114
- О*
- Оверхаузер А. 57
 Оводов А. 16, 128
 Овчинников Л.Н. 112
 Овцын Д.Л. 13
 Оганесян Г.М. 123
 Оганесян С.Р. 85, 128, 130

Оглоблинский Н.Н. 52, 53, 128
 Одельсио М. (Odelsio M.) 55, 141
 Окам У. 88
 Олдридж Л. (Alldredge L.R.) 56, 65, 109, 136
 Олт И. (Ault I.) 22, 44, 139
 Ольберс Генрих (Olbers G.) 34, 36
 Ольденбург Г. (Oldenburg H.) 12
 Ольжак Т. (Olczak T.) 11, 23, 144, 146
 Ораевский В.Н. 119, 126
 Орен Р.М. (Oren R.M.) 142
 Орлов В.П. 46, 64, 81, 83, 113, 128
 Орлов Г.Г. 77, 128
 Орлюк М.И. 76, 128
 Отала М. (Otala M.) 63, 144
 Отти П. (Ottey P.) 74, 136

П

Павлинов В.Я. 49, 52, 53, 128
 Павлов В.С. 129
 Пайер Ю. (Payer J.) 111
 Пак В.П. 59, 128
 Паккард М. (Packard M.) 56, 109, 137, 144
 Паламарчук В.К. 65, 128
 Пандул И.С. 23, 128
 Панов Т.Н. 23, 128
 Паркер У.Э. (Parker W.E.) 25, 140
 Паркин К.У. (Parkin C.W.) 62, 120, 138
 Паркинсон У. (Parkinson W.D.) 7, 9, 10, 12, 13, 17, 27, 74, 128, 144
 Парселл Э. (Pursell E.M.) 56, 173, 145
 Пасальский П.Т. 16, 18, 19, 23, 39, 40, 46, 50, 51, 88, 117, 125, 128
 Пасецкий В.М. 13, 14, 15, 32, 37, 94, 96, 128
 Пастушенко С.В. 122
 Пасхин Е.В. 65, 128
 Паули В. 56
 Паульсен А. (Paulsen A.) 16, 144
 Паунд Р.В. (Pound R.V.) 137, 145
 Пахтусов П.К. 15
 Пашкевич И.К. 71, 76, 122, 124, 128
 Педеревская А.И. 113
 Педди Н.М. (Peddie N.M.) 70, 144
 Пелен Ж. (Pelen J.) 62, 144
 Пенкевич М.С. 46, 52, 123, 129
 Перегрин Петриус (Peregrinus Petrus) 8, 26, 27, 28, 99, 100, 108, 147
 Персиц Ф.М. 65, 129
 Перунов В.С. 123, 124
 Перфилов В.И. 59, 126
 Пестов Е.Н. 120
 Петер К. (Peter C.) 68, 144
 Петерс У.Дж. (Peters W.J.) 137
 Петерсен Г. (Petersen G.) 37, 144
 Петр Первый (Романов) 12, 13
 Петров А.И. 118
 Петрова Г.Н. 6, 24, 114, 116, 134
 Петухов И.А. 116
 Печерский Д.М. 6
 Пильчиков Н.Д. (Pilchikoff N.D.) 40, 48, 129, 133, 144
 Писарев В.В. 64, 129
 Писарева Т.И. 127
 Питмен У.К. (Pitman III W.C.) 68, 102, 141, 144

Планк М. (Planck M.) 56
 Планций Питер 28
 Поггендорф И. (Poggendorf J.) 94
 Поздняков С.А. 123
 Полишко В.Б. 123
 Полонский А.М. 77, 129
 Поляков А.В. 83, 119, 129
 Померанцев Н.М. 57, 129
 Поморцев М.М. 10, 31, 32, 42, 129
 Пономарев В.Н. 61, 77, 129
 Попкова Л.И. 23, 129, 134
 Поплавский В.Б. 65, 113, 129
 Попов А.А. 59, 77, 113, 129
 Попов А.Г. 119
 Попов Б.А. 112
 Поппер Карл (Popper K.R.) 107, 129
 Попруженко С.Г. 38, 129
 Порат Г. (Porath H.) 138
 Почтарев В.И. 26, 119, 129
 Пригожин И.Р. (Prigogine I.) 91, 99, 102, 129
 Приезжаев Г.М. 134
 Прищепо В.А. 131
 Проводников Л.Я. 75, 129
 Прокопиу С. (Procopiu S.) 46, 144
 Прончищев В. 13
 Птолемей Клавдий 27, 100
 Пуанкаре Анри (Poincare H.) 104, 129
 Пуассон Симон (Poisson S.D.) 20, 108, 144
 Пудовкин И.М. 64, 82, 119, 129
 Путнам Г.Р. (Putnam J.R.) 123, 145
 Пушкин А.С. 97
 Пушкин Н.Ф. 32, 45, 129
 Пушкина Л.Я. 132
 Пушков А.Н. 6, 24, 34, 67, 70, 85, 112, 123, 126, 128, 129, 130
 Пушков Н.В. (Pushkov N.V.) 23, 66, 69, 120, 138
 Пуцин Н. 16, 130
 Пьянков В.А. 83, 130, 135
 Пылаева Т.А. 67, 130
 Пыстин А.А. 124
 Пятницкий В.К. 75, 119, 130

Р

Раби Исидор (Rabi I.) 56, 98
 Рубиновец Ф. (Rabinowich Ph.A.) 68
 Рават Д.Н. (Ravat D.N.) 76, 145
 Райс Дж.А. (Rice J.A.) 142
 Райт Эдвард 11, 28
 Райх 34
 Райх Г. (Reich H.) 50, 145
 Раннев Б.А. 77, 130
 Рапопорт М.С. 112
 Рассанова Г.В. 112
 Рафф А.Д. (Raff A.D.) 64, 68, 109, 143, 145
 Рахматуллин Р.Ш. 123
 Ревякин П.С. 119
 Резерфорд Э. (Rutherford E.) 88
 Резник Э.Е. 65, 130
 Резников Я.С. 115
 Реймонд К.А. (Raymond C.A.) 71, 142
 Рейнке М.Ф. 15, 110, 130
 Рёссигер М. (Rössiger M.) 52, 145
 Ремпель Г.Г. 76, 78, 119, 130

Ретикус Георг Иахим (Rheticus G.J.) 9
Рефорд М.С. (Reford M.S.) 52, 56, 60, 63, 91, 145
Решетов Б.П. 129
Ривош Л.А. 64
Риган Р.А. (Regan R.A.) 71, 145
Рид Г.Ф. (Read H.F.) 41, 145
Ридлер В. (Riedler W.) 119
Рийкворзель ван (Rijckvorsel van) 39, 111, 145
Рикитаки Т. (Rikitake T.) 41, 73, 74, 82, 83, 84, 130, 145
Римский-Корсаков Н.А. 136
Ричардс М.Л. (Richards M.L.) 68, 148
Робер-Пашвиц Э. 41
Робертс А. (Roberts A.A.) 138
Робертс П. (Roberts P.H.) 102, 140
Роггевен Якоб (Roggeven J.) 12, 110
Родд А.Е. 40, 48
Роджерс Вуд (Rogers) 12, 110
Родионов А.В. 117
Розе Е.Н. 67, 69, 119, 123, 130
Розе Н.В. 12, 23, 44, 45, 46, 50, 52, 53, 93
Розе Т.Н. см. Симоненко Т.Н.
Розен А. (Rosen A.) 63, 145
Рокитянский И.И. 74, 83, 131
Рольф Б. (Rolf B.) 47, 145
Романов К.Н. (Великий князь) 98, 99
Романов Н.Н. 78, 115, 127
Росс Джеймс Кларк (Ross J.C.) 15, 33, 37, 92, 108, 110
Росс Джон (Ross John) 110
Россигно Дж.К. (Rossignol J.C.) 136, 138
Роте Ж.П. (Rothe J.P.) 81, 145
Ротштейн А.Я. 23, 57, 66, 105, 112, 129, 131, 134
Рубинчик М.Х. 65, 122
Руни Д. (Rooney D.) 74, 145
Русаков О.М. 82, 131
Русанова Н.В. 61, 66, 131, 134
Рыбалка В.М. 112
Рыбалтовский Н.Ю. 25, 131
Рыжий Б.П. 112
Рыжков В.М. 129
Рыкачев М.А. 16, 32, 45, 93, 111, 131
Рыманов В.А. 64, 75, 115, 131
Рюккер А.У. (Ruecker A.W.) 39, 111, 145
Рябкова М.С. 75, 116
Рязанцев Г.А. 129

С

Савар Феликс (Savart F.) 33, 108
Саватеев Д.И. 50
Савко К.А. 112
Саврасов Д.И. 78
Саксин Б.Г. 126
Салун М.Ф. 115
Самнер Дж.С. (Sumner J.S.) 52, 56, 60, 63, 91, 145
Самойлюк Л.А. 75, 124
Санта Крус Алонсо де 10, 12, 108
Сараев А.К. 134
Саркисян Г.В. 130
Сарычев Г.А. 13, 110
Сато С. (Sato S.) 145
Саютина О.А. 114
Седов Л.И. 103, 131

Седов С.Г. 65, 114, 131
Седова Ф.И. 115
Сеймур 21
Секино 111
Селезнев А.В. 127
Селезнев В.П. 127
Селезнева Г.В. 121
Селютин В.А. 120
Семенов И.Х. 23, 60, 116, 131
Семенченко А.Б. 117
Семинский Ж.В. 79, 102, 131
Сенько П.К. 74, 131
Сергиевский Д.Д. 40, 48, 133
Серебряков Е.Б. 112
Серсон П. (Serson P.H.) 60, 64, 146
Сибрук В. (Seabrook W.) 98, 131
Сизов Ю.П. 60, 131
Силина И.М. 116, 124
Симоненко (Розе) Т.Н. (Simonenko T.N.) 6, 64, 70, 71, 75, 76, 88, 96, 97, 109, 118, 130, 131, 132, 137
Симонов И.М. 14, 15, 17, 34, 37 94, 96, 97, 116, 132
Сингер С. (Singer S.) 143
Скворцов А.К. 91, 132
Сковородкин Ю.П. 82, 84, 112, 113, 123, 132
Скорняков С.М. 123
Скорсби Уильям (Scoresby W.) 20, 146
Скотт Роберт (Scott R.) 44, 111
Скотт У. (Scott W.E.) 47, 139
Скроцкий Г.В. 57, 129, 132
Слейтер Дж. (Sclater J.G.) 68
Сленз Э. (Slenz E.) 23, 146
Сливинская Г.В. 124
Смирнов В.И. 113
Смирнов Г.С. 60
Смирнов И.Н. (Smirnov I.N.) 16, 38, 111, 132, 147
Смит Арчибальд (Smith A.) 20, 139
Смит Б.Э. (Smith B.E.) 84, 141, 147
Смит Е.Л. (Smith E.L.) 137, 147
Смит П.Л. (Smith P.L.) 7, 26, 147
Смит Ф.Э. (Smith F.E.) 52, 147
Снейдер К.У. (Snyder C.W.) 137
Снопков С.В. 79, 114
Соболевский П.К. 50
Соймонов Ф.И. 13, 110
Соколин М. 37
Соландер Э. 18
Соловьев Г.А. 112
Соловьев О.А. 77, 132
Соловьев О.Н. 64, 68, 76, 109, 118, 132
Солодухо О.Ю. 114
Сонин Н.Я. 90
Сосланд С.А. 123
Сосновский И.В. 112
Сочеванова Н.А. 102, 122
Слуцкий Ф.А. 93
Списс Ф.Н. (Spiess F.N.) 68, 142, 147
Сребный С.А. 113, 129
Стадухин В.Д. 77, 78, 132
Староверов Л.Д. 50
Стародубов Г.С. 130
Стевин Симон (Stevin S.) 28, 108
Стивенсон Д. (Stevenson D.) 72, 147

Стейси Ф. (Stacey F.D.) 82, 85, 138, 141, 147
Стеллер Георг 13
Стенгерс И. (Stengers I.) 91, 99, 102, 129
Степанов А.П. 132, 134
Степанов В.П. 80, 123, 132
Стинленд Н.К. (Steenland N.C.) 148
Стоккард Г. (Stockard H.) 64, 147
Столпнер М.Н. 117, 121
Столярик Дж.Д. (Stolaric J.D.) 138
Стоцкий В.М. 132
Страхов В.Н. 6, 75, 77, 93, 103, 107, 121, 132
Стренгвей Д.У. (Strangway D.W.) 72, 146, 147
Строна А.А. 50, 116, 132
Стружан В. 113
Студенцов Н.В. 113
Стюарт Бальфур (Stewart B.) 18, 19, 147
Суворов В.В. 123
Суворов Е.А. 61, 77, 129
Суворова Л.В. 121
Суксдорф Е. (Sucksdorf E.) 47, 147
Супруненко Э.И. 118
Сурков В.С. 75, 80, 132, 133
Сусленников В.В. 64
Суслов М.Н. 118
Сымполян М. 113
Сэбин Эдвард (Sabine E.) 15, 16, 17, 18, 20, 35, 37, 38, 92, 96

T

Такажи А. (Takagi A.) 82, 141
Такур Н.К. (Thakur N.K.) 144
Тален Р. (Thalen R.) 18, 38, 39, 42, 43, 48, 53, 93, 109, 147
Тальвани М. (Talwani M.) 68
Танакадате А. (Tanakadate A.) 41, 147
Таничев А.А. 129
Танштеттер Иоганн Георг (Tannstetter J.G.) 9
Тарасов В.Н. 123
Таращан С.А. 128
Тарталья Никколо 92
Таруц Г.М. 80, 133
Ташар Гюи 12, 90, 108
Тейлор Брук (Taylor B.) 31
Тейлор П.Т. (Taylor P.T.) 71, 147
Тенишев В.Ш. 129
Терехов И.Н. 25, 133
Терехова Р.В. 77
Тибберг Э. (Tieberg E.) 42, 43, 48, 53, 148
Тигерштедт А.Ф. (Tigerstedt A.F.) 40, 43, 148
Тилас Д. (Tilas D.) 17
Тилло А.А. (Tillo A.) 16, 17, 23, 38, 40, 91, 109, 133, 148
Тильченко Е.Н. 115
Тимофеев Г.А. 116
Тихонов Б.Н. 77, 133
Тихонова В.А. 126
Тихоцкий С.А. 6
Толстихина М.И. 75, 132
Толстой Л.Н. 5
Томас Дж. (Thomas J.) 57, 147
Томашунас Ю.И. 121
Томода И. (Tomoda I.) 68, 69, 133, 148

Томпсон Д.Т. (Thompson D.T.) 69, 138
Томпсон С.Л. (Thomson S.L.) 26, 147
Томсон Уайвилл (Thomson W.) 16, 111
Томсон Умльям (Thomson W.) 21, 22, 25, 34, 109, 148
Торп Т.Э. (Torpe T.E.) 39, 111, 145
Торри (Torrey H.C.) 145
Тоффлер О. 87, 101, 133
Траверсе И.И. 14
Травников Б.П. 126
Тренклер Г. (Trenkler G.) 62, 148
Тригубович Г.М. 130
Трипольский В.П. 59, 121, 128
Троицкая В.А. (Troitskaya V.A.) 73, 148
Трубятчинский Н.Н. 46, 50, 51, 52, 128, 130, 133
Трушин С.И. 114
Туйчиёв А.И. 114
Туранов В.Н. 132
Тюрмина Л.О. 69, 133
Тяпкин К.Ф. 75, 133
Тяпкин О.К. 79, 133

У

Углов Б.Д. 67, 119, 125, 133
Уайт А. (White A.) 138
Уеда С. (Ueda S.) 68, 148
Уилкс Чарльз (Wilkes Ch.) 15, 20, 110, 138
Уистон Уильям (Whiston W.) 29, 108
Уиттекер Эдмунд (Whittaker E.) 29, 30, 33, 35, 90, 133
Уитхем К. (Whitham K.) 65, 74, 144, 146, 148
Уленбек Г. (Uhlenbeck G.) 56, 109
Уломов В.И. 126
Ульянин В.А. 52, 133
Умов Н.А. 48, 133
Ундзенков Б.А. 67, 77, 82, 133, 135
Уолластон К. (Wollaston C.) 34, 109, 149
Уоллис Самуэль 12, 110
Уорд С. (Ward S.H.) 77, 148
Уразаев И.М. 80, 133
Успенский В.А. 45
Учияма А. (Uchiyama A.) 148

Ф

Фадеев Н.В. 112
Фалеро Франсиско (Falero F.) 9, 10, 12, 90, 108
Фанзелау Г. (Fanselau G.) 52, 59, 62, 139
Фарадей Майкл (Faraday M.) 29, 33, 43, 88, 89, 90, 95, 108, 109, 133, 139
Фармаковский С.Ф. 23, 129, 134
Фастовский У.В. 123
Федорова Н.В. 76, 134
Федынский В.В. 67, 133
Фейерабенд П. (Fejerabend P.K.) 86, 134
Фенченко В.Н. 115
Фердуччи Конте 8
Ферраро В. (Ferraro V.C.A.) 73, 138
Физо А. (Fizeau A.) 35
Филатов А.И. 57, 132, 134
Филатов В.А. 77
Филатов В.В. 123, 130
Филатов В.Г. 114, 122
Филин А.М. 58, 69, 114, 119

Филиппов С.В. 24, 134
Филлипс Дж. (Phillips J.D.) 68
Филиппычева Л.Г. 77, 79, 116, 129, 134
Фингер Д.Л. 67, 128, 134
Финкельштейн М.И. 77
Фирсова Д.Б. 115
Фиск Г. (Fisk H.W.) 24, 109, 139
Фиттерман Д. (Fitterman D.V.) 84, 139
Фишер 21
Флеминг Дж. (Fleming J.A.) 22, 47, 52, 137, 139
Флиндерс Майкл (Flinders M.) 19, 20, 110, 139
Фогт П. (Vogt P.R.) 68
Фокс Р. (Fox R.) 36, 37, 42, 44, 141
Фомина Н.Ф. 80, 122
Форже Р.Л. (Forgey R.L.) 138
Форшман Л.А. (Forschman L.A.) 16, 139
Форстер М.Р. (Forster M.R.) 139
Фотиади Э.Э. 75, 134
Франк Л.А. (Frank L.A.) 73, 139
Франклин Бенджамин (Franklin B.) 30, 31, 100, 108, 122
Франчето Ж. (Ftancheteau J.) 68
Фредерик Н.В. (Frederik N.V.) 63, 149
Фрезе Р. фон (Frese R.R.B. von) 145
Фрей Г. (Frey G.) 71, 139
Фрейберг Г.А. 53
Фрейсине 15, 110
Френель О. (Fresnel A.) 90
Френкель Я.И. 56
Фритше Г.А. (Fritsche H.) 17, 19, 37, 38, 40, 109, 111, 139, 140
Фроли Дж.Дж. (Frawley J.J.) 71, 147
Фуджимоту Г. (Fujimotu H.) 69, 133, 148
Фукокур Симон де 8
Фуллер М.Д. (Fuller M.D.) 75, 140
Фурсов Н.Н. 64
Фусс Г. 14, 17, 110, 134

Х

Хаальк Г. (Haalck H.) 51, 54, 93, 140
Хайд Р. (Hide R.) 72, 141
Халабуда Э.П. 132
Халевина М.Б. 77, 121
Халилеев П.И. 60
Хамидов С.Г. 77
Хаммер Э. (Hammer E.) 16, 140
Ханле В. 62, 63, 89
Хансен У. (Hansen W.W.) 137
Харанг Л. (Harang L.) 47, 140
Харин Е.П. 74, 117
Харитонов А.Л. 126
Харитонов С.А. 120
Харламов Ю.С. 80, 134
Харрадон Г. (Harradon H.D.) 26, 140
Харрисон К. (Harrison C.J.A.) 68, 71, 140
Хартман Георг (Hartmann G.) 9, 27, 28, 100, 108
Хасбрук У.Р. (Hasbrouck W.R.) 82, 140
Хасты Л.М. (Hastie L.M.) 85, 137
Хатакеяма Г. (Hatakeyama H.) 47, 140
Хаттон В. (Hutton V.R.S.) 74, 145
Хатъянов Ф.И. 126
Хацкевич И.Г. 114
Хвостов О.П. 65, 131

Хендрикс Д. (Hendrix D.) 141
Хейланд К. (Heiland C.A.) 50, 91, 140, 141
Хейлинг К.Л. (Hayling K.L.) 71, 140
Хеймс Р. (Haymes R.C.) 73, 138
Хейс Д. (Hayes D.) 68
Хейрцлер Дж.Р. (Heirtzler J.R.) 68, 141, 144
Хек Н. (Heck N.H.) 24, 25, 140
Хеллманн Г. (Hellmann G.) 9, 10, 12, 28, 141
Хеппнер Дж.П. (Heppner J.P.) 138
Херберт Б. (Herbert B.) 57, 141
Херрон Э. (Herron E.M.) 141, 144
Херувимова Е.Г. 64
Хесин Б.Э. 78, 134
Хинц В. (Hinze W.J.) 145
Хиортер Олаф (Hiorter O.P.) 12, 108
Хлюстин Б.П. 25, 134
Хишияма Ю. (Hishiyama Y.) 145
Ходовой А.М. 112
Хозам 21
Холин В.Н. 77
Хорев В.Н. 113
Хорнер 15, 35
Хорнштейн К. (Hornstein K.) 17
Хохштеттер (Hochstetter) 111
Храмов А.Н. (Khramov A.N.) 28, 114, 134, 136
Хребтов А.А. 8, 134
Хуанг-Ти 7
Хуберт Г. (Hubert H.) 46, 141
Хурст Г.Э. (Hurst H.E.) 46, 141
Хьюджес Дж. (Hughes J.) 63, 141

Ц

Цветков Ю.П. 114, 126
Цейслер В.М. 126
Цельсиус Андрес (Celsius A.) 12, 18, 90, 108
Циволько А.К. 15
Циммерман Дж. Э. (Zimmerman J.E.) 63, 149
Цирель В.С. 57, 63, 64, 65, 67, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 131, 134
Цуцкарев Б.М. 23, 66, 123, 134
Цыганов В.А. 113

Ч

Чащин А.Н. 80, 126
Чевкин К.В. 32
Челюскин С.И. 13
Чепмен С. (Chapman S.) 9, 12, 17, 29, 32, 37, 39, 47, 54, 73, 138
Черевко Т.Н. (Cherevko T.N.) 112, 114, 119, 136
Черемисин В.Г. 113
Чернова Т.А. 24, 130
Чехович К.М. 120
Чечурина Е.Н. 113
Чжеу-Кунгу 7
Чжи-Су 7
Чигарнов Б.Л. 129
Чистова З.Б. 79, 134
Чириков А.И. 13
Чобану М. 113
Чупров В.В. 118
Чурсин А.В. 112

Ш

Шабанова Н.Н. 132

Шаблинская Н.В. 75, 80, 134
Шамаро А.М. 125
Шапиро В.А. (Shapiro V.A.) 82, 83, 84, 112, 116,
119, 130, 134, 135, 146
Шапиро И.Н. (Shapiro I.N.) 138
Шарловская Л.А. 76, 118, 135
Шарова В.А. 120
Шарп Г.М. (Sharpe H.M.) 72, 146
Шасселон 50, 52
Шварц Ф. (Schwarz F.) 16, 135
Швейггер Иоганн (Schweigger J.) 33, 95
Шевченко Н.Ф. 77
Шеклтон Эрнест Генри (Shackleton E.G.) 44, 109,
111
Шельтинг В.Ф. 23, 59, 66, 135
Шерер Л.Д. (Scheerer L.D.) 142
Шержецкий Л.Н. 50
Шершнева К.С. 123
Шибаяев В.П. 24, 81, 117
Шимараев В.Н. 118
Шихов С.А. 123
Шишмарев Г.С. 14, 110
Шлагинвайт Г. (Schlaginweit H.A.) 111
Шлагинвайт Р. (Schlaginweit R.) 111
Шлейниц Г. (Schleinitz G.) 16, 111
Шматков А.Г. 125
Шмидт Адольф (Schmidt A.) 24, 37, 44, 52, 53, 54,
59, 90, 91, 109, 146
Шмидт Н.Г. 77, 78, 124, 135
Шмидт О.Ю. 93, 101, 135
Шмиярова Н.П. 125
Шмукер У. (Schmucker U.) 74, 146
Шонстед Э. (Schonsted E.) 60, 65, 146
Шрамков Е.Г. 53, 135
Шотт Ч. (Schott Ch.A.) 13, 16, 19, 24, 38, 39, 111,
146
Штагг И.М. (Stagg J.M.) 47, 147
Штайн И. (Stein J.) 49
Штайнер Л. (Steiner L.) 47, 147
Штамкерт 90
Штерн Д. (Stern D.P.) 7, 12, 17, 147
Штемпель 21, 42
Штёрмер Карл (Stoermer C.) 46, 73, 109
Штерев Г.С. 23, 135
Штуркин Д.А. 62, 135
Шу Ф. (Schuh F.) 51, 146
Шубин П. 16, 17, 135

Шубников Л.В. (Schubnikov L.V.) 56, 89, 109, 142
Шумиловский Н.Н. 61, 135
Шустер Артур (Schuster A.) 73, 109

Щ

Щелкин А.П. 113
Щелетов В.В. 124
Щербинин В.Е. 62, 121
Щюкк Э. (Schück E.) 8, 16, 146

Э

Эванс Дж. (Evans F.J.) 16, 20, 139
Эггерс Д.Е. (Eggers D.E.) 69, 138
Эдвардс Р.Н. (Edwards R.N.) 74, 138
Эдельман 91
Эйлер Леонард (Euler L.) 91, 100, 108, 118
Эйнштейн Альберт (Einstein A.) 29, 56, 88, 104, 135
Элетт А. 98
Эллиот 52
Эллис У. (Ellis W.) 18, 138
Эмура Т. (Emura T.) 148
Эннис К. (Ennis C.C.) 47, 139
Эннис Ф. (Ennis F.) 15, 20, 138
Эпинус Франц (Aepinus F.) 30, 31
Эстес Р. (Estes R.H.) 142, 143
Эринчек Ю.М. 75, 113, 117, 135
Эрман Адольф (Erman A.) 14, 19, 20, 110, 138, 139
Эррулат Ф. (Errulat F.) 55, 81, 139
Эрстед Ганс-Христиан (Oersted H.-Ch.) 33, 34, 88,
108
Этуотер Т. (Atwater T.) 68
Эшенхаген М. (Eschenhagen M.) 16, 19, 139

Ю

Юдж Д.Л. (Judge D.L.) 145
Юзвак В.П. 80, 118
Юинг М. (Ewing M.) 67
Юргенс Н.Д. 38
Юркевич К.С. 49

Я

Яковлев А.Г. 125
Якубовский Ю.В. 115
Янг Ф.Б. (Young F.B.) 109
Янсон И.К. 62, 124
Яновская Н.П. 122
Яновский Б.М. 9, 19, 27, 43, 48, 49, 51, 52, 53, 60,
77, 86, 135
Ярош А.Я. 75, 135
Ястребов В.С. 69, 136

Научное

издание

Гордин Валерий Михайлович

Очерки по истории геомагнитных измерений

*Утверждено к печати Институтом
физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН*

Усл. печ. л. 21.0 Тираж 200 экз.