

Л. Г. КАСЬЯНЕНКО
А. Н. ПУШКОВ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ОКЕАН И МЫ



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1987

ББК 26. 21
К28

Рецензент д-р физ.-мат. наук В. П. Головков

К28 Л. Г. Касьяненко, А. Н. Пушков. Магнитное поле, океан
и мы. Л., Гидрометеониздат, 1987, 192 с.

Авторы книги, геофизики-магнитологи, много лет посвятили изучению магнитного поля Земли на акватории Мирового океана. В книге рассматриваются те возможности, которые открываются для решения задач океанологии при проведении морских магнитных съемок. Авторы показывают трудности и романтику морских экспедиционных исследований, а также проблемы, возникающие перед морской геофизикой при расшифровке сложной и еще не до конца познанной связи между магнитным полем Земли и историей происхождения океанов. Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся вопросами строения Земли, и, в частности, на студентов-океанологов, желающих посвятить себя в будущем вопросам изучения электромагнитных полей на акватории океанов.

1903030100—144
К _____ 60—87
069(02)—87

ББК 26. 21

3114565

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195196 Малоохтинский пр., 83

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книгу известного советского магнитолога Александра Николаевича Пушкова и его товарища по экспедициям на немагнитной шхуне „Заря” Леонида Григорьевича Касьяненко можно отнести к жанру научно-популярно-автобиографическому. Первоначальной целью книги, по замыслу А. Н. Пушкова, был рассказ об экспедициях „Зари”, „чтобы читателю стало ясно, ради чего маленький коллектив советских людей на семь-восемь месяцев покидает родную землю, о трудностях и радостях повседневной будничной жизни и работе этих людей”. В процессе работы над книгой этот замысел претерпел существенные изменения, так как авторы посчитали необходимым теснее увязать особенности магнитного поля Земли над океанами со строением и развитием самих океанических областей. Думается, что для океанологов эта проблема представляет наибольший интерес.

К глубокому сожалению, А. Н. Пушков не смог полностью завершить свою книгу. Он умер не дожив до пятидесяти лет, прямо на мостике экспедиционного судна у берегов Сахалина. Самозабвенно отдаваясь работе, щедро раздаривая себя людям, Александр Николаевич ушел от нас в самом расцвете своей научной деятельности. Доктор физико-математических наук, заместитель директора Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР по научной работе, член различных советских и международных геофизических организаций, он был очень занятым человеком. Но его первой любовью были экспедиции, организации которых он уделял много внимания. Александр Николаевич прекрасно понимал, что данные наблюдений — научные факты — являются основой научных гипотез и теорий и критерием их правильности. И как настоящий ученый он сам собирал эти факты упорно и увлеченно. А. Н. Пушков принимал участие в трех экспедициях на немагнитной шхуне „Заря”: в рейсе № 7

(1964 г.) как научный сотрудник, в рейсах № 8 (1965—1966 гг.) и № 9 (1966—1967 гг.) как начальник экспедиции.

Представляемая читателю книга как бы распадается на три части. Первая часть — вступительная глава была написана Л. Г. Касьяненко уже после смерти А. Н. Пушкина, так как возникла необходимость кое-что в книге дополнить и объяснить. Во второй части, написанной Л. Г. Касьяненко на основе первоначальных набросков А. Н. Пушкина, рассказывается, как сведения о магнитном поле используются в современной науке для познания строения Земли в целом и океанического дна в частности. В третьей части дан краткий исторический очерк изучения магнитного поля Земли на океанах, описано единственное в мире советское немагнитное судно „Заря”, его оборудование и программы исследований. Здесь в основном использованы дневниковые записи А. Н. Пушкина, дающие представление о реалиях экспедиционной жизни и работы в рейсах № 8 и № 9 в Атлантическом и Индийском океанах.

Несмотря на свой солидный возраст, „Заря” до сих пор проводит регулярные экспедиционные исследования на акваториях. Эти исследования признаны фундаментальным вкладом в науку о земном магнетизме. Существенно изменились за эти годы методы измерений, повысилась их точность, усовершенствованы способы интерпретации наблюденных данных. Накоплен огромный опыт проведения компонентных геомагнитных наблюдений на морях и океанах, который, хочется верить, будет освоен новыми и более совершенными немагнитными судами — судами следующего поколения.

Проводимые по специальным методикам геомагнитные съемки „Зари” доставляют сейчас ученым качественно новую информацию о магнитном поле морских акваторий. Ограниченность в последнее время района плавания не снизила творческого накала исследований, не уменьшила трудности экспедиционных работ и, как ни

странно, не погасила высокой морской романтики предыдущих океанических рейсов. Продолжение экспедиционных работ „Зари“, реализация научных замыслов ушедших из жизни первых научных руководителей и старших товарищей — лучшая для них память!

Думается, что читатели с пользой для себя прочтут эту книгу об одном из интереснейших разделов науки о Земле — о земном магнетизме и о том, как сейчас проводятся измерения магнитного поля Земли на океанах, и в частности на немагнитном научно-исследовательском судне „Заря“, тем более, что предыдущие книги о ней стали почти библиографической редкостью. Интересным, полагаю, будет для читателя и прикосновение к сложным проблемам, встающим перед учеными при интерпретации таких естественных физических полей, как магнитное поле Земли. Будущим исследователям предстоит еще многое сделать, чтобы увязать многочисленные экспериментальные данные о геофизических полях в непротиворечивые теоретические конструкции, позволяющие объяснить и предсказать сложные геодинамические процессы, присущие нашей планете.

Доктор физико-математических наук профессор
В. И. Почтарев

Наука вечна в своем стремлении, неистощима в своем источнике, неисчерпаема в своем объеме и недостижима в своей цели...

К. Бэр

ВСТУПЛЕНИЕ

Научные работы обычно предваряются рефератом с ключевыми словами. Ключевыми словами этой книги могли бы быть: *геомагнетизм, магнитная съемка, аномалии геомагнитного поля, компоненты магнитного поля Земли, океан, маршрут, экспедиция*. Магнитологи и моряки-экспедиционники уже по одним ключевым словам составили бы себе ясное представление, о чем будет идти речь. Но поскольку эта книга была задумана как научно-популярная, мне выпал нелегкий труд раскрыть приведенные выше специальные термины в доступной для широкого круга читателей форме. Сложность этой задачи усугубилась тем, что одного из авторов — Александра Николаевича Пушкова уже нет с нами. Он успел создать лишь основу книги в виде дневниковых заметок. И только усилиями его жены и товарищей по совместной работе и плаваниям эта работа была завершена.

Из письма судебного врача гидрографического судна «Таймыр» жене А. Н. Пушкова С. С. Пушковой: «...Александр Николаевич находился на мостике 12.08.80 г. Рядом с ним находился вахтенный штурман, электро-радионавигатор, и заходил на мостик боцман. Они сказали, что Александр Николаевич вел себя спокойно. Разговаривал с ними. Затем вскрикнул и упал. Прошло несколько часов и ...жизнь Александра Николаевича прекратилась».

Всю свою жизнь А. Н. Пушков посвятил изучению магнитного поля Земли на море и на суше и встретил смерть в экспедиции, вдали от дома и семьи, которые он так любил. До пятидесятилетия ему оставалось три-

дцать семь дней. Его отец — основатель и первый директор Института земного магнетизма — пережил его на полгода. После них остались их дети, ученики, дела, научные труды. Мне бы и хотелось во вступлении рассказать о науке, которой занимался Александр Николаевич, и немного о нем самом.

Итак, о науке. Согласно Большой Советской Энциклопедии, «наука — сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности; одна из форм общественного сознания ... Понятие „наука“ включает в себя как деятельность по получению нового знания, так и результат этой деятельности — сумму полученных к данному моменту научных знаний, образующих в совокупности научную картину мира... Непосредственные цели науки — описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет ее изучения». Комплекс наук, изучающих физические свойства Земли в целом и физические процессы, происходящие в ее твердой, жидкой и газообразной оболочках (сферах), известен под названием геофизика. Понятие геофизики как науки, объединяющей ряд частных наук в определенную систему, сложилось лишь в 40—60-х годах XX в. Все эти частные науки имеют общий предмет исследования — физические свойства Земли и физические процессы в ней и общие методы исследований, среди которых преобладающую роль играют наблюдения за ходом природных процессов и их количественная интерпретация на основе общих физических законов. В состав геофизики, согласно современной классификации, входят следующие частные науки: геомагнетизм, аэрономия, метеорология, океанология, гидрология суши, гляциология, физика недр Земли, сейсмология, гравиметрия, учение о земных приливах, учение о современных движениях земной коры, разведочная и промысловая геофизика. Указанные науки, в свою очередь, подразделяются на отдельные частные дисципли-

лины. Геомагнетизм определяют как раздел геофизики, изучающий распределение в пространстве и изменения во времени геомагнитного поля, а также связанные с ним геофизические процессы в Земле и в верхней атмосфере.

Идея классификации научных знаний зародилась в глубокой древности вместе с появлением самих этих знаний. У античных мыслителей мы находим наброски всех позднейших принципов классификации науки и, в частности, разделение всего знания по предмету на три главные области: природа (физика), общество (этика) и мышление (логика). Накопление многочисленных конкретных сведений о свойствах окружающего мира вызывало, с одной стороны, необходимость как-то ограничить предмет изучения — ибо жизнь ученого коротка, а мир огромен, — а с другой стороны — определить место предмета в системе существующих знаний и найти некие всеобщие основы и связи всего со всем. На протяжении столетий можно проследить борьбу этих тенденций, приведших в конце концов к современной классификации наук. В средние века все „светские“ знания подразделялись на „семь свободных искусств“: грамматику, риторику, диалектику, арифметику, геометрию, астрономию и музыку. В XVI в. испанский врач и философ-материалист Хуан Уарте одним из первых попытался создать классификацию наук, основанную на человеческих способностях — памяти, разуму и воображению. Памяти соответствовала наука история, воображению — поэзия, а разуму — философия. Такого же деления придерживался и Фрэнсис Бэкон. В дальнейшем философия, включавшую в себя все естественные науки, вплоть до XIX в., подвергали все более дробному делению на частные науки: математику, механику, химию и т. д.

Французский философ Огюст Конт в середине XIX в. выделил на основе принципа координации, учитывающего лишь внешнюю связь между науками, шесть основных теоретических наук, составивших энциклопедический

ряд, или иерархию наук: математику, астрономию, физику, химию, физиологию, социологию. Механику земных тел он включил в математику, психологию — в физиологию. Им действительно выделены основные науки, соответствующие основным формам движения материи, и в той последовательности, в какой они развивались одна за другой. Современное деление наук сочетает в себе объективный подход и принцип субординации, учитывающий внутреннюю, органическую связь наук, с необходимостью развивающихся одна из другой. Выделяются три главные области знания — о природе, обществе и мышлении. Их соответственно изучают науки естественные, социальные и философские. Крупными разделами, которые не входят целиком ни в одну из главных групп, являются технические науки и математика, стоящая на стыке между естествознанием и философией. Наш XX в. характеризуется тем, что вся наука о природе стала системой взаимопроникающих и переплетающихся наук.

Из статьи Ю. Шрейдера „Наука — источник знания и суеверия“: „Наука как бы противоборствует усилиям ученых, отягощенных грузом специальных знаний, растащить ее по замкнутым клеткам. Она стремится несмотря ни на что остаться единым знанием о едином мире. Как бы ни была замаскирована эта тенденция науки существующей раздробленностью, стремление науки к единству существует, и оно весьма поучительно“.

Проникновение математических методов в естественные науки, и в частности в геофизику, привело к многочисленным попыткам создания точных определений. Но, как ни странно, для такого фундаментального понятия, как электромагнитное поле, точных определений не существует. Более того, не существует точных определений еще более фундаментальных понятий — „материя“, „сила“, „пространство“. Известный американский физик Р. Фейнман писал: „Немало изобретательности было потрачено на то, чтобы помочь людям мысленно

представить поведение полей... Попытки представить электрическое поле как движение каких-то зубчатых колесиков или с помощью силовых линий или как напряжения в каких-то материалах потребовали от физиков больше усилий, чем понадобилось бы для того, чтобы просто получить правильные ответы на задачи электродинамики ... Самая правильная точка зрения — это самая отвлеченная: надо просто рассматривать поля как математические функции координат и времени”.

Конечно, общепринятые определения понятий „магнетизм” и „магнитное поле” существуют, так как при отсутствии понятий научное изучение материального явления практически невозможно. Ученые пришли к соглашению, что магнетизм — это особая форма материальных взаимодействий, возникающих между движущимися электрически заряженными частицами, а пространство, в котором действуют силы магнетизма, называется магнитным полем. Но тот же Р. Фейнман сказал, что когда мы чего-то не знаем, мы называем это силой, а когда не знаем и более того, то — полем.

Современное учение о магнетизме разделяется на три части: атомный магнетизм, изучающий магнитные свойства изолированных атомов, молекул, атомных ядер, отдельных элементарных частиц материи; магнетизм вещества или конденсированных систем, изучающий взаимодействие между собой групп атомов и молекул, составляющих газообразные, жидкие и твердые тела; земной магнетизм, изучающий магнитные силы, связанные с намагниченностью Земли в целом. В последние годы появились такие разделы в учении о магнетизме, как магнетизм космических тел и космического пространства. В свою очередь земной магнетизм имеет как бы отдельные области изучения: главное, или постоянное, магнитное поле Земли, аномальное поле, переменное поле, магнетизм горных пород, палеомагнетизм, магниторазведка. Эти области имеют еще более дробное деление.

На современном древе науки учение о земном магне-

тизме лишь небольшая веточка на ветви геофизики, а магнитная съемка, о которой много говорится в книге, лишь листочек на этой веточке. Но для того чтобы успешно заниматься изучением этого листочка, нужно знать физику, математику, геологию, электронику, астрономию, географию, историю. Совершим же небольшой экскурс в историю учения о магнетизме, ибо, как сказал А. С. Пушкин, „уважение к минувшему — вот черта, отличающая образованность от дикости”.

Из книги Вильяма Гильберта „О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле, новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов”, впервые изданной в 1600 г. в Лондоне на латинском языке: «Этот камень, обычно именуемый магнитом, получил свое название либо от имени того, кто его открыл (хотя бы и не от сказочного волопаса, упоминаемого у Плиния, который заимствовал его от Никандра, с его гвоздями от сандалия и наконецником палки, приставшими, в то время как он пас скот, к поверхности магнита), либо от македонской области Магнезии, богатой магнитом, либо от малоазийского города Магнезии в Ионии у реки Меандра. Поэтому Лукреций говорит: „Греки магнитом зовут по названию месторождения, ибо находится он в пределах отчизны магнетов”. Он зовется и геракловым от города Гераклеи или от непобедимого Геракла — вследствие своей большой силы и своей власти и владычества над железом, которому покоряется все; или — сидеритом, то есть как бы железным. Он не был неизвестен самым старинным писателям — не только грекам, Гиппократу и другим, но и, как я полагаю, евреям и египтянам, так как в древнейших железных рудниках, наиболее знаменитых в Азии, вместе с железом часто добывался его единоутробный брат — магнит. Если верно то, что сообщают о китайском народе, последний умел в ранние века производить опыты с магнитом, тем более что магниты у них превосходные».

Замечательное свойство естественных магнитов притягивать к себе железо или другой магнит — единственное в древности достоверно известное свойство — в силу особенностей натурфилософского познания того времени обрастало фантастическими подробностями. Велись многолетние споры, потеряет ли магнит свойство притягивать железо, если его натереть чесноком или положить вблизи него бриллианты. Во многих работах древности и средних веков серьезно писалось о том, что магнит создан злым демоном, что он открывает запоры и замки, что если держать его в руке, он вылечит боли в ногах и судороги, что днем он имеет силу притяжения, а ночью нет, и кровь козла восстанавливает это свойство, что он может примирить с женами их мужей или возвратить мужьям их жен и будто, если положить его под голову спящей женщины так, чтобы она об этом не знала, он сбрасывает с постели прелюбодейку.

Другое замечательное свойство магнита (вернее, магнитной стрелки) — способность ориентироваться на север — юг — стало известно людям гораздо позже. Многие ученые старались понять причину направленности свободной магнитной стрелки и объяснить столь великое чудо природы. Врач и естествоиспытатель эпохи Возрождения Парацельс утверждал, что существуют звезды, которые, обладая мощностью магнита, притягивают к себе железо. Фракисторий, выдающийся философ, врач, астроном и поэт середины XVI в., пытаясь объяснить направленность магнитной стрелки, придумал Гиперборейские горы, якобы притягивающие к себе намагниченные куски железа. Этому мнению следовали многие средневековые ученые как в своих сочинениях, так и в географических таблицах, морских картах и описаниях Земли.

Крупнейшим ученым, стоявшим у истоков научного изучения земного магнетизма, был Вильям Гильберт, лейб-медик королевы Елизаветы, химик и физик и, как мы, специалисты-геофизики, считаем, первый магнитолог.

Но сначала немного о состоянии науки перед появлением его труда в 1600 г.

Как известно, самой распространенной философией естествознания в средние века было пронизанное теологическими представлениями учение Аристотеля о природе. Для основанного на этой философии естественнонаучного мышления характерно наивное (с нашей, современной точки зрения), непосредственное восприятие явлений природы и стремление или объяснить эти явления с помощью других, им подобных явлений, для чего широко применялся прием аналогий, или аргументировать объяснение ссылкой на тексты признанных в богословии и философии авторитетов. (Правда, еще Фома Аквинский в XIII в. утверждал, что в философии самым слабым является доказательство путем ссылки на авторитет.) В целом такой образ мышления о природе получил название натурфилософского. Сейчас нам кажется естественным и понятным, что действительная связь явлений природы может быть установлена только на основе точного естественнонаучного эксперимента, однако средневековый образ мышления как раз исключал опыт как аргумент для доказательства высказываемых предположений.

В XVI—XVII вв. в Европе появляется много трактатов, посвященных описанию различных ремесел и производств, но в них трудно обнаружить стремление путем опытного исследования установить какие-либо общие научные положения. Зачинателями нового научного естествознания оказались люди, близко стоявшие к общественной практике того времени. Леонардо да Винчи, гениальный итальянский художник, ученый, инженер и архитектор, впервые обращается к опыту для изучения механических явлений. Итальянский математик Никколо Тарталья разрабатывает вопросы баллистики и фортификации на основе изучения артиллерии и военно-инженерного дела.

Ломка старого научного мировоззрения в конце XVI—

начале XVII в. прежде всего связана с именами Вильяма Гильберта в Англии, Иоганна Кеплера в Германии, Галилео Галилея в Италии и Рене Декарта во Франции. В начале XVII столетия появились и первые теоретические обоснования нового научного мировоззрения в трудах английского философа Фрэнсиса Бэкона (Веруламского). Из указанных выше основоположников нового естествознания первым выразителем новых идей и направлений в изучении природы является (и мы подчеркиваем это обстоятельство) Вильям Гильберт, хотя до сих пор, по общему мнению, таковым считается Галилео Галилей, первая научная работа которого, „Звездный вестник“, опубликована в 1610 г., то есть на 10 лет позже, чем труд Гильберта. В предисловии к своей книге „О магните, магнитных телах и большом магните — Земле“ Гильберт пишет: „... при исследовании тайн и отыскании скрытых причин вещей, благодаря точным опытам и опирающимся на них аргументам, получаютс более сильные доводы, нежели от основанных на одном только правдоподобии предположений и мнений вульгарных философов...“

Трудно проследить истоки нового зарождающегося научно-философского мировоззрения во тьме веков. К счастью, до нас дошел один любопытный документ XIII в. В нем, пожалуй, впервые в средневековой литературе было отчетливо высказано суждение о роли опыта и наблюдения, а также значении ручного труда в познании природы. Интереснее всего, что это касалось именно магнитных явлений. Этот документ — письмо от 12 августа 1269 г. Петра Перегринна в Пикардию своему земляку Сигеру де Фукокурту. (Это письмо под названием „Epistola de Magnete“ — „Письмо о магните“ — долгое время существовало лишь в рукописи. Оно было переведено на английский язык Сильванусом Томсоном и издано в Лондоне в 1902 г.) Сам автор (вероятно, небогатый французский дворянин) находился в армии Карла Анжуйского под стенами осажденного города Люцера в Южной Италии. Пребывая в бездействии во время

этой осады, он решил изложить накопленные им ранее наблюдения за естественными и искусственными магнитами. „Вы должны представить себе, дорогой друг, что исследователь в этом предмете должен знать природу вещей и не быть незнакомым с небесными движениями; он должен также быть готовым делать все своими собственными руками так, чтобы через операции с этим магнитным камнем он мог бы показать замечательные его действия. Путем тщательных действий с этим камнем он будет в состоянии в короткое время исправить ошибку, которую он может допустить с помощью применения одной натуральной философии или математики; он никогда не достигнет вечного знания, если не будет тщательно упражнять свои руки. Ибо в разъяснении скрытых действий мы больше всего нуждаемся в ручном труде, без которого обычно мы не можем ничего выполнить; хотя, конечно, существуют многие вещи, подчиненные правилам разума и не могущие быть полностью исследованы с помощью рук”.

„Волшебный камень” — магнит оказал какое-то поистине магическое влияние на становление нового научного мировоззрения.

Из письма А. Н. Пушкина домой из эстонского порта Локса, 29 мая 1964 г.: «... Живу я на „Заре” в отдельной каюте. В каюте кровать, письменный стол, шкаф и собираются поставить умывальник. Маленькая дырка в потолке пропускает немного дневного света, все время горит электрическая лампочка. Нас, „науки”, сейчас шесть человек. В настоящее время мы заняты моей „любимой” работой — втаскиваем приборы, устанавливаем их, ведем проводку, разделяем концы, настраиваем и проверяем ... В этом деле я могу любому дать фору — опыт колоссальный».

Итак, к тому времени, когда Гильберт стал систематически исследовать явления земного магнетизма и осуществлять свои опыты „благодаря нашему великому тщанию, бдениям и издержкам”, основными достоверно

известными фактами о магнетизме были: ориентировка подвижного естественного магнита в направлении север — юг, приобретение железом магнитных свойств при натирании его природным магнитом, притяжение и отталкивание двух намагниченных тел, склонение магнитной стрелки и его изменение при перемещении по земной поверхности, наклонение магнитной стрелки. Каких-либо причинных связей в этих фактах и явлениях установлено не было.

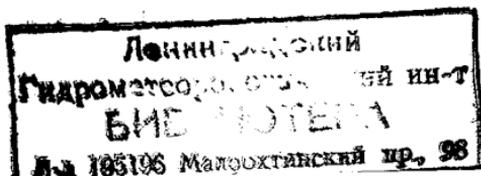
На основе экспериментов с шаровыми магнитами („терреллами” — „землицами”) и магнитными стрелками Гильберт сделал вывод огромной по тому времени смелости: „Следовательно, магнитная мощь существует в Земле так же, как и в землице, которая является частью Земли, однородна с ней по природе, с внешней стороны шаровидна, так что она соответствует шаровидной фигуре Земли и в основных опытах согласуется с земным шаром”.

Этот вывод Гильберта является основой науки о земном магнетизме и в последующем подвергался лишь уточнению, не будучи отвергаем по существу. Хотя мы до сих пор не знаем в точности, каким образом Земля стала магнитом, мы теперь твердо уверены в том, что магнитное поле Земли в целом подобно магнитному полю терреллы Гильберта. Галилей выразил величайшее восхищение трудом Гильберта и, говорят, объявил его „великим до такой степени, которая вызывает зависть”.

Гильберт одним из первых определил понятие магнитного поля. Он писал, что намагниченное тело имеет вокруг себя, как он выражался, „сферу действия”. Возможно, что самым первым, кто высказал мысль о магнитном поле, был Аверроэс — средневековый арабский мыслитель. По его мнению, естественный магнит искажает ближайшее к нему пространство в соответствии со своей формой. Ближайшие к магниту области среды в свою очередь искажают ближайшие к ним пространства, и так до тех пор, пока „специи” (частицы) не достигнут

железа. Это плодотворное понятие поля нашло дальнейшее развитие в трудах ученых XIX в. — Фарадея и Максвелла и в многочисленных работах физиков XX в., давших ему диалектико-материалистическое истолкование как особой формы материи. Кроме того, Гильберт первым установил, что намагничение тел может быть разрушено путем нагревания их до красного каления. В дальнейшем, уже в XX в., французский ученый Пьер Кюри точно определил температуру, при которой железо и магнетит утрачивают свои магнитные свойства (так называемая точка Кюри, или температура Кюри). Гильберт нашел, что сильно нагретое железо приобретает большую интенсивность намагничения, если оно остывает, будучи помещенным в магнитном поле Земли в направлении север — юг. Так было впервые обнаружено то, что получило впоследствии название термоостаточного намагничения и привело в 50—60-х годах нашего века к настоящей революции в науках о Земле.

Наверно, развитие цивилизации шло бы совсем другими темпами, если бы гениальные достижения отдельных исследователей оценивались по достоинству современниками. История дает нам немало примеров противоположного. Происходит это по разным причинам, в частности потому, что ни общественная мысль, ни существующая технология еще не в состоянии „переварить“, освоить и использовать научные идеи и предложения, иногда резко расходящиеся с привычными представлениями. „Хотя ни Аристотелю, ни кому-либо другому, а именно Гильберту впервые пришлось на ум подумать, не может ли она (Земля) быть магнитом, и хотя ни Аристотель, ни другие не оспаривали такого мнения, все же мне приходилось встречать многих, которые при первом слове об этом, подобно лошади, пугающейся тени, бросались назад и избегали говорить на эту тему, считая такое предствление пустой химерой и даже необыкновенной глупостью“, — писал Галилей в своей книге „Диалог о двух главнейших системах мира“.



1972 г. Из случайно услышанного разговора двух научных сотрудников ИЗМИРАН.

— Пушкова не видел?

— В подвале, в свои игрушки играет.

— В каком подвале?

— В каком? В нашем. Он там из пластилина магнитное поле лепит для разных эпох. А потом заснимет на пленку, прокрутит и увидит, какая была вековая вариация.

— Вот дает! Вечно что-то придумает!

1984 г. Из статьи английского исследователя Р. Томсона „Геомагнитная эволюция: изменения на планете Земля за 400 лет“: „Для представления изменений геомагнитного поля за последние 400 лет (с 1600 г.) использованы коэффициенты сферического гармонического анализа, рассчитанные по измерениям склонения, наклонения и величины полного вектора за время инструментальных наблюдений и по археомагнитным данным ... Работа выполнена с целью создания фильма о геомагнитном поле и его изменениях...“

Самое важное в гильбертовском идейном наследии заключается в том, что еще на начальном этапе развития учения о магнетизме и электричестве он стремился выяснить особое своеобразие этих форм движения материи и не сводил их к механическим явлениям, как это было свойственно ученым его времени. Видно, как его мысль буквально бьется над выработкой понятия „поле“, и уже тогда он приходит к аналогии между распространением света и магнитного поля. Гильберт гениально указывает, что магнитное поле распространяется с такой же скоростью, как свет.

Крупный шаг в развитии учения о магнетизме был сделан в XVIII в. в Петербургской Академии наук. М. В. Ломоносов, отмечая важность и трудность теории магнетизма как „тончайших всех материй, что ни есть в физике“, высказал мысль о необходимости замены старого объяснения магнетизма как результата истечения

особых частиц теорией, основанной на идее эфира. Собственно все эти „истечения”, „эфиры”, „сферы действия” являлись весьма плодотворными и были поисками определенных наглядных представлений, которые мы теперь высокомерно заменили такими понятиями, как „сила” и „поле”, пытаясь объяснить загадочное до сих пор и для нас самих дальное действие гравитации и электромагнетизма. Ломоносов одновременно высказал и вполне современное предположение о том, что земной шар состоит из мельчайших разнородно намагниченных частичек, которые в совокупности образуют неоднородно намагниченный шар, чем и объясняются неодинаковые значения магнитного склонения в различных частях земного шара. Этим он сделал шаг вперед по сравнению с Гильбертом, считавшим поле Земли полем одного магнита с двумя полюсами, и предвосхитил идею другого гиганта — Карла Фридриха Гаусса о произвольном намагничении земного шара. Для проверки этих предположений Ломоносов рекомендовал устроить пункты постоянных наблюдений за магнитным полем (обсерватории) и проводить систематические наблюдения в море на кораблях. Вот куда уходят корни наших морских экспедиций, наших маршрутных и полигонных съемок.

Другой русский академик Франц Ульрих Эпинус в 1759 г. написал трактат „Опыт теории электричества и магнетизма”, оказавший большое влияние на последующее развитие учения о магнетизме, по крайней мере в России. В этом трактате он теоретически обобщил все известное к тому времени о электричестве и магнетизме, подчеркнул тесную аналогию между ними и описал явление индуктивного (наведенного без касания) намагничения.

С этого времени изучение электромагнитных явлений уже не прерывалось. В 1820 г. датский физик Ханс Кристиан Эрстед открыл, что ток обладает магнитным полем, а французский ученый Андре Мари Ампер установил законы магнитного взаимодействия

токов. Он же доказал теорему об эквивалентности магнитных свойств кругового тока и магнитного листка и высказал в связи с этим гипотезу о том, что намагниченность тел создается молекулярными токами, представляющими собой элементарные магнетики. Интересно сравнить его гипотезу с современными представлениями, изложенными в Большой Советской Энциклопедии: „Источником магнитного поля является движущийся электрический заряд, то есть электрический ток. В атомных масштабах для электронов и нуклонов (протонов, нейтронов) имеются два типа микроскопических токов — орбитальные, связанные с переносным движением центра тяжести этих частиц, и спиновые, связанные с внутренними степенями свободы их движения”. Поскольку большие, макроскопические, тела состоят из атомов и молекул, магнитные свойства присутствуют в той или иной степени им всем. Земля, другие планеты, Солнце, звезды также являются магнитными, и следовательно, магнетизм — всеобщее и неотъемлемое свойство материи.

Эпохальными для последующего изучения магнитного поля Земли явились две работы „короля математиков” Карла Фридриха Гаусса, напечатанные почти одновременно в 1839 г.: „Общая теория земного магнетизма” и „Напряженность земной магнитной силы, приведенная к абсолютной мере”. В первой работе Гаусс заложил основы одного из важнейших понятий математической физики — теории потенциала и совершенно по-новому поставил задачу об интерпретации (описании) магнитного поля Земли. Отказываясь от всяких гипотез, кроме единственного предположения, что причины земного магнетизма лежат внутри Земли, он представил магнитный потенциал (производные которого и есть величины, определяющие напряженность магнитного поля) для любой точки на поверхности Земли как функцию координат (широты и долготы), разложенную в бесконечный ряд по шаровым функциям. Ограничиваясь конечным числом

членов этого ряда, можно было определять (пользуясь результатами наблюдений — что очень важно) коэффициенты этого ряда и тем самым иметь возможность теоретически вычислять потенциал в любой точке земной поверхности, то есть там, где наблюдения отсутствуют. Вычисления Гаусса опирались как на наблюдения в магнитной обсерватории, созданной в Геттингене, так и на материалы, которые собирались в разных странах „Союзом для наблюдения над земным магнетизмом“, основанным великим немецким естествоиспытателем XIX в. А. Гумбольдтом в 1804 г. В начале XX в. интерпретацию постоянных членов разложения Гаусса, физический смысл которых оставался до этого непонятным, дал профессор Московского университета Н. А. Умов.

В процессе занятий магнетизмом Гаусс пришел к выводу, что системы физических единиц, характеризующих измерения, надо строить, вводя некоторое количество независимых величин, и выражать через них остальные величины. На этих принципах были созданы так называемые „абсолютные“ приборы для магнитных измерений и, что еще важнее, положено начало принятой в настоящее время системе единиц измерения физических величин (СГС или СИ).

Работы К. Ф. Гаусса, русских ученых XIX в. И. И. Сиимонова и А. Я. Купфера и многих других заложили основы современных представлений о магнитном поле Земли. С середины XIX в. начинается быстрое накопление и систематизация материалов о распределении элементов земного магнетизма, строятся карты магнитных полей для отдельных районов и, конечно, создается целый ряд гипотез о происхождении магнитного поля Земли, опирающихся на результаты наблюдений. Еще Авиценна писал, что единственный научный вопрос — это „почему?“. Но научный ответ на этот вопрос невозможен без ответов на частные вопросы „как?“, „что?“, „когда?“, „где?“, „сколько?“, которые мы и задаем природе в процессе наблюдений.

Подводя итоги изучения магнитного поля, директор Главной физической обсерватории академик М. А. Рыкачев в докладе, прочитанном на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей 31 декабря 1901 г., сказал: „Общее распределение магнетизма на поверхности земного шара таково, что можно принять весь шар за магнит с магнитной осью, наклоненной к оси вращения Земли, но затем имеются большие отклонения от симметричного распределения в больших областях и в отдельных небольших местностях; изучения этих последних показывают, что такие местные аномалии находятся в связи с геологическим строением данной области. Из сказанного ясно, какое важное значение для успеха науки имеет изучение магнитного состояния такого магнитного тела, как наша Земля”.

Итак, ответы на вопросы: „Каково распределение магнитного поля Земли?” („Как?”), „Какова величина этого поля?” („Сколько?”), „Где находятся магнитные аномалии?” („Где?”), то есть ответы на частные вопросы земного магнетизма, к началу XX в. в общих чертах были получены. Но уверенных ответов на вопросы „Почему земное магнитное поле именно такое?” и „Почему оно вообще существует?” нет и до сих пор. Один известный физик полусхоту сказал: „... Все можно понять в окружающей природе. Непонятно только, почему есть звезды на небе и откуда у Земли магнитное поле...”

Любая гипотеза, претендующая на то, чтобы стать теорией, должна объяснить все наблюдаемые факты и иметь предсказательные свойства. Теория должна объяснить, почему почти все земное магнитное поле сосредоточено в глубине земного шара, почему магнитная ось наклонена к географической, почему магнитное поле изменяется со временем, объяснить и предсказать периоды этих изменений и, кроме того, объяснить, почему полярность магнитного поля иногда резко меняется вплоть до противоположной. Этот поразительный факт, ставший известным при изучении намагниченности гор-

ных пород разного возраста, явился пробным камнем для всех гипотез происхождения магнитного поля Земли.

Почти 300 лет всех устраивало казавшееся естественным объяснение, что магнитное поле Земли вызывается намагниченными породами и рудами внутри планеты. Ясная и наглядная связь между железно-рудными залежами и наблюдаемыми с помощью приборов магнитными аномалиями поддерживала этот вывод и, казалось, не допускала другого истолкования. Но по мере того как накапливались сведения о температуре внутри Земли, получаемые из прямых измерений в шахтах и буровых скважинах, по наблюдениям за температурой вулканических лав, по обоснованным расчетам генерируемого горными породами радиоактивного тепла, стало ясно, что температура на глубинах примерно 30—70 км превышает температуру Кюри, то есть горные породы должны терять свои магнитные свойства. Кроме того, слои земной коры толщиной 30—70 км даже очень высокой намагниченности смогут создать только часть измеренного на поверхности земного магнитного поля. Ученые стали искать источники магнитного поля глубоко внутри Земли и выдвинули гипотезу о ее твердом железном ядре, подтверждаемую расчетами средней плотности земного шара. Но эта гипотеза оказалась в антагонистическом противоречии с обнаруженными учеными-палеомагнитологами многократными сменами полярности земного поля в прошлые геологические эпохи, что для твердого ядра невероятно.

Первая работа А. Н. Пушкова, написанная им еще в университете, пыталась в какой-то мере этот антагонизм смягчить. В ней экспериментально доказывалось, что при некоторых условиях горные породы могут приобретать разную магнитную полярность при одном и том же направлении магнитного поля, то есть рассматривался так называемый механизм самообращения. Но тем не менее в палеомагнетизме (учении о прошлых состояниях магнитного поля) имеется много факторов, которые не-

возможно объяснить с точки зрения механизма самообращения.

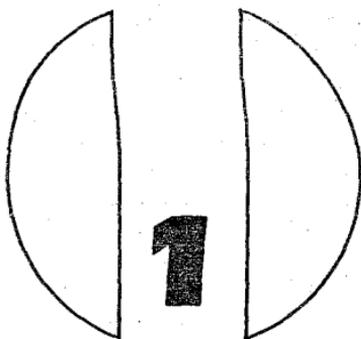
Очень важным для гипотез о происхождении земного магнитного поля было установление того факта, что земной шар разделяется на две области — твердую оболочку и жидкое ядро с маленьким твердым ядрышком внутри. Существование жидкого ядра было установлено сейсмическими исследованиями. Толщина жидкой части превышает, по этим данным, 2200 км. Появились гипотезы В. Эльзассера, Я. И. Френкеля, Э. Булларда и других ученых, учитывающие эти новые сведения о внутреннем строении земного шара и не отделяющие явления земного магнетизма от других физических явлений, происходящих внутри него. Согласно этим гипотезам, земное магнитное поле возникает за счет вихревых движений в жидкой электропроводящей части ядра в первоначально слабом магнитном поле. Эти движения являются причиной электрического тока, а он-то и создает магнитное поле, в свою очередь поддерживающее существование этого тока (так называемый динамоэффект). Теперь разумное объяснение получали такие наблюдаемые факты, как наклон магнитной оси к оси вращения, обращения (инверсии) магнитной полярности и вековые изменения магнитного поля (так называемые вековые вариации).

А. Н. Пушков особенно много сделал в области изучения вековых вариаций. Вместе со своими коллегами он детально изучил и описал их географическое распределение по всему земному шару, их периодичность и величину на различных временных интервалах от современности до миллионов лет назад. Эти работы имеют непосредственную практическую ценность как для современной магнитной картографии, так и для глобального изучения этого интереснейшего геофизического явления, несущего уникальную информацию о поведении самых глубинных слоев Земли во времени.

Из отчета о работе за 1969—1974 гг. заведующего отделом постоянного магнитного поля ИЗМИРАН СССР

А. Н. Пушкова: «... В круг научных интересов входили вопросы изучения аномального магнитного поля на океанах (работы на НИС „Заря“), изучения магнитных свойств горных пород, ответственных за природу аномального магнитного поля, методика измерения и представления пространственной структуры геомагнитного поля и вековой вариации, включая аномалии вековой вариации...»

Основной задачей ученого является получение информации, служащей для составления правильных представлений об объективно существующем мире. Другими словами, задача ученого — это добывание истины. Но, как хорошо сказал Ю. Шрейдер в уже упомянутой статье, „каждый ученый на собственном опыте, на собственной шкуре почувствовал, как сложно убедиться в истине, сколько ложных фактов казались истинными, сколько ошибок сделал он сам, прежде чем добыл крупницу истины... Человек, получающий знание о науке только в готовом виде, наслышан о том, как много наука может, но не чувствует, каким трудом это дается, и как велик коэффициент незнания”. В последующих главах мы постараемся не утаивать от читателя этот коэффициент незнания.



Вообще, последовательность явлений на поверхности земли мы знаем довольно хорошо. Причины же, обуславливающие эту последовательность, мы не знаем и не видим, а если и видим, то не понимаем.

Д. В. Наливкин

О ТОМ, ЧТО МЫ ЗНАЕМ И ЧЕГО НЕ ЗНАЕМ О МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Мощные объединенные усилия физиков-экспериментаторов и математиков привели в конце XIX в. к довольно ясному пониманию связи электрических и магнитных явлений через введенное учеными понятие „электромагнитное поле”. Из строгой теории с неизбежностью следовало, что, основываясь только на наблюдениях геомагнитного поля на поверхности Земли, мы не можем судить о его природе, то есть не можем судить, вызвано ли оно электрическими токами в глубине Земли или залегающими там магнитными массами. Для разрешения этого вопроса необходимо привлекать некоторые дополнительные гипотезы и сведения из других областей геофизики. Открытое Гильбертом и уточненное Пьером Кюри свойство намагниченных тел при нагревании становится немагнитными позволяет в какой-то мере сделать выбор из этих двух возможностей. Простые расчеты показывают, что наблюдаемое земное магнитное поле только частично может объясняться намагниченными горными породами верхних слоев, если, конечно, задаваться их реальными магнитными свойствами. С увеличением глубины растет и температура земных недр, породы размагничиваются,

и надо полагать, что на больших глубинах (глубже 50—70 км) магнитное поле уже имеет электрическую или какую-либо иную природу.

В каждой точке пространства, окружающего Землю, от ее поверхности до высот, равных 6—20 ее радиусам, стрелка магнитного компаса будет устанавливаться вдоль магнитного меридиана так, что ее концы указывают направление на магнитный полюс, который в настоящее время не совпадает с географическим примерно на 11° . Наблюдение за магнитной стрелкой в разных точках Земли может рассказать о том, как направлены здесь магнитные меридианы, а если долго и тщательно отмечать ее положение в одном месте, то можно заметить и ее колебания в течение суток и более длительных временных интервалов. Такие измерения до сих пор являются базой для определения угловых величин магнитного поля: магнитного склонения — угла между географическим и магнитным меридианами, и магнитного наклона — угла между плоскостью горизонта и горизонтальной осью стрелки. Магнитное поле, как всякое силовое поле, кроме направления характеризуется еще и силой своего действия, или магнитной индукцией, изучение которой тоже может много рассказать о распределении поля в пространстве и поведении его во времени. Таким образом, это невидимое, неслышимое и неосознаваемое человеческими чувствами векторное поле можно изучать с помощью приборов, разлагать результаты измерений на составляющие в любой выбранной системе координат и подвергать их различным математическим преобразованиям. Обычно вектор индукции магнитного поля (его символически обозначают как \mathbf{T}) разлагают на три ортогональные составляющие X , Y , Z в системе координат, отнесенной к центру Земли (рис. 1). Компонента X носит название северной составляющей, Y — восточной, а их векторная сумма \mathbf{H} — горизонтальной составляющей. Вертикальная составляющая обозначается символом Z и считается положительной, если направлена к центру Земли. Угло-

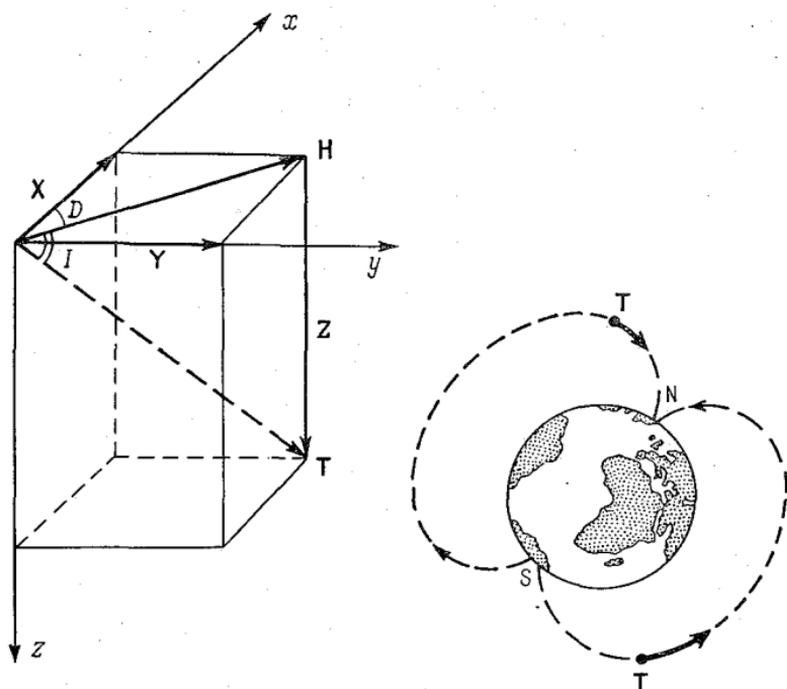


Рис. 1. Вектор индукции T земного магнитного поля и его составляющие

вые величины вектора индукции земного магнитного поля — склонение D и наклонение I , а также его ортогональные составляющие называют элементами земного магнетизма или компонентами для описания пространственной структуры геомагнитного поля, хотя для этого достаточно любых трех независимых компонент. Исторически сложилось так, что „открытия” компонент начались с угловых величин (склонения и наклонения) и только в XIX столетии перешли к измерению сил магнитного поля. Сейчас мы располагаем для этого приборами, позво-

ляющими уверенно измерять величину магнитной индукции земного поля с погрешностью, не превышающей 0,002 % ее полной величины, и даже точнее. Все компоненты полностью измеряются и вычисляются главным образом в магнитных обсерваториях, и одной из старейших является основанная в 1829 г. магнитная обсерватория Воейково под Ленинградом.

Классическим способом измерения напряженности поля, связанной с индукцией числовыми коэффициентами, является ее определение на основе закона Кулона, то есть определение силы, с которой единичный полюс действует на равный ему единичный полюс, расположенный на расстоянии 1 см. Напряженность магнитного поля измеряется в эрстедах и амперах на метр. Магнитная индукция в системе СИ измеряется в тесла (Тл), а в системе СГС — в гауссах (Гс). Магнит небольшого размера обычно создает магнитное поле в несколько десятков гауссов. Земное же поле составляет всего около 0,3 Гс вблизи экватора и 0,7 Гс в полярных районах. Современные приборы для измерений величины индукции земного поля калибруются в нанотесла (нТл), что в сто тысяч раз меньше гаусса. Раньше, до введения Гауссом абсолютной системы единиц, определяемых через длину, массу, время, использовались относительные измерения. Величина индукции поля определялась путем сравнения времени колебания обычной компасной стрелки в точке наблюдения с временем ее колебания на опорном пункте, где значение поля принималось за единицу. Немецкий ученый А. Гумбольдт в 1799 г. принял за опорный пункт точку в Перу, вблизи экватора. Последующие пересчеты позволили определить величину поля в этой точке — она оказалась равной 0,3494 Гс — и привести все ранние измерения к единой системе. Это, в свою очередь, дало возможность сравнивать магнитные поля в разных точках Земли количественно, а если измерения в точках проводятся долго, то и определять их изменчивость во времени. Очень удобны и наглядны для таких сравнений карты, на кото-

рых точки с одинаковыми значениями какой-либо величины соединяются плавными кривыми — изолиниями. В магнитной картографии они называются изодинамами, если соединяют точки одинаковых значений компонент геомагнитного поля, и изопорами, если соединяют точки одинаковых изменений этих компонент во времени. Впервые карту в изолиниях склонения составил английский ученый Эдмунд Галлей после проведения первой научной морской экспедиции на судне „Пэрамур Пинк” в 1698—1700 гг. Его способ был в дальнейшем заимствован картографами всех стран для составления самых разных специальных карт — рельефа, глубин, синоптических и т. п.

Итак, мало знать, что магнитное поле существует, мало знать о его общих законах, надо уметь измерять поле с такой точностью, чтобы по возможности извлечь из нашего знания всю доступную на сегодняшний день информацию о его пространственно-временной структуре. Точность измерений определяется двумя факторами — точностью самой аппаратуры и методом измерения поля или его элементов (компонент). Первым прибором для измерения поля, как уже говорилось, был магнитный компас. С его помощью был открыт один из элементов магнитного поля — склонение и построены первые магнитные карты. Вторым появился инклинатор — прибор для измерения наклона. В принципе, это был тот же компас — стрелка, вращающаяся в другой плоскости. Появление этого прибора позволило установить географическое распределение наклона и ввести два новых понятия — магнитного полюса Земли и магнитного экватора. Компас стал одним из первых приборов для проведения геологоразведочных работ. В виде горного компаса это устройство дожило до наших дней. Напомним, что факт существования Курской магнитной аномалии (КМА) был установлен с помощью компаса при проведении землеустроительных работ. Простой компас позволил также измерять по периоду колебаний магнитной стрелки вели-

чину горизонтальной составляющей вектора магнитного поля. И в наше время намагниченная стрелка, подвешенная на кварцевых нитях или растяжках, является основой многих магнитометрических приборов, используемых как в магнитных обсерваториях стационарно, так и при проведении экспедиционных наблюдений.

Современная магнитометрия стремится использовать для измерения магнитного поля любые физически реализуемые способы и принципы, позволяющие поднять точность магнитных измерений, осваивая при этом последние достижения науки и техники. Так, с появлением сплавов высокой магнитной проницаемости типа „пермаллой” появилась возможность применения метода индукции в мягких магнитных сердечниках для измерения малых значений напряженности магнитного поля. При наложении переменного магнитного поля сравнительно небольшой амплитуды на постоянное пластинки пермаллоя приходят в состояние насыщения, и поэтому такие пластинки с оболочкой из проволоки, по которой пропускают переменный ток, называют магнитонасыщенными феррозондами. Принцип измерения напряженности магнитного поля при помощи феррозондов основан на том, что магнитная проницаемость по отношению к переменному полю является функцией напряженности постоянного магнитного поля, в котором феррозонд находится, то есть зависит от величины магнитного поля Земли. Поэтому при питании первичной обмотки, навитой на пластинку, переменным током, во вторичной обмотке, также навитой на пластинку, индуцируется электродвижущая сила (э. д. с.), зависящая от напряженности магнитного поля. Появление прибора этого типа в послевоенные годы привело к резкому повышению количества и качества магнитных съемок. Особенно удобными приборы оказались для проведения съемок с самолетов, судов и других подвижных объектов. Но, как и в любом приборе, в феррозондовых магнитометрах при тщательном анализе были обнаружены и определенные недостатки, не позволяю-

щие заменить феррозондами все другие виды и типы магнитометрических приборов. В частности, конструктивное исполнение прибора, как правило, позволяет точно измерять только приращение магнитного поля, а не его полную абсолютную величину. Для измерения абсолютной величины магнитного поля Земли используют магнитометры, основанные на других физических принципах — явлении свободной прецессии протонов и явлении ядерного парамагнитного резонанса. Устройство сердца протонного магнитометра — его датчика — очень просто. Это колба с водой или другой протонсодержащей жидкостью, на которую намотана проволочная обмотка, являющаяся одновременно и обмоткой поляризации, и сигнальной обмоткой. Создавая „поляризующее” поле величиной около 200 Гс, желательно в направлении, перпендикулярном направлению полного поля, мы ориентируем магнитные моменты протонов жидкости в этом направлении. После выключения поля магнитные моменты протонов возвращаются к направлению вектора поля Земли, прецессируя вокруг этого направления с частотой, пропорциональной напряженности поля. Измерения же частоты выполняются с высокой точностью современными электронными частотомерами. Недостатками прибора является то, что он измеряет только модуль вектора, а не его направление, и что определение модуля проводится дискретно во времени. Второго недостатка лишены приборы, использующие метод „оптической накачки”. Принцип работы такого магнитометра заключается в том, что фотоны поляризованного света, отдавая свою энергию веществу, находящемуся в газообразном состоянии, принудительно ориентируют его атомные моменты в направлении измеряемого поля, при этом возникает прецессия моментов, которая сопровождается либо поглощением, либо излучением энергии с частотой, зависящей от величины постоянного поля, в котором находится датчик. Такие приборы позволяют измерять магнитное поле Земли даже в условиях больших помех от железа самого судна или самолета.

В последнее время в магнитометрии стали использоваться очень высокочувствительные приборы, основанные на эффекте сверхпроводимости, которые позволяют исследовать тонкие структурные особенности магнитных включений в отдельных образцах пород, пробах грунта и т. п.

Наиболее точную информацию о магнитном поле Земли и его изменениях во времени мы получаем на основе данных магнитных обсерваторий. На Земле сейчас работают около 200 магнитных обсерваторий, в задачу которых входит непрерывная регистрация временных вариаций поля в диапазоне от секунд до десятков лет.

Измерение „высокочастотной части” земного поля с периодами изменений от нескольких секунд до нескольких суток обеспечивается относительной вариационной аппаратурой. Для этой цели в магнитной обсерватории в специальном вариационном павильоне устанавливается несколько серий приборов с различной чувствительностью, что позволяет получать подробные записи вариаций с амплитудами от нескольких нанотесла до тысяч нанотесла, возникающих в периоды магнитных бурь. На рис. 2. приведена запись магнитного поля в обсерватории в спокойный в магнитном отношении день (1) и в возмущенный день (2).

Получение информации о более медленных изменениях поля (с периодом несколько суток и более) требует систематического проведения в обсерваториях абсолютных измерений для контроля уровня отсчета относительных вариационных приборов.

Магнитные обсерватории долгое время выполняли функцию хранения магнитного стандарта для сверки передвижных относительных экспедиционных приборов. Появление новых абсолютных приборов типа протонных и квантовых магнитометров помогло существенно упростить работы по сверке, и теперь в экспедиционных измерениях добиваются точности, не уступающей точности измерений в обсерваториях.

В 1900—1940 гг. на территории большинства стран

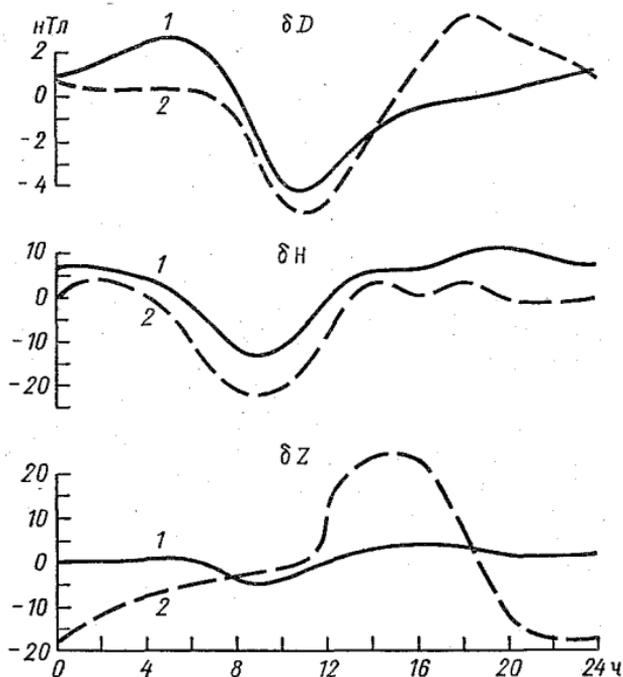


Рис. 2. Спокойная (1) и возмущенная (2) суточная вариация склонения δD , горизонтальной δH и вертикальной δZ составляющих магнитного поля Земли

мира были проведены магнитные съемки — наземные измерения трех компонент геомагнитного поля, на основе которых были построены мировые карты распределения элементов земного магнитного поля. Однако, как говорилось выше, магнитное поле изменяется все время, и за его изменениями необходимо следить, чтобы периодически корректировать карты. На рис. 3 приведен пример изменения элементов геомагнитного поля в обсерватории Воейково (Ленинградская область). Из рисунка видно,

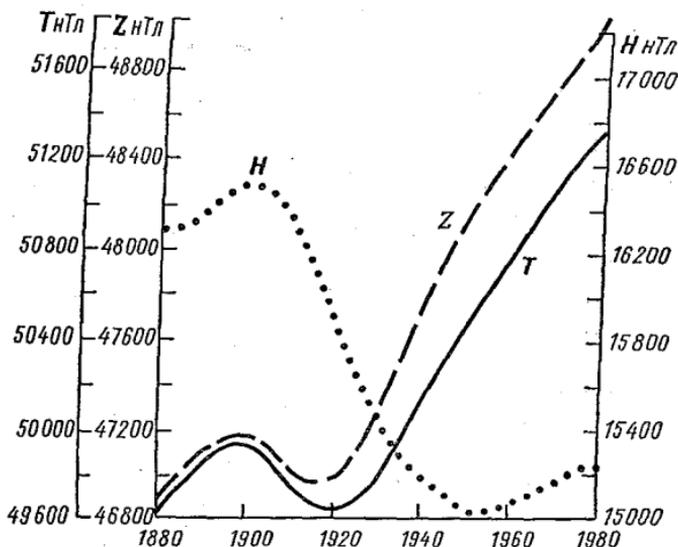


Рис. 3. Изменение составляющих вектора индукции земного магнитного поля в обсерватории Воейково под Ленинградом за 100 лет

что, если постоянно не следить за полем, все наши знания о нем быстро устаревают. Многие страны с ограниченной территорией периодически проводят у себя повторные магнитные съемки. Для государств с громадными территориями (СССР, Канада, США и др.) это сделать и трудно и дорого. Поэтому в этих странах на местности выбран ряд точек, называемых пунктами векового хода, в которых через каждые пять лет производятся повторные измерения всех элементов геомагнитного поля. С каждым годом выполнять такие измерения становится все труднее, так как происходит „магнитное засорение” пунктов векового хода в связи с ростом электромагнитных помех от электрифицированных железных дорог, высоковольтных линий электропередачи и т. п. Для Европы, например, это вырастает в целую проблему, и много старых магнит-

ных обсерваторий уже закрыто. Эта незаметная миру трагедия вынуждает магнитологов искать новые способы достоверных определений элементов земного поля и их изменений, придумывать сложные устройства компенсации помех или удалаться для этой цели в океан, космос и на еще не затронутые индустриальными преобразованиями уголки планеты. Назревает вопрос о создании специальных заповедников для изучения именно естественного магнитного поля Земли.

Ряд геологических учреждений в поисках полезных ископаемых осуществляют очень детальные и высокоточные магнитные съемки, позволяющие строить подробные магнитные карты изучаемой территории. В последнее десятилетие основным видом измерений при таких съемках стали аэромагнитные измерения модуля вектора индукции, обеспечивающие максимальную производительность работ и очень высокую точность.

Только три государства — Англия, СССР и США — помимо карт своих территорий издаюи и мировые магнитные карты. В Советском Союзе эта ответственная работа сосредоточена в лаборатории магнитной картографии Ленинградского отделения Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, являющейся обладательницей уникального каталога, в котором по крупницам собраны данные всех магнитных съемок Советского Союза и многих зарубежных съемок, проведенных как на суше, так и на море отдельными исследователями. Исследования, которые уже можно отнести к классу глобальных магнитных съемок, начали проводиться только с 1956 г. Это компонентные съемки, выполняемые советским немагнитным судном „Заря”, и американские компонентные аэромагнитные съемки по проекту „Магнит”. Затем наступила эра спутников, и магнитологи были одними из первых ученых, поставивших на них свои приборы. При магнитной съемке со спутника все магнитное поле Земли на высоте 300—1500 км удается достаточно подробно заснять за несколько месяцев, но картина по-

лучается очень плавная и гладкая, так как аномалии от горных пород и других источников на поверхности Земли в спутниковых данных практически не отражаются. В этом случае теряются детали магнитного поля, которые для других исследований являются наиболее важными.

Данные съемок на море и на суше, непрерывные наблюдения в магнитных обсерваториях позволили узнать очень много интересного о магнитном поле Земли за последние три-четыре столетия инструментальных наблюдений. Магнитологи всего мира стараются постоянно обобщать и анализировать эти сведения, для того чтобы наметить пути дальнейших исследований по изучению магнитного поля Земли, его поведения во времени и в пространстве, и все это для конечной цели — ответить на вопрос: „Почему существует магнитное поле Земли и почему оно именно такое?”

Тщательный многолетний анализ привел ученых к выводу, что наблюдаемое магнитометрическими приборами на поверхности Земли магнитное поле можно разделить как бы на три части и изучать эти части отдельно. В первую очередь выделяют главное геомагнитное поле, предполагая, что его причина находится глубоко в Земле и поэтому оно должно иметь существенно плавный, гладкий характер на всей земной поверхности. Второй частью является аномальное геомагнитное поле, или поле магнитовозмущающих источников, находящихся в земной коре. Верхней границей источников является дневная поверхность Земли, а нижней — глубина, на которой из-за высокой температуры исчезают магнитные свойства пород. Третьей частью является внешнее переменное геомагнитное поле, обусловленное источниками токовой породы, существующими в высокопроводящих слоях атмосферы (ионосфере и магнитосфере) на высотах от сотен до тысяч километров. Магнитологи неофициально часто сами делят себя на „постоянщиков”, то есть тех, кто изучает главное и аномальное поля, „переменщиков” — тех, кто изучает переменное поле, и даже „свойственников” —

тех, кто изучает магнитные свойства горных пород. Конечно, как во всякой довольно развитой науке, в геомагнетизме существует гораздо больше отдельных направлений и частных разделов, в которых специализируются ученые.

Поле, измеренное в какой-либо день без магнитных возмущений, можно принимать за главное поле с погрешностью около 500 нТл, что составляет несколько процентов от амплитуды главного поля. Если мы ставим задачу изучить главное поле с меньшей погрешностью, необходимо найти пути выделения аномального и внешнего переменного полей, которые при решении поставленной таким образом задачи являются помехой, как и погрешность измерений. В свою очередь, аномальное магнитное поле изучать не исключая главного нельзя. Задача изучения внешнего переменного поля, особенно на движущемся носителе (судне, самолете и т. п.), осложняется как существованием двух других частей — главного и аномального, так и наличием их временных изменений. Поэтому разделение наблюдаемого на земной поверхности геомагнитного поля на составляющие возможно лишь в том случае, если мы будем задаваться некоторыми предположениями, исходя из общезначимых соображений, и привлекать для обоснования разделения то, что нам достоверно известно о строении Земли в целом.

Достоверно известно, например, что Земле присуще сложное слоисто-блоковое строение, что температура земных недр растет с глубиной и что при достижении определенной температуры (точки Кюри) на глубине 20—60 км горные породы становятся немагнитными. Известно также, что с увеличением температуры и давления растет проводимость земных слоев, а на глубине около 3000 км, по сейсмическим данным, состояние земного вещества приближается к жидкому. В проводящей жидкости могут существовать течения, ответственные за механизм генерации главного поля. Математические способы разложения данных на составляющие, примененные к длинным рядам наблюдений магнитного поля на профилях вокруг

всего земного шара, отчетливо обнаруживают существование в них низкочастотных и высокочастотных особенностей. Привлекая упомянутые выше сведения, можно придать формально выделяемым особенностям содержательное истолкование. На дневной поверхности магнитное поле от источника, расположенного на глубине примерно 3000 км, должно быть достаточно гладким и протяженность заметной неоднородности должна быть сравнима хотя бы с половиной расстояния от точки наблюдения до источника. С другой стороны, разбитый на отдельные блоки, ограниченный по глубине изотермой Кюри верхний магнитоактивный слой должен создавать сравнительно небольшие по протяженности локальные и региональные аномалии. Существование же группы магнитных аномалий протяженностью примерно от 400 до 3000 км, получивших название „промежуточных” (или „крупных региональных”), можно объяснить как существованием в нижних слоях Земли реальных крупных отдельных источников поля, так и суперпозицией магнитных полей отдельных геологических тел, расположенных в верхней части земной коры. Становится понятным, что формальное математическое описание отражает реальную двухслойную, вернее, двухэтажную, структуру внутреннего магнитного поля, обусловленную источниками разной физической природы.

Поэтому одним из критериев разделения наблюденного поля на главное и аномальное может служить признак гладкости, или плавности, самого поля и его градиентов в пространстве, имеющий под собой глубокий физический смысл. Гладкости поля добиваются различными формальными приемами: сглаживая наблюденное поле вручную или на ЭВМ, подбирая полиномы разных степеней, используя частотную фильтрацию и т. п. Разность между наблюденным и сглаженным (главным) полем называют аномалией.

Проведя магнитную съемку или собрав данные нескольких магнитных съемок, необходимо эти данные

каким-то образом обобщить, то есть определить зависимость магнитного поля от географических координат. Первой промежуточной стадией обобщения данных является создание каталога магнитных данных. В каталог вносятся: координаты места и время проведения измерений и измеренные значения одного или нескольких элементов магнитного поля. Даже в наши дни, после появления специальных глобальных съемок со спутников, каталоги предыдущих съемок не утратили своего значения. Они приобрели новую форму и составляются в виде, удобном для ввода в вычислительные машины, но, как и раньше, они содержат данные о координатах, времени и измеренных элементах.

Следующей формой представления магнитного поля, очень наглядной и удобной для проведения качественных анализов, являются магнитные карты. В зависимости от картируемой площади их можно разделить на локальные, региональные и мировые. Эти карты имеют различные масштабы, строятся на информации различной подробности и точности и, в конечном счете, позволяют решать существенно различные задачи. Но какого бы типа не были магнитные карты, они всегда строятся для определенного момента времени, называемого эпохой. Как правило, „эпоха” — это середина какого-либо года. Обычно мировые магнитные карты строятся на эпохи, кратные пяти: 1970, 1975,... и т. д. Введение понятия „эпоха” связано с необходимостью учета временных изменений геомагнитного поля для приведения разновременных съемок к одному моменту времени. Эта операция до сих пор является камнем преткновения для картографов-магнитологов, так как высокоточные результаты прямых измерений, разделенных длительными промежутками времени, плохо согласуются между собой из-за недостаточно хорошего знания временных изменений геомагнитного поля, так называемой вековой вариации. Среднее квадратическое значение погрешности мировых магнитных карт имеет порядок 200 нТл, и они могут наглядно представлять

только характер главного геомагнитного поля и использоваться для выделения аномального поля из измеренных значений.

Карты главного геомагнитного поля — мировые магнитные карты — позволяют нам дать описание общих свойств магнитного поля Земли. Используя их, можно ввести понятие магнитных полюсов — точек, где напряженность поля максимальная, и понятие магнитного экватора — совокупности точек, где значения вертикальной составляющей равны нулю. На мировых картах становится отчетливо видно, что магнитные и географические полюсы смещены друг относительно друга примерно на 11° , причем северный и южный магнитные полюсы смещены относительно своих географических полюсов различно. Аналогичным образом положение магнитного экватора отличается от положения географического. Строя карты за различные интервалы времени или серии карт от эпохи к эпохе, ученые убедились, что положение магнитных полюсов меняется.

Мировые магнитные карты могут быть использованы для разделения главного геомагнитного поля по меньшей мере на две части, отличные по своей пространственной структуре. Проведя осреднение по широтам, выделяют однородную глобальную часть поля, симметричную относительно оси вращения. Подобная часть поля с высокой степенью точности представляется полем диполя, помещенного в центр Земли и ориентированного вдоль оси ее вращения. Построив разности между исходной картой и симметричной частью, мы находим остаточные поля — так называемые мировые аномалии, причем однородная часть поля много больше остаточных полей. Если же подобную операцию провести с картами вековой вариации, то результат будет другой — симметричная часть будет существенно меньше крупных особенностей в изменениях поля, которые называются фокусами вековой вариации.

Графическое представление поля в виде карт является

очень наглядным, но не всегда удовлетворяет исследователя, особенно если при дальнейшем анализе используются вычислительные машины. Поэтому наряду с графическими способами представления магнитного поля развиваются и аналитические методы описания зависимости поля от координат в виде многочленов разных степеней или на основе разложения поля в бесконечный ряд по сферическим функциям. Математическими методами было строго доказано, что внутренняя часть геомагнитного поля составляет около 96 % от всего наблюдаемого поля, а следовательно, Земля действительно представляет из себя большой магнит. Преимуществом аналитического метода представления геомагнитного поля перед картографическим является возможность математически рассчитать поле в любой точке пространства и на любом уровне над поверхностью Земли. Но, как почти в любом математическом способе представления, физическое истолкование отдельных частей (гармоник) синтезируемого поля имеет формальный характер, и по одним только магнитным данным достоверность истолкования оценить нельзя. Разность между измеренным и вычисленным полем является единственным критерием правильности подбора параметров (размеры, глубина, намагниченность и т. п.), характеризующих источники поля. Для этих параметров можно формально одинаково хорошо подобрать источники поля или в виде диполей на разных глубинах, или в виде двойного слоя с фиктивной намагниченностью. Следовательно, даже имея достаточно подробную и точную картину распределения магнитного поля по всему земному шару и формально разделяя его на отдельные части, мы все-таки без дополнительных предположений и гипотез не можем ответить, чем эта картина вызвана и какой физический смысл имеют ее отдельные особенности.

Необходимость изучения медленных изменений геомагнитного поля — вековых вариаций — возникла из чисто практической потребности пересоставления миро-

вых магнитных карт. В XVIII—XIX вв. мировые карты (главным образом по склонению) составлялись довольно нерегулярно, так как требовалось достаточно большое количество времени для сбора информации о поле, да и сама эта информация была скудна. Но уже первые сопоставления последовательно построенных карт показали, что медленные изменения магнитного поля носят весьма закономерный характер и, очевидно, обусловлены глобальными причинами. Сейчас мировые карты пересоставляются через каждые пять лет на эпохи, кратные пяти, и, следовательно, картосоставителям требуются данные об изменениях поля для пятилетнего интервала. Такие данные получают главным образом по мировой сети обсерваторий, повторным пунктам наблюдений в одном и том же месте через пять лет, а также по результатам экспедиционных съемок, проведенных в разное время. Хуже всего вековой ход изучен на акваториях океанов, где обсерватории размещены только на островах и их очень немного, а данные повторных компонентных съемок редки. Ошибки за счет векового хода при составлении карт этих областей в десятки раз превосходят существующие погрешности измерения самого поля. Положение значительно улучшилось с появлением спутниковых данных, но и они в силу ряда обстоятельств пока не могут полностью решить проблему точного представления вековых изменений. Все же не так уж мало удалось узнать об изменениях магнитного поля за несколько веков прямых инструментальных наблюдений. Во-первых, можно отметить, что магнитное поле Земли постоянно уменьшается почти монотонно со средней скоростью от 10 до 25 нТл в год. Если бы не существовал механизм поддержания поля, то примерно за 3000 лет поле исчезло бы совсем. Такие события, как увеличение и уменьшение напряженности поля, неоднократно совершались и в прошлом, о чем свидетельствуют данные архео- и палеомагнитных наблюдений. Возможно, что такие явления сказываются на животном и растительном мире, о чем мы

знаем пока, к сожалению, очень мало. Во-вторых, магнитное поле целиком смещается к западу. Это явление у магнитологов получило название „западный дрейф”. Скорость этого смещения для отдельных эпох различна и достигает $0,05—0,3^\circ$ в год. За несколько тысяч лет для наблюдателя на поверхности Земли поле должно сделать полный оборот, и это позволяет искать в древних вариациях тысячелетние периодичности. Западный дрейф проявляется и в перемещении магнитного центра, то есть центра диполя, наиболее точно представляющего реальное поле Земли, и в перемещении магнитных полюсов. В-третьих, поле смещается также и к северу, что вызывает асимметрию в напряженности северного и южного магнитного полушарий. В-четвертых, отдельные особенности поля растут и уменьшаются, причем можно выделить два характерных времени: $300—800$ и $40—80$ лет. Неясно, носят ли эти изменения строго периодический характер или это только преобладающая тенденция. Возможно, что источники отдельных $40—80$ -летних колебаний в особенностях поля носят импульсный характер.

Весьма важно знать, есть ли корреляция между изменениями скорости вращения Земли и изменениями магнитного поля. Однако поскольку наблюдения надлежащего качества проводятся еще относительно недолго, мы не в состоянии пока дать однозначный ответ на вопрос: „Что первично?” Существует точка зрения, что изменение скорости вращения Земли приводит к перестройке внутренних течений в жидкой части ядра, а результат этой перестройки мы наблюдаем в изменениях поля. Альтернативная точка зрения предполагает, что скорость вращения Земли должна измениться, если по каким-либо внутренним причинам в жидкой части ядра возникает новый вихрь движущейся электрически проводящей массы.

К дискуссионным относится вопрос об особенностях вековой вариации на акватории Тихого океана. По некоторым данным, изменения поля здесь существенно мень-

ше, чем в других областях Земли, если не отсутствуют совсем. А это чрезвычайно интересно и важно, поскольку наводит на мысль об особенностях строения океанического сегмента Земли вплоть до глубин жидкого ядра. Дискуссионен и вопрос о несколько более быстром распаде общего магнитного момента Земли, чем это следует ожидать из расчетов для энергии земного поля. По предположению некоторых ученых, подобное поведение обусловлено перекачкой энергии от диполя к более мелким вихрям.

Наличие вековых вариаций у геомагнитного поля выделяет это поле из других геофизических полей (гравитационного, теплового и т. д.) и дает нам в руки косвенную информацию о процессах, происходящих на глубинах примерно в половину радиуса Земли. Если бы мы могли расшифровать эту информацию, то нам стало бы многое ясно и в строении Земли, и в истории ее развития и становления как планетного тела. Но это не так просто, в первую очередь из-за неоднозначности обратной задачи геофизики, то есть неоднозначности суждений об источнике по измерениям на поверхности его физического поля. Но тем не менее все, что мы узнали в последние десятилетия о вековой вариации, оказалось чрезвычайно полезным для нашего понимания природы самого магнитного поля. Именно изучение временных особенностей позволило исключить несколько гипотез о происхождении геомагнитного поля и оставить как наиболее вероятную гипотезу гидромагнитного динамо, претендующую в настоящее время на роль теории.

Любая гипотеза возникает для объяснения того, что уже известно о каком-либо явлении, и опирается на достигнутый общечеловеческий уровень знаний. Поэтому появление гипотез и их угасание идет в какой-то мере параллельно с накоплением фактических данных, являющихся пробным камнем для каждой гипотезы. Первой, вполне естественной после многочисленных экспериментов с террелой Гильберта, была гипотеза о постоянной намагниченности самой Земли, существовавшая очень

долго и иногда в несколько неожиданных модификациях возникающая и в наши дни. Ее сторонники полагают, что верхний магнитоактивный слой может достигать в глубину многих десятков и даже сотен километров, а его магнитные свойства гораздо выше свойств всех наблюдаемых на поверхности горных пород. Внутреннему твердому ядру приписывается намагниченность, обусловленная либо повышением температуры Кюри за счет повышения давления в недрах Земли, либо действием еще неизвестного нам механизма. Если теперь предположить, что ядро вращается с несколько иной скоростью, чем магнитоактивный слой, то очень многое в чертах строения магнитного поля и его поведения во времени станет понятным. Не объясняет эта гипотеза факт существования инверсий поля и вековых вариаций с короткими временами жизни (порядка 60 лет).

С развитием теории электромагнитного поля естественным следующим шагом исследователей было обращение к токовым системам. Как правило, авторы гипотез старались придумать механизм возникновения нескомпенсированного заряда, вращение которого могло бы привести в свою очередь к возникновению электромагнитного поля, при этом основной трудностью для них являлась необходимость найти механизм поддержания тока, компенсирующего тепловые потери за счет электрического сопротивления среды. Одной из таких гипотез, имеющей полное право на существование, ибо она основывается на достоверных экспериментальных данных, является гипотеза термотоков с поддержанием токовой системы за счет так называемого эффекта Холла. Эта гипотеза не доказана из-за трудностей, связанных с ограниченностью наших знаний о свойствах вещества на больших глубинах, но она и не опровергнута, хотя и не имеет достаточно строго обоснованного математического аппарата.

Старшее поколение современных магнитологов были свидетелями рождения одной из гипотез о происхождении магнитного поля Земли, ее обоснованной проверке и

доказательства несостоятельности, что редко бывает на памяти одного поколения ученых. Причем все это, включая и разработку необходимой аппаратуры, осуществил ее автор, английский геофизик П. Блекетт. Он использовал и развил предположение русского ученого П. Н. Лебедева о том, что вращающиеся тела должны обладать магнитным моментом, пропорциональным механическому. Гипотеза предполагала эффекты на два-три порядка большие, чем известный гиромангнитный эффект, открытый в 1909 г. американским физиком С. Барнеттом. Блекетт проверял эффект на вращающихся телах специально разработанным им магнитометром, до сих пор используемым в практике лабораторных работ по изучению магнитных свойств. Одновременно проверялся предсказываемый гипотезой закон убывания с глубиной горизонтальной составляющей геомагнитного поля путем измерения поля в шахтах и при погружении в батискафе в Марианскую впадину на глубину до 8 км. Все эксперименты дали отрицательный результат, гипотеза оказалась несостоятельной, но вся совокупность проведенных измерений стимулировала развитие нового и чрезвычайно интересного направления в геомагнетизме — палеомагнетизма.

В наши дни одной из наиболее признанных является гипотеза гидромагнитного динамо. Исходную идею высказал известный английский физик Дж. Лармор в 1919 г. Идея эта состоит в следующем: если жидкое проводящее вещество земного ядра находится в движении, то в нем может генерироваться электрический ток, а следовательно, создаваться магнитное поле. Это предположение основано на аналогии между земным ядром и хорошо известной динамо-машиной с самовозбуждением. Математически была доказана принципиальная возможность работы механизма динамо в земном ядре и необходимость движений спирального вида для эффективного самовозбуждения магнитного поля. Оказалось, что можно построить множество разных моделей, которые дают

на поверхности Земли магнитное поле, похожее на существующее в действительности. В качестве „двигателя” динамо рассматриваются три причины: а) тепловая конвекция, б) гравитационная конвекция и в) прецессия земной оси. Совместное действие многих сил — силы, действующей на жидкое ядро со стороны магнитного поля, сил Архимеда, силы Кориолиса, движения различных пространственных и временных масштабов, неизвестные температурные и плотностные условия делают полную теорию земного динамо весьма и весьма сложной. Существенные достижения в этой области связаны с именами таких ученых, как Э. Буллард, В. Эльзассер, Е. Паркер, Я. И. Френкель, С. И. Брагинский.

По мнению С. И. Брагинского, теория земного динамо в настоящее время слишком неоднозначна и ее надо ограничить более жесткими рамками. Ясно, что с помощью только одних теоретических методов получить полную определенность и выяснить все вопросы в такой сложной системе, как магнитное земное динамо, невозможно. „Решающим судьей” должен стать эксперимент, то есть наблюдения, физическое моделирование процессов в земном ядре, сравнение с магнитными полями других планет и т. д. Информация о земном динамо содержится главным образом в наблюдениях вековых вариаций геомагнитного поля. Ее также можно извлечь из исследований инверсий земного магнитного поля. Подробно развитая полная количественная теория земного динамо должна быть приведена в количественное соответствие с этой информацией. Тогда мы получим ясную и определенную картину происхождения магнитного поля Земли и определим механизм „мотора”, запустившего и поддерживающего на протяжении по крайней мере 2 млрд. лет работу земного динамо.

Достижения науки самых последних лет позволяют предполагать, что причинами магнитного поля Земли могут являться сложные автоколебательные процессы в жидкой электропроводящей части земного ядра, про-

Исходящие возле положения равновесия в открытой физической системе. Сейчас стало совершенно ясно, что загадки магнитного поля могут быть в какой-то мере решены только объединенными усилиями ученых разных специальностей, а проведение высококачественных наблюдений по всему земному шару требует и соответствующей международной кооперации специалистов-магнитологов.

Как отмечает известный советский магнитолог Г. Н. Петрова, геомагнитное поле является единственным геофизическим полем, которое может быть использовано для изучения эволюции Земли, и единственной возможностью в науках о Земле изучить эту эволюцию численно (правда, пока только эволюцию литосферы). Такие характеристики земного магнитного поля, как величина магнитного момента, степень недипольности, частота инверсий и частотно-амплитудный спектр вековых вариаций, зависят от параметров среды, в которой происходит генерация поля, — электропроводности, вязкости, температуры и т. п. На данный момент, к сожалению, состояние теории геомагнитного поля таково, что не позволяет однозначно перейти от магнитных характеристик поля к параметрам областей генерации этого поля в ядре. Но это дело не столь далекого будущего, и существенно помочь в этом должно изучение изменений магнитных характеристик во времени и в пространстве. Современные достижения магнитологов в этом направлении 30—40 лет назад показались бы просто фантастикой. Сделаны определенные выводы о состоянии и поведении магнитного поля за 250, 400 млн. лет и даже за 1 млрд. лет. Например, согласно мнению советских исследователей А. С. Большакова и Г. М. Солодовникова, ни одна из основных характеристик геомагнитного поля за 400 млн. лет не претерпела монотонного изменения. Магнитный момент менялся примерно от 0,4 до 2,0 современной величины, частота инверсий — примерно от одной в 150 тыс. лет до одной в 10 млн. лет, причем эти изменения носили

циклический характер. Главный цикл примерно в 250 млн. лет совпадает с основным периодом тектогенеза Земли. Остальные две характеристики — степень недипольности поля и спектр вековых вариаций — оставались все время на одном и том же уровне, но этот вывод не столь обоснован, как предыдущий. При такой устойчивости характеристик магнитного поля Земли трудно говорить о заметной эволюции ядра. На основе палеомагнитных исследований сделан качественный вывод о том, что ни размер жидкого ядра, ни его физические параметры не претерпели за миллиард лет существенных изменений,— очень важный вывод имеющий серьезное фундаментальное значение для всех наук, изучающих строение и развитие Земли.

Академик А. Н. Крылов, крупнейший специалист по теории компаса, писал: „...устройство компаса с картушкой, стальной стрелкой, с топкою, которою картушка накладывалась на шпильку, укрепленную в центре котелка, по большей части приписывается итальянцу Флавио Джойя из Амальфи в конце XIII века”. Интересно, что, по легенде, Флавио Джойя был сугубо сухопутным человеком — ювелиром и инкрустатором, а на изобретение его вдохновила любовь к дочери рыбака. В древнейших китайских энциклопедиях имеются намеки на то, что между 300 и 400 г. до н. э. магнитная стрелка уже использовалась на кораблях. Если же перейти к твердо установленным фактам, то морской компас значительно „помолодеет”. Обнаружен китайский компас лишь тысячелетней давности, напоминающий по форме нашу хохломскую деревянную ложку. Компас в те далекие времена был единственным прибором, позволявшим определять путь в открытом океане. Его показания могли быть проверены только ночью по второму неизменному указателю на север — Полярной звезде.

Самое раннее в европейской литературе упоминание о магните, применяемом в целях навигации, мы находим в трактатах английского монаха Александра Неккама „Об орудиях” и „О природе вещей”, датированных приблизительно 1187 г. В первом трактате указывается, что моряки употребляют магнитную иглу для нахождения курса при облачном небе, когда закрыто Солнце и звезды; во втором описывается компас в виде магнитной иглы на острие. В обоих трактатах Неккам говорит о магнитной стрелке не как о новом изобретении, а как о давно известном средстве, употребляющемся в навигации.

Необходимость изучения земного магнетизма возникла, когда выяснилось, что компас не везде на одной и той же географической широте указывает точно на север. 3 августа 1492 г. три испанские каравеллы — „Нинья“, „Пинта“ и „Санта Мария“ вышли из порта Палос, взяв курс на запад, в открытый океан. Экспедицией

командовал адмирал, в будущем вице-король вновь открытых земель Христофор Колумб. Целью экспедиции было открытие нового пути в сказочно богатую Индию. Известные в то время пути к ней были отрезаны: сухопутный — маврами и арабами, морской — вдоль побережья Африки — захватили португальцы. Оставалось рисковать, плыть на запад в неизвестное, хотя сама мысль, что Земля имеет форму шара, а не плоского диска, у большинства спутников Колумба (не у него самого!) вызывала просто недоумение. Ясно, что не жажда знаний, а страсть к обогащению, сокровищам, приключениям была главным стимулом этих людей, это она заставляла их преодолевать штормы, изнурительную жару, голод, жажду и страх перед неведомым.

Первые неприятности начались 13 сентября. В этот день стрелка компаса отклонилась к западу от Полярной звезды, а через четыре дня направление на север по компасу и Полярной звезде расходилось уже на 10—12°. Ужас охватил суверенную команду, на корабле назревал бунт. Основанием для страха было поверье о существовании в океанах магнитных гор, к которым может быть притянута судно с железными креплениями. Устойчивость этой легенды поразительна. А. Н. Крылов писал: «...в этом поверье самое любопытное ... „шитики”, в которых действительно нет ни одного гвоздя, существуют и поныне (1920 г.— Л. К., А. П.) на Мурмане и Белом море». Таким образом, не открыв еще Америки, экспедиция Колумба сделала очень важное открытие — стрелка компаса не везде точно указывает на север на одной параллели.

С экспедициями Колумба связано и другое интересное открытие: на пути в Америку, во время первой экспедиции, суда пересекли линию нулевого склонения. На обратном пути, возвращаясь существенно севернее, Колумб вновь пересек эту линию. Вторая экспедиция на пути в Америку шла южнее первой, ближе к экватору, причем по указанию адмирала к компасу выставлялась при под-

ходе к линии нулевого склонения дополнительная вахта. То же повторилось во время обратного перехода и третьей экспедиции. Таким образом, Колумб определил географическое положение линии нулевого склонения. По его представлению, „эта таинственная линия, на которой земная сила в своих показаниях не расходится с небесным указателем путей человеческих по лицу Земли, ведет в страну, где существует гармония между силами небесными и земными”

Первыми магнитологами, продолжившими дело Колумба, стали капитаны торговых и военных судов. Это было вполне естественно. Хочешь знать правильный курс — определяй отклонение магнитной стрелки от направления на север. Таким образом, в судовых журналах появились записи о новых и повторных измерениях величины этого элемента магнитного поля Земли.

Передовые ученые XVI в. достаточно отчетливо представляли себе важность знания магнитного склонения для нужд навигации и научных целей. Поэтому уже в ранний период истории магнитных наблюдений стало проводиться их обобщение. Первая серия специальных магнитных наблюдений в океане была произведена де Кастро во время его плавания из Европы в Ост-Индию в 1538—1541 гг. Эта серия состояла из 43 наблюдений магнитного склонения, произведенных вдоль всего пути следования судна. В период с 1632 по 1641 г. Атанасисом Кирхером был составлен первый мировой каталог магнитных определений, содержащий около 500 значений склонения на водной поверхности. Большое количество наблюдений, внесенных в этот каталог, было выполнено экспедициями, снаряженными герцогом Маврикием Оранским в 1594—1596 гг., а также экспедициями адмирала де Белье в 20-х годах XVII в. при плаваниях из Европы в Ост-Индию.

Число магнитных наблюдений в океанах возрастало в течение всего XVII в. Его конец ознаменовался примечательным событием в морской магнитометрии: в 1698 г. английское военное судно „Пэрамур Пинк“ вышло в море

для изучения склонения в Атлантическом океане. До этого в 1690 г. английские торговые компании обратились к правительству с просьбой об организации специальной морской магнитной экспедиции для изучения склонения и создания надежных морских магнитных карт. Экспедицией руководил астроном Эдмунд Галлей, который был заинтересован в ней для проверки некоторых своих теорий земного магнетизма. Результатом работ этой первой чисто научной экспедиции явилась „Новая и точная карта магнитной вариации (так называлось тогда склонение.— Л. К., А. П.) Западного и Южного океанов, наблюдаемая в 1701 году”. Год спустя, собрав дополнительные данные, Галлей опубликовал морские карты магнитного склонения всего мира.

Галлей имел уже довольно четкое представление не только о характере распределения магнитного склонения в океанах, но также о распределении вековых изменений склонения. Составленные им магнитные карты океанов служили для практических целей судовождения без каких-либо изменений в течение последующих нескольких десятков лет. Удивительно, что точность современных наблюдений магнитного склонения в океанах по сравнению с точностью, достигнутой Галлеем, $-0,5-1,0^\circ$, до сих пор существенно не изменилась.

К XVIII столетию относится ряд крупных русских экспедиций, внесших свой вклад в дело изучения склонения на океанах. Это две экспедиции Витуса Беринга, проведенные с 1725 по 1741 г. в морях Дальнего Востока и западной части Тихого океана, и экспедиция Биллингса 1785—1793 гг. в Охотском и Беринговом морях. Результаты наблюдений этих экспедиций позволили впервые осветить характер распределения магнитного склонения в этой далекой от европейских торговых путей части водной поверхности Земли.

В последующее время вплоть до начала XX в. количество магнитных наблюдений продолжало увеличиваться как за счет работы специальных экспедиционных судов,

так и за счет отдельных случайных наблюдений, производившихся штурманами торговых судов и военных кораблей. Работы русских наблюдателей систематически публиковались в „Морском сборнике” и „Записках по гидрографии” и внесли существенный вклад в практическую навигацию.

В 1587 г. английский компасный мастер Роберт Норман в Лондоне открыл еще один элемент магнитного поля Земли — наклонение: магнитная стрелка, подвешенная таким образом, чтобы она могла вращаться в вертикальной плоскости, образовывала с горизонтальной плоскостью некоторый определенный для данного места угол. Наблюдения наклонения в океане очень трудны из-за корабельной качки и могли проводиться только в специальных экспедициях и при благоприятных погодных условиях. Поэтому число наблюдений наклонения на поверхности океанов значительно меньше, чем число наблюдений склонения. Что же касается способов измерения индукции геомагнитного поля и ее составляющих в морских условиях, то они были разработаны значительно позднее, практически в середине XIX в.

После составления первых магнитных карт в XVIII—XIX вв. для разных эпох и их взаимного сравнения стало ясно, что по какому бы точному материалу карты не составлялись, естественные изменения магнитного поля (вековые вариации) приведут к их „устареванию”. Например, за сто лет, прошедших после появления карт Галлея, склонение в Лондоне изменилось на огромную величину — 35° — с 11° восточного до 24° западного. Затем западное склонение начало уменьшаться, и сейчас оно равно примерно 3° . Изменяются, естественно, и другие элементы магнитного поля. Поэтому потребности магнитной картографии поставили перед морскими магнитологами новую задачу — задачу изучения вековых вариаций магнитного поля Земли на океанах. Пока единственным путем для этого являются систематические повторные наблюдения в одних и тех же точках водной поверхности.

До сих пор мы говорили в основном о склонении как о составляющей магнитного поля, имеющей наибольший и непосредственный практический интерес. Но магнитологов интересовали и другие составляющие поля и их географическое распределение.

В 1838 г. английским ученым Фоксом был предложен новый прибор для измерения наклона и напряженности геомагнитного поля, получивший название „инclinатор Фокса“, или „аппарат Фокса“. Этот прибор без существенных изменений использовался при морских магнитных наблюдениях в течение последующих 60 лет. Напряженность магнитного поля определялась этим прибором через углы отклонения наклонной стрелки от ее положения равновесия. При этом для определения отклоняющей силы, действующей на стрелку, использовались либо специальные грузики, навешиваемые на стрелку на определенном расстоянии от оси ее опоры, либо намагниченные стрелки из твердой стали. Применение прибора Фокса позволило в последующем полностью отказаться от неудобного в море метода измерений периода свободных колебаний магнита.

Поиски новых методов магнитных наблюдений в океане продолжались и в дальнейшем. В 1906 г. Бидлингмайером был построен и впервые испытан в морских условиях прибор, ставший широко известным под названием „двойной компас“. Он представлял из себя две компасные картушки, расположенные одна над другой на одной вертикальной оси. По углу расхождения между картушками можно определить величину горизонтальной составляющей магнитного поля. Благодаря своей простоте и надежности этот прибор до 1977 г. использовался и на советской немагнитной шхуне „Заря“.

Наиболее крупные работы по магнитной съемке океанов были проведены Институтом Карнеги (США) с 1905 по 1929 г. По существу это были первые работы, выполнявшиеся по единому плану для всей водной поверхности земного шара в целом. Результаты этой съемки до недав-

него времени служили основным материалом для составления магнитных карт океанических акваторий. Сначала (с 1905 по 1908 г.) для магнитных наблюдений Институтом Карнеги использовалось зафрахтованное в 1905 г. деревянное судно „Галилей”—бригантина водоизмещением около 600 т, ранее перевозившая грузы и пассажиров в Тихом океане. Поскольку первым врагом для магнитных наблюдений в море является судовое железо, создающее локальные магнитные поля, иногда значительно большие, чем само земное поле, судно было несколько переделано. В частности, на главной палубе были построены специальные мостки, позволившие удалить магнитные приборы от основных масс судового железа на расстояние 6—8 м. На „Галилее” производились измерения склонения, наклонения и горизонтальной составляющей магнитного поля. За три года работы судно совершило три рейса в Тихом океане. Были проведены наблюдения более чем в тысяче точках, отстоящих друг от друга на расстояние около 350 км. Дискретность наблюдений вызывалась тем, что использовавшиеся в то время механические приборы работали только тогда, когда судно ложилось в дрейф. Наблюдения с приборами занимали около часа времени, многое зависело от искусства наблюдателя, и, естественно, требовались хотя бы не штормовые погодные условия.

Судно „Галилей” явилось, в известной мере, прототипом для немагнитного судна „Карнеги”, продолжившего работы, начатые на „Галилее”. Специальная немагнитная яхта „Карнеги” водоизмещением 568 т была построена США в 1909 г. Основной материал корпуса — сосна, для крепления корпуса были использованы медь и бронза разных марок. Главный двигатель мощностью 150 л. с. был выполнен в основном из цветных металлов, но в отдельных деталях двигателя применения стали избежать не удалось и ее общий вес достигал примерно 250 кг. В процессе эксплуатации в судовое оборудование вносились некоторые усовершенствования и изменения, что влекло за собой увеличение общего количества магнитных мате-

риалов. По собственному опыту авторы знают, что это неизбежный процесс, так как приходится удовлетворять обязательные требования судового регистра, санитарных, пожарных служб и т. п., которых магнитная сторона дела нисколько не волнует. Например, установка радиостанции (обязательной!) на „Карнеги“ потребовала в свою очередь установки пятикиловаттного мотор-генератора с различными вспомогательными устройствами для обеспечения ее работы.

Всего за время работы яхты „Карнеги“ было выполнено семь рейсов в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах. Последний, седьмой, рейс остался незаконченным из-за трагической гибели судна со всем оборудованием и частью материалов на островах Самоа в 1929 г. Предполагают, что причиной гибели судна явился пожар и последующий взрыв газолинового двигателя. Вместе с судном погиб его капитан, он же начальник экспедиции И. Олт.

Магнитные наблюдения на „Карнеги“ также проводились в отдельных точках, и, как и при работе на „Галилее“, точки наблюдений склонения, как правило, не совпадали с точками наблюдений наклона и горизонтальной составляющей вектора индукции. Общее количество точек по всем элементам составило около 7500, среднее расстояние между ними — около 200 км. После проведения этих работ выяснились и были устранены накопившиеся в морских картах погрешности за счет незнания вековых изменений магнитного поля на акваториях. В некоторых районах систематические погрешности по склонению достигали 12° .

Несмотря на то что необходимость продолжения морских магнитных исследований после гибели „Карнеги“ была очевидна, никаких сколько-нибудь крупных экспедиций и специальных работ в течение последующих десятилетий до ввода в строй советской немагнитной шхуны „Заря“ не производилось. Одной из причин такого положения являлось отсутствие надежных приборов, позво-

ляющих измерять магнитное поле в условиях корабельной качки, и практическая невозможность добиться не только точных, но даже достаточно достоверных результатов на обычном судне, буквально „нафаршированном” металлическими магнитными частями корпуса и судовых устройств.

Накопленная к 30—50-м годам нашего столетия огромным многолетним трудом информация о магнитном поле океанов, как мы теперь это понимаем, достаточно надежно описывала лишь суммарное поле однородного намагничения и поля мировых аномалий (то есть главное поле) для эпохи, близкой к эпохе наблюдения. Более или менее достоверные сведения были получены о вековых изменениях магнитного склонения, особенно об их суммарных изменениях. Мировые карты к этому времени были построены уже для ряда эпох, и нетерпеливая мысль ученых стремилась разгадать те особенности, которые эти карты отражали. Очень соблазнительным представлялось сопоставление особенностей пространственного распределения магнитного поля с географическим положением океанов и материков на нашей планете. Это не удивительно, учитывая важность вопроса различия или сходства строения океанических и материковых областей Земли. Один из крупнейших американских магнитологов Э. Г. Вестин, много занимавшийся обобщениями магнитных съемок по всему земному шару и, в частности, использовавший все данные съемок „Галилея” и „Карнеги“, делает в конце 50-х годов следующий вывод: „Наблюдаются две важные особенности магнитного поля Земли: несовпадение почти на 12° геомагнитной и географической осей и зависимость остаточного поля и его вековых изменений от распределения океанов и суши. Если в ядре текут очень сильные электрические токи, то наблюдения зависимости от площади океана и суши подтверждает наличие дополнительных токов внутри оболочки, ближе к поверхности. Другое объяснение, например, для области Тихого океана (где вековые вариации практически не

были обнаружены по данным наблюдений.— Л. К., А. П.), заключается в возможности экранирования поля ядра, проникающего снизу сквозь оболочку”.

Советский океанолог академик В. В. Шулейкин последние годы жизни уделял особое внимание связи между магнитным полем Земли и Мировым океаном. Одна из его работ так и называется — „Магнитное поле Земли и Мировой океан” (пусть читатель простит нам заимствование этого названия для нашей главы!). Много лет В. В. Шулейкин настаивал на том, что магнитное поле Земли должно быть симметрично относительно оси вращения Земли, хотя и знал о безуспешности проводимых в этом направлении опытов. По его мнению, в распределении неоднородностей геомагнитного поля, в его резкой асимметрии относительно оси вращения Земли решающую роль играет Мировой океан, то есть распределение вод Мирового океана по планете. В его интерпретации вековые изменения магнитного склонения по проведенной им обработке исторических данных о склонении тоже подчеркивают особую роль океанов. Вначале В. В. Шулейкин приписывал особенностям магнитного поля в океанах (особенностям восточной составляющей поля) токовую природу и настойчиво пытался измерить инструментально эти токи в толще воды. Но плотность морских токов в океане, по данным измерений, оказалась незначительной для того, чтобы создать сколько-нибудь заметное магнитное поле. Поэтому он пришел к выводу, что наблюдаемую в настоящее время на океанах асимметрию геомагнитного поля в восточной компоненте можно объяснить повышенной электропроводностью соответствующих слоев мантии, где локализируются токи, которые могут вызвать эту асимметрию. Вот как окончательно сформулировал В. В. Шулейкин свои выводы в одной из последних работ „Сложное магнитное поле Земли и Мировой океан”: „В соответствии с воззрениями Н. А. Умова и П. Н. Лебедева, можно считать, что основное магнитное поле Земли эквивалент-

но полю магнита с осью, направленной вдоль оси вращения планеты с севера на юг. Магнит отличается от простого диполя тем, что дает несколько иные меридиональные составляющие. По данным Л. А. Кореновой, наибольшее различие (около 0,1 эрстеда) меридиональных составляющих наблюдается в океане против остро-конечных мысов Африки и Азии в Индийском океане. Значит, тут снова сказывается распределение океанов и материков на нашей планете... На поле такого магнита налагается магнитное поле электрических токов, локализованных в проводящем слое мантии. Под океанами электропроводность этого слоя значительно больше, чем под материками, и именно это выдвигает океанические области на первый план при исследованиях сложного поля Земли".

Мнение это, конечно, весьма лестно для морских магнитологов, к которым авторы данной книги причисляют и себя. Но насколько оно справедливо? Бесспорно одно — глобальное изучение магнитного поля Земли без изучения его распределения на океанах, занимающих большую часть нашей планеты, просто невозможно. Вместе с тем, то, что уже изучено и надежно закартировано в течение последней сотни лет, есть лишь мгновенный снимок, ничтожный эпизод в вечно изменяющейся картине магнитного поля Земли. Мы имеем в виду картину главного поля с его мировыми аномалиями, так как об аномальном магнитном поле океанов речь будет идти в следующей главе. Сохраняется ли такое распределение поля на океанах с выделяемыми сейчас особенностями восточной составляющей все время? Представляется, что уверенно утверждать это нельзя. Более того, все, что мы знаем из археомагнитных и палеомагнитных данных на суше, говорит об обратном. Меняется общая напряженность поля, изменяются месторасположения полюсов вплоть до их обращения, дипольное поле может распадаться на отдельные недипольные составляющие. Возможно, читателя убедит следующий

пример. Из наблюдений известно, что у магнитного поля Земли есть западный дрейф со скоростью в среднем $0,2^\circ$ в год. Картина магнитного поля с его мировыми аномалиями как бы смещается на запад для наблюдателя, остающегося неподвижным в одной и той же точке поверхности Земли. Если известно склонение и наклонение магнитного поля в этой точке, то можно легко рассчитать положение геомагнитного полюса, исходя из предположения о дипольности поля. Допустим, под наблюдателем проходит последовательно с востока на запад все значения склонения и наклонения на параллели Лондона, показанные на современных магнитных картах. Тогда положение геомагнитного полюса за 1800 лет, то есть за время полного оборота картины поля вокруг земного шара, будет меняться так, как показано на рис. 4 жирной линией. Естественно ожидать, что и другие составляющие поля (в том числе и восточная) будут меняться. И это только за счет западного дрейфа. Если учесть, что мировые аномалии изменяются со временем (а это известно достоверно), все характеристики поля по отношению к современным изменятся очень сильно, и ожидать устойчивого распределения особенностей поля, похожих на современные, вряд ли возможно. Но если современные особенности поля на океанах сохраняются или же будут меняться каким-то отличным от остальных мест Земли образом — а это могут показать лишь длительные наблюдения, то этот факт может иметь важные следствия для решения вопроса о различии строения океанических и материковых сегментов Земли и о глубине распространения этих различий. Пока этот вопрос остается дискуссионным. Так, например, известный английский геофизик Э. Буллард имеет на этот счет совершенно иную точку зрения, чем В. В. Шулейкин или Э. Вестин: «Если сгладить магнитные аномалии, то остаются крупномасштабные вариации (на карте полной напряженности они выглядят фигурой „бабочка“.— Л. К., А. П.). Они не связаны заметным

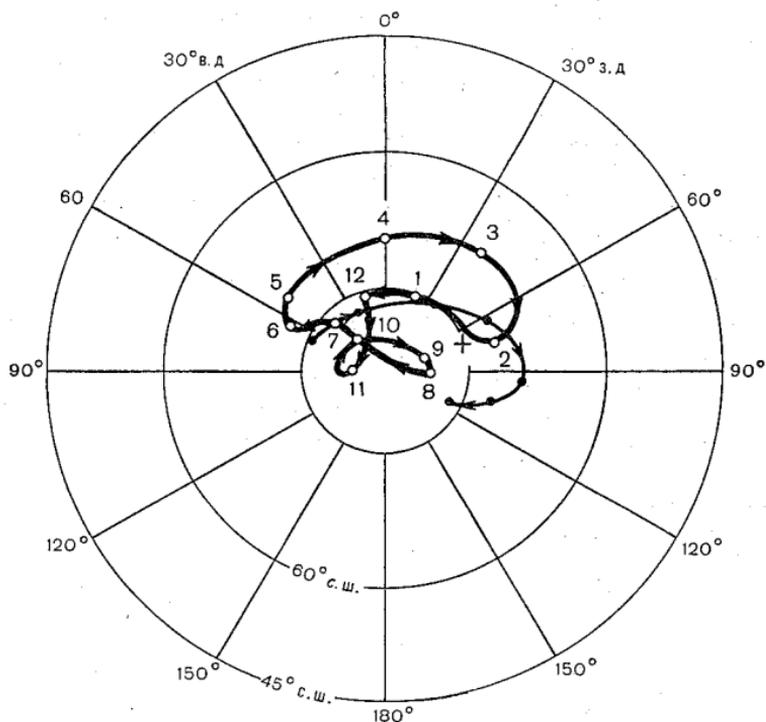


Рис. 4. Изменение положения виртуального геомагнитного полюса за счет западного дрейфа на широте Лондона (жирная линия) и по прямым наблюдениям в Лондоне за 400 лет (тонкая линия)

образом со строением земной поверхности. Форма изолиний не имеет ничего общего ни с очертаниями океанов или континентов, ни с контурами горных цепей. Кажется вероятным поэтому, что происхождение поля не связано с геологическими процессами, а источники его лежат глубоко внутри Земли».

Но совсем ли безразлично главное магнитное поле к современному распределению океанов и континентов?

Из наблюдений над инверсиями магнитного поля выявлены их очень интригующие для океанологов особенности. Как известно, инверсией геомагнитного поля называется изменение магнитного момента Земли на обратный, то есть смена знака полюсов. Открытие инверсий, наверное, одно из самых замечательных событий в геофизике за последние десятилетия. Во время инверсий геомагнитные полюса как бы путешествуют по поверхности и могут на время оказаться в любой точке Земли. Такое путешествие длится 5—10 тыс. лет, а затем полюса, „поменявшись местами”, занимают положение, близкое к географическому. Во время инверсий магнитное поле Земли перестает быть дипольным, и поэтому положение полюсов, рассчитываемое по формулам для диполя (положение так называемых виртуальных полюсов), не характеризует реальной картины планетарного поля, но подчеркивает локальные неоднородности его структуры, проявляющиеся при инверсиях. Оказывается, что виртуальные полюса распределяются по поверхности Земли неравномерно: имеются области, где они во время инверсий встречаются чаще всего. Известный советский магнитолог Г. Н. Петрова полагает, что причиной этого может служить неоднородность строения жидкого ядра Земли и существование в нем областей, благоприятных для развития мелкомасштабной турбулентности в ходе инверсий. На рис. 5 заштрихованы области, где наиболее часто оказываются виртуальные геомагнитные полюса во время инверсии. Почему эти области тяготеют к океаническому сегменту Земли? Может быть, эта картина складывается за счет малой выборки для гигантского периода примерно в 350 млн. лет и детальное изучение положения виртуальных полюсов такого предпочтительного положения не подтвердит? Этот вопрос требует дальнейшего тщательного изучения.

Другой интересный факт. Магнитный центр не совпадает с центром Земли, а смещен относительно него на несколько сотен километров. (Напомним, что магнитным

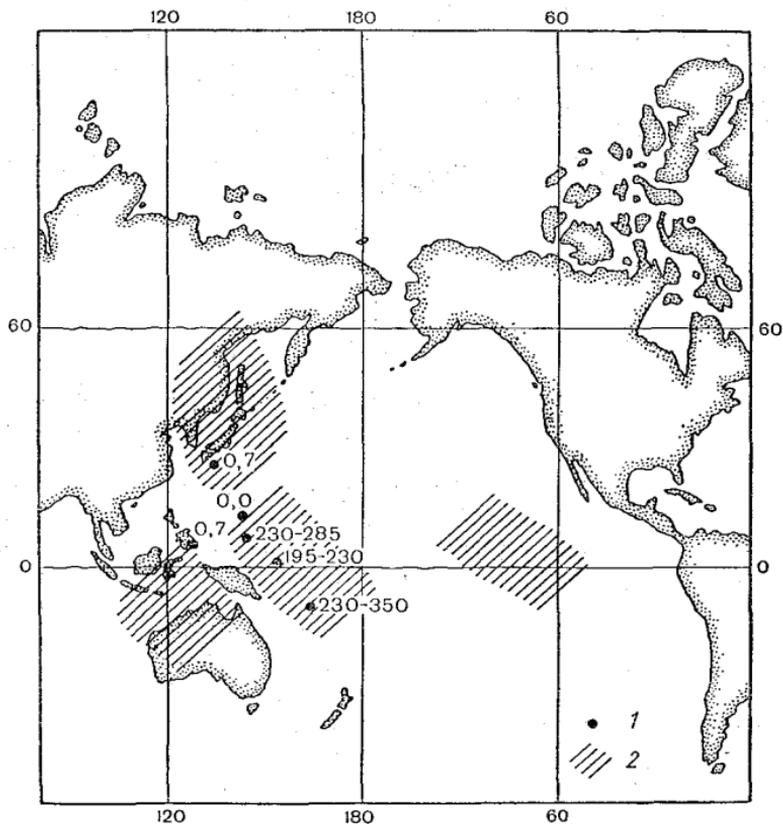


Рис. 5. Проявление асимметрии геомагнитного поля (по Г. Н. Петровой)

1 — положение магнитного эпицентра (проекция магнитного центра на поверхность Земли), 2 — места, где наиболее часто во время инверсий оказываются виртуальные геомагнитные полюса (цифры — время существования эпицентра в млн. лет)

центром называется центр диполя, положение которого подобрано так, что поле этого диполя наиболее точно описывает реальное магнитное поле Земли). По расчетам это смещение сотни миллионов лет направлено в одну и ту же сторону. На рис. 5 показано положение проекции магнитного центра на поверхность Земли. Она также попадает в океанический сегмент. Причина, вызывающая такое постоянное смещение в течение сотен миллионов лет, имеет явно глобальную природу. Допустимо предположить, что ядро Земли в этом месте несимметрично, тем более что отмеченный район тяготеет к области, которая характеризуется наибольшей положительной высотой геоида. Отмеченные выше особенности пространственного распределения главного магнитного поля во времени и их определенное тяготение к океаническому сегменту (в частности, к области Тихого океана) должны быть изучены в комплексе с другими геофизическими полями, геологией и тектоникой этого участка земной поверхности.

Если связь главного магнитного поля и океана (имеется в виду океаническая кора и мантия под ней) остается на сегодняшний день проблематичной, то связь магнитного поля с водной оболочкой океана самая непосредственная. При движении проводящей воды в магнитном поле возникает электрический ток за счет действия сил Лоренца на частицы, несущие электрический заряд. Еще в 1832 г. Майкл Фарадей пытался обнаружить предсказанные им электрические токи, индуцируемые течением, опуская электроды с моста Ватерлоо в Лондоне. Опыт оказался безуспешным из-за малой чувствительности его установки. Существование электрических токов в воде удалось доказать в 1851 г. Воластону, измерившему индуцированное приливом электрическое поле в кабеле, проложенном на дне Ла-Манша. В 1920 г. Юнг зарегистрировал электрическое поле от ветровых волн.

Существовавшая с середины XIX в. теория электромагнитных явлений в жидких средах уже тогда позволяла

рассчитывать электромагнитные поля, индуцированные течениями и волнами. Если существуют условия для замыкания тока, то возникают и индуцированные магнитные поля. Однако низкая чувствительность морских магнитометров до 60-х годов нашего столетия не позволяла эти поля непосредственно измерить. В настоящее время существует много экспериментальных работ, посвященных этим вопросам. Характерной особенностью индуцированных электромагнитных вариаций, особенностью, которую можно использовать для изучения движения водных масс, является почти полное совпадение периодов вариаций с периодами движений воды в океане. В принципе, таким способом можно изучать движение океанических масс в широком диапазоне — от волн ряби до стационарных течений. Но трудности на этом пути достаточно велики из-за большого „шумового фона“, в частности от внешнего переменного магнитного поля Земли, электрохимических, электрокинетических, биоэлектрических и других источников.

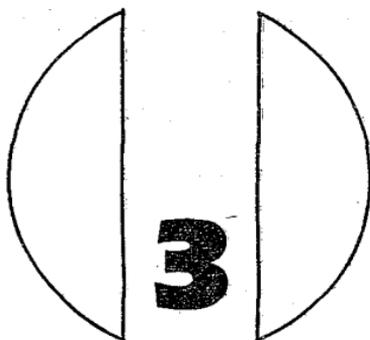
С одной стороны, переменное электромагнитное поле, индуцируемое ионосферными и магнитосферными источниками в водной оболочке океана мешает океанологам точно измерить скорость течений. Но с другой стороны, совместное измерение вариаций индуцированного магнитного и электрического полей в океане позволяет судить о распределении проводимости земной коры под океаном, или, как говорят специалисты, проводить электромагнитное зондирование. Первоначально такое зондирование проводили в магнитных обсерваториях на суше. Полученные данные об электропроводности земного шара оказались очень важными и интересными, поэтому перенос экспериментов на акваторию океана обещает прояснить некоторые вопросы строения и физического состояния самых глубинных слоев под океаническим дном. Другие геофизические методы такую информацию дать не могут. Дело в том, что электропроводность пород весьма чувствительна к незначительному измене-

нию температуры (при температурном режиме порядка 1200 °С, то есть на больших глубинах), а на другие физические свойства — пластичность, плотность и т. п. — такие изменения температуры воздействуют гораздо меньше. Поэтому в гравитационном поле, в скорости сейсмических волн и других геофизических полях при небольших изменениях температуры на значительных глубинах аномальных проявлений наблюдаться не будет, а аномалии электропроводности могут быть весьма значительны.

Существенный вклад в разработку способов электромагнитного зондирования в океане внесли советские ученые. Ими успешно применены градиентные магнитные измерения на поверхности и на дне океана и проведены наблюдения, позволившие определить глубину до проводящего слоя мантии. Перспективность таких наблюдений состоит в том, что на разных высотах регистрируются горизонтальные компоненты магнитных вариаций, которые достаточно велики и не подвержены в такой степени помехам, как электрические вариации, что делает наблюдения более достоверными и надежными.

Данные американских ученых по электромагнитному зондированию показывают, что в геоэлектрическом строении дна Атлантического и Тихого океанов имеется различие. Кроме того, эти же данные свидетельствуют о возможной зависимости проводимости астеносферного слоя от возраста пород дна океана. Учитывая важность этого слоя для современных геотектонических гипотез, напомним читателю, что астеносфера — это предполагаемый слой мантии, способный к вязкому или пластическому течению под действием относительно малых напряжений. Чем моложе океаническая кора, тем больше проводимость астеносферного слоя, залегающего под ней. Выявление связи между проводимостью и сейсмическими свойствами среды позволяет в определенной мере получить ответ на очень важный вопрос: в расплав-

ленном ли или каком-либо ином состоянии находится астеносфера. Сведения такого рода, если они вошли в научный обиход как достоверные факты, являются, с одной стороны, стимулами для дальнейших исследований, а с другой — ограничениями для различного рода обще-геологических или геотектонических гипотез, которые эти факты не учитывают или объясняют неправильно.



Не грубые заблуждения, а тонкие неверные теории — вот что тормозит обнаружение научной истины.

Г. Лихтенберг

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ОКЕАНОВ И АНОМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Из предыдущих глав читателю ясно, что наблюдаемое (измеряемое) магнитное поле Земли можно разделить на части—главное, аномальное и переменное—и изучать эти части отдельно. Успех изучения каждой части во многом зависит от того, как произведено разделение, каким способом и насколько корректно. Как правило, „чисто” это сделать никогда не удастся: в каждом выделенном поле содержится некоторая часть другого, то есть в аномальном поле — главное поле, в главном поле— переменное и т. п. Оставим такое деление на совести специалистов-магнитологов, имея, конечно, в виду, что они прилагают немалые усилия, чтобы сделать это корректно, и добились на этом пути определенных успехов.

Пожалуй, наиболее интересной в геологическом плане частью наблюдаемого на поверхности как суши, так и моря магнитного поля Земли является его аномальная часть — то есть та часть, которая остается после удаления главного и переменного полей. Любое вещество, в том числе и любая горная порода, помещенное в магнитное поле, приобретает намагниченность и создает собственное магнитное поле. Величина этого поля про-

порциональна внешнему намагничивающему полю и зависит от способности тела к намагничиванию, называемой магнитной восприимчивостью. Схематически процесс намагничивания горной породы можно представить как изменение направлений магнитных моментов элементарных магнетиков породы под влиянием внешнего магнитного поля. Минералы, входящие в состав горных пород, обладают различной магнитной восприимчивостью, отличающейся для разных пород в десятки тысяч раз, следовательно, и создаваемые аномальные поля даже в одинаковом внешнем поле существенно отличаются друг от друга. Поэтому, в принципе, аномальные магнитные поля содержат информацию о составе пород, над которыми проведена магнитная съемка.

Многочисленные лабораторные исследования магнитных свойств горных пород, проведенные в последние годы, показывают, что они зависят от целого ряда факторов: внешнего магнитного поля, температуры, при которой порода образуется, давления окружающих слоев и т. п. Аномальное магнитное поле геологического тела в общем случае обусловлено намагниченностью, вызванной действием современного магнитного поля Земли, — так называемой индуктивной (индуцированной) намагниченностью — и остаточной намагниченностью, которую породы приобрели в предшествующее геологическое время. Специалисты, разбираясь в очень сложном и интересном вопросе остаточной намагниченности, выделяют ее разные виды: нормальную, или изотермическую, идеальную, термоостаточную, вязкую, химическую, динамическую, ориентационную. Изучение остаточной намагниченности, магнитной восприимчивости и других специфических параметров, влияющих в конечном итоге на величину и характер аномального магнитного поля, выросло в самостоятельное и очень важное научное направление, позволяющее получить представление об условиях возникновения породы, факторах, определявших последующий ее метаморфизм, и оценить вели-

чину и направление древнего намагнитившего породу геомагнитного поля. История возникновения породы, ее „жизнь” записаны в остаточной намагниченности ее ферромагнитных минералов, как на магнитной ленте. Задачи восстановления по известным магнитным свойствам образцов пород истории развития или действия отдельных факторов — температуры, давления, глубины формирования — уже решаются и довольно успешно. Гораздо сложнее по магнитным аномалиям, выделенным из наблюдаемого поля на поверхности (плоскости), определить, что за породы их вызывают и каковы параметры их залегания. Это так называемая обратная задача геофизики.

Д. С. Миков: „При интерпретации данных магнитной съемки значительно больше (по сравнению с гравитационной съемкой) всяких условностей, ограничений и допущений, так как магнитное поле зависит от большего числа исходных параметров и строение его для всякой формы тела всегда сложнее гравитационного”.

Строго математически доказано, что обратные задачи геофизики являются задачами некорректными, и некорректность их выражается в неустойчивости и неединственности решения. Неустойчивость заключается в том, что небольшим изменениям наблюдаемого поля (допустим, за счет ошибок измерения поля или ошибок его выделения) могут соответствовать очень большие изменения определяемых по полю величин намагниченности или расстояния до источников и т. п. Неединственность означает невозможность по аномальному полю решить вопрос: один ли источник его создал или это целый набор тел разных размеров с различной намагниченностью. Нельзя также уверенно сказать, имея лишь наблюдаемое поле, является ли тело, вызвавшее аномалию, индуктивно намагнитенным или оно имеет значительную остаточную намагниченность. Для получения геологически содержательных решений всегда

привлекается дополнительная информация об известных в сходных районах связях между полем и геологическими образованиями, а также различные гипотезы и предположения о форме тела и его намагничении.

Например, уже достаточно детально известно, что на территориях с мощными осадочными отложениями магнитные аномалии простираются на десятки и сотни квадратных километров, обладают малыми градиентами и небольшой амплитудой. Такой характер аномалий обусловлен тем, что большая часть осадочных пород практически немагнитна, а сильно магнитные породы, залегающие среди пород кристаллического фундамента, в таких районах находятся на большой (несколько километров) глубине и магнитный эффект от них на земной поверхности сглаживается. Но трудно сказать, проявляются ли в аномальном поле поля крупных единичных тел или совокупности многих мелких. Иная картина наблюдается в районах, где кристаллические породы выходят на поверхность либо залегают неглубоко под маломощными осадочными отложениями (например, на Балтийском щите). Здесь магнитные аномалии достигают интенсивности в тысячи и десятки тысяч нанотесла, их градиенты очень велики, а размеры аномалий — от метров до десятков километров.

Магнитная аномалия считается положительной, если ее вертикальная составляющая совпадает по ориентации с соответствующей составляющей нормального поля, и отрицательной, когда эти составляющие противоположны по ориентации (рис. 6). Кроме того, магнитные аномалии, создаваемые ограниченными геологическими телами (а реально они всегда ограничены по пространству), имеют положительную и отрицательную части, что следует из теории магнитного поля намагниченных тел. Для отдельной изолированной аномалии определить, какая она — отрицательная или положительная, не составляет труда. Но в сложном наблюдаемом поле, особенно при магнитных съемках по единичным про-

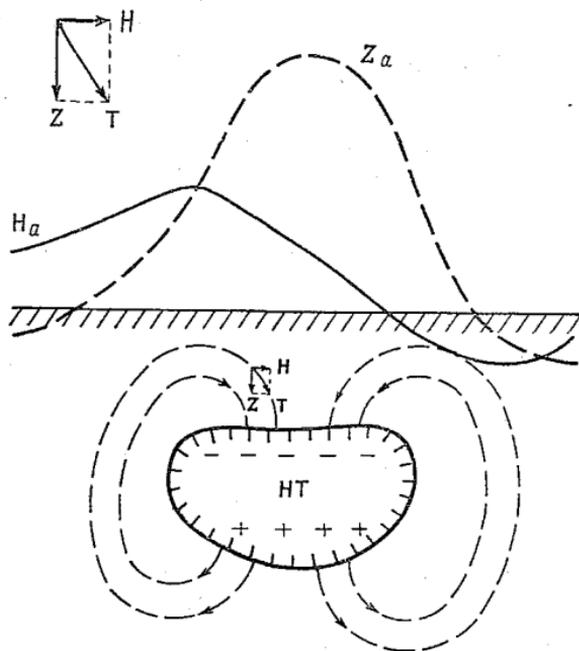


Рис. 6. Положительные аномалии вертикальной Z_a и горизонтальной H_a составляющих, возникающие над намагниченным телом под действием внешнего намагничивающего поля T

филям, это сделать не просто, так как можно принять за отдельную отрицательную аномалию отрицательную часть обычной положительной аномалии ограниченного по глубине тела. Вот поэтому вопрос геологической интерпретации аномального магнитного поля, то есть вопрос, как по магнитному полю расшифровать геологическое строение закрытых осадками или водой территорий, очень сложен, по одному магнитному полю решен быть не может и требует привлечения дополнительных сведений из различных разделов наук о Земле. Вообще

говоря, и данные других геофизических полей — гравитационного, сейсмического, теплового и т. д. интерпретируются в геологическом смысле также неоднозначно. Так что любые выводы по геофизическим данным о геологическом строении исследуемого района представляется собой лишь гипотезы, подлежащие последующей проверке. Их достоверность оценивается по тому, как много известных научных фактов они обобщают и увязывают между собой и насколько вновь открываемые факты не противоречат сформулированной гипотезе. А. Эйнштейн называл это внутренним совершенством и внешним оправданием гипотезы.

В силу ограниченной и редкой магнитной заснятости океанов до 1956 г. существовало представление, что над океанами аномальное магнитное поле значительно проще по своей структуре, чем над континентами, а аномалии, за исключением районов шельфа, существенно меньше по амплитудам или совсем отсутствуют.

Обобщая известные к началу 50-х годов сведения об океанических съемках, американские ученые М. Юинг и Ф. Пресс писали: „Магнитных измерений пока еще очень мало, но имеющиеся данные достаточны, чтобы утверждать, что в пределах больших океанических площадей магнитное поле чрезвычайно равномерное”.

Первые же съемки, выполненные магнитомерами с непрерывной записью результатов измерений (измерения были проведены американскими учеными с самолета феррозондовым магнитометром в 1946 г. по маршруту Лонг-Айленд — Бермудские острова и с борта корабля в 1948 г.), обнаружили, что подобные представления далеки от реальности. Компонентные съемки НИС „Заря” (СССР) и модульные НИС „Вима” (США) показали, что аномальное поле над океанами не менее сложно, чем над континентами, и обладает рядом специфических особенностей. Эти особенности, в свою очередь, как показал дальнейший анализ, связаны с особенностями строения дна самого океана.

Исследователи, основываясь на различных классификационных принципах (ведущим принципом является структурно-геоморфологический), выделяют в океанах особые области: переходную зону от континентов к океанам, собственно океаническое дно, или ложе дна океана, океанические хребты. В свою очередь, эти области подразделяются на более дробные категории. В частности, в переходной зоне выделяют материковый шельф, материковый склон и материковое подножие. Обобщая результаты первых магнитных наблюдений в Атлантическом океане (в основном, в северной его части), американские ученые Дж. Юинг и М. Юинг пришли к следующим выводам о характере распределения магнитного поля. На шельфах наблюдаются сравнительно интенсивные магнитные аномалии до 300 нТл. Над материковыми склонами отмечаются аномалии еще большей интенсивности (около 500 нТл). Исключительно спокойное поле наблюдается над материковым подножием. Над океаническими поднятиями существует сравнительно возмущенное поле с аномалиями протяженностью 10—30 км и интенсивностью 100—200 нТл. Наиболее интенсивные аномалии (1000 нТл и более) наблюдаются над подводными горами и на островах. Большие аномалии (свыше 500 нТл) отмечаются при пересечениях Центрального Атлантического хребта.

Естественно, что этим особенностям магнитного поля американские исследователи старались дать объяснение. Большие магнитные аномалии на материковом шельфе, по их мнению, связаны с вулканическими конусами, погребенными под осадками, а аномалии над материковым склоном—с магнитным эффектом, обусловленным обрывистым краем материкового блока. Аномальное поле над океаническими поднятиями рассматривается ими как результат присутствия пород с различными магнитными свойствами, что, в свою очередь, связывается с возможными вулканическими эффузиями или интрузивными внедрениями в этих районах. Главной же

загадкой авторы считали наличие спокойного магнитного поля в переходной зоне от континентальной коры к океанической.

Обобщая данные магнитных съемок „Зари” в Атлантическом и Индийском океанах, М. М. Иванов, научный руководитель и непосредственный участник этих работ, в конце 50-х годов обратил внимание на то, что для объяснения первой и главной особенности в характере распределения магнитного поля в океанах — наличия областей спокойного и аномального поля — невозможно привлечь различия в рельефе дна океанов, которым многие ученые придавали главенствующее значение. Данные „Зари” показали, что переход от области спокойного к областям аномального поля в Северной Атлантике происходит в зоне океанической котловины при сравнительно ровном рельефе дна. В своей монографии „Магнитная съемка океанов” М. М. Иванов отмечает: „Особенно убедительно об этом свидетельствует магнитный профиль от Гибралтара до Антильских островов, пересекающий все основные физико-географические и топографические провинции океанического дна, причем во всех случаях поле остается относительно спокойным. Таким образом, можно считать определенным, что переход от спокойного поля к аномальному не обусловлен изменениями в рельефе дна, а следовательно, может быть вызван либо резким перепадом глубин основных кристаллических пород, подстилающих поверхностный слой океанического дна, либо коренным изменением петрографического состава пород, слагающих океаническое дно”. Сопоставив магнитные данные с данными сейсмического зондирования, проведенного к этому времени в Северной Атлантике, М. М. Иванов предположил, что переход от зоны спокойного магнитного поля к зоне возмущенного поля может быть связан с одновременным уменьшением мощности земной коры на 2—3 км: „... Первое, что необходимо отметить по магнитным данным,— наличие областей на дне океана с различным

свойством коренных пород, слагающих дно, причем весьма вероятно, что при переходе из одной области в другую меняется и структура океанической коры". Анализируя форму магнитных аномалий, которая определяет метод расчета глубины залегания магнитовозмущающего тела, М. М. Иванов отмечал, что магнитные аномалии в районе Центрального Атлантического хребта, по-видимому, имеют основное простираание вдоль оси хребта, то есть линейны, а в других районах магнитные аномалии могут быть вызваны в равной степени как изометрическими, так и вытянутыми, или линейными, телами. В то время не было данных подробных площадных магнитных съемок в океанах и данных о других геофизических полях, поэтому большего об аномалиях по данным профильных съемок сказать было нельзя. Проведя расчеты глубин залегания магнитовозмущающих тел по данным съемок „Зари“, М. М. Иванов пришел к следующему выводу, не потерявшему своего значения и сейчас, после существенных изменений взглядов на происхождение океанов и источников океанического аномального магнитного поля: „Для всей акватории Атлантического океана в пределах зон аномального магнитного поля по магнитным данным достаточно надежно устанавливается очень небольшой по мощности слой осадочных пород — в среднем до 1 км в океанических котловинах и, по-видимому, еще меньше в зонах хребтов. Материалы позволяют утверждать, что все наблюдаемые магнитные аномалии вызваны источниками, расположенными в верхнем слое океанической коры, и лишь незначительная их часть может быть вызвана объектами, расположенными во всей толще коры. По-видимому, ни одна из обнаруженных аномалий не может быть обязана своим происхождением источником, находящимся в близко расположенной к поверхности дна океана верхней части мантии”.

Почти никто из естествоиспытателей, философов, ученых всех времен и народов не обошел своим внима-

нием вопрос о происхождении Земли и, естественно, крупнейших особенностях ее строения — наличии суши и моря. Число письменных источников на эту тему росло пропорционально развитию письменности и техники книгопечатания. Но никогда их не было так много, как за последние 20—30 лет. Не одна сотня книг и статей имеет многообещающее название типа: „Происхождение материков и океанов”. Однако жаждущий истины читатель не найдет там, если эта работа написана, конечно, настоящим ученым, никаких окончательных ответов, несмотря на уверения заголовка. Мы находимся всего лишь в начале пути познания сложнейших вопросов о происхождении лика Земли, и путь этот, как утверждает материалистическая диалектика, бесконечен. Попытаемся подойти к вопросу строения и происхождения океанов с точки зрения геофизика-магнитолога, вернее, попытаемся выяснить, что нового в эту проблему внесло изучение аномального магнитного поля на океанах, прогресс в изучении магнитных свойств горных пород, а также новые представления о поведении магнитного поля Земли в прошлом. Но сначала некоторые общие сведения о существовавших и существующих концепциях происхождения и строения океанов.

Что же такое океан? Выше мы приводили определение океана из Большой Советской Энциклопедии, являющейся авторитетной сводкой самых последних знаний по всем разделам науки и техники. Но на протяжении исторического развития науки понятие „океан” существенно менялось, а следовательно, менялось и объяснение причин его существования и происхождения. В древности океан считался той средой, на поверхности которой находится Земля, то есть суша. Появление материков объяснялось или поднятием суши под действием каких-то сил из воды, или понижением уровня океана до обнажения суши. Уже в древности, судя по трудам Платона, Аристотеля, Страбона и других ученых, предполагалось, что море и суша подвержены

колебательным движениям и что строение материков и океанического дна сходно. На протяжении очень длительного времени океаны считались лишь углублениями на поверхности Земли, возникшими разными путями. И лишь в конце XIX в. появились представления о качественном различии континентальной и океанической коры сначала по плотности, а затем по структуре и генезису, то есть происхождению. Успехи в понимании общего строения Земли, континентов и океанов сейчас бесспорно велики. Однако невозможность непосредственно проникнуть на большие глубины Земли, трудности, возникающие при изучении океанического дна, и, наконец, тот факт, что историю развития земной коры мы можем проследить лишь со времени отложения наиболее древних пород (2,5—3,5 млрд. лет назад), — все это, как пишет советский исследователь И. В. Батюшкова, ставит проблему происхождения материков и океанических впадин в область гипотетических предположений, нередко противоречивых и даже взаимоисключающих.

В своих „Заметках о геотектонических гипотезах” академик Ю. А. Косыгин пишет: „Все, что на Земле ниже 11 км и древнее 200—300 лет (инструментальные наблюдения) или 5000 лет (наблюдения вообще), уже сфера гипотез. ... Гипотезы, относящиеся к Большому континууму (Земли в целом), нельзя непосредственно проверять. Они могут испытываться использованием различных методов: изучением прохождения и затухания упругих волн землетрясений, собственных колебаний Земли, гравитационного, магнитного, теплового полей и т. д. В таком случае некоторые результаты, полученные различными методами, в различных точках или условиях, могут трактоваться как сходные, как вызванные одинаковыми причинами. Здесь надо отметить, что при сходстве признаков причины могут быть разными. ... В Большом континууме мы постоянно встречаем много „истин” и „ошибок”, но редко находим различие между ними. Они зависят от постановки задач, методик, средств иссле-

дований, от накопления предыдущих идей и усовершенствования технических средств”.

Согласно В. Е. Ханну, одному из ведущих советских ученых-геологов, можно выделить ряд концепций или точек зрения о месте процессов океанообразования в тектонической эволюции Земли, поскольку океаны являются закономерным следствием такой эволюции. *Первая концепция.* Все океаны, то есть глубоководные бассейны с океаническим типом строения коры, возникли в самом начале геологической стадии развития Земли. Современные океаны — реликты (остатки) первичного океана, занимавшего всю поверхность Земли, сохранившиеся после образования континентов на остальных участках, охваченных геосинклинальным процессом. Таким образом, разделение земной коры на континенты и океаны относится к очень раннему периоду истории Земли. Контурные океанов медленно изменяются после заполнения водой в направлении уменьшения их площади и возрастания глубины. Если в архее (2,5—3,5 млрд. лет назад), по некоторым подсчетам, средняя глубина океана была всего 800 м, то к началу палеозоя (около 600 млн. лет назад) в связи с образованием материков глубина достигла 3380 м, а в начале кайнозоя (67 млн. лет назад) — 5063 м. В данной концепции не встречается трудностей при объяснении формирования океанических впадин, поскольку они считаются первичными, но зато необходимо найти объяснение образованию континентов на их современных местах и неравномерному развитию земной коры — ускоренному в пределах нынешних континентов и очень замедленному в пределах океанов.

Известные советские геоморфологи Л. А. Зенкевич и Я. А. Бирштейн в монографии „История Мирового океана”, исходя из данных своей науки, поддерживают концепцию древности океанов.

Л. А. Зенкевич: „Фауна океана — наиболее верный и точный свидетель всех изменений орографии и физико-

химического режима океана за время ее существования. Основной систематический состав (типы и классы) фауны океана, морфолого-физиологическая и биогеоценотическая структура сложилась еще в докембрийское время (то есть ранее 570 млн. лет назад). За время фанерозоя (то есть от кембрия до современности) солевой и температурный режим океана и его биогеоценотическая структура не претерпевали сколько-нибудь значительных изменений”.

Я. А. Бирштейн: „Возникновение особых таксонов высокого ранга однозначно свидетельствует в пользу древности глубоководной фауны, а следовательно, и больших океанических глубин”.

Вторая концепция. Океаны делятся по возрасту на две группы: древние (Тихий океан) и молодые (все остальные океаны); нуждается в объяснении механизм формирования молодых океанов, причем разновозрастных по отдельным участкам. Этой концепции, как отмечает В. Е. Хаин, противоречит тождество строения тектоносферы в пределах всех океанов, что было выяснено уже в последние годы.

Третья концепция. Все океаны являются молодыми, образовавшимися не ранее конца палеозоя (240 млн. лет назад), а в основном в начале мезозоя (200 млн. лет назад) на месте участков континентальной коры. Начало океанообразования отвечает новому этапу эволюции коры, когда нарастание ее гранитного слоя сменилось его разрушением, „континентализация” — „океанизацией”. В данной концепции основная трудность заключается в объяснении механизма „океанизации” — образования тонкой „безгранитной” океанской коры на месте толстой, наполовину сложенной гранитным материалом континентальной.

Четвертая концепция. Океаны являются новообразованиями, а не реликтами первичного океана нашей планеты. Образование океанических и субокеанических впадин с соответствующим замещением континентальной

коры корой океанического типа является результатом как физико-химических процессов в континентальной литосфере, так и разрыва ее сплошности и раздвига вдоль осевых зон срединноокеанических поднятий. Океанизация поражает в первую очередь те зоны, которые испытывали перед тем наиболее длительное и интенсивное воздымание. Это так называемая концепция мобилизма — наиболее сейчас популярная и научно обоснованная.

Нет нужды перечислять громкие имена выдающихся ученых — авторов приведенных выше концепций. Каждая концепция основывалась на обобщении известных к своему времени геологических данных о строении Земли, континентов и океанического дна с использованием достижений других естественных наук. Мы рекомендуем читателю, интересующемуся историей развития представлений по этой проблеме, книгу И. В. Батюшковой „История проблемы происхождения материков и океанов”.

Остановимся более подробно на концепции мобилизма, или тектоники литосферных плит, то есть концепции, основанной на представлениях о значительной горизонтальной подвижности земной коры, так как именно магнитные данные в значительной мере стимулировали ее становление и последующее развитие. Ее строгое изложение читатель может найти в книгах „Новая глобальная тектоника (тектоника плит)”; „Тектоника плит” К. Ле-Пишона, Ж. Франшто, Ж. Боннина; „Введение в геодинамику” Л. П. Зоненшайна и Л. А. Савостина и ряде других обобщающих трудов.

Возможно, что идеи мобилизма появились сразу же, как только были составлены мировые географические карты с более или менее правильными очертаниями континентов и океанов. Неслучайность сходства очертаний западного берега Африки и восточного берега Южной Америки отмечал еще Фрэнсис Бэкон в своем „Новом Органоне” (1620 г.), а Плассе в 1658 г. высказал предпо-

ложение, что Старый и Новый свет разделились в результате всемирного потопа. Первые более или менее обоснованные представления о возможности дрейфа континентов историки науки связывают с именем Антуана Снайдера, который в 1858 г. опубликовал карты, показывающие континенты в момент их смыкания и затем в их современном положении. Он пытался таким образом объяснить сходство залегания пластов каменного угля в Европе и Северной Америке и соответствии береговых линий по обе стороны Атлантики. Причины движения континентов он не рассматривал. В 1877 г. русский ученый Е. В. Быханов предложил свой вариант гипотезы мобилизма, в котором причиной силы, раздвигающей континенты, служило увеличение скорости вращения Земли за счет ее роста из-за падения метеоритов и выделения ими воды. В 1910 г. американский геолог Ф. Тейлор высказал мысль о том, что материки совершали крупномасштабный дрейф в направлении экватора. Таким образом он хотел объяснить происхождение горных хребтов третичного периода (Гималаев, Анд, Альп). Но слабым местом в его гипотезе была причина движения, то есть сила, сдвигающая континенты к югу, которая по расчетам оказалась очень небольшой. Таким образом, идея о крупных перемещениях материков к началу XX в. уже как бы витала в воздухе. Однако лишь в трудах немецкого ученого-геофизика (метеоролога по профессии) Альфреда Вегенера впервые было дано всестороннее геолого-геофизическое обоснование дрейфа материков, что и позволяет связывать появление мобилизма с его именем. Первые публикации на эту тему вышли в виде статей в 1912 г., а наиболее полно сформулированная концепция изложена Вегенером в третьем издании книги „Происхождение материков и океанов”, вышедшем в 1922 г. На русском языке это издание было опубликовано уже в 1923 г.

В перемещении материков Вегенера убедило отнюдь не сходство очертаний континентов по обе стороны Атлантического океана (хотя это натолкнуло его на

первую догадку, как и многих других ученых до него), а сходство геологического строения и палеофауны Бразилии и Африки. Как отмечает советский исследователь И. А. Резанов, отталкиваясь от сходства очертаний материков, Вегенер привел затем в качестве аргументов в пользу своих взглядов большую сумму имевшихся к тому времени данных — геофизических, геологических, биологических, палеоклиматических и геодезических.

Геологи и особенно геофизики встретили эти идеи настороженно. Академик В. А. Стеклов заявил, что это (дрейф континентов по Вегенеру) решительно противоречит всем известным по физике Земли данным.

Выступая в защиту гипотезы Вегенера, академик А. А. Борисьяк писал в журнале „Природа” в 1922 г.: „Историческая геология и геофизика подходят к земному шару с разными задачами и неодинаковыми приемами исследования. Приемы исторической геологии, едва поднявшейся над первой стадией накопления фактического материала, наивно просты, но убедительны как всякое доказательство на почве фактов, приемы геофизиков логически глубоки, но достаточно ничтожной ошибкой в предпосылках, чтобы все сложное здание стройных математически точных заключений неизбежно рухнуло... Пусть протестуют геофизики, историк будет продолжать работу над заинтересовавшей его мыслью и, если убедится в ее справедливости, будет спокойно ждать, пока найдет ей свое объяснение геофизик”.

После выхода в свет книги А. Вегенера в геологической литературе началась полемика, конец которой положил состоявшийся в Нью-Йорке в 1928 г. симпозиум, посвященный гипотезе дрейфа континентов. Из четырнадцати ведущих геологов, высказавших свои точки зрения на симпозиуме, пять активно поддержали эту гипотезу, двое были сторонниками с некоторыми оговорками, а остальные семеро были против. Подводя итоги симпозиума, его председатель Ван дер Грахт объективно оценил все „за” и „против”. Он сказал, что механизм

дрейфа действительно объяснен неудовлетворительно, но загадку распределения фауны теория дрейфа континентов решает лучше, чем теория промежуточных мостов суши, а механизм, быть может, обнаружится в будущем; по вопросу о сходстве очертаний атлантических берегов возможны различные мнения, хотя трудно ожидать идеального совпадения после крупномасштабного перемещения материков, но общее подобие форм должно было сохраниться и действительно сохранилось. Ван дер Грахт сделал еще ряд замечаний по палеонтологическим доказательствам, по вопросам жесткости коры и мантии и т. п. Общее заключение симпозиума было следующим: гипотезу дрейфа континентов нельзя с легкостью отвергнуть, так как хотя против нее и имеются серьезные возражения, но есть также и сильные доводы в ее пользу; конечно, над теорией Вегенера стоит размышлять и работать, поскольку если бы она была доказана, то дала бы ответы на многие вопросы, касающиеся Земли и происхождения океанов и материков.

В 1930 г. Альфред Вегенер погиб во время своей очередной экспедиции в Гренландию, и его гипотеза постепенно стала забываться. Появились новые общетектонические гипотезы: гипотеза „корабля-континента” южноафриканского геолога Дю Тойта, гипотеза „тепловых циклов” американца Джоли, гипотеза „конвекции в твердой оболочке Земли” англичанина Холмса и другие. Причину негативного отношения к гипотезе Вегенера следует искать в том, что геологи 30—50-х годов в своих построениях опирались на историко-геологические материалы по континентам, а последние приводили к выводам о неподвижности материков, геофизических же данных в то время было еще мало, часто они вообще не принимались геологами во внимание или же допускали самую различную интерпретацию. Мобилизм нуждался в дополнительных независимых доказательствах и, как это ни парадоксально, получил их со стороны геофизики в 50—60-х годах нашего

столетия. Перефразируя А. А. Борисьяка, подивимся его интуиции — геофизик нашел свое объяснение.

Эта заслуга принадлежит в первую очередь английским геофизикам-магнитологам из группы Блекетта и группы Ранкорна. Созданный Блекеттом сверхчувствительный магнитометр позволил детально изучать остаточную намагниченность горных пород. Данные по остаточной намагниченности (вернее, наклонению вектора остаточной намагниченности) триасовых красноцветов Великобритании (возраст 200 млн. лет) можно было интерпретировать и таким образом, что в триасе Великобритания располагалась в более низких широтах, что приемлемо и с палеоклиматической точки зрения. Магнитные измерения были затем проведены на полуострове Индостан на многочисленных разновозрастных базальтовых покровах плато Деккан. Данные по определению наклона вектора остаточной намагниченности в разные отрезки времени опять-таки можно было интерпретировать таким образом, что в юре (примерно 150 млн. лет назад) это плато располагалось далеко к югу от экватора, затем неуклонно смещалось к северу и на границе палеогена и неогена (25 млн. лет назад) находилось уже в северном полушарии. Эти наблюдения в такой трактовке уже прямо подтверждали построения Вегенера, который, опираясь на палеонтологические и палеоклиматические факты, включал Индостан в позднем палеозое в состав единого южного материка — Гондваны.

Интерпретацию магнитных данных группы Блекетта подвергала сомнению другая группа английских магнитологов из школы Ранкорна. Делая из палеомагнитных данных вывод о перемещении Индостана и Великобритании на север, группа Блекетта подразумевала, что земное магнитное поле всегда имело дипольный характер и положение полюса диполя в среднем примерно совпадает с положением неизменного географического полюса. Поэтому более пологие углы наклона вектора остаточной

намагниченности древних пород и объяснялись их первичным местоположением в более низких широтах. Однако этот вывод может быть и неверным, если магнитное поле имеет недипольный характер или сам магнитный полюс перемещается относительно географического, на чем и настаивала группа Ранкорна. Ранкорн, подводя некоторые итоги палеомагнитных наблюдений, писал в 1955 г., что заметные движения полюса, по-видимому, установлены, и, видимо, нет нужды предполагать заметные перемещения континентов, чтобы объяснить полученные до сих пор палеомагнитные результаты. Но эта же группа в 1957 г., построив кривую движения магнитного полюса для Северной Америки и сравнив ее с кривой перемещения полюса для Великобритании и Европы, обнаружила постоянное расхождение между кривыми от докембрия (570—600 млн. лет) до триаса (240 млн. лет) порядка 30° по долготе. Если есть две кривые, в то время как должна быть одна, естественным представляется объяснение, что сами континенты двигались. Если сместить Американский континент к востоку на 30° так, чтобы обе кривые совпали, то Атлантический океан почти исчезнет и Америка соединится с Европой. Так как начиная с триаса обе кривые перемещения полюсов начинают сближаться и соединяются в третичном периоде, следует вывод, что Европа и Америка начали раздвигаться уже в юрском (195—130 млн. лет назад) или меловом (137—67 млн. лет назад) периоде. Дальнейшие работы палеомагнитологов позволили построить кривые перемещений магнитных полюсов для других континентов. Для их сведения в единую кривую требуется уже не только смещать континенты, но и поворачивать их.

Все это довольно сложно и необычно, и поэтому пока еще в науке сосуществуют точки зрения, диаметрально противоположные.

И. А. Резанов: «Критический анализ сводок палеомагнитных данных, включая 1967 г., приводит автора

к единственному выводу, что палеомагнитные наблюдения еще настолько неточны и противоречивы, что не могут быть использованы в качестве доказательства „за” или „против” гипотезы об относительном смещении континентов или их частей. Нельзя их использовать и для доказательства расширения Земли».

Г. Н. Петрова: „Попытки противников мобилизма объяснить несогласованность палеомагнитных данных для разных континентов недипольностью поля несостоятельны хотя бы потому, что геомагнитное поле с его недипольными компонентами генерируется в земном ядре, и если с натяжкой можно предположить, что для какой-то одной эпохи недипольность компонентов случайно распределилась так же, как континенты на поверхности Земли, то повторение такого совпадения от эпохи к эпохе предположить нельзя. Такая закономерная приуроченность недипольных компонент геомагнитного поля к континентам требует уже причинной связи, которую изобрести невозможно”.

Может быть, палеомагнитные данные и не сыграли бы столь важной роли в возбуждении интереса геофизиков к проблемам континентального дрейфа и возрождению концепции мобилизма, если бы к этому моменту не были выяснены некоторые особенности в строении океанической и континентальной литосферы, хорошо согласующиеся с представлениями о горизонтальной подвижности верхней оболочки земной коры.

Различие между континентальным и океаническим типом земной коры было установлено еще в 20-е годы XX в. и подтверждено сейсмическими исследованиями в 50-е годы (толстый „гранитный” слой на континентах и тонкий „базальтовый” в океанах).

Но, как и во многих других геологических проблемах, не все оказалось столь просто и однозначно. Ю. А. Косыгин в статье „О методологических вопросах тектоники” в 1985 г. писал: «В 20-х годах XX в. сейсмологами была намечена поверхность Конрада, ниже которой скорости

прохождения упругих волн оказались близкими к скоростям прохождения их в базальтах, а выше — к „гранитным” скоростям. С небывалой легкостью введенные таким образом термины „базальтовый слой” и „гранитный слой” вошли в сознание многих геологов в их буквальном горнопородном значении. Запоздалое предупреждение В. Гутенберга о том, что геофизики под названием „базальтовый” и „гранитный” в данном случае понимают только скоростные характеристики, повисло в воздухе. Сейсмологические „базальтовый” и „гранитный” слои, неправомерно принимавшиеся за чистую геологическую монету, стали широко использоваться в самых разнообразных геологических построениях: в разработке представлений о развитии структуры Земли, глубинном строении, петрографических и геохимических особенностях глубинных толщ, а соответственно и о глубинных процессах, и т. д.».

Дальнейшие исследования показали, что на океаническом дне отложения в основном молодые, их образование не могло произойти раньше мезозоя (раньше 240 млн. лет назад). Причем отложения оказались тем древнее, чем дальше они расположены от осей океанических хребтов. А куда же делись древние осадки, если океаны являются древними образованиями? Это представляло большую загадку.

Сейсмическими методами было установлено, что в рифтовых зонах срединных хребтов (составляющих планетарную горную систему на дне океана общей длиной около 60 тыс. км.) происходит растяжение океанической коры, а в складчатых зонах по окраинам континентов — ее сжатие. И наконец, в результате подробных площадных съемок западной периферии Тихого океана Н. О. Соловьевым в 1957 г. и восточной Р. Мейсоном и А. Раффом в 1961 г. было выяснено, что магнитное поле имеет здесь упорядоченный линейный характер. Ширина зоны одного знака достигает десятков километров при простираии в длину на несколько

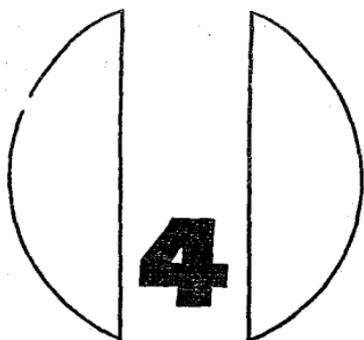
сотен, иногда тысяч километров. Зоны разных знаков, параллельные друг другу, имеют правильное чередование. Это была вторая загадка, на первый взгляд никак не связанная с первой (с молодостью океанического дна). Затем полосовые магнитные аномалии были обнаружены и во всех других океанах. Их детальный анализ показал, что они располагаются параллельно простиранию срединных хребтов, а наиболее интенсивные аномалии приурочены к осевой зоне (рифту) хребта. По мере удаления от хребта по обе его стороны расположены „пары” аномалий одинаковой формы и интенсивности, причем интенсивность тем меньше, чем больше расстояние от оси хребта. В традиционной интерпретации эти аномалии можно отождествлять или с аномалиями, которые вызываются излияниями лав по трещинам растяжений, или с чередованием блоков намагниченных пород переменной ширины, разделенных блоками немагнитных или слабомагнитных пород. Но лучшее объяснение (в частности, симметрии аномалий относительно оси хребта) дает представление о чередовании блоков с прямым и обратным намагничением. На основе данных о смене эпох прямой и обратной полярности земного магнитного поля, полученных при изучении остаточной намагниченности лав и морских осадков, было сделано предположение, что положительные и отрицательные полосы магнитных аномалий как бы повторяют изменение знаков магнитного поля во времени. Осевая аномалия соответствует современной эпохе полярности поля, а равноудаленные от оси хребта пары аномалий отвечают эпохам все более раннего прямого и обратного магнитного поля. Иными словами, у исследователей появилась возможность по линейным магнитным аномалиям связать расстояния по горизонтали от оси хребта с временной шкалой и, используя идентификацию аномалии с палеомагнитной временной шкалой, определять скорость разрастания океанического дна (скорость так называемого спрединга). Впервые понятие спрединга ввел в 1961 г.

американский ученый Р. Дитц, который высказал мысль, что хотя впадины океанов очень древние, их дно молодое, оно гораздо моложе пород континентов. Морские отложения, подводные горы и другие элементы рельефа медленно придвигаются к материкам за счет конвективных движений в мантии и астеносфере и разрушаются, либо двигаясь под них, либо присоединяясь к ним сбоку. Скорость этого движения можно определять по ширине магнитных аномалий и их расстоянию до оси рифтовой долины центрального хребта. С гипотезой о причинах „полосатости” океанического магнитного поля выступили в 1963 г. английские ученые Ф. Вайн и Д. Мэтьюз. В этой гипотезе они связали разрастание океанического дна и инверсии геомагнитного поля. Правда, канадский геофизик Л. Морли раньше, чем его английские коллеги, пытался опубликовать аналогичную статью, но все журналы дружно отвергли ее как „слишком умозрительную”. Последующие количественные расчеты скорости разрастания дна океанов по ширине магнитных аномалий, обусловленной длительностью эпох прямой и обратной полярности поля, убедили целый ряд ученых, что идея разрастания дна в какой-то мере правдоподобна. К 1968 г. появилась серия обобщающих статей и работ, в которых новая концепция мобилизма — тектоника плит (или новая глобальная тектоника) — получила свое первоначальное обоснование.

Как бы к ней ни относились некоторые специалисты-геофизики и геологи, эта концепция непрерывно развивается, и большинство научных работ в области тектоники и геофизики сейчас публикуется под ее флагом. Во всяком случае теперь почти никто из ученых не сомневается, что наряду с вертикальными движениями земной коры существуют и значительные горизонтальные смещения. Очевидно также большое положительное значение этой концепции как стимула и направляющей линии научных исследований, главным образом в области изучения океанов, океанического дна и его магнитного

поля. Как пишет академик Б. С. Соколов в книге „Палеонтология, палеобиогеография и мобилизм“, „мобилизм вывел геологию из фиксистского оцепенения, возмутил одних и вызвал энтузиазм других, и дискуссия, конечно, оказала положительное влияние на приведение в порядок системы наших знаний о земной коре и верхней мантии“.

Из представленных на XXVII сессии Международного геологического конгресса в Москве в 1984 г. 350 докладов по тектоническому направлению подавляющее большинство основывалось на концепции тектоники плит или других вариантах неомобилизма, около десяти докладов представляли концепции расширяющейся Земли и примерно столько же исходили из строго фиксистских представлений. Не забудем же, читатель, что для новой глобальной тектоники данные о магнитных океанических аномалиях имеют первостепенное значение.



В какие гавани, скажи,
ты на свидание спешишь,
моя красавица, влюбленная
в безбрежность?
В каких краях, каких морях,
неповторимая моя,
твоих обводов
непростительная нежность?

Из „эпоса” о „Заре”

НЕМАГНИТНАЯ ШХУНА „ЗАРЯ”

История организации магнитной съемки океанов Советским Союзом вкратце такова: в конце 1938 г. Правительство СССР приняло решение об учреждении в Советском Союзе Научно-исследовательского института земного магнетизма (НИИЗМ), выросшего впоследствии в Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИР АН СССР) Институт создавался на базе Павловской магнитной обсерватории и группы магнитных съемок Главной геофизической обсерватории. Институту вменялось в обязанность составление сухопутных и морских магнитных карт.

Магнитная съемка территории СССР была к этому времени в основном завершена, но многочисленные моря, омывающие берега СССР, оставались заснятыми очень слабо. Предстояло выяснить, как быстрее это сделать. Было организовано несколько морских экспедиций с проведением магнитных измерений на небольших деревянных судах. Используя полученный в этих экспедициях опыт, спроектировали небольшое маломанитное судно на основе норвежских зверобойных ботов. Строительство одного из таких ботов было намечено на 1941 г. Но война помешала осуществлению этого плана.

В первые годы после окончания Великой Отечественной войны по заданию Института земного магнетизма был разработан эскизный проект небольшого немагнитного судна. Он был послан на отзыв во многие заинтересованные организации. Отовсюду пришли заключения: судно необходимо, но только ббльших размеров и с более мощным двигателем. Проект судна был составлен Ленинградским кораблестроительным институтом. Заказ на изготовление типового корпуса из немагнитных материалов был передан Финляндии, поставляющей в СССР в большом количестве композитные гафельные грузовые шхуны. Все остальное — двигатель, научное оборудование и его монтаж — было сделано в СССР.

Для наблюдения за постройкой корпуса будущей немагнитной шхуны в Финляндию выехал сотрудник НИИЗМ М. М. Иванов, ставший потом начальником первых экспедиций на „Заре“.

О сложности строительства „Зари“ можно судить хотя бы по тому, что в нем участвовали свыше 50 фирм, преимущественно финских, а также большое количество советских предприятий.

После постройки судна в Финляндии в 1952 г. его отбуксировали в Ленинград, где установили главный двигатель, силовое оборудование, радиостанцию, электро- и радионавигационные приборы, а также специальные приборы для магнитных наблюдений. С 1953 по 1955 г. судно проходило опытную эксплуатацию с проведением магнитных наблюдений в Балтийском, Северном, Норвежском и Баренцевом морях. В процессе опытной эксплуатации значительная часть оборудования и почти все приборы для магнитных наблюдений были заменены новыми, более совершенными, что потребовало некоторых переделок помещений судна.

В свое первое большое плавание в Северную Атлантику „Заря“ вышла в 1956 г. — за год до официального начала Международного геофизического года (1957—1959).

Время парусных красавцев-кораблей, казалось бы, прошло. Немногие парусники дожили до наших дней. Оставшиеся свидетели былой славы парусного флота стали кораблями-музеями. Памятником века, „когда на деревянных судах плавали железные люди“, стал бриг „Конститьюшн“ в Соединенных Штатах. Недалеко от Лондона, в Гриниче, встал в док чайный клипер „Катти Сарк“. В наши дни в море можно встретить лишь парус учебного судна на котором проходят практику будущие „морские волки“. Поэтому парусно-моторная шхуна „Заря“ привлекает к себе всеобщее внимание. Иногда в океане громадный восьмидесятитысячник-танкер или пассажирский лайнер меняли курс, чтобы ближе подойти к „Заре“ и почтительно ее поприветствовать. В любом порту у борта судна постоянно толпился народ, и в дни свободного доступа желающие посетить судно выстраивались в длиннейшую очередь. И мы с вами совершим короткую прогулку по „Заре“, ее палубам, жилым и рабочим помещениям, но сначала маленькая справка...

„Заря“ — парусно-моторная шхуна с гафельным вооружением (с 1976 г. — с бермудским вооружением). Водоизмещение 630 т, длина по ватерлинии 37,5 м, максимальная ширина 8,95 м, средняя осадка 3,90 м. Мощность двигателя (300 л. с.) обеспечивает среднюю скорость 7,0 узлов, что позволяет шхуне проходить за сутки около 170 морских миль, то есть 315 км. При попутном ветре и не очень крутой волне, когда „Заря“ несет полное парусное вооружение, скорость возрастает до 8—9 узлов. Первоначально полная площадь парусов составляла 730 м², но установка на судне антенны ионосферной станции заставила отказаться от верхних парусов — топселей. Два дизель-генератора мощностью по 25 кВт каждый обеспечивают потребности „Зари“ в электроэнергии. Автономность работы судна определяется запасом горючего и воды и составляет примерно 20 суток. В среднем за 7—8-месячную экспедицию „Заря“ проходит с непрерывными измерениями около

26 тыс. морских миль. На судне ведутся измерения элементов магнитного поля Земли, эхолотный промер, ионосферные наблюдения и измерения нейтронной составляющей космических лучей, а также метеорологические наблюдения.

Экипаж судна 27 человек, научных сотрудников 7—9. В носовой надстройке находится кают-компания. Это помещение не только для завтраков, обедов и ужинов. После завтрака за большим столом ведется первичная обработка материалов экспедиции, а вечером после ужина происходят наиболее интересные встречи любителей шахмат, шашек, домино. В этой же надстройке расположены одноместная каюта старшего помощника капитана и двухместная каюта, в которой живут второй и третий механики. Между этими каютами в маленьком помещении, имеющем выход наверх, расположен нейтронный монитор — прибор, измеряющий интенсивность космического излучения.

Если спуститься по крутому трапу вниз, то попадаешь в научный салон — место, где установлены чувствительные элементы магнитометров — датчики, измеряющие магнитное поле. В салон выходят двери четырех одноместных и двух двухместных кают, в которых живут научные сотрудники. Как правило, двери в салон и каюты постоянно открыты, особенно в тропической зоне, чтобы обеспечить воздушную вентиляцию.

Жизнь вокруг приборов, измеряющих магнитное поле, сопряжена с определенными трудностями. Появление вблизи прибора даже небольшого предмета, обладающего собственным магнитным полем, приводит к погрешности в измерениях — измеряется не только поле Земли, но и поле этого предмета. Во время работы приборов это установить легко по своеобразным „скачкам” на лентах записи магнитного поля, но во время стоянки, когда приборы выключены, заметить, что уровень поля изменился, невозможно. Это так называемый „эффект Негоро” (вспомним известного злодея из романа Жюль

Верна „Пятнадцатилетний капитан“). Поэтому в каютах и особенно в салоне поддерживается самая строгая, даже драконовская, „магнитная дисциплина“ и всем новичкам упорно внушают: „Железо — наш враг!“

Пройдем в одну из кают. Стол, кресло, настенный шкафчик для книг, умывальник, койка, шкаф для верхней одежды — вот и вся обстановка. Размеры каюты таковы, что три человека помещаются в ней с трудом. Внешняя отделка кают, салона и всех помещений на „Заре“ выполнена с большой любовью, аккуратно и исключительно добротно.

Судно построено в стране, народ которой сотни лет обрабатывает дерево и умеет строить из него суда. На „Заре“ всюду дерево: корпус судна в основном сделан из финской сосны, ледовая обшивка и планширь — из дуба, деревянные мачты из клееной сосны, рангоут и шпангоуты судна тоже имеют клееную конструкцию.

Из научного салона можно подняться на главную палубу через второй выход и пройти во вторую надстройку, где размещаются камбуз, столовая команды, душевая и туалеты. Во время шторма все обедают в столовой команды. Спустившись вниз, попадаем в жилые каюты и помещение гирокомпасов. Одна из кают, каюта врача, служит одновременно аптекой и медпунктом. При массовом проведении профилактических мероприятий — прививок, которых приходится переносить достаточно, — „экзекуция“ происходит в кают-компани. Из второй надстройки можно проникнуть и в машину.

Пройти во вторую надстройку из первой по главной палубе можно при относительно хорошей погоде. При сильном волнении двери второй надстройки задриваются, и чтобы попасть туда из научного салона, надо подняться по скоб-трапу на верх первой надстройки, пройти во вторую и через световой люк спуститься вниз. Аналогично можно попасть через вентиляционное помещение машинного отделения и в кормовую надстройку.

В кормовой надстройке размещаются радиорубка,

агрегатная, кормовая лаборатория с регистрирующей аппаратурой и каюта капитана. На самой корме судна расположена штурманская рубка, в ней сосредоточено все навигационное оборудование: радиолокатор, радиопеленгатор, приемники радионавигационных систем, хронометры, комплект карт и прочее штурманское хозяйство. Штурвал „Зари” также находится в штурманской рубке. Отсюда можно управлять судном в плохую погоду. Есть и второй штурвал, установленный снаружи рубки, — это основное место рулевого. Перед рулевым всегда два указателя курса — репитер гирокомпаса и магнитный компас. Какова бы ни была погода, вахтенный штурман находится на открытой всем ветрам и дождям верхней палубе.

Верхняя, или шлюпочная, палуба — что-то вроде плоской крыши для носовой, центральной и кормовой надстроек, соединенных переходами и огражденными поручнями. На верхней палубе в хорошую погоду сосредоточена почти вся жизнь. Днем свободные от вахты загорают, вечером кормовая часть палубы превращается в кинозал. В тропиках на палубе спит почти вся команда, внизу в каютах остаются на ночь особо стойкие. Ограниченная мощность энергетических установок не позволила оборудовать судно дополнительной вентиляцией, и, как на старых парусниках, в тропиках в дополнение к существующим вентиляционным трубам оборудуются виндзейли — брезентовые трубы с широкими крыльями, разворачиваемые навстречу ветру. Ночью они выглядят как раскинувшие руки монахи в сутанах с островерхими капюшонами на голове.

Если вахтенный штурман и матросы работают почти все время на верхней палубе, сгорая на тропическом солнце, или мерзнут и мокнут в непогожие дни на севере, то механики, в полном смысле слова, „света белого не видят”. Спустимся в машинное отделение. В центре находится главный двигатель. Слева и справа от него симметрично расположены два дизель-генератора. Один

из них постоянно работает, а резервный быстро запускается в случае необходимости. Проход между двигателем и генераторами, пожалуй, единственное относительно свободное место в машинном отделении, все остальное пространство занято различными вспомогательными механизмами, приборами, трубами, щитами. В помещении чистота, двигатели аккуратно выкрашены светлой краской. Эта чистота наводится после ежегодного профилактического ремонта уже в плавании. Длительное плавание требует проведения промежуточного ремонта — моточистки, которая выполняется где-нибудь в порту в середине рейса и занимает 10—12 дней.

Кроме основных помещений на „Заре” есть еще много маленьких: лаговая, котельная, рефрижераторная, парусная кладовая и т. д. Трудно даже представить, как много различных вещей, представляющих ценность с точки зрения старшего механика и боцмана, может поместиться на таком маленьком судне. С точки же зрения науки, большинство предметов не нужны и даже вредны, так как являются источниками магнитных помех.

Как же была достигнута немагнитность судна и в чем она заключается?

При проектировании в основу был положен типовой проект финской парусно-моторной шхуны. Проектированию предшествовали измерения магнитных полей двух судов этого типа: учебного и грузового. Измерения показали, что любое типовое судно, несмотря на деревянный корпус и надстройки, обладает значительным магнитным полем. Поэтому встал вопрос о замене деталей из ферромагнитных металлов немагнитными. При этом, естественно, прочность деталей должна остаться прежней, а поле, создаваемое ими в месте установки приборов, должно быть существенно меньше погрешности измерений. Выполнение этого условия потребовало проведения исследований магнитных свойств маломангнитных металлов и сплавов, из которых изготавливались некоторые конструкции судна и детали механизмов, спе-

циальных расчетов и, наконец, измерения поля отдельных готовых узлов, устанавливаемых на судне.

Идеологом, непосредственным исполнителем проекта, а впоследствии первым начальником нескольких экспедиций был Михаил Михайлович Иванов, руководитель морского отдела Ленинградского отделения ИЗМИРАН. Приведем только один пример из книги М. М. Иванова „Магнитная съемка океанов” этой ответственной и хлопотливой работы — как был изготовлен гребной вал: „Размеры вала по проекту составляли: длина 6400 мм, диаметр от 132 до 141 мм (объем вала 1×10^5 см³). В первоначальном проекте предполагалось выполнить вал кованым из бронзы. Однако попытки изготовить такой вал как в Финляндии, так и в других странах не увенчались успехом, так как ни одна из фирм не могла гарантировать необходимого для обработки температурного режима и высокого постоянства температуры, а соответственно, и механических свойств по длине вала. После того как стало очевидно, что бронзовый вал изготовить не удастся, был поставлен вопрос о возможности его изготовления из немагнитной стали. Поскольку необходима была уверенность в том, что такая сталь будет обладать приемлемыми для нас свойствами, сохраняющимися и при длительной эксплуатации вала, с нашей стороны была предложена программа испытаний металла непосредственно из той его плавки, которая предназначалась для изготовления вала. Первые образцы дали положительный результат, магнитность оказалась достаточно малой. Но необходимо было убедиться в том, что, во-первых, и любые другие образцы из этой же плавки и сам вал будут иметь близкие магнитные свойства и, во-вторых, эти свойства сохраняются при работе вала. Для этой цели были отобраны еще 12 образцов, магнитные свойства которых были измерены как непосредственно после изготовления, так и после искусственного старения. После того как была откована заготовка вала, от нее был отрезан кусок

длиной 460 мм. Для этого образца были вновь определены магнитные свойства”.

Таким образом проверялся каждый вызывающий сомнение материал, который использовался для строительства „Зари”. Не очень доверчивые иностранные корреспонденты, любящие задавать вопрос: „Неужели на судне все немагнитное?”, сами пробовали и убеждались, что к якорям, якорь-цепям, вантам, кнехтам, лебедке и т. п. магнит не притягивается.

В 1964 г. жители Таллина могли наблюдать довольно странную картину: старший помощник капитана Владимир Иванович Узолин (с 1966 по 1976 г. капитан „Зари”) ходил по универмагу и, пользуясь магнитом, подбирал немагнитные ложки, вилки, чайники и прочий кухонный и хозяйственный инвентарь. Поскольку кают-компания расположена над магнитометрическими датчиками, всегда приходится помнить пословицу: „Комар в твоей комнате страшнее льва, который в Африке”.

И все-таки на „Заре” есть магнитные устройства, агрегаты и приборы, без которых не обойтись. В первую очередь — главный двигатель и генераторы. Все, что в них можно было заменить немагнитными материалами — баллоны сжатого воздуха, фундамент, трубопроводы, было заменено бронзой, латунью, немагнитной сталью, но двигатель остался, осталось примерно 8 т чугуна и железа. И единственным выходом было максимальное удаление магниточувствительных датчиков от создаваемых ими магнитных полей. Датчики находятся в носовой лаборатории на расстоянии примерно 20 м от главного двигателя. Все остальное оборудование отнесено еще дальше, в кормовую часть судна. Во время плавания систематически проводятся измерения девиации, которые позволяют довольно точно исключить влияние оставшегося на судне железа. Все время ведется тщательный контроль за возможными перемещениями предметов, обладающих собственным магнитным полем.

Если боцману или механику нужно пройти в носовую часть судна с гаечным ключом, скребком, ведром с краской или другим железным предметом, они сначала заходят в кормовую лабораторию, где делается соответствующая отметка на ленте самописца магнитометра.

Все эти меры принимаются лишь для одного — чтобы магнитометры измеряли только магнитное поле Земли и никакое другое. Почти все магнитометры сделаны специально для „Зари” в единственном экземпляре, то есть уникальны. В центре салона, немного ближе к носовой части судна, установлена гиросtabilизированная платформа, несущая датчики трехкомпонентного магнитометра, измеряющего вертикальную и горизонтальную составляющие магнитного поля Земли и магнитный курс судна. Этот прибор является основой всего комплекса магнитных измерений. Для измерений любой компоненты магнитного поля необходимо сориентировать датчик вдоль этой компоненты с высокой точностью и поддерживать эту ориентацию в процессе измерений. Для измерения вертикальной составляющей датчик должен быть сориентирован вдоль направления вертикали места, для измерения горизонтальной он должен быть не только строго горизонтальным, но и сориентирован в направлении магнитного меридиана. Стабилизация датчиков в горизонтальном и вертикальном направлениях достигается с помощью четырехгироскопной силовой гировертикали, которая для дополнительной стабилизации помещается в кардановом подвесе.

Направление магнитного меридиана узнается с помощью дополнительного устройства магнитной ориентации, позволяющего определить и магнитный курс судна. Зная курс судна относительно магнитного меридиана и курс судна по судовому гирокомпасу, мы можем вычислить значение магнитного склонения. Для контроля работы трехкомпонентного магнитометра раньше использовался двойной компас, а с 1976 г. — квантовый магнитометр на гиромаятнике, измеряющий горизонтальную

составляющую. Главный магнитный компас позволяет по магнитному пеленгу любого светила классическими способами рассчитать абсолютные значения склонения и как бы протарировать непрерывную относительную запись склонения на ленте самописца.

Одновременно с измерениями составляющих вектора индукции геомагнитного поля на „Заре” проводятся измерения и его модуля. Для этого применяется феррозондовый магнитометр, ведущий непрерывные измерения этого элемента, и абсолютный протонный магнитометр, позволяющий осуществлять периодический контроль за непрерывной записью.

Датчик феррозондового прибора непрерывной записи модуля вектора индукции размещен в салоне, датчик контрольного прибора — на верхней палубе. Магнитометры непрерывно совершенствуются, становятся более точными, надежными и удобными в работе. С 1977 г. на „Заре” перешли к измерениям модуля вектора индукции в буксируемом варианте, то есть поместили протонный магнитометр в буксируемой за судном на расстоянии 70 м немагнитной гондоле.

Приборы, установленные на немагнитной яхте „Карнеги”, позволяли проводить только дискретные измерения и требовали для этого остановки судна. Современные морские экспедиционные приборы работают непрерывно во время движения судна. Этот качественный скачок в морской магнитометрии оказался возможным только благодаря разработке новых физических принципов измерения магнитного поля, и их техническая реализация обусловлена общим развитием электронного приборостроения.

Первые приборы, которые использовались на „Заре” для непрерывной записи элементов магнитного поля, были изготовлены в одной из лабораторий ИЗМИРАН в 1952—1953 гг. Это были, по существу, первые макеты приборов такого типа в нашей стране, и, чтобы обеспечить их непрерывную работу, прибористам „Зари” при-

ходилось держать их под постоянным наблюдением.

После изготовления двух совершенно однотипных трехкомпонентных магнитометров, способных работать параллельно, удалось существенно повысить надежность магнитной съемки. Практически во время каждого плавания одновременно с работой аппаратуры, ставшей стандартной, проводится испытание и какого-либо нового прибора. Как правило, „новичок” один-два рейса работает параллельно со старым испытанным прибором, а потом дорога „старичку” одна — в институтский музей.

Испытание новых приборов делает работу магнитолога-прибориста на „Заре” очень интересной, хотя и трудной вдвойне: новый прибор, естественно, преподносит различные, и самые неожиданные, сюрпризы, но одновременно и рабочий основной комплекс требует непрерывных забот и постоянного внимания.

Эхолот на „Заре” хотя и не относится к магнитным приборам, но пользуется большим вниманием и уважением. Данные эхолотного промера, кроме самостоятельного значения, представляют большой интерес и для магнитологов. Видимый рельеф дна часто является отражением более сложного глубинного строения слоев верхней коры Земли под океанами, тех слоев, которые формируют аномальное магнитное поле.

Кроме этих приборов, на „Заре” до 1968 г. были установлены и действовали ионосферная станция и нейтронный монитор, позволяющие проводить изучение двух явлений, связанных с существованием магнитного поля. Ионосферная станция работает по тому же принципу, что и эхолот, только зондирующий импульс посылается не вниз ко дну, а вверх, и посылается не ультразвуковой импульс, а электромагнитная волна. Отраженный от электропроводящего атмосферного слоя импульс принимается приемником ионосферной станции, и по времени между посылкой и приемом устанавливается высота проводящего слоя. Изучение ведется на

разных частотах, что позволяет определить концентрацию электронов на различных высотах. С одной стороны, заряженные частицы как бы „регулируются” магнитным полем Земли, а с другой — токовые системы, возникающие в проводящем слое, создают магнитное поле, меняющееся во времени и искажающее постоянное геомагнитное поле самой Земли. Высота проводящих слоев и концентрация в них электронов существенным образом влияют на распространение радиоволн.

Нейтронный монитор позволяет получить представление о пришельцах из других миров — космических лучах. И в этом случае магнитное поле Земли выполняет роль „хозяина дома“, регулирующего поступление частиц космических лучей в зависимости от их энергии на определенные магнитные широты. Нейтронный монитор, как и ионосферная станция, обслуживается одним сотрудником.

Главной задачей магнитных наблюдений в двух экспедициях 1965—1967 гг., о которых будет рассказано в следующих главах, являлось изучение пространственно-временной структуры магнитного поля а) для уточнения генеральных магнитных карт Атлантического и Индийского океанов, Средиземного и Красного морей; б) для определения векового хода магнитного поля Земли и составления карт векового хода для этих океанов и морей; в) для изучения магнитных аномалий морей и океанов, в частности для выяснения связи аномалий с геологическим строением и рельефом дна. Измерения глубин, выполняемые непрерывно во время всего рейса, должны были дать материал для уточнения карт глубин района работ и привязки магнитных измерений к особенностям рельефа дна. Ионосферные наблюдения и измерения интенсивности космических лучей на океанах в местах, где нет соответствующих обсерваторий, позволяли установить зависимость этих явлений от широты и долготы места измерений и величины магнитного поля Земли. Помимо указанных наблюдений и измерений, в

экспедиции 1966—1967 гг. для определения скоростей поверхностных течений проводилась регистрация электрических токов в океане с помощью электродов, буксируемых за судном.

Маршруты судна и заходы его в иностранные порты планируются в соответствии с поставленными задачами. В 1965—1967 гг. „Заря” посетила Копенгаген, Рейкьявик, Понта-Делгада (Азорские острова), Конакри, Фритаун, Монтевидео, Джеймстаун, Дакар, Гибралтар, Порт-Саид, Аден, Порт-Луи, Фримантл, Сингапур, Коломбо. Основная цель заходов в порты — пополнение судовых запасов воды, топлива, продовольствия и сличение магнитных приборов в ближайших магнитных обсерваториях с международным магнитным стандартом с помощью кварцевых магнитометров Датского метеорологического института. Стоянки используются также для встреч с учеными-геофизиками посещаемых стран и ознакомления заинтересованных лиц с работами, проводящимися на „Заре”.

Интересно сопоставить программу работ „Зари” с указаниями Британского Адмиралтейства капитанам судна „Доротея” и „Трента” Бьюкенсу и Россу, отправлявшимся в 1818 г. в экспедицию для открытия Северо-Западного прохода: „... Если вам удастся достигнуть полюса, вы остановитесь там на несколько дней, чтобы сделать точные наблюдения. Кроме всех остальных научных и заслуживающих внимание наблюдений, вы должны особенно проследить за отклонением магнитной стрелки и за интенсивностью магнитной силы, а также насколько далеко распространяется влияние атмосферного электричества. Вы должны исследовать течение, глубины, природу дна ...”

Между двумя программами много общего: магнитные измерения, промер глубин, изучение атмосферного электричества. Это понятно — накопление знаний о планете Земля идет непрерывно, и каждая экспедиция вносит свой посильный вклад в этот вечный процесс.

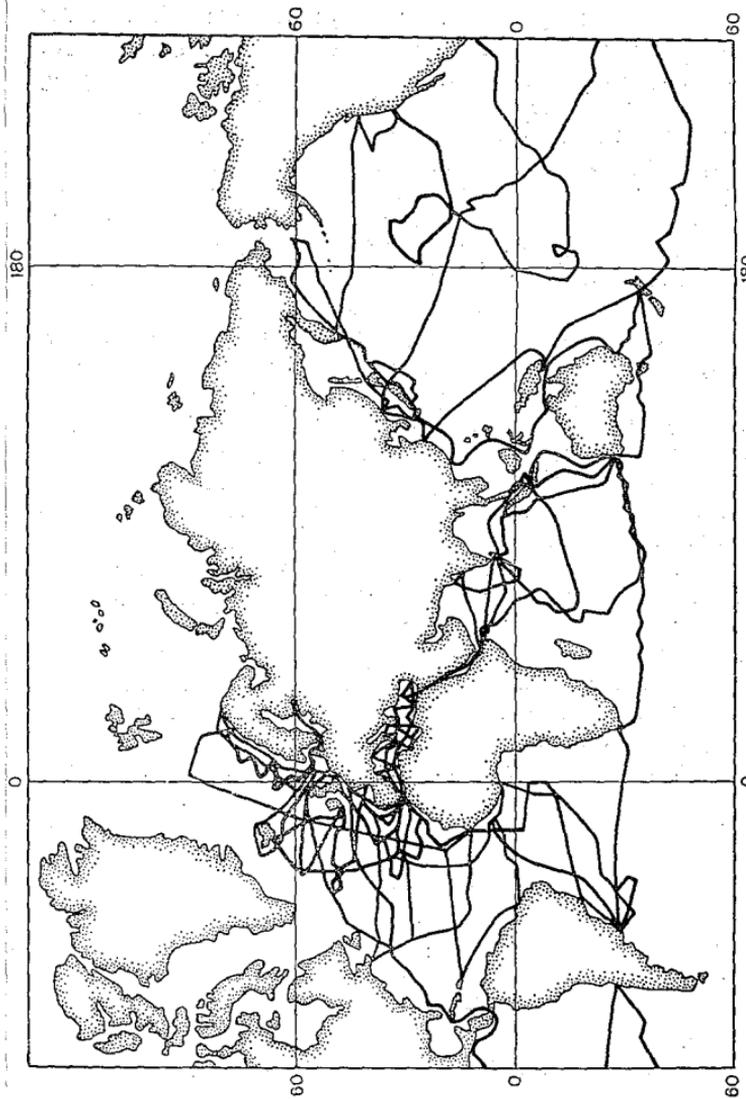
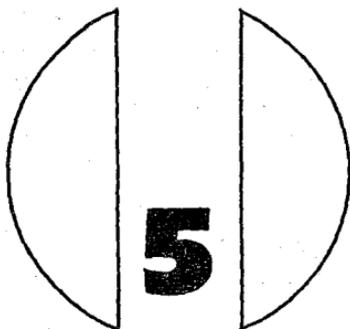


Рис. 7. Схема рейсов шхуны "Заря" с 1956 по 1984 г.

В изучении магнитного поля Земли на океанах эта непрерывность прослеживается отчетливо. Экспедиции на „Галилее” и „Карнеги” продолжили работу Эдмунда Галлея на корабле „Пэрамур Пинк”. Работы „Карнеги” продолжены „Зарей”. Изменяется уровень исследований, техническое оснащение экспедиций и, главное, уровень понимания тех явлений и процессов, которые мы изучаем. Можно также проследить и смену задач исследований. Задачей экспедиции Галлея было получение данных для построения магнитных карт. Продолжая это дело, „Галилей” и „Карнеги” стремились получить сверх того данные о вековых изменениях магнитного поля. Для „Зари” получение данных о вековом ходе стало уже основной задачей. Но кроме этих задач появилась новая — изучение аномальности магнитного поля в связи с геологическим строением дна океана.

Учитывая новые возможности непрерывных магнитных съемок в движении для геологической интерпретации, ученые планировали маршруты первых и последующих рейсов „Зари” таким образом, чтобы пересечь как можно больше различных геолого-тектонических провинций океанического дна: шельфа, материкового склона, глубоководного ложа и океанических хребтов. Так было и в рейсах 1965—1966 и 1966—1967 гг. А всего за экспедиционные плавания с 1956 по 1984 год „Заря” прошла (рис. 7) с непрерывными измерениями магнитного поля Земли около 350 тыс. морских миль.



Тот, кто приступает к изучению наук, должен быть молодым и скромным, иметь хорошее здоровье, быть нравственным и воспитанным, принципиальным, далеким от хитрости и обмана и воздерживаться от дурных поступков...

Аль-Фараби

КАК НАЧИНАЕТСЯ МОРСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ. ЖИЗНЬ В МОРЕ

Эта глава, написанная от первого лица А. Н. Пушкиным, вводит читателя в круг забот и обязанностей начальника экспедиции, в трудности и радости экспедиционной жизни.

О строительстве в нашей стране немагнитного судна я впервые услышал в 1952 г., когда был студентом четвертого курса Московского университета. А позже в 1959 г. на залитом солнцем Одесском рейде я увидел трехмачтовое судно, резко выделявшееся стройностью и какой-то подчеркнутой опрятностью среди громад торговых и пассажирских судов.

Мне удалось посетить „Зарю“, готовившуюся к длительному рейсу в Индийский океан. Я ходил по судну, охваченному предотходной суетой, расспрашивая участников экспедиции о предстоящем плавании и не скрывая белой зависти. В разговоре счастливицы небрежно перечисляли порты заходов: Бомбей, Калькутта, Джакарта, Мельбурн — от одних только названий захватывало дух и перед глазами в мареве одесского порта вставали пальмы тропиков, раскачиваемые свежим бризом, выплывали коралловые острова.

С момента первой встречи с „Зарей” прошло пять лет, и в 1964 г. я получил паспорт моряка, в котором указывалось, что его владелец является участником экспедиции на научно-исследовательском судне „Заря”. В маленьком эстонском порту Локса я поднялся на борт „Зари” уже не как экскурсант, а как равноправный участник экспедиции. И с этого момента четыре года моей жизни и работы были тесно связаны с этим судном. В первом своем плавании на нем, в седьмом рейсе „Зари”, я был научным сотрудником, в двух последующих рейсах — начальником экспедиции.

Писать о „Заре” трудно — не считая бесчисленных очерков и заметок в периодических изданиях о ней написано уже три книги. Одна — путевой дневник капитана „Зари” А. Б. Юдовича, вторая — увлекательное описание рейса „Зари” к островам Тихого океана корреспондента газеты „Комсомольская правда” Л. П. Плешкова, третья, на чешском языке, написана участником седьмого рейса чешским журналистом Иржи Таборским. О судне сняты и два научно-популярных фильма, которые, к сожалению, можно теперь найти только в Госфильмофонде.

Мне бы хотелось рассказать об экспедициях „Зари”, то есть о том, ради чего маленький коллектив советских людей на семь-восемь месяцев покидает родную землю, рассказать о трудностях и радостях повседневной будничной жизни и о работе этих людей. Естественно, что романтика плавания и экзотика тропиков отходят при этом на второй план.

На вопрос: „Что тянет человека в море?”, ответить трудно. Наверное, каждый ответит по-своему. Меня, кроме очень интересной работы, привлекает удивительное сочетание постоянства и размеренности судовой жизни с ощущением широты и необъятности мира, которое редко чувствуешь на суше, неповторимость каждого прожитого дня, непрерывная смена впечатлений, даже когда, казалось бы, ничего особенного не происходит.

За эти годы мне пришлось много сталкиваться и тесно общаться с людьми, профессионально связанными с морем, — рыбаками, моряками с торговых судов, участниками морских экспедиций — людьми разного возраста, разных характеров и привычек. Могу утверждать, что море не терпит людей случайных, людей, не любящих своей работы, своей трудной профессии. Человек, привлеченный только романтикой странствий или высоким заработком, после первых же серьезных испытаний расстается с морем. Не даром кто-то сказал, что моряк — это даже не профессия, а состояние души. Почти все мои „соплаватели” были личностями яркими, интересными, и совместная работа с ними навсегда останется в моей памяти.

Новая экспедиция на „Заре” начинается практически сразу же после окончания предыдущей. Судно становится на очередной ремонт, что означает для его экипажа начало подготовки к новому рейсу. Приборы снимаются и отвозятся в магнитную обсерваторию Воейково под Ленинградом. Прибористы начинают устранять замеченные в рейсе несовершенства и менять недостаточно надежные, по их мнению, блоки, а это почти нескончаемая работа, к которой с опасением присматриваются „консерваторы” — обработчики, придерживающиеся принципа: „лучшее — враг хорошего”.

В это же время составляется детальная программа нового рейса. В ее составлении принимают участие заведующий отделом морской магнитной съемки ЛЮ ИЗМИРАН, начальник экспедиции и капитан судна. Будущий экспедиционный рейс необходимо продумать так, чтобы максимально использовать попутные ветры и течения. При составлении программы, естественно, возникают почти непреодолимые противоречия. С одной стороны, возможности „Зари” ограничены — переход от порта до порта не должен быть больше 3000 миль (примерно 20 суток плавания), с другой — хочется сделать как можно больше съемочных галсов, причем в тех

местах, где еще никто не работал, и при этом нужно постараться пересечь маршруты предыдущих экспедиций для определения вековых изменений магнитного поля. Белых пятен, где не проводились еще магнитные измерения, много, но они остались в основном в труднодоступных для „Зари“ районах океана.

Маршруты экспедиции перекраиваются несколько раз, и все-таки остаются один-два таких, которые за 20 суток можно будет пройти только в том случае, если ветер и течения действительно окажутся попутными. Ветер и течения — явления, как правило, сезонные, и составленная программа строго сжата определенными временными рамками.

Начинается подготовка к своевременному выходу в рейс. Для этого необходимо вовремя закончить ремонт и укомплектовать полностью экипаж судна. В Институте земного магнетизма есть свои магнитологи, ионосферисты, космики, но нет штурманов, механиков, матросов, поэтому приходится обращаться за помощью в различные пароходства. Как правило, экипаж набирается из того пароходства, к которому принадлежит порт, где „Заря“ стоит и ремонтируется в данный момент. Но длительные плавания вынуждают заходить на ремонт в разные порты — Таллин, Одессу, Владивосток, Мурманск — и отсутствовать в родном Ленинграде годами. Это устраивает не всех моряков и особенно отделы кадров пароходств.

В 1965 г. перед экспедицией в Атлантический океан особенно трудно было с обслуживающим персоналом. „Заря“ ремонтировалась в Локсе, и основной состав экипажа набирался в Эстонском пароходстве. Из Таллина прислали двух здоровых ребят, мотористов по образованию, но готовых на любую работу, — Петера Тамма и Валентина Ильичева. Они заняли должности буфетчицы и уборщицы. Должность камбузника занял Виктор Сердюк, тоже моторист, но знакомый с секретами кулинарии по службе в армии. Когда же из Таллина

пришлали вместо пекаря практиканта, будущего штурмана, капитан судна Борис Васильевич Веселов, вздохнул: „Надо ехать и просить хотя бы еще одного, кто действительно умел бы готовить. Восемь месяцев плавания с одним поваром — дело тяжелое”.

На следующий день я уже был в Управлении Эстонского пароходства, и Николай Павлович Курьянов — начальник пароходства — внушал мне, что все, что можно, и даже несколько больше, он уже сделал — послал четырех специалистов, кроме этого на „Заре” два штурмана, радист, электрорадионавигатор — все из его пароходства. Но все-таки оказалось, что он может помочь еще. Участвовавший в предыдущем рейсе пекарь Володя Красников сам обратился к Николаю Павловичу с просьбой отпустить его еще на один рейс, и его просьба была удовлетворена.

Вполне понятно, что мотористы, исполнявшие обязанности уборщицы, буфетчицы и камбузника, по окончании рейса ушли работать по специальности, и в следующем рейсе пришлось снова искать им замену.

В 1965 г. последняя трудность была связана с подбором врача. Выход в рейс задержался на два дня — ждали назначенного врача Льва Шумилова, который затем плавал на „Заре” еще несколько лет. Его специальность — педиатр — как нельзя более подошла судну, имеющему очень молодой состав. Впоследствии его своевременные и квалифицированные действия при воспалении аппендикса у одного из членов экспедиции доказали, что он разбирается не только в детских болезнях.

Особые трудности возникают с представителями такой профессии, как электрорадионавигатор. На научном судне с него особый спрос, и хочется иметь не просто специалиста, а специалиста хорошего. В 1966 г. нам наконец удалось в том же Таллинском пароходстве найти навигатора, который полностью подошел для работы на „Заре”. По тому, как и с чем человек первый раз по-

явился на судне, уже можно судить о его качествах. Борис Степанович Спириин неторопливо поднялся на борт шхуны с внушительным чемоданом запасных деталей, и всем стало ясно, что пришел настоящий профессионал.

Чем ближе день отхода, тем больше возникает неотложных дел, незавершенных и совершенно обязательных работ, без окончания которых выход невозможен. За два-три месяца до этого казалось, что все или почти все уже закончено и можно выйти значительно раньше. За месяц до отхода розовый оптимизм уступает место черному пессимизму — теперь ясно, что в срок закончить ремонт не удастся, необходимое судовое снабжение получено не будет, выход задержится на месяц и весь план экспедиции окажется практически невыполнимым.

Но время идет, и все как-то становится на свои места. Завод заканчивает работы с главным двигателем и вспомогательными механизмами, магнитометрическая аппаратура уже установлена сотрудниками научной группы. Наступает знаменательный день — проведение швартовых испытаний главного двигателя. Человеку, несведущему в судовых двигателях, буквально за два дня до этого может показаться, что двигатель вообще собрать не удастся. Это ощущение усугубляется как всегда туманными, по доброй морской традиции, ответами старшего механика Александра Александровича Гуржи на прямые и грубые вопросы о готовности: „...да, постараемся, наверно, успеем, если бы не раскеп”. И вот хлопок, толчок, что-то в машинном отделении заворочалось, еще толчок... Из выхлопной трубы вылетает облако сажи, и двигатель, стоявший всю зиму в разобранном состоянии, начинает работать. Судно оживло, задышало, и всем стало ясно — выход в плавание близок.

Второе событие, приближающее начало экспедиции, — ходовые испытания. К этому моменту на судне уже работает свой камбуз, живет большая часть экипажа. Этого дня ждут прибористы экспедиции, так как во время выхода можно опробовать все измерительные системы. После

ходовых испытаний „Заря” покидает завод и становится к стенке в порту.

Последняя неделя перед выходом в плавание особенно тяжела для старшего механика и старшего штурмана. Каждый новый день — новые хлопоты. Судно должно быть предъявлено строгой комиссии, которая определяет его готовность к выходу. За время трех экспедиций у меня сложилось впечатление, что самые „страшные” на свете люди — представители пожарной и санитарной инспекции. Может быть, это произошло потому, что на деревянном судне пожарникам раздолье и разговоры о противопожарных мероприятиях идут практически до самого выхода. С санинспекцией мне приходилось сталкиваться непосредственно и неоднократно и вести долгие разговоры о невозможности установки на судне при дизель-генераторе мощностью всего 25 кВт систем кондиционирования и опреснителей, которые, к тому же, вносят дополнительные помехи в магнитные измерения.

Наконец день отхода наступил. Тридцать шесть человек уходят на семь-восемь месяцев в море на судне, имеющем 630 т водоизмещения и двигатель в 300 л. с. На причале толпится народ: родственники уходящих в море, товарищи по работе. Звучат пожелания счастливого плавания, попутного ветра, в общем все, что положено при проходах в дальний путь. „Заря” отходит от стенки, дает три долгих прощальных гудка, и для всех нас начинаются первые экспедиционные сутки. Каждый день будет почти похож на другой, и двадцать суток перехода от одного порта до другого сольются в один сплошной рабочий день. Двадцать суток непрерывно работает научная аппаратура, через каждые четыре часа меняются судовые вахты и вахта в научной лаборатории. Ни штормы в северных широтах, ни изнуряющая жара тропиков не прерывают рабочего ритма.

Во время рейса 1965—1966 гг. каждое утро в семь часов в научном салоне раздавался бодрый голос буфетчика Петра Тамма: „Товарищи, вставайте, завтрак готов!”

Миша, вставай! Вставайте, Юрий Сергеевич!" Очень трудно в относительно маленьком помещении, вставая и обмениваясь утренними приветствиями, не разбудить ночного вахтенного, сменившегося в четыре часа утра, особенно в тропиках, когда раскрыты двери всех кают.

Заместитель начальника экспедиции Николай Евдокимович Попков к этому времени уже на ногах и успел сделать несколько магических пассов руками и ногами — утреннюю зарядку, которую он один из немногих делает систематически. На судне периодически возникает эпидемия — увлечение зарядкой. По утрам начинаются занятия штангой (кстати, она тоже немагнитная), кто-то пытается бегать на месте или подтягиваться на турнике. Это происходит на главной палубе у меня над головой и, к счастью, продолжается недолго.

Утром перед завтраком мне нужно пройти в кормовую лабораторию, поговорить с вахтенным, посмотреть, как работали приборы ночью, а затем пройти в штурманскую рубку, где к этому времени капитан или старший помощник уже закончили вычисления координат по утренней обсервации и нанесли наше положение на карту.

Для „Зари“, как и для любого экспедиционного судна, определение координат и точное счисление пути являются одним из важнейших элементов работы. Точность определения местоположения судна входит в окончательную точность наших магнитных измерений. Ведь результаты измерений в конечном итоге ложатся на магнитную карту, и как бы ни были эти измерения точны сами по себе, значительные ошибки в привязке могут свести на нет все усилия магнитологов.

Первыми в кают-компании и столовой команды появляются идущие на восьмичасовую вахту. Завтрак в кают-компании проходит относительно мирно. Редко за завтраком можно услышать едкий намек на исключительную прожорливость представителей „порга пяти морей“ или замечание об уровне воды в реке Москве. Основной состав экспедиции — ленинградцы, один-два

сотрудника из Москвы, но москвичи народ зубастый и в обиду себя не дают. За утренним чаем коротко сообщаются результаты вечерних встреч в домино. Проигравшие, как правило, скромны, победители исподволь, намеками сообщают о разгромном счете, но основные дискуссии откладываются до вечера — впереди у всех много работы.

На „Заре” почти весь экипаж несет постоянную вахту. Формально от вахты свободен капитан, но ему приходится подстраховывать третьего штурмана, а в плохую погоду капитан вообще забывает, где его каюта. Свободны от ходовой вахты радист, электронавигатор, судовой врач, боцман, электрик, работники „пищеблока”, уборщица и буфетчица. У них свой, и не менее напряженный, распорядок дня. Девять научных сотрудников должны обеспечить вахту в лаборатории, обработку материалов, ремонт приборов. Как правило, космик и ионосферист, начальник экспедиции и его заместитель вахты не несут.

В первый период экспедиции, пока приборы не начнут работать совершенно надежно, большую часть вахты несут прибористы, а затем включаются сотрудники, проводящие обработку материалов. После утреннего завтрака в кают-компании до обеда под руководством начальника экспедиции проводится обработка, в которой участвуют свободные от вахт и подвахтенные. Обработка — процесс долгий, довольно тонкий, и работа есть всегда.

На палубе в это время ведутся обычные судовые работы. Электрик ковыряется в деталях электрооборудования, на камбузе начинают чистить картошку, боцман что-то чинит или подкрашивает. Если погода хорошая, на палубу выходят свободные от ходовой вахты и устраиваются загорать. Перед обедом желающие могут принять соленый душ. Как только „Заря” входит в зону, где температура воды выше 18 °С, на палубе устанавливается ручная помпа. Если волнение моря превышает четыре балла, то можно обойтись без помпы — волна свободно гуляет по кормовой части главной палубы.

В половине двенадцатого в кают-компании появляются заступающие на двенадцатичасовую вахту, затем свободные от вахты и после двенадцати — сменившиеся с вахты. После обеда разговоры в кают-компании более продолжительны, охватывают значительно больший круг вопросов, затягиваются иногда на целый час. После вечернего чая до ужина в кают-компании снова обработка. Перед ужином происходит еще одно важное событие: на путевую карту наносятся результаты вечерней обсервации и, кроме этого, на обзорной карте отмечается путь, пройденный судном за сутки. Эту ответственную операцию выполняет капитан.

Ужин заканчивает рабочий день, и в кают-компании наступает время жарких спортивных встреч. Основным видом соревнований является домино, партнеры хорошо сыграны — играют вторую или третью экспедицию вместе. За ужином решается проблема — какой фильм смотреть? На судне 36 человек, и каждый имеет собственное мнение о том, что следует сегодня показывать, но вопрос решается практически теми, кто после ужина идет устанавливать аппаратуру. Есть на судне свои любимые фильмы, которые все знают почти наизусть, но готовы смотреть снова. Трудно определить, как складываются эти симпатии. Во время рейса 1965—1966 гг. любимым фильмом была „Командировка“, в 1966—1967 гг. — „Ранние оперетты Дунаевского“. В десять-одиннадцать часов вечера „Заря“ затихает до следующего утра, но работа не прекращается: вахтенный матрос у руля, штурман и второй матрос — на передней надстройке, в машине — механик и моторист, в кормовой лаборатории — вахтенный магнитолог. Ночью на камбузе выпекается свой и очень неплохой хлеб.

Казалось бы, плавно и однообразно течет жизнь: вахта, еда, обработка, сон, вахта. Быстро, на третий-четвертый день, привыкаем к этому ритму, и начинает казаться, что не было перерыва в экспедициях. Судно идет вперед, приборы перематывают километры лент.

В то же самое время за этой будничной, повседневной, размеренной жизнью скрыто большое напряжение: выход из строя генератора означает остановку всего научного оборудования и перерыв в наблюдениях; остановка главного двигателя грозит задержкой на переходе и неприятностями со сроками последующих заходов. Поломка даже одного магнитометрического прибора означает пробел во всем комплексе измерений, и приборист научной группы в любое время ночи готов вскочить с койки и бежать к своему „подопечному“. И днем и ночью вся команда может быть поднята по авралу на постановку или уборку парусов. В зоне устойчивых ветров паруса не требуют особого внимания, и палубная вахта с помощью машинной группы может подтянуть снасти по мере надобности, но в зоне переменных ветров авралы могут быть по несколько раз за ночь, и тогда нужны все.

Что делает вахтенный в научной лаборатории? На первый взгляд, работа довольно простая. Приняв вахту, нужно записать в журнал температуру в помещении, курс судна, его скорость, проверить напряжение источников питания. Через каждые полчаса вахтенный делает отметку на лентах самописцев, а также отметки при всех сменах курса. Каждый час вахтенный спускается в научный салон и отсчитывает по двойному компасу значение горизонтальной составляющей. Вернувшись в лабораторию, снимает показания этого элемента с лент самописца и находит разность между отсчетами двух приборов. В середине вахты проводятся измерения величины модуля вектора индукции протонным магнитометром. Если какой-либо из приборов начинает капризничать, вахтенный будит прибориста. Вахтенный производит смену лент на регистраторах, заливку чернил в чернильницы самописцев. Две последние операции не пользуются у вахтенных любовью, хотя первая совершенно безобидна и не требует особого труда. Вахтенный прикидывает — хватит или нет ленты еще на один час, чтобы его сменщик выполнил эту работу. Если не хватит, приходится ме-

нять самому — об этом делается соответствующая запись. Лента нумеруется, и она — основной результат измерений, по существу то, ради чего мы плаваем. На ней все данные, позволяющие проводить дальнейшую обработку. Вторая операция — заливка чернильницы и, если необходимо, ее чистка — действительно одна из трудных операций, особенно при качке: хорошо вычистили — льются чернила, оставляя кляксы, лента размокает и рвется; плохо вычистили — чернила перестают поступать. Как правило, борьба с чернильницей заканчивается в пользу вахтенного, но следы в виде красных трудносмываемых чернильных пятен остаются на лице, руках и одежде. В Монтевидео посетивший судно уругвайский физик при виде знакомых самописцев пришел в неопиcуемый восторг. По его жестам и выражению лица было ясно, что чистка чернильниц самописцев — процесс одинаковый на всех континентах.

Вахта проходит спокойно, если спокойно море, но в шторм, когда все двери задрены, это дело серьезное. Для того чтобы попасть в научный салон, надо вылезти через кап машины, хватаясь за леера, перебраться с кормовой надстройки на носовую, спуститься по скоб-трапу вниз, увернуться от набегающей волны и проскочить в дверь салона. Обратный путь тот же. Вернувшись, необходимо выполнить еще одну мало приятную работу: где-то через щель в кормовую надстройку поступает вода и ее приходится вычерпывать. В штормовые дни особенно важно следить за напряжением источника, питающего гиросtabilизированную платформу. Изменение напряжения может привести к падению платформы, нарушению юстировки датчиков, а это — величайший позор для вахтенного и удар по всей экспедиции.

Наша жизнь, работа, самочувствие очень тесно, теснее, чем на другом судне, связаны с состоянием океана. Если вас качает сутки, другие, третьи — жизнь начинает казаться мрачной, вы устаете, появляется раздражитель-

ность. Приборы имеют свойство выходить из строя именно в это время. Точность измерений существенно снижается, а когда качка достигает 35—45°, наблюдения приходится прекращать вообще. К счастью, сильные штормы, как правило, не столь уж длительны, но почему-то создается ощущение, что время остановилось и хорошей погоды уже никогда не будет. Наконец, ветер стихает, океан постепенно успокаивается, и „Заря“, слегка накренившись под всеми поднятыми парусами, легко подминает набегающие валы и наверстывает упущенные мили. Соответственно поднимается настроение, а прошедший шторм кажется далеким прошлым.

При переходе из северных широт к югу с каждым днем становится заметно теплее, постепенно прячутся незамеченные ватники, а основной формой на верхней палубе становятся шорты. Начинают появляться летучие рыбы. Целыми стаями серебристых бабочек вырываются они из морской глубины и, описав пологую дугу, скрываются в воде. Иногда проплывающее мимо стадо дельфинов присылает несколько разведчиков. Если на палубе в этот момент оказываются фотографы, то дельфины не прочь продемонстрировать несколько эффектных прыжков.

Бескрайняя даль, синее небо с отдельными белыми барашками облаков рождает ощущение беспредельности мира и беспричинной радости. Утром еще прохладно, палуба влажная, особенно чувствуется запах моря. Вечером огромный диск солнца медленно опускается в океан и как бы выплавляет под собой кусок моря, на палубе собираются желающие увидеть зеленый луч. Темнота наступает почти мгновенно. Крупные звезды медленно качаются где-то высоко-высоко. Волны океана слегка фосфоресцируют, и за кормой судна остается длинная светящаяся дорога.

С приближением к экваториальным широтам становится все жарче. Температура забортной воды неуклонно растет. Днем почти вертикальные лучи солнца накаляют палубу. Чтобы она не рассыхалась, дважды за день па-

лубная команда скатывает палубу забортной водой. В каютах становится душно, и на верхней палубе трудно найти укромное место для ночлега. Ночью океан пылает зеленоватым светом, вокруг судна, как следы трассирующих пуль, мелькают стайки летучих рыб.

Тяжелые дни наступают для машинной команды. Машинное отделение превращается в самое жаркое место на судне, если не считать камбуза, и забортная вода уже не в состоянии нормально охладить дизель-генератор и главный двигатель. Падают его обороты, хотя старший механик Александр Александрович клянется, что все на месте и обороты прежние. Он извелся совсем, ходит по судну и выключает лампочки, стараясь уменьшить нагрузку генератора. Включение же электрического насоса для скатывания палубы расценивается им как личное оскорбление.

На горизонте появляются облака, а за ними грозовые тучи. Часто налетают шквалы с ливнями. Мгновенно палуба заполняется голыми намыленными людьми. Медлить тут нельзя: не успеешь вымыться, жди следующего шквала, почесывая спину, покрытую подсыхающей мыльной коркой.

После того как санэпидемическая служба ввела ограничение на продолжительность перехода, сведя ее к 20 дням, отпала особая надобность в экономии пресной воды, но к ней по-прежнему относятся бережно. А во время рейса 1964 г. экономия воды проводилась неуклонно. Стражем воды был Владимир Иванович Узолин, бывший в то время старшим помощником. Принимаемые им меры и популярные беседы о том, что „вода дана людям для питья, а шею и дома можно помыть”, принесли свои результаты: на „Заре”, какой бы длинный переход ни был, через каждые десять дней можно было помыться под горячим душем.

В первую же неделю плавания завершается формирование коллектива, начатое в период подготовки к экспедиции. Каждый член экспедиции должен найти свое место

в общей работе, в общей жизни единого сложного организма — научно-исследовательского судна. Трудно придется человеку, если он неуживчив, лишен чувства юмора, мнителен или, не дай бог, ленив. Такое в море не прощается. Его „болевые точки” будут своевременно обнаружены, и можно быть уверенным, что ни один подходящий случай „нажать” на них упущен не будет. Как правило, коллективное воспитание бывает хотя и весьма жестким, но результативным.

Естественно, что рассказ о коллективе судна надо начинать с „первого после бога” — капитана. Во время восьмого рейса (1965—1966 гг.) капитаном судна был Борис Васильевич Веселов. В 1966 г. его сменил Владимир Иванович Узолин, прошедший на „Заре” путь от третьего штурмана до капитана.

Борис Васильевич и Владимир Иванович — люди разных характеров, разного жизненного опыта, привычек, да и внешне выглядят совершенно различно, но одна черта у них общая — любовь к морю, любовь к своей профессии. Борис Васильевич стал матросом в предвоенные годы, во время войны был боцманом торпедного катера, после войны связал свою судьбу с последними парусными судами. Владимир Иванович после окончания мореходного училища плавал на рыболовных судах, а затем перешел на „Зарю” третьим штурманом, через год стал вторым, а затем и старшим помощником капитана. Любовь к морю отождествляется для него с любовью к „Заре”, которую он знает в полном смысле слова „от кила до клотика”.

Сложным вопросом на научно-исследовательских судах, в значительной мере определяющим успех работы, являются взаимоотношения между капитаном и начальником экспедиции. В свое время Амундсен, чтобы избежать возможных противоречий, стал капитаном. На „Карнеги” капитан Олт взял на себя всю ответственность, связанную с проведением измерений, как начальник экспедиции. С обоими капитанами „Зари” я жил дружно,

и в основу этих нормальных отношений было положено взаимное уважение и полное доверие. Оба они помогли мне, начинающему начальнику экспедиции, во время восьмого рейса. Вместе обсуждали мы все возможные варианты маршрута при планировании двух рейсов — восьмого и девятого, а во время плавания принимали совместные решения об их необходимых изменениях.

Если старший помощник является действительным хозяином судна и руководителем палубной команды, то старший механик отвечает за сердце судна — двигатель, его энергетику и работу машинной команды. На научно-исследовательском судне выход из строя электрогенератора означает много больше, чем сутки-двое без электрического света, — это перерыв в измерениях, ради которых судно вышло в рейс. Можно сказать, что со старшим механиком „Заре” повезло. Со времени капитального ремонта, произведенного в 1963 г., старшим механиком на „Заре” плавает Александр Александрович Гуржи. Во время седьмого рейса он был вторым механиком, но по существу уже тогда был хозяином машинного отделения. При нем стабилизировался, закрепился состав машинной команды. Появился второй постоянный механик — Александр Васильевич Орлов.

Все ремонты „Зари” с 1963 г. проходят при непосредственном участии Александра Александровича, при этом всегда страдает его отпуск. Через жизнь Александра Александровича, как и Бориса Васильевича, тоже прошла война. Он плавал на маленьких тральщиках. Блокаду провел в Ленинграде, а затем с тральщиками, которые ласково называли „каэмками”, двинулся на запад, расчищая голубые дороги от мин. После войны — годы заочной учебы и плавание механиком на учебных парусно-моторных судах. Кроме чисто технических сведений, он помнит все выдающиеся события спортивной жизни, и в первую очередь футбола и хоккея. Машинная команда идет всегда за советом к „деду”, и во всем чувствуется, что он хозяин машины и признанный авторитет по всем

вопросам, связанным с техникой. Александр Александрович любит и знает историю флота, любит поговорить о традициях и былой славе.

На маленьком судне с экипажем в 36 человек было признано разумным обязанности первого помощника передать заместителю начальника экспедиции. Во время восьмого рейса заместителем начальника был Николай Евдокимович Попков — старейший магнитолог, экспедиционный работник, зимовавший на дрейфующей станции „СП-2” и в Антарктиде и много раз участвовавший в плаваниях „Зари”. Регулярно слушали мы политинформации, материал для которых Николай Евдокимович не всегда легко вылавливал из эфира. Вся ответственная работа по сверке стандартов в магнитных обсерваториях во время рейсов лежит на нем и результаты его наблюдений всегда внушают полное доверие. Также ответственно и высокопрофессионально занимался он и обработкой экспедиционных материалов.

Во время рейса 1966—1967 гг. заместителем начальника экспедиции стал Борис Михайлович Цуцкарев — опытный приборист, много лет до этого плававший на „Заре”. Наряду с основной работой он проводил эксперименты с новым прибором. Борис Михайлович умудрялся соединять политико-воспитательную работу с экипажем со своей сугубо технической так, что обе они ни сколько не страдали.

За время плавания на „Заре” мне пришлось столкнуться с двумя радистами, которые были очень хорошими специалистами и хорошими надежными товарищами, хотя по складу характера и стилю работы совершенно противоположными людьми. Женя Тормозов плавал во время седьмого рейса в 1964 г. Работал он удивительно легко и как бы шутя — никогда не слышали от него, что трудно с прохождением радиограмм или что аппаратура неисправна. Телеграммы он принимал в любое время и в любом количестве и передавал их удивительно быстро. Складывалось такое впечатление, что все радисты совет-

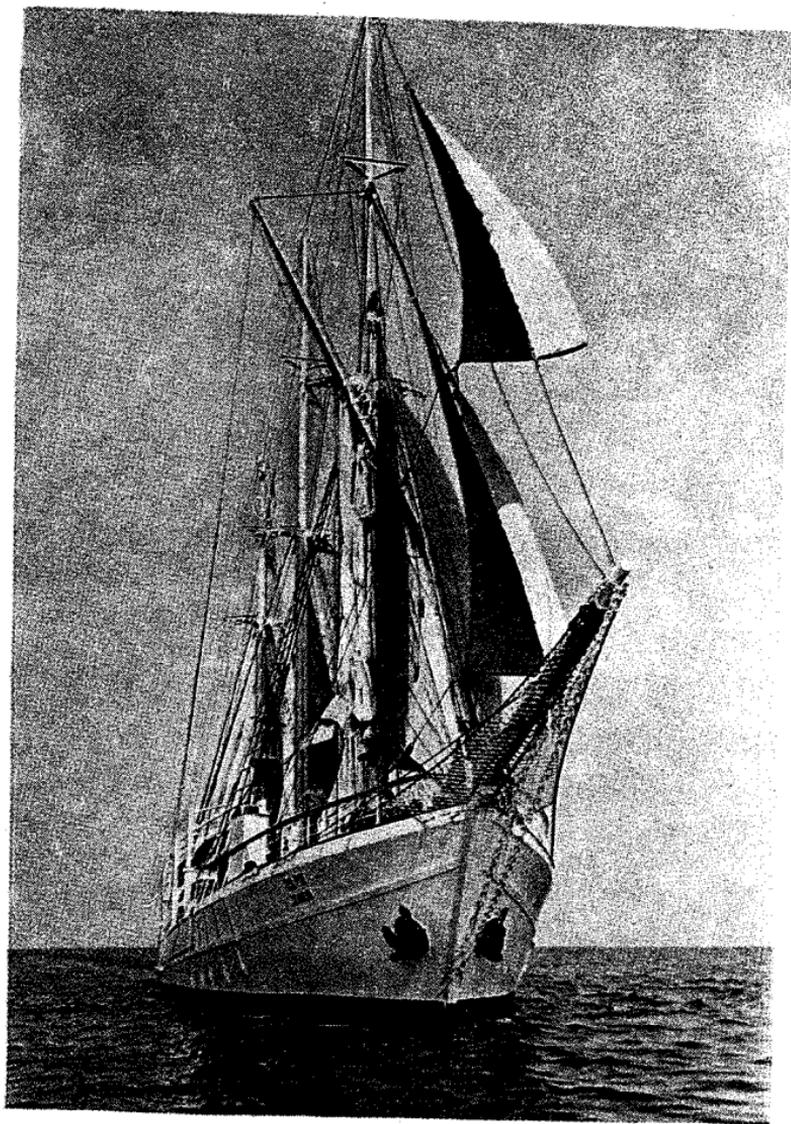
ских судов — его товарищи. То он через кого-то передавал наши радиogramмы, когда Ленинград, Таллин и Рига не слышали слабенький передатчик „Зари”, то сам передавал чьи-то сообщения.

Сменивший его Михаил Ефремович Елин — человек спокойный, основательный, любит делать все в положенное время. Телеграммы просил приносить заранее, учитывая возможность плохой связи или загруженность эфира. Сам напоминал забывчивой молодежи о необходимости поздравить родных с очередным праздником или вовремя сообщить о своем здоровье и делах.

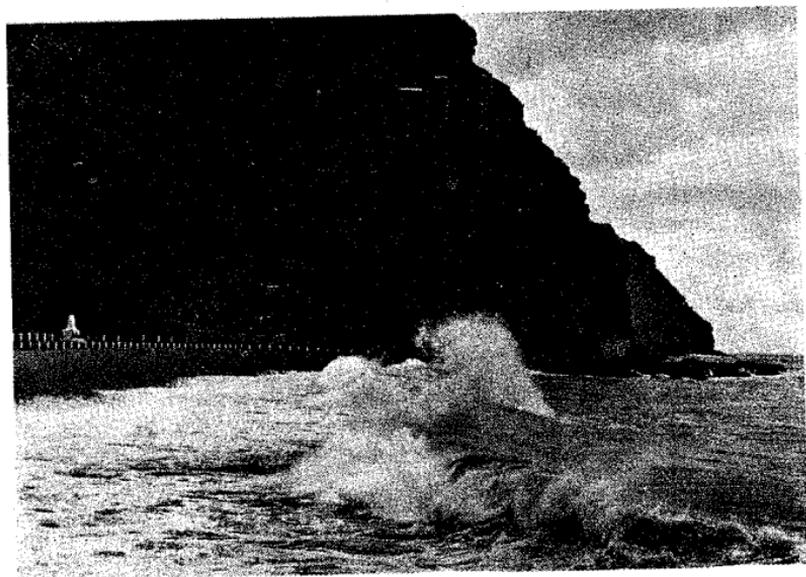
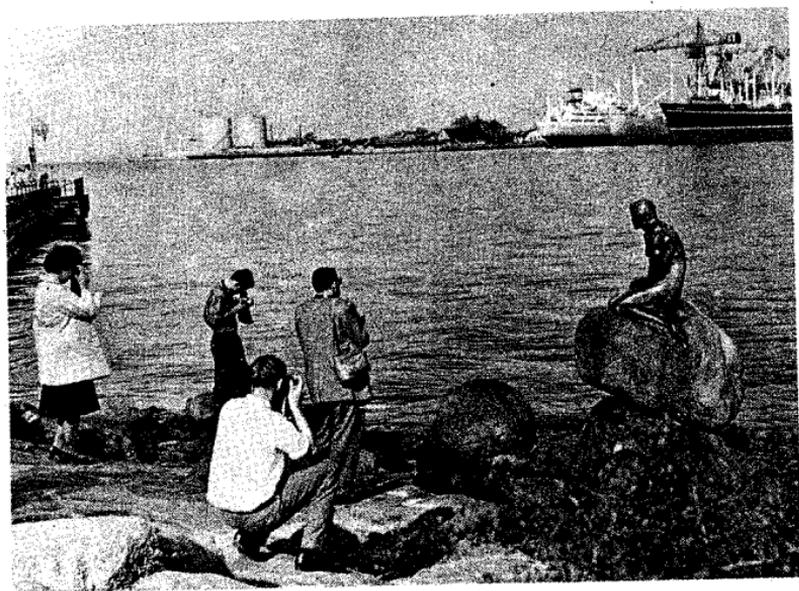
Испытанием для радиста на „Заре” является ионосферная станция, передатчик которой через каждые 15 минут посылает в эфир мощный импульс, естественно, забывающий слабый радиосигнал. Радисту предоставляется право выключать станцию в тех случаях, когда либо очень плохая слышимость, либо есть необходимость в срочном приеме метеосводки. Дополнительный выключатель станции расположен рядом с ключом радиста. Бывали случаи, когда Женя Тормозов, выключив станцию, забывал после окончания передачи включить ее снова. И во время седьмого рейса ионосферист Миша Бахилин соорудил „антирадиста” — систему, включающую станцию автоматически через пять минут после выключения.

С приходом Михаила Ефремовича „антирадист” стал не нужен. Он очень редко пользовался правом выключения и никогда не забывал снова включить ионосферную станцию в работу после окончания сеанса связи.

Телеграммы являются практически единственной связью с Родиной. Иногда удается получить письма через советские посольства, но это бывает не больше одного-двух раз за многие месяцы плавания. А как иногда важно получить из дома хоть пару слов! Счастливец долго и тщательно изучает, осмысливает, впитывает каждое слово текста. Наиболее важное доверяется друзьям, с которыми можно умножить радость и разделить горе.



Шхуна „Заря“ под парусами.

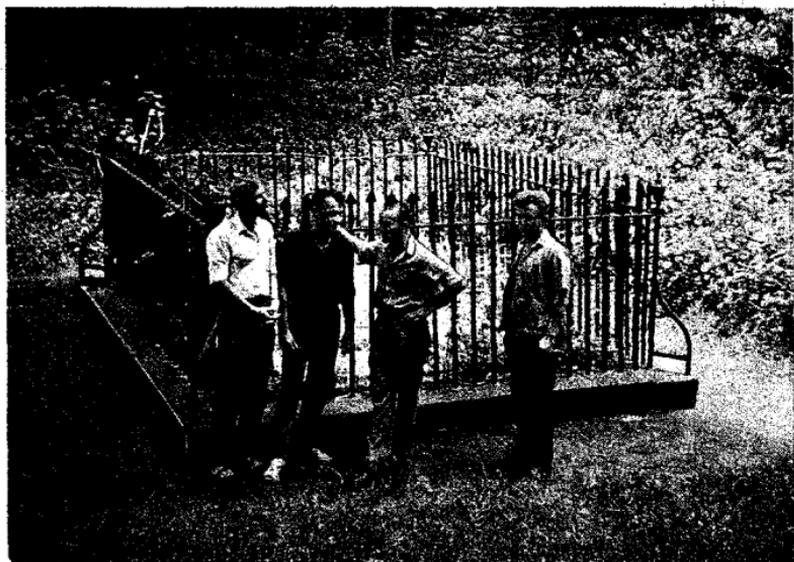


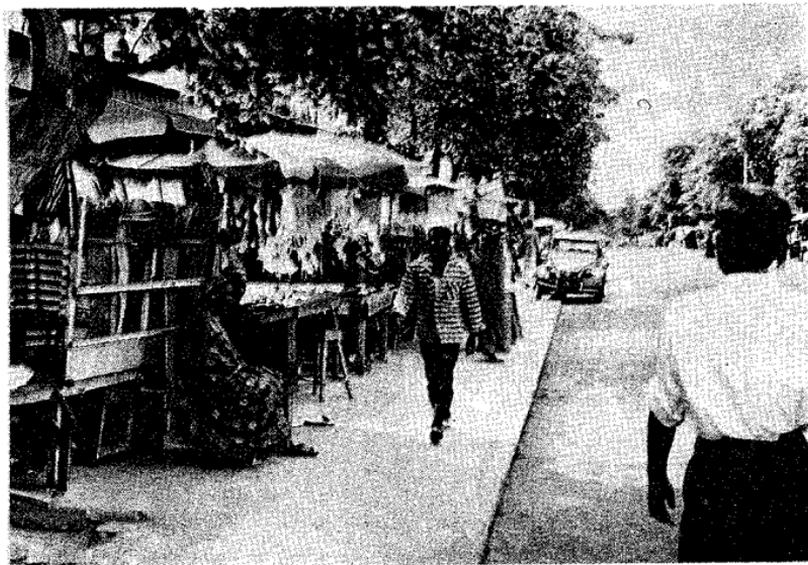
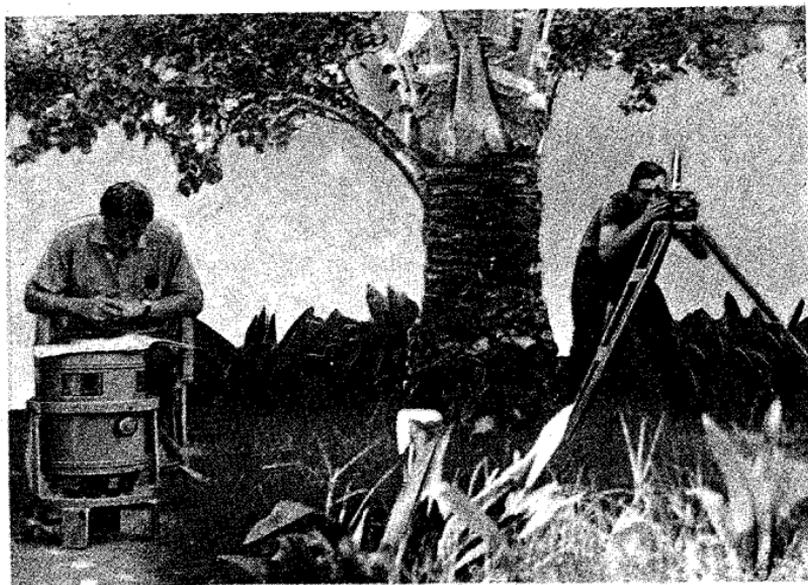
← Русалочка.

Подход к порту Джеймстаун.

Дом Наполеона на острове Святой Елены.

Место, где был похоронен Наполеон.





← Сверка приборов в Монтевидео.

Базар в Дакаре.



Избирательная кампания проводится и в рейсе.

Перейти экватор первый раз не просто!

Катание на слонах для моряков — дело привычное.





Нептун и свита ждут „немакан-ных“.

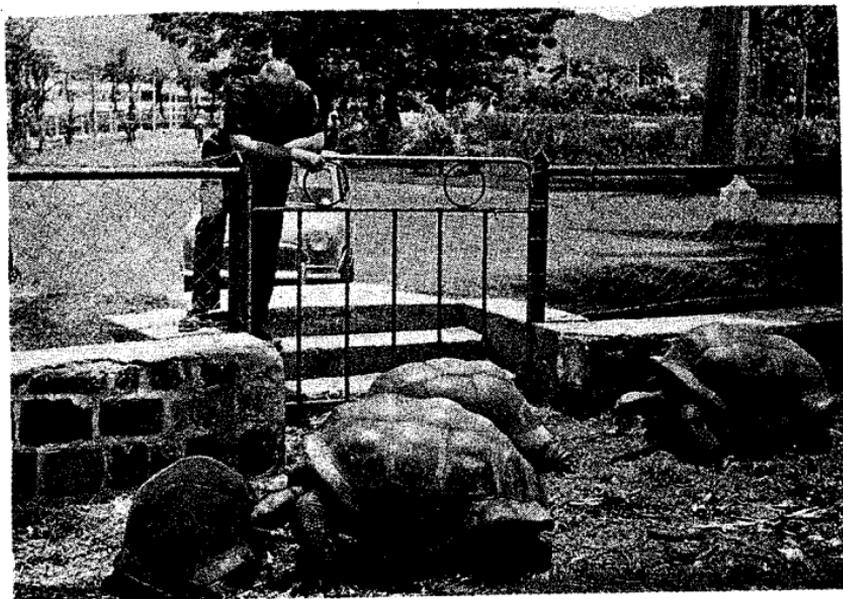
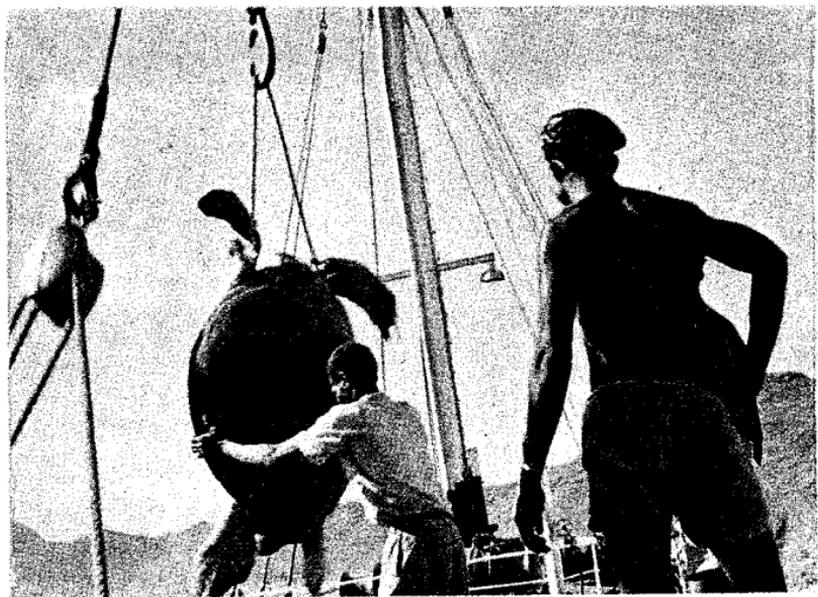
В жаркий день лучшее место — на палубе.

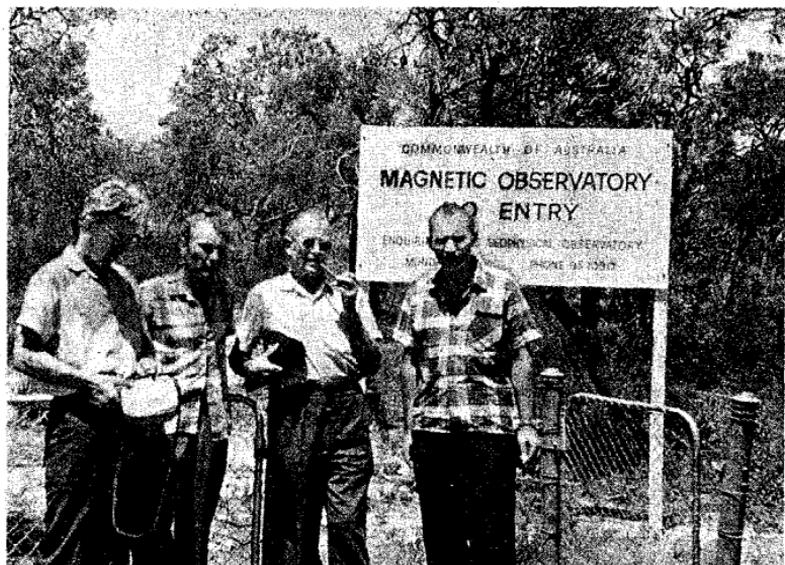
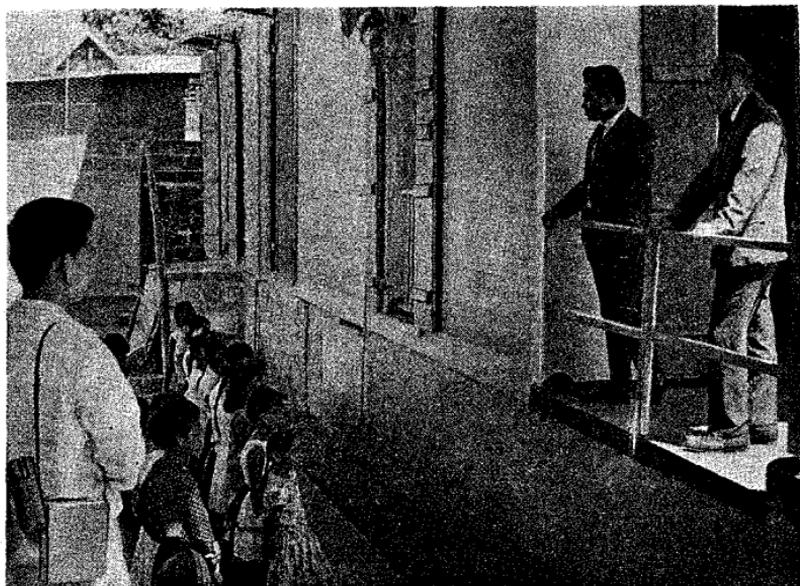


Эти черепахи привезли только что издалека. →
А эти живут в Порт-Луи давно.



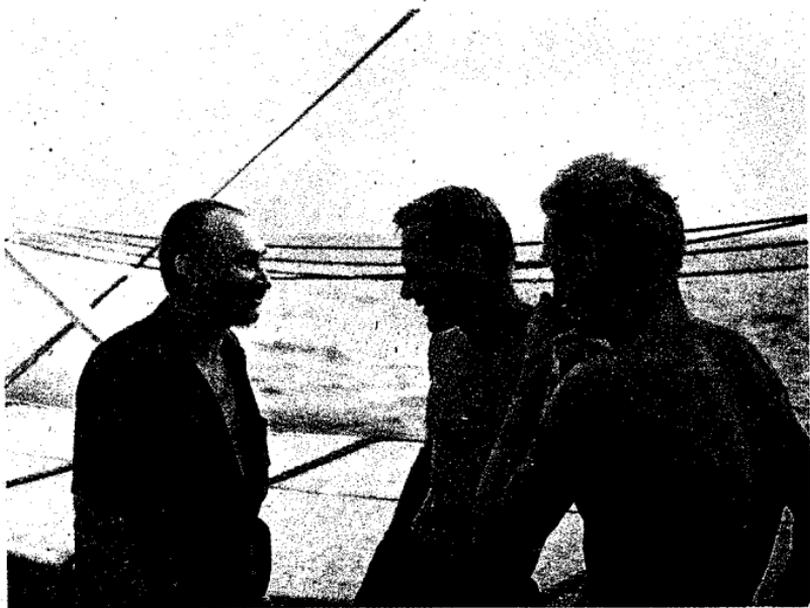
Вокруг моряков всегда дети.



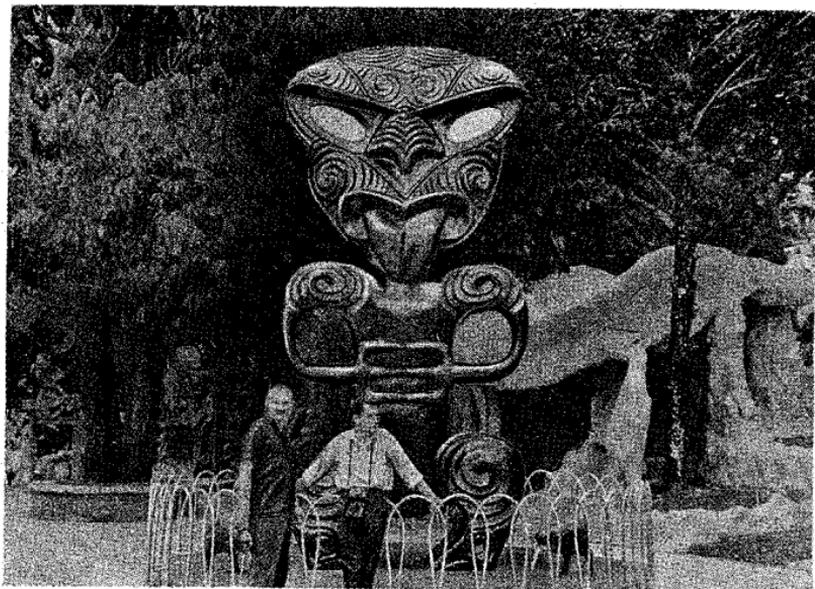


← Открытие школы в Порт-Луи.

В австралийской магнитной обсерватории Гнангара.

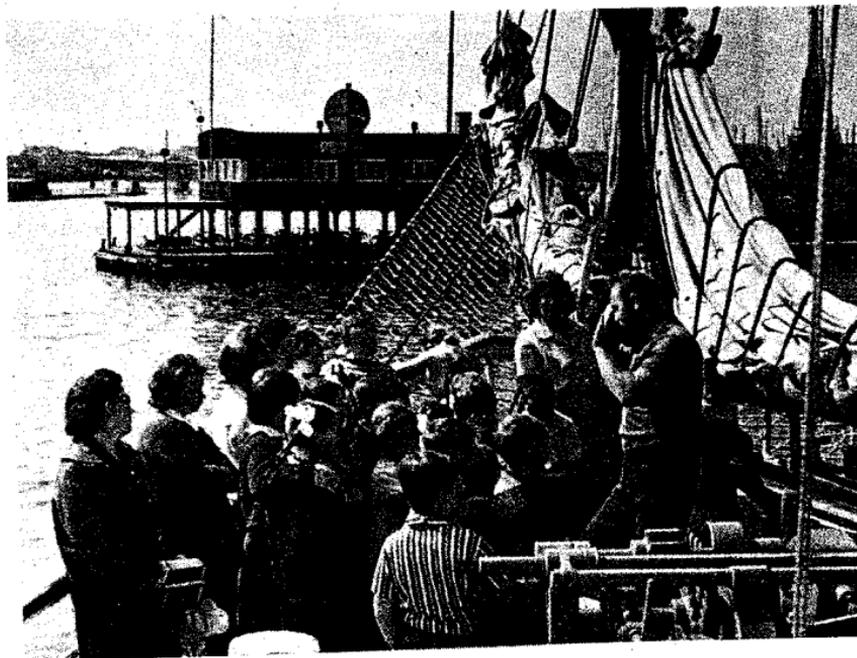


Шутка везде скрашивает жизнь.



← На улицах Коломбо.

Тайгер-парк в Сингапуре.

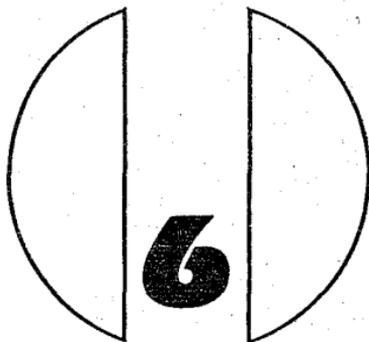


„Зарю“ с удовольствием посещают экскурсанты.



Но не одной духовной пищей жив человек. Качество пищи „телесной” во время плавания также не в малой степени определяет настроение экипажа. Работа камбузной команды на „Заре” не из легких. Маленькое, тесное помещение, немагнитная плита, которая топится углем, нестерпимая жара в тропиках. И все-таки три рейса работал поваром Миша Попов, работал от души и в шторм и в жару, и качество пищи скорее зависело не от него — он делал все, что мог, — а от продуктов, закупленных на переход вторым штурманом. А с закупкой продуктов иногда выходили казусы. Например, приходит второй штурман в салон и говорит: „Ну, ребята, живем! Купил консервированных сосисок двести банок. До конца рейса хватит!” Старожилы „Зари” кстати вспоминают, что такой случай уже был — в Японии купили сосиски, которые были синего цвета и мало приятны на вкус. История повторяется, хотя сосиски не синего, а красного цвета. Штурман клянется, что теперь обязательно будет пробовать все перед покупкой и все-таки приобретает стеклянные банки со странным названием „каккеры”, в которых что-то похожее на котлеты. Котлеты оказываются не то рыбными, не то из китового мяса — никто толком понять не может, но штурмана ругают дружно, хотя котлеты съдаются исправно. Но такие случаи в общем-то редки и еда на „Заре” первоклассная.

Постоянными участниками трех рейсов, в которых я принимал участие, были научные сотрудники Л. Г. Касьяненко и Ю. С. Сидоров, обеспечивавшие обработку материалов измерений. Они принимали участие и в предыдущем шестом десятимесячном рейсе из Владивостока в Ленинград и в последующих рейсах, в которых я уже участия не принимал. Остальные научные сотрудники, проплавав один-два рейса, возвращались в свои институты, но при любой возможности с большой охотой вновь принимали участие в экспедициях „Зари”.



Рассуждения мои туда простираются, чтобы возбудить внимание мореплавателей, так же как и по земле путешествующих, к испытанию магнитной силы во всех странах, куда только человек поступать может...

М. В. Ломоносов

АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН. РЕЙС № 8

Экспедиция в Атлантический океан в 1965—1966 гг. во всех официальных документах именуется рейсом № 8 (рис. 8). Нумерация рейсов идет от первой экспедиции „Зари” в Атлантику в 1956 г. В 1957—1958 гг. во время проведения Международного геофизического года (МГГ) судном было проложено шесть широтных маршрутов через весь Атлантический океан и четыре маршрута в Индийском океане. Теперь, через 8 лет, появилась возможность пересечь их и получить прямые данные об изменениях поля за это время. Такая же задача изучения вековых изменений будет поставлена и в следующем рейсе № 9. До сих пор сведения о вековых изменениях (вековых вариациях) на акваториях океанов получают косвенным путем — интерполируя значения, вычисляемые на очень редкой сети островных магнитных обсерваторий, или просто продолжая изопоры через весь океан от одного континента до другого. В магнитной картографии сложилась довольно парадоксальная ситуация, когда высокоточные экспедиционные съемки одного региона, но разных лет почти невозможно „состыковать” друг с другом из-за плохого знания вековой вариации. В некоторых районах океана она в несколько раз превышает по-

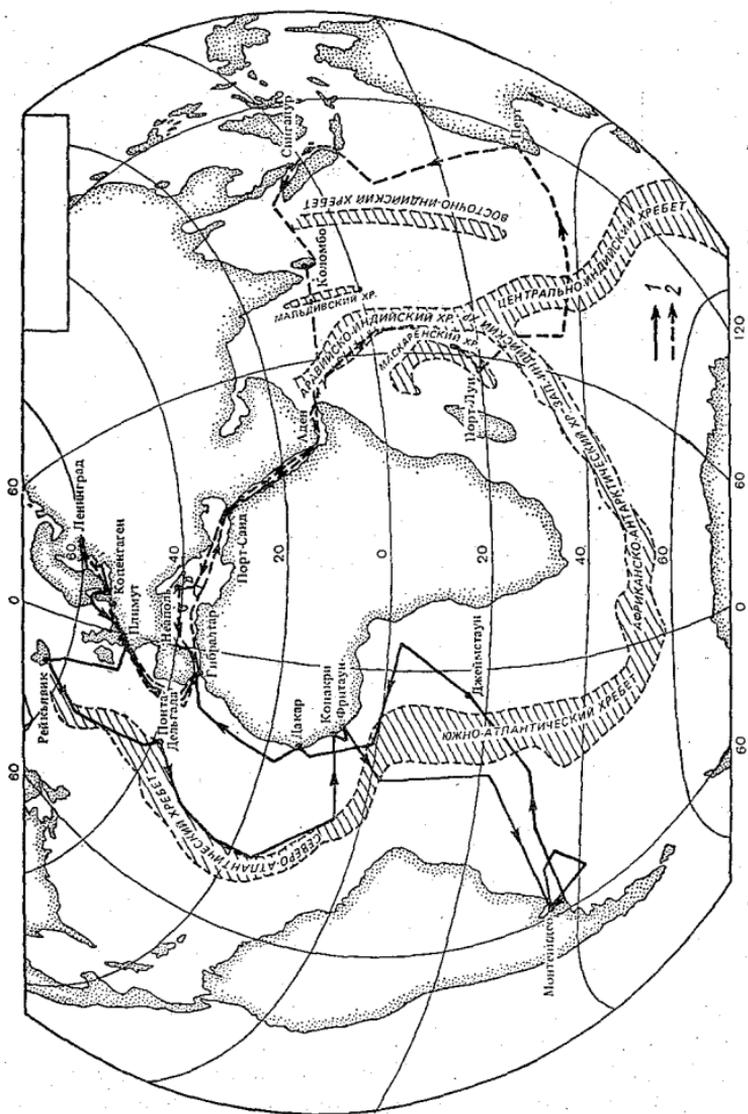


Рис. 8. Схема рейсов шхуны "Заря" № 8 (1) и № 9 (2)

грешность самой съемки. Поэтому изучение вековых изменений поля по всем компонентам стало одной из главных задач „Зари” на много лет. При дальнейшем изложении задач, которые решались в этой и следующей экспедициях, и ретроспективном осмысливании их результатов нам казалось уместным дать читателю представление об экспедиционных реалиях через дневниковые записи одного из авторов — А. Н. Пушкова. Такого способа изложения мы будем придерживаться и в следующей главе — о рейсе „Зари” в Индийский океан. Полная хронология рейсов выдерживаться не будет.

4 сентября 1965 г. В 18.00 вышли из Гутуевского ковша Ленинградского порта. Санитарно-эпидемиологическая станция, заботясь о нашем здоровье, подрезала утвержденный план экспедиции под корень. Она потребовала сокращения переходов до 20 суток, так как только на это время по современным санитарным нормам хватает запасов нашей пресной воды. Наиболее длительные переходы — Рейкьявик — Конакри и Конакри — Монтевидео — придется разбить на два с дополнительными заходами на Азорские острова и, вероятно, в Рио-де-Жанейро. Что-то на это скажут в Отделе морских экспедиционных работ в Москве?!

6 сентября. Переход Ленинград — Копенгаген. Сегодня начали измерения по полной программе. Удивительно, но приборы заработали почти сразу. Плохой признак. 9 сентября. Прибыли в Копенгаген, ошвартовались у пассажирского причала на Ланге-Лайн. За три дня стоянки надо встретиться с руководителем проекта „Мировая магнитная съемка” профессором Лаурсеном, посетить для сверки приборов магнитную обсерваторию Рудесков, пополнить запасы топлива, воды, продовольствия, чтобы хватило до следующего порта захода — Рейкьявика. Спокойной жизни в порту не будет.

17 сентября. Переход Копенгаген — Рейкьявик. Идем Ла-Маншем. Получили штормовое предупреждение. Решили зайти на рейд Плимута и отстояться за волноло-

мом. При встречном восьмибалльном шторме, да еще в проливе, где маневр ограничен, можно ожидать всяких неприятностей. Время вынужденной стоянки используем для ремонта носового магнитометра. Что-то он после Копенгагена раскэпризничался.

19 сентября. Утром вышли из Плимута. Сегодня вечером будем считать себя в Атлантическом океане. Магнитное поле очень спокойное, как это отмечено и для других шельфовых зон. Магнитометр Жора Клименко наладил.

23 сентября. Проходим плато Роколл. На лентах магнитометров сплошные аномалии амплитудой по несколько тысяч нанотесла, но очень локальные. Поле — как в Балтийском море над кристаллическим щитом. Прямо из океана торчит почти отвесная скала Роколл, похожая на одну из скал в Карадаге. Вечером увидели первое полярное сияние.

25 сентября. Идем вдоль юго-восточного берега Исландии. Через два дня будем в Рейкьявике. Сегодня видели извержение подводного вулкана у самого берега. Конус лавы выходит из моря, а над ним столб пара и дыма. Для вулканологов, наверное, это все очень интересно, но мы пройдем от греха подальше. Сделали несколько фотоснимков и кинокадров. До вулкана расстояние 4—5 миль.

Как считают геологи А. П. Милашин и В. А. Панаев, в Северной Атлантике второй океанический слой (слой, следующий сразу же за осадочным) мощностью 3—4 км выходит на поверхность в виде платобазальтов в Исландии, на Фарерских островах и близко подходит к поверхности на плато Роколл. Возраст базальтов на большей части этой территории палеоцен-эоценовый (53—38 млн. лет), с приближением к Исландии появляются молодые лавовые покровы вплоть до плиоцен-четвертичных (5—1 млн. лет). Поскольку установлено, что второй слой (вернее, его верхняя часть) представлен сильно намагниченными подушечными базальтами, понятна аномальность этого района.

27—30 сентября. Стоянка в Рейкьявике. Научная береговая программа прошла успешно. Судно посетил декан физического факультета университета в Рейкьявике доктор Сигурессон и директор геофизической обсерватории Клайги доктор Саймундссон. В университете начинают развиваться космические и ионосферные наблюдения, и Сигурессон в шутку попросил оставить в Рейкьявике нашего ионосферщика Мишу Бахилина, чтобы наладить и запустить новую для них технику. Специалиста такого класса, как Миша, у них нет. Отшутились, что сделаем это на обратном пути, когда выполним свою программу. Магнитная обсерватория Клайги готовится к проведению аэромагнитной съемки острова. Осуществлены первые рекогносцировочные измерения с использованием автомобиля и вертолета. 29 сентября в обсерватории провели сверку наших магнитометров с обсерваторским комплексом.

Советское посольство принимало „Зарю” исключительно радушно. Весь экипаж возили на экскурсию в окрестности города. Пейзажи вокруг него типично вулканические и даже какие-то космические. Есть сведения, что американские космонавты тренировались здесь, готовясь к предстоящей высадке на Луну. Наверяд ли можно найти для этого более удачное место.

Атлантический океан в истории становления наук о Земле и морской геофизики в частности сыграл роль исключительную. Его географическое положение как естественной преграды между наиболее развитыми капиталистическими странами XIX и XX вв., а ранее их колониями, и необходимость поддержания тесных экономических, политических и иных связей между ними вызвали необходимость его всестороннего физико-географического изучения. Жизненно необходимыми оказались сведения о морских течениях, ветрах, погоде для выбора наиболее безопасных и экономически выгодных путей движения парусных и паровых судов. Прокладка трансатлантических телеграфных и телефонных кабелей по-

Нуждала к изучению рельефа океанического дна и его тектоники для выяснения причин обрывов и отказов этих „нервов” современной цивилизации. Как всегда, не последнюю (а иногда и основную) зловеще-прогрессивную роль сыграли интересы военных и военно-морских ведомств различных прибрежных государств. Все эти побудительные причины вызвали к жизни ряд специальных океанографических экспедиций, в которых морская геофизика играла ведущую роль. Вспомним хотя бы обширный комплекс работ по геологии, гидрохимии и физической океанографии, проведенный на английской корвете „Челленджер” в 1872—1876 гг., или обширные глубоководные налюдения на „Метеоре” в 1925—1927 гг., где впервые был применен эхолот для промерных работ.

Известно, что научные исследования (имеются в виду научные экспедиции) отличаются от простых путешествий весьма существенно. Правда, и те и другие объединяет естественное человеческое любопытство, но степень ответственности за результаты впечатлений у участников научных экспедиций несравненно выше. Поэтому неотъемлемыми частями научного исследования являются: предварительный анализ всего известного об объекте; формулировка исходных гипотез; постановка задачи, анализ возможных путей и методов ее решения; планирование, организация и проведение работы (что бывает иногда самым трудным); анализ и обобщение полученных результатов; проверка исходных гипотез на основе полученных фактов. В идеале в результате полноценного научного исследования формулируются новые закономерности, а явления получают свое объяснение и дается прогноз их поведения или возможного состояния в будущем. Опять же в идеале, исследования должны быть объективными, воспроизводимыми, доказательными и точными. Подобное интуитивное понимание научного исследования было присуще всем крупным естествоиспытателям прошлых времен, заложившим основы наших знаний

о мире, в котором мы живем, и океанах, где плаваем.

Австрийский геолог Э. Зюсс обратил внимание, что вдоль всего побережья Атлантического океана широко распространены отложения мелового периода, которые залегают на самых разновозрастных породах. Отсюда он сделал вывод, что до мелового периода Атлантического океана еще не существовало. К настоящему времени пробурено уже более 500 скважин в глубоководных частях океанов и несколько тысяч скважин в шельфовой зоне. За последнее десятилетие мы узнали о геологии дна океанов, в первую очередь Атлантического, во много раз больше, чем за всю предшествующую историю его изучения. Согласно данным глубоководного бурения, в доэоценовое время (53 млн. лет назад) на месте современной Северной Атлантики океана еще не существовало, а была серия замкнутых, сообщающихся между собой морей с архипелагом островов. Усиление тектонических движений, обусловленных альпийским орогенезом, привело к слиянию этих разрозненных бассейнов в единый океан. Выявлена общая тенденция этого района к постепенному углублению и расширению границ глубоководных зон с частными проявлениями блоковых движений более мелкого масштаба. На основе этих фактов можно делать выводы об образовании океанов как в рамках мобилистской концепции, так и фиксистской или какой-либо иной.

1 октября. Сегодня вышли из Рейкьявика. Первоначально планировался переход Рейкьявик — Конакри в 26 суток. Придется запрашивать разрешение португальских властей на заход в Сан-Мигель, до которого примерно 15 суток нашего хода.

10 октября. Переход Рейкьявик — Сан-Мигель. Только сегодня получили радиограмму с разрешением захода в порт Понта-Делгада на остров Сан-Мигель. За эти десять дней два раза меняли маршрут, чтобы в случае отказа в заходе на Азоры на двадцать вторые — двадцать третьи сутки зайти в Гибралтар для пополнения судовых

запасов. До запланированной западной долготы 35° дойти из-за шторма не удалось. Спустились на юг и идем вдоль Срединно-Атлантического хребта по 30-му меридиану. Меридиональный разрез от 61 до 35° с. ш. даст возможность картографам уточнить мировые магнитные карты этого района. Постараемся в дальнейшем протянуть маршрут по этому же меридиану как можно дальше к югу, вплоть до 40° ю. ш.

11 октября. С самого начала мы и не рассчитывали на хорошую погоду в это время года, но сегодня шторм 10 баллов, а это уже слишком. К счастью, ветер попутный, и „Заря”, как угка, отыгрывается на огромной волне. Зрелище захватывающее, но где-то внутри шевелится что-то очень похожее на страх. Ребята рассказывали, что в 1963 г. в еще больший шторм (примерно в этом же районе) остановился двигатель и судно развернуло лагом к волне. Моментально смыло кормовую шлюпку, вода попала в машинное отделение, камбуз и носовой научный салон. Потом еще долго в каютах салона находили куски мяса и сырую очищенную картошку.

По мнению некоторых ученых, формированию океанических впадин предшествуют сводообразные поднятия древних платформ, в результате чего значительная часть пород разрушается и сносится процессами эрозии, а верхний (гранитный) слой оказывается почти полностью уничтоженным. На поднятиях в случае проявления массового вулканизма сводообразование прекращается и на его месте образуется лишенная гранитного слоя глубоководная впадина. Правда, не ясны причины сводообразования, как впрочем не ясны первопричины почти всех тектонических процессов, принятых в гипотезах формирования океанических котловин на месте бывших континентов. Гипотезы же изначальности существования океанов с некоторыми изменениями их контуров со временем находятся в резком противоречии с современными данными о молодости океанического дна.

12 октября. Ошвартовались в порту Понта-Делгада. Вы-

ход в город запрещен местными властями, у борта судна дежурит усиленный наряд полиции. Через агентствующую фирму связались с магнитной обсерваторией Сан-Мигель с просьбой разрешить сверку приборов.

Вечером „Зарю” посетил директор магнитной обсерватории Сан-Мигель доктор Антонио Алькантаро де Мендоса Диас. У нас на судне ему, видимо, все очень понравилось. Сам он занимается вопросом связи между вулканическими явлениями и аномальными изменениями в магнитном поле. Подарил нам отгиски своих статей и обещал полное содействие в проведении поверочных работ в обсерватории.

13 октября. Утром получили разрешение на посещение обсерватории. В сопровождении полицейского комиссара наш автобус с научной группой и приборами поехал в обсерваторию по довольно извилистой дороге чуть ли не к основанию вулкана. Провели сверочные работы. По моей просьбе были сняты копии с магнитограмм обсерватории за время нашего плавания от Рейкьявика до Азор. По ним оценили условия магнитной возмущенности для введения поправок в результаты измерений. Вечером покинули это, судя по рекламным проспектам, красивейшее место в мире, почти ничего из красот так и не увидев.

15 октября. Переход Сан-Мигель—Конакри. Сегодня, будем считать, окончилась северная часть нашего маршрута. Координаты $33^{\circ}20'$ с. ш., $31^{\circ}05'$ з. д. Ложимся на курс по направлению к Конакри. Приборы работают нормально, погода сносная — ветер северо-западный, 3—4 балла. Скоро совсем освободимся от ватников. По лоции этот район считается уже субтропиками.

29 октября. Прибыли в Конакри. На судне много гостей из советской колонии и местной гвинейской интеллигенции. К сожалению, завтра придется уходить во Фритаун, так как в Конакри нет нужной нам марки топлива и некоторого судового снабжения. В агентствующей фирме сообщили, что все это можно получить только во Фритауне (Сьерра-Леоне).

31 октября. Совершили суточный переход из Конакри. Вечером отдали якорь на рейде Фритауна, ждем лоцмана. 1 ноября. Утром лоцман так и не явился. Капитан Борис Васильевич Веселов сам, без лоцмана, вошел в бухту. Ждем портовых властей. Пока будем стоять на якоре в бухте — место у пирса должно освободиться через день-два.

2 ноября. На судне столпотворение. О нашем прибытии известили Фарадей-колледж — единственное высшее учебное заведение Фритауна. Только сегодня нас посетило свыше ста человек студентов с преподавателями. Всей научной группе пришлось быть и гидами, и лекторами, и дипломатами.

3 ноября. Вчерашний визит был обоюдно полезен. Н. Е. Попков с научными сотрудниками отправился с ответным визитом в колледж, захватив приборы, чтобы провести магнитные измерения в обсерватории, которую курирует колледж. Мне пришлось вместе с капитаном принимать представителей местной прессы и телевидения. Большинство научных исследований в колледже (примерно то, что у нас называется НИР) непосредственно увязано с практическими потребностями самой Сьерра-Леоне. На инженерном факультете изучаются местные строительные материалы и возможности их использования именно в местном строительстве. Лаборатория металлов занимается проблемами коррозии металлических конструкций и машин в тропических условиях. Геологическая практика студентов проходит на горнодобывающих предприятиях не очень далеко от колледжа. Основная часть преподавателей — европейцы. Как правило, это англичане. Все жалуются на тяжелые климатические условия и не очень высокие оклады. Жара и особенно влажность здесь просто удивительные. Через полчаса ходьбы по городу чувствуешь себя, как вываренный. 4 ноября. Утром вышли из порта. Следующий заход будет только через 23—25 суток. Полагаем, что это будет Монтевидео, так как по ряду соображений заход в Рио-де-

Жанейро не рекомендован. В два питьевых бака взяты дополнительные топлива. Видела бы это санэпидстанция! Наверно, увеличим маршрут еще на 300 миль, чтобы пройти как можно дольше вдоль 30-го меридиана и иметь почти непрерывные данные вдоль значительной части Срединно-Атлантического хребта.

Различия в геофизических характеристиках земной коры под океанами и на континентах и современные данные о геологии дна океана послужили толчком к возрождению мобилизма, так как только в рамках концепции больших горизонтальных перемещений весь новый огромный материал получал разумную структурную организацию и непротиворечивое объяснение. Геолого-тектонисты и вообще все геофизики всегда испытывали тоску по ясности, стройности, возможности организации груды эмпирического материала, накапливающегося с каждым годом и каждой экспедицией, во что-то простое и доступное логическому осмыслению. Если число основных законов природы бесконечно и в мире господствует хаос случайностей, то жить в нем кажется очень неудобно. И вот возникает плитотектонический рай, сходный с раем математиков, созданным множествами Кантора.

В становлении концепций тектоники плит В. Е. Хаин выделяет следующие стадии: 1) возникновение идеи о том, что рифтовые зоны по оси срединно-океанического хребта отвечают исходной трещине, от которой происходит расширение дна океана (1961—1962 гг.); 2) формулировка гипотезы о том, что линейные знакопеременные морские магнитные аномалии возникли вследствие намагничивания базальтов, образующихся в результате спрединга (1963 г.); 3) выдвижение представлений о трансформных разломах, по которым предполагаются крупные горизонтальные смещения коры (1965 г.); 4) датировка возраста океанической коры по шкале инверсий магнитного поля (1967 г.); 5) привлечение данных о динамических параметрах очагов землетрясений для оценки напряжений в срединно-океанических хребтах (1967 г.);

6) формулировка геометрической схемы расширения океанического дна в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов, подчиненной определенным „полюсам расширения” (1968 г.); 7) публикация серии обобщающих статей с развернутым изложением новой концепции (1968 г.). Со временем новые данные, свидетельствующие о крупных опусканиях дна океана, и отдельные отличия возрастных датировок линейных аномалий по магнито-стратиграфическим шкалам от данных бурения привели к неизбежному усложнению концепции. В нее введены предположения о многократных перестройках рифтовых систем, скачкообразной миграции осей спрединга, спонтанном образовании и отмирании зон субдукции (зон опускания плит под континент или другую плиту), системе горячих точек и т. д. В споре между концепцией мобилизма и альтернативными ей используются новейшие факты различных естественных наук: палеоботаники, географии, геологии, геофизики, геодезии, океанологии, астрономии и др. При этом часто факты группируются выборочно и будто бы подтверждают концепцию, которой придерживается автор исследования.

5 ноября. Переход Фритаун—Монтевидео. Пересекаем магнитный экватор. Вертикальная составляющая магнитного поля здесь уменьшается до нуля, а затем снова начинает возрастать, но уже с обратным знаком. Надо уловить этот момент и перепаять обмотки компенсации на датчике магнитометра. Работа тонкая и хлопотливая, так как магнитный экватор не линия, а довольно значительная область, и есть опасность в момент переориентации датчика пропустить аномалию.

7 ноября. На судне двойной праздник: 48-я годовщина Октября и переход географического экватора. Настроение у всех приподнятое. Скорость под пассатным ветром выше плановой — за сутки проходим 180 миль, а на „Заре” настроение — прямо пропорционально ходу. Идет усиленная и таинственная подготовка к празднику. Я разучиваю роль Нептуна. Текст сценария почти клас-

сический, наверно, еще со времен Крузенштерна, но встречается и кое-что современное и даже супермодернистское. Инициативная группа — Александр Александрович, Жора Клименко, Миша Бахилин, Женя Розе, Юра Сидоров — поработала на славу. На „Заре” почти все уже пересекали экватор, а многие и неоднократно. Придется сдерживать свиту, чтобы не набросилась сразу же на старых мореходов.

13 ноября. Сегодня с утра повернули с юго-западного курса строго на юг для продления маршрута по 30° з. д. Идем по южному полушарию, отрицательные значения вертикальной составляющей поля все время увеличиваются. Все же это очень глубокая и далеко еще не решенная проблема — что такое информативность компонент поля и насколько наши представления о магнитном поле зависят от вида и способов его измерения.

Согласно традиционным представлениям о природе магнитных линейных аномалий, обнаруживаемых как на море, так и на суше, считалось, что вытянутые блоки намагниченных пород переменной ширины разделяются блоками немагнитных пород или пород с пониженной намагниченностью. Однако результаты драгирования, фотосъемки и бурения это не подтверждают. Кроме того, магнитные свойства у намагниченных блоков в указанном случае должны быть значительно выше, чем обычно обнаруживаемые по донным образцам. Все эти неувязки в значительной степени снимает концепция чередования блоков прямого и обратного намагничения, то есть мобилистская концепция. Согласно исследованиям советского геофизика А. М. Карасика, генеральные особенности аномального океанического поля могут быть описаны системой из семи признаков, в которой пять являются необходимыми и два — достаточными. Эти признаки таковы, что особенности океанического поля, по мнению автора, не могут быть сколько-нибудь удовлетворительно объяснены в рамках традиционных интерпретаций магнитных аномалий в областях с материковой корой.

17 ноября. Широта 20°45' южная, долгота 31°05' западная. Легли на курс, ведущий по кратчайшему пути к Монтевидео.

26 ноября. Прибыли в Монтевидео. Переход был удачен по погодным условиям, приборы работали почти идеально. Дальше все должно усредниться, и мы наверняка дополучим и по штормам и, как выражаются прибористы, по „граблам”. Будем стоять здесь 12 дней, так как подошло время мотоцистки главного двигателя, да и наши приборы нуждаются в профилактике.

27 ноября — 6 декабря. Стоянка в Монтевидео. По рекомендации посольства на судно ежедневно открыт свободный доступ посетителей с 16 до 20 часов. Выделили дополнительных дежурных для проведения экскурсий. Большую помощь в переводе оказали члены общества уругвайско-советской дружбы. Каждый день судно посещали десятки людей. Много эмигрантов еще с дореволюционных времен. Были на стадионе на матче сборных СССР — Уругвай. Болели за своих здорово, даже думали, что уругвайские болельщики нас побьют. Все обошлось, а мы научили уругвайцев нашему кличу: „Шайбу!”. Принимали на судне футболистов сборной и ездили с ними купаться и загорать на пляж. На пляже сборная „Зари” чуть не выиграла у сборной СССР. Мировая футбольная сенсация! Наши моряки выглядели внешне крепче футболистов и играли, конечно, сверхстательно.

7 декабря. Выходим в океан для дальнейшей работы. Стармех Александр Александрович сэкономил нам один день на мотоцистке. Задача перехода — выполнить маршрут в юго-западной Атлантике в виде огромной петли протяженностью в 3000 миль и продолжительностью в 20 суток. Этот район в магнитном отношении почти белое пятно, и наши данные с нетерпением ждут картографы в Ленинграде. Вернуться должны снова в Монтевидео и оттуда начать обратный путь домой.

Несмотря на большой объем магнитометрических ис-

следований, проведенных в 70—80-х годах геофизическими организациями зарубежных стран и СССР, регулярной съемкой довольно мелкого масштаба покрыто около 60 % акватории Северной Атлантики и всего 20—30 % Южной. В Тихом океане съемкой покрыто примерно 40 % площади. Остальные районы Мирового океана изучены значительно слабее. Все же эти данные позволили обосновать схематическое районирование магнитного поля Мирового океана и провести классификацию этого поля, причем как первое, так и второе удалось четко обосновать лишь на основе мобилистской концепции. Классификации играют огромную роль в научном исследовании в качестве средств отождествления и различения объектов и, если они удовлетворяют всем логическим требованиям, предъявляемым к ним, совершенно незаменимы для объективной организации эмпирического материала. Итак, каковы же генеральные черты магнитного поля Атлантического океана, впервые лишь намеченные М. М. Ивановым по данным съемок „Зари”, в том числе и по данным рейса 1965—1966 гг., а затем детально прослеженные советскими и зарубежными учеными?

В Атлантическом океане выделено несколько аномальных зон, протянувшихся в субмеридиональном направлении симметрично его центральной части. По периферии океана развита зона так называемого спокойного поля шириной в среднем 500 км. В отношении природы полей этого типа высказан целый ряд гипотез. Например, предполагалось, что их образование происходило в процессе разрастания дна океана в доюрский период, когда магнитное поле Земли было меньшим по величине и неизменным по направлению; рассматривалась и гипотеза глубокого прогибания магнитовозмущающих источников в переходной зоне от континента к океану. Зона спокойного поля постепенно сменяется зоной линейных аномалий с относительно невысокой их коррелируемостью с теоретическими моделями, построенными в соответствии с палеомагнитной шкалой. Ширина ее около 350 км.

Она состоит из 18—20 линейных аномалий с амплитудами 200—400 нТл и длиной волны поперек простира-ния 10—30 км. Эта система аномалий носит название „последовательность Китли” (или мезозойские аномалии серии *M*). Последовательность развита над наиболее древними частями океанического дна. Между этими двумя зонами тянется область с магнитными аномалиями, переходными от спокойного к расчлененному полосовому полю шириной около 100 км. По мнению А. П. Милашина и В. А. Панаева, зоны развития линейных аномалий серии *M* отличаются от зон спокойного магнитного поля более изрезанным характером рельефа дна и поверхности второго океанического слоя. Между выступами океанического фундамента и магнитными аномалиями наблюдается довольно четкая связь. Особенно это относится к выделенной в центре этой зоны аномалии *S*, протянувшейся от острова Мадейра до Канарских островов и на всем протяжении тяготеющей к подводным горам или выступам поверхности фундамента под осадочным чехлом. В западной части океана, ближе к его оси, последовательность Китли сменяется зоной интенсивных аномалий, получивших наименование бермудского скачка. Ее ширина около 50 км, и есть сведения, что подобная зона имеется в восточной части Атлантического океана. Зона бермудского скачка сменяется по направлению к центру океана магнитным полем, где практически отсутствует корреляция аномалий. Ширина этой зоны около 500 км, протяженность около 2200 км вдоль побережья Северной Америки и Западной Африки. Амплитуды аномалий редко превышают 100 нТл, чаще составляют 20—30 нТл, с длиной волн аномалий 100—120 км. Большинство исследователей полагают, что эти зоны спокойного поля образованы в периоды постоянного геомагнитного поля Земли преимущественно прямой полярности 85—110 млн. лет назад или в период медленного спрединга. Высказываются мнения и о вторичной демагнитизации пород второго океанического слоя при его глубоком погружении.

Ближе к меридиональной оси океана развито типичное океаническое линейное регулярное магнитное поле. Линейные аномалии этой зоны образуют так называемую ламонтскую последовательность из 32 аномалий и отождествляются с изохронами (то есть линиями одинакового возраста) океанического дна. Зону линейного регулярного поля можно разделить на две подзоны. Первая охватывает полосовые аномалии, развитые над абиссальными (глубокими) котловинами. Средняя интенсивность аномалий здесь 200 нТл при ширине аномалий около 30 км. Начиная от 32-й аномалии и далее в направлении убывающих номеров в состав подзоны входят 17—20 положительных аномалий. Во вторую подзону попадает 15—12 отрицательных экстремумов вплоть до аномалии № 1, которая приурочена к рифту срединного хребта. Номера аномалий соответствуют четким геохронологическим рамкам. Аномалия № 1 образовалась за время от 700 тыс. лет назад до современности, и по данным прямых наблюдений с подводных аппаратов и сейсмическим данным тектонические процессы продолжаются в осевой зоне хребта и сейчас. Аномалия № 4 соответствует границе между плиоценом и миоценом (7 млн. лет назад), аномалия № 5 — началу миоцена (9 млн. лет назад), аномалия № 13 — границе между олигоценом и эоценом (38 млн. лет назад), аномалия № 21 — границе между эоценом и палеоценом (53 млн. лет назад). С аномалии № 27 начинается меловой период (старше 65 млн. лет). Самое поразительное, что такая структурная последовательность аномалий обнаружена во всех океанах. Например, аномалия № 1 во всех океанах является высоко интенсивной, достигая иногда 1000—2000 нТл, и поэтому может служить диагностическим признаком оси гребня срединного хребта или его рифтовой долины. Правда, амплитуда этой аномалии не остается постоянной вдоль ее простираия: встречаются частые ее нарушения, связанные с разломами и изменениями в рельефе дна. Линейные аномалии подзоны хребта обыч-

но хорошо выдержаны по простиранию и прослеживаются на многие сотни и даже тысячи километров. Их амплитуда обычно составляет 300—500 нТл и более (до 800). Есть и факторы, заметно искажающие регулярную линейную структуру магнитного поля,— это большое число поперечных нарушений за счет трансформных разломов и отдельных подводных гор или их скоплений. Резкое увеличение густоты сети разрывных нарушений обуславливает появление мозаичных, изометрических аномалий, но более детальная съемка позволяет как бы восстановить первоначальный полосовой облик поля.

Такая стройная картина распределения аномального магнитного поля над океаническим дном была выявлена несколько позже, после экспедиции „Зари”, описываемой в книге. Тогда мы лишь отчетливо представляли себе, что районы спокойного поля существуют, где их можно ожидать, где почти наверняка можно обнаружить аномальные поля и что вся эта картина, бесспорно, связана с магнитовозмущающими телами различного петрологического состава и разной глубины залегания. Главной задачей для нас все же оставалось изучение основных черт распределения главного магнитного поля и его вековых изменений. А для этого были приемлемы и наши единичные протяженные профили. Впоследствии оказалось, что в них заключено гораздо больше информации об аномальном магнитном поле и его истории, чем мы подозревали.

Извлечение из аномального магнитного поля информации об источниках, вызывающих аномалии, в силу неоднозначности обратной задачи геофизики и ряда других причин (ошибки съемки, ее недостаточная детальность, помехи от внешнего электромагнитного поля и т. п.) представляет сложную задачу. Трудности возникают уже на первом этапе интерпретации — опознавании номера аномалий в соответствии с теоретическими моделями, основанными на палеомагнитной шкале и задаваемой скорости спрединга. В процедуре опознавания много

неформальных моментов, не удовлетворяющих строгих математиков. По мнению советского геофизика В. М. Гордина, „проблемы трассирования и опознания линейных магнитных аномалий на акваториях пока далеки от своего разрешения. Сложившиеся под влиянием идей Вайна-Мэтьюза традиции дальней межмаршрутной корреляции, а также отсутствие эффективных критериев сходства кривых нередко приводят к реконструкциям, корректность которых сомнительна”.

В противовес этой точке зрения можно привести слова другого известного советского геофизика А. М. Карасика: „Даже отдельно взятые результаты изучения магнитного поля океанов делают ненужным поиск альтернативы спрединговой трактовке океанических аномалий. Рассмотренные в совокупности с результатами придонных съемок (с батискафов), а также с данными других геолого-геофизических исследований, глубоководного бурения и изучения магнитных свойств пород, они делают поиски такой альтернативы неоправданной затратой сил и средств”.

17 декабря. Переход Монтевидео — Монтевидео. Полная неопределенность с прогнозом погоды. Метеослужба Аргентины дает сообщения только по побережью, а мы удалились уже на 1000 миль от берега. Шесть дней после выхода шли с попутными ветрами, но ведь придется идти обратно! Повернули сегодня на северо-восток, барометр падает, волна не позволяет идти со скоростью больше 4—5 узлов. Порывом ветра оборван парус, сломан гафель.

18 декабря. Из-за встречного ветра „стоим” на месте.

20 декабря. Вчера прошли за сутки 46 миль, очень плохо с обсервациями.

22 декабря. Шторм 8—9 баллов, качка 30—35°. С обсервациями совсем плохо. Поджигает с продуктами. Ребята мрачно шутят, что наша „пегля” затягивается все туже.

26 декабря. Приняли решение идти в Монтевидео. За 19 суток пройдено 2500 миль. Четверо суток в шторм практически стояли на месте. Неслучайно все-таки суще-

ствуют белые пятна на магнитных картах.

30 декабря. Прибыли в Монтевидео. Плита на камбузе от качки дала трещину и требуется срочный береговой ремонт, но ранее чем 2 января его делать не будут — все готовятся праздновать Новый год.

31 декабря 1965 г. Канун Нового года. Монтевидео расцвечен новогодней иллюминацией, везде взлетают ракеты, какие-то огненные шары лопаются почти над головой, воют сирены и гудят гудки на пассажирских судах и военных кораблях. У нас дополнительная радость — консул привез нам письма из дома! Договорился с ним о проведении 2 января сверки магнитных приборов во дворе консульства. Магнитных обсерваторий в Уругвае, к сожалению, нет.

5 января 1966 г. Сегодня выходим в море. Предстоит очередной переход до острова Святой Елены. Опять взяли дополнительный запас топлива в водяные танки, так как представитель фирмы „Шелл” сказал, что на острове горючее такой марки, как у нас, мы получить не сможем. Надо будет дотянуть до Дакара.

7 января. Переход Монтевидео — остров Святой Елены. Глубина 3000 м. Повернули на северо-восток, чтобы пройти над поднятием Рио-Гранде. Как нарочно, вышел из строя глубоководный эхолот. Причину неисправности выяснили, но устранить ее (заменить лампу, которая почти никогда не выходит из строя) можно будет только в Дакаре. Будем пользоваться навигационным эхолотом, но он работает только до глубин 2000—2500 м.

13 января. Очередной шторм. Повернули на север, чтобы не топтаться на месте и быстрее выйти из штормовой зоны. На качке точность показаний приборов резко падает.

15 января. Шторм затихает. Вечером повернем снова на восток, а через два дня ляжем курсом на остров.

19 января. До самого острова будем идти одним курсом. Встречный пассат будет мешать все это время. Он сводит наш суточный переход к 130 милям. Уже потеряли отно-

сительно плана на „петле” у Монтевидео и на этом переходе 10 суток. Хорошо, что нет жары и волнение всего 3—4 балла.

29 января. 12.00. Встали на якорь на рейде Джеймстауна — столицы острова, в трех кабельтовых от берега. Ждем агента, чтобы выяснить все же вопрос с топливом.

30 января. Топливо на острове есть. Но оно в бочках. Надо провести операцию перегрузки бочек с баржи на судно, слив из бочек в наши танки и обратную погрузку бочек на баржу. У команды хлопот достаточно. Но всем, конечно, хочется посетить дом и место первого погребения Наполеона.

31 января. С официальным визитом прибыл губернатор острова в сопровождении секретарей. Приход любого судна на остров — событие. А тут советское судно, да еще научное, да еще парусное и вдобавок немагнитное и единственное в мире! После губернатора прибыли представители местной интеллигенции: двое учителей, священник англиканской церкви, зубной врач и инженер, инспектирующий на острове радиостанцию. Просили у него лампу для эхолота, но такой не оказалось. Посетили дом, где жил Наполеон и где остались копии его вещей. Все подлинники и сам прах увезены во Францию. Дом и место его захоронения считаются французской территорией, для присмотра за которой на острове живет французский представитель. На этой скале, с которой почти всюду виден бесконечный океан, приходит чувство, что время остановилось и ты ничтожная песчинка в мироздании. Такой натуре, как Наполеон, тут долго выдержать было неммыслимо.

1 февраля. Вышли из Джеймстауна в 10.00. Следующий порт захода — Дакар. Ветер попутный. Идем на северо-запад, чтобы пересечь Ангольскую котловину и впадину Романи.

6 февраля. Переход остров Святой Елены — Дакар. Магнитометры фиксируют крупные аномалии. Глубина менее 2000 м. Наблюдается тесная связь между рельефом дна

и магнитным полем. Влажность и жара почти невыносимые. Стармех предупредил, что кое-что в машине надо привести в порядок, а это может вызвать дополнительную задержку в Дакаре.

По существу, ученые, придерживающиеся разных концепций, оперируют одними и теми же фактами, вернее, эмпирическими данными, но пользуются разными логическими схемами. В применении к данным магнитометрии логическая схема рассуждений у мобилистов такова: магнитометрические данные — концепция, дающая объяснение наблюдаемому распределению аномалий, — поиски геологических доказательств выдвинутой концепции. У противоположной стороны логический ход рассуждений обычный (вернее — привычный): магнитометрические данные — их геологическая сущность — геодинамическая концепция, объединяющая это воедино. Что же лучше? Только то, что ведет к объяснению большего количества фактов и обладает предсказательными свойствами по отношению к еще не обнаруженным явлениям. Будем иметь в виду, что не всякие эмпирические данные являются научными фактами, а переход от магнитометрических данных к их геологической сущности многоступенчат, труден и не дает никаких особых гарантий в истинности этой интерпретации.

Советские геофизики Г. Б. Удинцев, А. Ф. Берсенов, В. М. Гордин отмечают, что в рамках моделей, основанных на гипотезе расширения дна океана, не находят удовлетворительного объяснения нарушение линейной структуры аномального магнитного поля за пределами срединно-океанического хребта и резкое возрастание амплитуд аномалий в краевых зонах, где глубины залегания магнитовозмущающих объектов в полтора раза больше, чем в зоне современного рифта. Поэтому они приходят к выводу, что формирование океанических котловин протекало в результате активности нескольких процессов. Процесс рифтогенеза, возможно, ответствен за формирование структуры лишь срединно-океанического хребта

с его линейно упорядоченным полем. По обеим сторонам хребта развитие впадин океана происходило в результате процесса деструкции (разрушения) и погружения континентальных окраин с изменением базальтовых траппов и внедрением интрузий.

16 февраля. После выхода из Гвинейского залива температура понизилась, жить стало легче. Ветер попутный, а суточные переходы доходят до 180 миль.

21 февраля. Сегодня прибыли в Дакар. Все же ветер и встречная крутая волна задержали нас на сутки. До чего же трудно на „Заре” уложиться в утвержденный план.

22 февраля. Стоянка в Дакаре. Программа стоянки очень напряженная. Необходимо пополнить запасы топлива, воды, продовольствия, привести в порядок главный двигатель и дизель-генератор. Научной группе необходимо починить глубоководный эхолот и сверить приборы в местной магнитной обсерватории М'Бур, находящейся примерно в 80 милях от Дакара, принять преподавателей университета и сотрудников геофизического института.

23 февраля. Вчера вечером приезжал директор обсерватории М'Бур Жозеф Мецгер, с которым я познакомился в 1964 г. Договорились о присылке за нами машины из обсерватории. Сегодня точно в договоренный срок пришла машина с сотрудником обсерватории Гансом Боршусом, и нам надо ехать в М'Бур.

24 февраля. Вчера провели сверхочные работы в М'Буре. Вдоволь насмотрелись по дороге на саванну и гигантские баобабы. Вдоль дороги почти на каждом третьем баобабе реклама, много конусообразных термитников, негустой кустарник, красная земля. Сейчас на судне начнется пресс-конференция. Вечером едем в советское посольство. Завтра утром приезжает декан физического факультета Массон с сотрудниками, а послезавтра посетим научно-технический факультет университета и познакомимся с университетским ядерным реактором.

26 февраля. Вышли из Дакара. Предстоит переход до Гибралтара, на который запланировано 14 дней. Аппара-

тура в хорошем рабочем состоянии, глубоководный эхолот починен.

10 марта. Переход Дакар — Гибралтар. Эхолот отрабатывает простой на прошлом переходе. Уже „подсекли“ несколько подводных гор с очень спокойным магнитным полем над ними. Картина совершенно другая, чем над подводными горами Атлантического хребта. Стоило изменить курс с северного на северо-западный, чтобы идти крутым бейдевиндом, как по судну пошел слух, что идем на Кубу, а оттуда с попутным ветром прямо в Копенгаген. Скорость распространения слуха примерно равна длине судна за два часа.

16 марта. Ошвартовались в Гибралтарском порту. Перед Гибралтарским проливом три дня из-за встречного шторма стояли на месте, вернее, маневрировали перед проливом и уже решили идти в Касабланку. Переход вместо 14 дней занял 19. Стоянка пять суток. „Наука“ свободна от внешних хлопот, так как в Гибралтаре научных учреждений нет. Будем проводить камеральную обработку полученного материала.

21 марта. Вышли из Гибралтара. Предстоит переход до Копенгагена, а там и домой. Более всего опасаемся Бискайя в это время года.

23 марта. Переход Гибралтар — Копенгаген. Проходим над известной по прошлым рейсам магнитной аномалией, которая сопутствует Лиссабонскому разлому, отчетливо видимому даже на путевой навигационной карте. Очень характерное место: до и после него магнитное поле очень спокойное, а здесь аномалии, которые убывают по амплитуде с увеличением расстояния от берега. Создается впечатление, что магнитное поле здесь целиком зависит от тектонического строения.

Академик Ю. М. Пушаровский отмечает: „Изучение конкретных форм проявления тектонических движений в океанах показывает, что они многообразны. Здесь существуют крупные блоковые и сводовые воздымания и опускания, обусловленные вертикальными движениями.

Наряду с ними выделяются подвижные океанические пояса (Мировая рифтовая система), характеризующиеся сложным комплексом тектонических движений. В океанах Индо-Атлантического сегмента Земли широко развиты процессы тектонической деструкции, определяющее значение в которых принадлежит явлениям раздробления коры, растяжения ее слоев и раздвигания блоков. Установлены гигантские разломные зоны с крупными сдвигами по ним. Существуют (по А. В. Пейве) сложнейшие перемещения блоков, пластин и чешуй по субгоризонтальным поверхностям, приводящие к явлениям тектонического ссучивания, с одной стороны, и растяжения — с другой. В совокупности все эти процессы порождают весьма специфические структурные формы, свойственные океанической коре". Сложность тектонического строения океанической коры, как мы сейчас это понимаем, не позволяет установить простые и однозначные связи между тектоническими структурами и магнитным полем.

6 апреля. Прибыли в Копенгаген. Бискай оказался surprisingly приветлив, да и вообще переход прошел как-то спокойно. Настроение поднимается с каждым днем — ведь впереди скорая встреча с домом!

7 апреля. Оказывается, мы пришли прямо в дни пасхальных каникул. Профессор Лаурсен сказал сегодня, что все его сотрудники уже в отпусках и сделать сверку приборов некому. День очень солнечный, ясный — как раз для праздников.

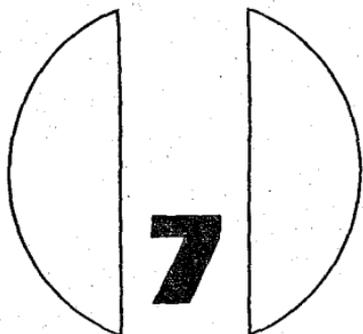
8 апреля. Весь день валит плотный снег, намело на набережной, завалило судно. Миша Бахилин катается по пирсу на лыжах. И где только он их достал?!

16 апреля. Переход Копенгаген — Ленинград. Только сегодня смогли выйти в море. Вчера провели сверку магнитометров в обсерватории Руде-Сков. Задержка была не только в этом. По всей Балтике шторм со снегом, ледовая обстановка тяжелая, и хорошо, если пробьемся в Лиенаю.

17 апреля. Укрываемся от шторма (со снегом) за островом Борнхольм. Стоим на якоре.

18 апреля. Снялись утром с якоря. Сплошной туман. Идем с туманными сигналами и все же навалились (не сильно) на шведское рыболовное судно. Виноваты шведы, которые не подавали положенных туманных сигналов, слишком увлеченные выборкой сетей. Разошлись мирно, но у нас лопнул ватер-штаг. Представляю состояние Бориса Васильевича! Оценив ледовую обстановку, приняли решение идти в Лиенаю.

21 апреля. Пришли в Лиенаю. Приборы выключили. Экспедиция закончена. С непрерывными измерениями пройдено 24 164 мили. Нас встречают три человека, и среди них моя жена. Завтра из Ленинграда придет машина и весь экспедиционный материал будет отправлен в институт. Мы уезжаем послезавтра. До свидания, „Заря“! До следующего рейса!



Остаются только факты,
Что с большим трудом добыты.
Факт живет, когда давно уж
Все гипотезы забыты.

И. Тиле

ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН. РЕЙС № 9

Задачи индийского рейса были почти аналогичны задачам предыдущей атлантической экспедиции. Планировалось проведение непрерывных компонентных измерений на кольцевом маршруте по периферии Индийского океана для уточнения мировых магнитных карт этого района, а в точках пересечения с маршрутами „Зари” предыдущих лет получение прямых данных о суммарных изменениях поля. Кроме того, результаты съемок предполагалось использовать для изучения аномального магнитного поля и прояснения его связи с геологическим строением океанического дна. Программой предусматривалось проведение ионосферных наблюдений, наблюдений за нейтронной составляющей космических лучей и типовых гидрометеорологических наблюдений. 21 октября 1966 г. „Заря” вышла из Ленинграда в Таллин для получения там некоторых запасных частей для главного двигателя, а 25 октября начинался очередной — девятый — рейс через Балтийское море, Кильский канал, Северное море, Атлантический океан, Гибралтарский пролив, Средиземное и Красное моря в Индийский океан и обратно.

30 октября. Переход Таллин—Гибралтар. Вышли из Кильского канала. Впереди восемь экспедиционных месяцев. До Гибралтара 1600 миль. На „Заре“ новый капитан — Владимир Иванович Узолин, новый старший помощник из эстонского пароходства — Виктор Мышко, новые второй и третий штурманы, второй механик. В составе научной группы тоже изменения. Начальником приборного отряда вместо Жоры Клименко — опытный приборист Борис Михайлович Цуцкарев. Прибористы Савва Павлович Бакалинский и Владимир Николаевич Дубенецкий из Ленинградского отделения ИЗМИРАН. Ионосферист Борист Величанский — из Иркутска, а космик Иван Филиппов — из Москвы. Из научной группы, участвовавшей в прошлом рейсе, — Л. Г. Касьяненко, Ю. С. Сидоров, В. В. Комаров и я. В этом рейсе прибористов явно больше, и предварительная обработка ляжет на нас троих — Юру, Леню и меня, правда, можно рассчитывать на „универсала“ — Савву Бакалинского.

4 ноября. Суточные переходы до сегодняшнего дня с попутным ветром 6—7 баллов составляли 180 миль. Завтра утром войдем в Бискайский залив. Хорошо бы проскочить до Гибралтара с таким ветром!

5 ноября. Шторм с юго-запада 9—10 баллов. Временами дождь со снежными зарядами, видимость плохая: вынуждены лечь в дрейф, определиться ни по солнцу, ни по звездам не можем — многослойная облачность. Кто-то из остроумцев мрачно заметил, что на „Заре“ ветер ряснят на бушприте — куда не повернешь, ветер вопреки всяких лоций дует „в морду“.

7 ноября. 49-я годовщина Октября. Отметили праздник баней, хотя в шторм это занятие нелегкое и небезопасное. Но шторм понемногу стихает.

8 ноября. Идем вдоль побережья Португалии предельно близко к берегу, чтобы съемкой на этом маршруте дополнить данные предыдущих лет о магнитном поле над Лиссабонским разломом.

10 ноября. Сегодня прибыли в Гибралтар. Сократим вре-

мя стоянки до двух суток, чтобы не упустить хорошей погоды на переходе через Средиземное море до Порт-Сауда. Научных встреч в Гибралтаре не предвидится, можно сходить в город и забраться на гору, где живет единственное в Европе стадо диких обезьян. Интересно наблюдать это зверье!

12 ноября. Вышли из Гибралтара. Вдоль африканского побережья идем к Порт-Сауду, чтобы через Суэцкий канал выйти в Красное море.

Взгляды ученых на происхождение и развитие Средиземного моря разительно отличаются в зависимости от того, какой геотектонической концепции они придерживаются. Так, один из основателей гипотезы тектоники плит Ксавье Ле-Пишон на последнем Международном геологическом конгрессе в Москве в 1984 г. в своем докладе о происхождении впадин Средиземного моря нарисовал следующую картину его образования. Современное Средиземное море, возможно, частично представляет собой реликт среднемелового океанического бассейна, который начал погружаться и субдуцировать по направлению с северо-запада на юго-восток 25—30 млн. лет назад под так называемую сейчас Калабрийскую дугу. Десять миллионов лет назад направление погружения изменилось — погружение происходило под Эллинскую дугу с северо-востока на юго-запад. Субдукция активно продолжается и сейчас. В результате субдукции образовались океанические впадины: Балеарская и Северо-Алжирская в раннем миоцене (23 млн. лет назад) и Тирренская впадина с эпиокеанической корой за Калабрийской дугой в позднем миоцене и в плиоцен-четвертичное время (5—2 млн. лет назад). В это же геологическое время образовалось на континентальной коре Эгейское море за Эллинской дугой. В эволюции всего региона преобладает динамика субдукции. Надвигание континентальных окраин на сопредельные среднемеловые океанические впадины происходило на крайнем западе вблизи Алборанской плиты и на крайнем востоке между островами Крит

и Родос. Субдукция постоянно продолжается и может достигать скорости 3—4 см/год в тех же зонах, где происходит столкновение океанической и континентальной коры. Силы „формирования желобов” преобладают в тектонической эволюции этого региона, хотя значительная часть энергии расходуется на боковые растяжения при развитии новообразованных впадин.

Совершенно другую картину рисуют авторы монографии „Земная кора и история развития Средиземного моря”. На основе личных многолетних исследований геологического строения, геофизических особенностей впадин Средиземного моря, проведенных в морских экспедициях и геологических экскурсиях в ряде стран Средиземноморья, учитывая данные глубоководного бурения и обширную литературу по геологии дна и окружающих берегов, авторы приходят к мнению, что впадины Средиземного моря не являются остатками древнего океанического дна, а представляют собой систему депрессий, возникших на континентальной коре, в частности на коре фундамента древних докембрийских платформ и окаймляющих их более молодых складчатых областей. Западная и восточная части Средиземного моря несколько различны по своему происхождению. Западная образовалась на фундаменте, сложенном различными по возрасту складчатыми системами, включающими отдельные блоки древних платформ на участке между ними, а восточная часть является погруженной северной окраиной огромной по площади древней Африканской платформы.

Трудно усомниться в научной компетентности авторов столь диаметрально противоположных точек зрения или упрекнуть их в непонимании ценности историко-тектонических реконструкций, позволяющих наметить пути образования и места размещения полезных ископаемых на морском дне. Отчасти такая ситуация объясняется недостаточностью фактического материала, сложностью его уверенной геологической интерпретации, особенно геологической интерпретации геофизических

полей, недостаточным учетом всей имеющейся комплексной информации. Но велик, конечно, и гипноз принятой концепции, заставляющей авторов рассматривать и обобщать один и тот же материал под разными углами зрения.

16 ноября. Переход Гибралтар — Порт-Сауд. Ветер попутный 6—7 баллов, ходим еще в сапогах и ватниках, особенно ночные вахты. Смельчаки утром вместе с доктором принимают соленый душ из заборной воды.

24 ноября. Подходим к Порт-Сауду на сутки раньше плана. Через агента известили о нашем приходе магнитную обсерваторию Миссалант.

25 ноября. Первая научная встреча. На судно приехал директор обсерватории доктор Самаха с двумя ассистентами. Показал ему судно, приборы и сообщил о программе экспедиции. Жаль, нет времени провести сверку приборов в обсерватории, так как до нее 100 км и надо еще хлопотать о разрешении на ее посещение. Договорились с Самахой о проведении сверки на обратном пути. Завтра проведем контрольные наблюдения во дворе советского консульства, а послезавтра начнем проходить Суэцкий канал.

30 ноября. Идем Красным морем вдоль западного побережья, дополняя маршруты предыдущих съемок 1958 и 1959 гг. На прохождение Суэцкого канала затратили трое суток из-за сплошного тумана, нарушившего нормальное движение судов. Если где-либо возникает какая-то погодная аномалия — „Заря” тут как тут!

Впервые магнитные наблюдения в Красном море на „Заре” были проведены в 1958 г. во время Международного геофизического года, когда судно возвращалось из Индийского океана в Черное море. Было выяснено, что аномальность магнитного поля чрезвычайно велика в южной и центральной частях моря, где аномальные значения достигают 1000—2000 нТл. В северной части моря поле становится несколько спокойнее, хотя и здесь отдельные аномалии достигают 600—800 нТл. Самая северная часть моря, на подходах к Суэцкому заливу и в

самом заливе, характеризуется практически безаномальным полем. М. М. Иванов, научный руководитель этой экспедиции, провел расчеты глубин залегания магнито-возмущающих источников и сделал вывод о том, что глубина погружения кристаллического фундамента в пределах Красного моря постепенно увеличивается с юга на север приблизительно от 1 км под уровнем дна на юге до 3 км и более — на севере. Он поддерживал гипотезу о единстве структур дна моря и его побережья без какой-либо существенной ее переработки. Эта гипотеза рассматривает провал Красного моря как грандиозный грабен, принадлежащий к единой системе восточно-африканских разломов земной коры. Сторонники тектоники плит считают, что Красное море представляет собой новообразованный океанический бассейн, сформировавшийся в процессе удаления Аравийского полуострова от Африки. Существуют различные мнения о времени раскрытия моря и масштабах распространения новообразованной океанической коры. Геологические данные свидетельствуют, что разуплотнение коры началось в позднем мелу и что Красное море возникло как депрессия или серия депрессий, в которых накапливались как морские, так и сухопутные осадки. Пока еще ни одна из разведочных скважин не достигла достоверного докембрийского фундамента или новообразованной океанической коры в пределах главного провала Красного моря, поэтому модельные построения истории его развития, основанные главным образом на изучении геофизических полей, пока остаются на уровне хорошо обоснованных гипотез.

10 декабря. Переход Порт-Саид — Аден. Подходим к Баб-эль-Мандебскому проливу. Сильный встречный ветер 6—7 баллов. Крутая волна, стоим фактически на месте, 13 декабря. Прибыли на рейд Адена. Потеряли на этом переходе трое суток — все, что удалось сэкономить от самого Таллина. Портовые власти просят заканчивать увольнение к 17 часам и воздержаться от посещения центральных районов города.

14 декабря. Ходили в увольнение. Аден похож на прифронтовой город. На улицах рогатки с колючей проволокой, на углах стоят английские патрули по три человека с оружием наизготовку. Много джипов с солдатами, кузова машин затянуты сверху проволочной сеткой от пластиковых бомб. Но магазины торгуют, в кафе сидят посетители и козы мирно обедают афиши с тумб.

16 декабря. Вышли из Адена. Теперь через центральную часть Индийского океана к острову Маврикий. Будем пересекать извечные пути тропических циклонов.

21 декабря. Переход Аден — Порт-Луи (остров Маврикий). Противный ветер сменился на попутный. Подняли все паруса, стараемся наверстать упущенное.

26 декабря. Переход экватора. Опять становлюсь Нептуном, но в Индийском океане Нептуну положено говорить ямбом. Текст написал блюститель морских традиций Александр Александрович Гуржи.

31 декабря 1966 г. Переход Аден — Порт-Луи. Встречаем Новый год на верхней палубе. Жарко и душно. Зачитываю поздравительные телеграммы институтского начальства, товарищей, оставшихся на берегу, Ивана Дмитриевича Папанина.

Путь „Зари” проходил над интересными и в магнитном отношении мало изученными местами: 16 и 19 декабря пересекли котловину Аденского залива, 19-го же вечером прошли мимо острова Соко트라, 20—28 декабря шли вдоль западной границы подводного Аравийско-Индийского хребта, 29—30 декабря пересекли хребет. Глубины менялись от 200 м на материковом склоне у острова Соко트라 до 4,5 км на склонах хребта, и почти все время удавалось следить за рельефом дна.

Индийский океан, по сравнению с Атлантическим, геофизическими методами изучен менее детально. Регулярные магнитные съемки начали проводиться здесь с начала 60-х годов. Ряд ученых, учитывая крупные различия в строении земной коры Индийского океана, различия

в характеристиках геофизических полей и интенсивности магматизма, возрасте и типе осадконакопления, подразделяют акваторию Индийского океана на три геоблока: Западно-Индоокеанский, Восточно-Индоокеанский и Южно-Индоокеанский. Геоблоки ограничиваются срединно-океаническими хребтами, трансформными разломами, хребтами и возвышенностями. В геоблоках выделяют области прогибания, океанические платформы, испытавшие интенсивную деструкцию земной коры, останцы континентальной коры и океанические подвижные пояса.

Согласно А. П. Милашину и В. А. Панаеву, одной из основных особенностей аномального магнитного поля Индийского океана является преобладание линейных аномалий ламонтской последовательности от № 2 до № 22 (образованных от 5 до 53 млн. лет назад). Особенно ярко это выражено между Австралией и Антарктидой. Более полная система аномалий до № 33 (до 75 млн. лет назад) выделяется только в юго-западной части океана, восточнее Западно-Индийского хребта, и в северной части океана по обе стороны Восточно-Индийского хребта. Другой особенностью магнитного поля Индийского океана является то, что линейные аномалии на большей части его ложа имеют простирание, перпендикулярное ныне существующим хребтам, а трансформные разломы им параллельны. Исключением являются системы аномалий, связанные с Восточно-Индийским и Австрало-Антарктическим хребтами. С позиции спрединга принято считать, что эти аномалии образованы на более ранних этапах развития океана и связаны с осями более древнего спрединга. Зоны спокойного магнитного поля выделяются только вблизи континентов, а система мезозойских аномалий (верхняя юра — нижний мел) наблюдается только на восточной окраине океана — западнее и северо-западнее Австралии. В целом аномальное магнитное поле в Индийском океане сложнее, чем в Атлантическом. В восточной части океана период аномалий

40 км и более, а амплитуды относительно высоки и достигают 500—600 нТл. В западной части период аномалий меньше: не превосходит 30 км, а интенсивность снижается до 200—300 нТл. Над сводово-глыбовыми и вулканическими поднятиями, микроконтинентами и другими структурами аномальное поле имеет довольно разнообразный рисунок и интенсивность.

4 января 1967 г. Ошвартовались у причала главного порта острова Маврикий — Порт-Луи. Стоянка предстоит длительная — надо провести моточистку главного двигателя, подтянуть такелаж, починить паруса. Задачи научной группы: сверить приборы в магнитной обсерватории острова — одной из старейших в мире, сделать их профилактический ремонт и постараться провести камеральную обработку материалов съемки до самого Маврикия.

5 января. Сегодня нам нанес визит руководитель местного метеорологического центра доктор Сван, в ведении которого находится и магнитная обсерватория. Раньше обсерватория располагалась на территории Ботанического сада Памплимус, а в 1965 г. в связи с ростом промышленных помех была перенесена в район аэропорта. Но и в аэропорту их оказалось не меньше. Сейчас это общая проблема и трагедия многих магнитных обсерваторий в густонаселенных местах. Договорились о проведении сверки приборов на послезавтра.

8 января. Оказывается, мы попали на Маврикий в период подготовки к объявлению острова независимым государством. В придачу к независимости остров получает перенаселенность, явную и скрытую нищету, монокультуру сахарного тростника и сложную политическую ситуацию. На острове смешение рас, религий, культур, партий.

9 января. Весь экипаж „Зари” приглашен маврикийским Союзом Ленинской Молодежи на открытие государственной общеобразовательной школы, которая, по мысли учителей, не должна ни в чем уступать частным пансионам. Выступил на открытии с короткой речью и подарил

школе от имени „Зари” тестер для лабораторных занятий.

10 января. Члены Союза Ленинской Молодежи помогли нам организовать поездку на автобусе по острову, которая продолжалась целый день. Объездили весь Порт-Луи, видели много небольших чистеньких городков, поселков, большие плантации сахарного тростника, чудесные пляжи и пальмовые рощи.

15 января. Выходим из Порт-Луи. Впереди самый протяженный переход до Фримантла. Вчера над островом бушевал ураган, и сегодня в океане огромная зыбь. Еле проскочили между двумя рифами, но надо спешить использовать благоприятный ветер, спуститься до „ревущих сороковых” и с западным пассатом идти до самой Австралии.

17 января. Переход Порт-Луи — Фримантл. Идем на юг. Становится все прохладнее, исчезли летучие рыбы и дельфины. Появились альбатросы. За два дня не встретили ни одного судна.

20 января. Третьи сутки шторм, сильная качка. Два дня нет обсерваций — идем по счислению.

26 января. Прошли острова Сен-Пол и Амстердам, пересеклись с маршрутом „Зари” 1958 г. Стало совсем холодно. Почти каждый день штормит. Сегодня как раз середина нашей экспедиции. Завтра будем выбирать из 40-х широт и ложиться на курс к Фримантлу.

Изменения магнитного поля во времени (так называемую вековую вариацию) определяют по разности измеренных значений поля в одной и той же точке пространства через определенный интервал времени. Чем больше временной интервал, тем грубее мы это явление отображаем. В разных точках земного шара изменения происходят по-разному. Поэтому для пространственного изучения тоже должен быть выбран определенный разумный пространственный интервал. Чтобы набросить на эту как бы дышащую картину надежную измерительную сеть, нужно представлять себе ее пространственно-вре-

менные характеристики: длину волны в пространстве и частоту во времени. В этом нам помогают наблюдения предыдущих лет, регулярно проводимые на суше и время от времени на морях и океанах. Некоторые расчеты показывают, что основные черты вековой вариации по земному шару можно довольно точно описать пространственным шагом в несколько сот километров и временным интервалом в 3—5 лет. Для измерений на суше нет никаких особых проблем. Дело обстоит иначе при проведении измерений на акваториях. Прежде всего надо прийти в „точку”, где проведено предыдущее измерение. Эта „точка” практически всегда представляет собой определенную область с радиусом от десятков метров (при самых совершенных современных навигационных средствах) до километров. Поэтому возникает так называемая магнитная координатная погрешность, целиком входящая в определяемое значение вековой вариации. В некоторых случаях она может быть больше самого явления. Если нам удастся этой погрешности избежать или уменьшить ее за счет применения еще более совершенных навигационных систем, на арену выступает другая погрешность — погрешность учета переменной части поля (в основном суточной вариации). Для ее устранения необходима постановка донной или буйковой магнитовариационной станции, что является для больших океанских глубин пока довольно сложной операцией. Для устранения этих двух видов погрешностей (мы не говорим об инструментальных, девиационных и т. п.) применяются различные методические приемы, требующие проведения не однократных измерений, а измерений в точке в течение одних-двух суток. Таким образом, за точность приходится расплачиваться затратами времени, а это всегда в конце концов затраты экономические. Недаром так бьются теоретики над прогнозом вековых вариаций, но прогноз — это уже высшая ступень понимания, а до этого еще далеко. До сих пор непонятно, почему от столетия к столетию меняются не только интенсивность фокусов

вековой вариации и их место, но даже и их число. Неясно, все ли фокусы порождены самостоятельными источниками или есть „кажущиеся”, вызванные суммированием полей соседних источников. Почему некоторые фокусы дрейфуют быстро, а другие очень медленно? Таких вопросов — и совсем не праздных — возникает много. Ответы на них, безусловно, придут, и тем скорее, чем детальнее, точнее и на большем временном интервале эти явления мы сможем изучить. Для изучения же нужна информация, получаемая сейчас как по прямым измерениям геомагнитного поля, так и с использованием методов архео- и палеомагнитных исследований.

6 февраля. Прибыли во Фримантл. Будем стоять здесь пять дней. Необходимо связаться с магнитной обсерваторией Гнангара и провести там сверку приборов.

9 февраля. Стоим в порту Фримантл. Позавчера принимали и знакомили с судном группу сотрудников геофизического центра Мандаринг. Вчера ознакомились с работой этого центра, расположенного в 30 км от Фримантла, а затем провели сверку приборов в магнитной обсерватории Гнангара, принадлежащей ему же. Обсерватория, расположена в национальном парке, промышленные помехи минимальные, прекрасный сверочный павильон, высокая степень автоматизации обработки данных. На обратном пути наша машина чуть не врезалась в перебежавшего дорогу кенгуру.

11 февраля. Стоянка закончена. Начинается обратный путь по восточной и северной периферии Индийского океана к Красному морю.

В 1961 г. один из авторов, занимаясь массовыми расчетами глубин залегания аномалеобразующих тел по данным съемок „Зари” за 1957—1960 гг., наивно спросил своего научного руководителя М. М. Иванова: „Михаил Михайлович, а чего же все-таки больше — аномалий или спокойных полей?” „Хотел бы я это знать,— ответил, подумав, Иванов,— кажется, аномальность и есть норма. Но нужна большая статистика или хотя бы один непре-

рывный профиль вокруг земного шара". Такой профиль для северного полушария по данным аэромагнитных съемок по проекту „Магнит” составил в 1965 г. английский ученый Л. Олдридж. Участник рейса № 8 Е. Н. Розе в 1970 г. составил круговой профиль для южного полушария Земли, используя главным образом данные съемок „Зари” и, в частности, маршрут рейса № 9 Порт-Луи — Фримантл. Результаты анализа двух этих профилей совпали. Применяя способы спектральных представлений, Л. Олдридж и Е. Н. Розе показали, какой величины и протяженности аномалии можно наблюдать на земной поверхности. Математический подход позволил сжать маршруты почти в 40 тыс. км каждый до небольшой наглядной картинки. В частности, было показано, что между аномалиями, порождаемыми источниками в земной коре, и крупными аномалиями, за которые, возможно, ответственна жидкая часть ядра, существует минимум в спектре. Это обстоятельство позволяет математически обоснованно разделять наблюдаемое поле на составляющие и вносит объективное начало в сложный процесс пространственного разделения магнитных полей.

12 февраля. Переход Фримантл — Сингапур. На этом переходе в дополнение к магнитным измерениям придется превратиться в судно погоды. Австралийский метеорологический центр, учитывая, что наш путь проходит в области зарождения циклонов, просил передавать сводку наблюдений за погодой непосредственно ему. Хорошо бы с этими „новорожденными” вообще не встречаться! Погода пока нас балует. Ветер попутный, не жарко. Приборы работают отлично.

15 февраля. Проходим над подводными горами высотой от 2 до 5 км. Связь магнитного поля с рельефом настолько тесная, что вахтенные соревнуются, предсказывая размеры гор по размерам и форме аномального поля.

24 февраля. На рассвете прошли мимо вулкана Кракатау. Его разорванная вершина видна очень хорошо. В центре из молодого вулканчика мирно идет дымок. На дне под

нами подводные горы — тоже вулканы. Наверняка время от времени происходят подводные извержения. Не дай бог оказаться в это время над ними! Как бы подобраться к прогнозу извержений через магнитное поле? В принципе, должны наблюдаться локальные изменения поля при изменениях объема магматической камеры, но эффект этот, наверное, совсем невелик.

Существование различных видов намагниченности горных пород (термоостаточной, магнитоупругой, химической и др.) и зависимость намагниченности от температуры, давления, химических превращений не позволяют нам считать, что магнитное поле пород остается постоянным во времени. В реальных условиях, за исключением вулканических извержений, температурные и химические процессы в земных недрах идут весьма медленно. Следовательно, если на ограниченной территории замечены быстрые изменения магнитного поля и есть уверенность, что эти изменения обусловлены внутренними причинами, мы вправе предполагать, что они обусловлены быстрыми перестройками полей упругих напряжений. Поэтому локальные изменения магнитного поля в сейсмоактивных районах могут быть предвестниками землетрясений, а в районах с вулканической деятельностью — предвестниками извержений вулканов. Эта физически обоснованная догадка, казалось бы, получила и прямое экспериментальное подтверждение. Доцент Одесского университета П. Т. Пасальский в 1898 и 1900 гг. провел подробную магнитную съемку Крымского полуострова и прилегающего к нему района. После известного крымского землетрясения в сентябре 1927 г. съемка была повторена, а результаты ее проинтерпретированы в том смысле, что часть изменений в магнитном поле в этот промежуток времени была отнесена за счет изменения свойств горных пород после происшедшего землетрясения. Работы подобного направления начали развиваться в Японии, США и других странах. Сейчас многие учреждения в нашей стране и ряде зарубежных стран занимаются изучением магнитных

предвестников землетрясений, но успехи в этом направлении пока незначительны. Как правило, результаты изменений поля удается зафиксировать после землетрясения, да и то не всегда. Например, на газлийских землетрясениях чувствительный магнитометр, удачно установленный в эпицентре землетрясений, зафиксировал изменения поля практически в пределах погрешности измерений. Для специалистов эта осторожная формулировка означает, что ожидаемый эффект обнаружен не был. Отсутствие прогресса в этом направлении исследований магнитного поля объясняется в первую очередь сложностью явления и необходимостью выделения полезного сигнала очень малых амплитуд на фоне изменений поля от других источников (внутренних и внешних), значительно превышающих сигнал, который мы ищем. Собственно, это вечная проблема обнаружения сигнала на фоне помех. Каждый раз ее решение требует сугубо творческого подхода, изощренных методик и повышения чувствительности аппаратуры. Но понятно, что конечная цель — прогнозирование этих грозных природных явлений — настолько важна и насущно необходима, что оправдывает любые усилия в этом направлении.

26 февраля. Идем между небольших островков, преодолевая сильный встречный ветер, временами налетают шквалы с дождем. Растет температура забортной воды, падают обороты главного двигателя. В каютах все быстро покрывается пушистой дурно пахнущей плесенью.

28 февраля. Отдали якорь на рейде Сингапура. Пополним судовые запасы, по возможности сократим стоянку — и на Цейлон. Два наших последних перехода — Сингапур — Коломбо, Коломбо — Аден, если верить лоции, должны проходить с попутным ветром. Шторма в это время года в северной части Индийского океана редки. Все бы хорошо, но политическая ситуация в Адене и зоне Суэцкого канала накаляется. Поэтому надо спешить. Если закроют канал, придется идти во Владивосток, или вокруг Африки. Перспектива для нас мало привлекательная.

4 марта. Вышли из Сингапура. Пойдем через Малаккский пролив, Андаманское море и проливом Десятого Градуса в Бенгальский залив.

12 марта. Переход Сингапур — Коломбо. Если бы не жара и повышенная влажность, этот переход можно было бы считать одним из самых спокойных и легких за весь рейс. От более подробной съемки Бенгальского залива с заходом в Калькутту, как предусматривал один из вариантов плана, решили отказаться. Скоро сезонная смена направления господствующих ветров в северо-западной части Индийского океана, и все они не будут нам попутными. Кроме того, подходит время очередного профилактического ремонта главного двигателя.

14 марта. Прибыли в Коломбо. Стоянка по плану 12 дней. Стармех обещает сократить время моточистки хотя бы на день.

25 марта. На сутки раньше планового срока выходим в море. Спешим в Аден. До Коломбо мне казалось, что более зеленый и красивый остров, чем Маврикий, вряд ли можно встретить. Но Цейлон — какое-то буйство зелени и разнообразных цветов. И все это одуряюще пахнет!

17 марта ездили в древнюю столицу Цейлона — Канди, посещали храмы, кумирни, плантации, фабрики чая, катались на слонах. Времени отдохнуть было достаточно. Много сделали и по камеральной обработке. К сожалению, на острове нет ни одной магнитной обсерватории. Как-то исторически сложилось, что вся магнитная служба сосредоточилась в южной Индии, а у молодого государства Шри Ланка пока хватает других забот.

4 апреля. Переход Коломбо — Аден. Пересекли свой маршрут прошлого года у острова Сокогра. На этом же месте 20 декабря 1966 г. какой-то морской обитатель откусил один электрод ЭМИТа, который мы тащим в 100 м за кормой. Сегодня утром история повторилась. На нашу прекрасную патентованную японскую снасть для ловли тунцов со свежей наживкой никто так и не позарился!

Появление электромагнитного измерителя течений

(ЭМИТа) было встречено океанологами поначалу с энтузиазмом. Это новшество позволяло проводить определения скорости течений прямо на ходу судна и автоматизировать измерения, что всегда привлекательно. ЭМИТ основан на принципе измерения э. д. с., образовавшейся за счет индуцированных в движущейся относительно магнитных силовых линий Земли морской воде. Однако, как указал В. В. Шулейкин, увлекаясь этим методом, многие практики не учитывают многочисленных источников всевозможных помех, в частности за счет изменения самой вертикальной составляющей земного магнитного поля. Как раз для магнитологов эта обратная сторона дела и является наиболее интересной. В низких широтах, при небольших скоростях морских течений, изменения вертикальной составляющей магнитного поля индуцирует э. д. с., которая при соответствующих пересчетах может дать представление о величине этих изменений (вариациях) прямо по ходу движения судна. Это обстоятельство чрезвычайно важно в открытом океане, где до ближайших магнитных обсерваторий тысячи и тысячи километров. Одни из первых измерений с ЭМИТом для этих целей были проведены на „Заре” в рейсе № 9. Дальнейшее изучение этого вопроса позволило оценить возможности разделения постоянной и переменной во времени частей магнитного поля в зависимости от скорости перемещение носителя магнитометрической аппаратуры.

6 апреля. Прибыли в Аден, отдали якорь на внешнем рейде.

10 апреля. Двое суток пережидали забастовку портовых рабочих, затем нам привезли воду, топливо, продовольствие. Сегодня уходим в Красное море и через Суэц и Порт-Сауд — в Средиземное. Ночью над Аденом вспыхивают осветительные ракеты, временами слышатся звуки выстрелов. Улицы оцеплены английскими солдатами.

23 апреля. Порт-Сауд. На этот раз в Красном море нам

повезло: переход от Адена до Порт-Сауда прошел за 12 суток, почти точно по плану. В город из порта выпускают по пропускам, чего не было во время предыдущей стоянки. Поездка в обсерваторию явно не состоится. На судне дежурят представители портовой полиции. В консульстве тоже какая-то тревожная атмосфера, но контрольные измерения у них в садике мы провели.

25 апреля. Вышли в Средиземное море. Скорость резко упала из-за встречного северо-западного ветра.

27 апреля. Решили осуществить запасной вариант и идти в Гибралтар по северному маршруту, где ветер будет попутным. Для этого придется зайти в Неаполь пополнить запас пресной воды.

1 мая. Переход Порт-Сауд — Неаполь. Праздник отметили отличным пирогом. Погрустили о доме.

6 мая. Переход Неаполь — Гибралтар. Нет худа без добра. Провели полноценную съемку на переходе Порт-Сауд — Неаполь, что будет приятным сюрпризом для наших картографов. Раньше „Заря” здесь не ходила. Сейчас следуем в район, где съемки также отсутствуют. Трое суток стоянки в Неаполе пролетели как один день. Ездили в Помпею, два дня осматривали город с утра до вечера. Все переполнены впечатлениями.

13 мая. Прибыли в Гибралтар. Будем стоять четыре дня. Ожидаем завтра визита группы английских офицеров военно-морской базы Гибралтар. Пополним судовые запасы, проведем профилактику магнитометров и через Бискай и Северное море — в Копенгаген.

17 мая. Сегодня вышли из Гибралтара. Предполагаем пройти параллельно двум маршрутам предыдущих лет вдоль берегов Испании и Португалии, но миль на 60 мористее.

21 мая. Переход Гибралтар — Копенгаген. Только сегодня смогли повернуть на север, до этого из-за встречного ветра все время приходилось идти курсами северо-западных направлений и параллельного маршрута не получилось.

23 мая. Ветер 8—9 баллов, решили все же идти в Бискай, так как, согласно прогнозу, циклон меняет направление.

24 мая. Ветер сменил направление с юго-западного на северо-западное, и качка стала совсем невообразимой. Барометр продолжает падать. Пришлось выключить приборы. Да, надо было отстояться в Ла-Корунье!

26 мая. Шторм стал стихать, и вечером войдем в Ла-Манш, где будет относительно спокойно. Устали от качки.

1 июня. Прибыли в Копенгаген, встали у причала Ланге Лайн очень близко от андерсеновской Русалочки. Завтра наш добрый друг профессор Лаурсен возьмет на проверку в обсерваторию Руде-Сков наши переносные магнитометры. 4 июня выходим в море, и до Ленинграда, как многократно проверено, пять с половиной суток. Обратное в родной порт „Заря“ всегда идет почему-то быстрее. Экспедиция практически закончилась.

„...Презрев все опасности, пройдя места, ранее никем не проходившиеся с успехом окончив возложенное на нас дело, возвратились мы в любезное свое отечество, распространив круг человеческих знаний многими открытиями“, — так писал И. М. Симонов, астроном и магнитолог Антарктической экспедиции Ф. Ф. Беллинсгаузена после ее окончания

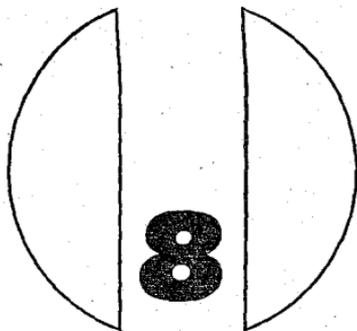
Кончилась и эта экспедиция, и „Заря“ вернулась в „любезное отечество“, успешно пройдя 25 675 миль за 169 ходовых суток, привезя данные непрерывных измерений, данные, для получения которых понадобился совместный труд 36 человек: ученых, штурманов, матросов, механиков, мотористов, поваров — всех тех, без кого экспедиция состояться не может.

А что же дальше?

А дальше — все начинается сначала. Составляется отчет о проделанной работе. Лаборатория магнитной картографии прямо из-под рук забирает данные, которые идут на новый комплект карт. Михаил Михайлович Иванов вместе с будущим начальником экспедиции Борисом Михайловичем Цуцкаревым и капитаном Владимиром

Ивановичем Узолиным садятся составлять новую программу, теперь уже рейса № 10. Опять по многу раз измеряются расстояния, просчитываются варианты, прикидываются все возможности с учетом погодных условий сделать за рейс как можно больше. „Заря” уходит ремонтироваться на Канонерский завод.

Начинается подготовка к новой экспедиции.



Любовь к истине, искание ее и следование ей пусть служат каждому руководством и маяком. Это важно как в больших, принципиальных вещах, так и, казалось бы, в мелких, несущественных. И особенную, исключительную, самодовлеющую важность имеет это в науке.

А. Д. Александров

ПОИСК ПОЛЬЗЫ И ИСТИНЫ

В своем „Опыте анализа процесса развития геологии как науки” известный советский ученый В. В. Тихомиров отмечает, что развитие науки характеризуется возникновением на определенном историческом этапе задачи или формулировкой проблемы, определяющими направление дальнейшего прогресса соответствующей отрасли знания. Подобная ведущая проблема или задача направляет развитие науки на протяжении всей ее истории или, во всяком случае, остается стержневой очень долгое время, переходя от одного этапа к другому. Для каждого периода истории развития той или иной отрасли знаний выделяются важнейшие теоретические идеи, исследовательские методы и научно-технические открытия, сыгравшие главную роль в развитии данной науки на соответствующем этапе. Вся история становления и развития геомагнетизма как науки является бесспорным подтверждением этого положения.

Начиная с Вильяма Гильберта, убедительно показавшего, что Земля сама является „большим магнитом”, до современных ученых, разрабатывающих теорию магнитного гидродинамо, перед всеми магнитологами стояла главная проблема — объяснить причины возникновения

и существования наблюдаемого земного магнитного поля. Безусловно, в отдельном конкретном исследовании решались частные задачи, но по-настоящему глубокое научное исследование всегда было нацелено на основную проблему, если и не прямо, то хотя бы косвенно. Со временем пришло понимание того, что корни полной разгадки возникновения и существования земного магнитного поля лежат в таинственных фундаментальных процессах, происходящих в микромире.

Известно, что зрелость какой-либо отрасли науки оценивается по ее способности не только объяснить существующие характерные черты своего предмета исследования, но и предсказать его поведение в будущем. По отношению к магнитному полю Земли мы пока можем высказывать только более или менее обоснованные догадки о причинах его происхождении и наметить как бы пунктиром его возможное поведение в будущем, основываясь на изучении его поведения в прошлом. Следовательно, геомагнетизм можно считать молодой отраслью естественных наук, правда, имеющей длительную предысторию развития с подлинно научными идеями и методами, зародившимися еще в XVII—XIX вв.

„Непрестанное усердие, с которым в новейшее время стремятся исследовать направление и величину земной магнитной силы во всех частях земной поверхности, представляет тем более радостное явление, чем очевиднее при этом проявляется чисто научный интерес. В самом деле, сколь ни важно для мореплавателя возможно точнее знать склонение, но эта потребность не распространяется далее, и все, что лежит вне ее, остается для мореплавателя почти безразличным. Однако наука, которая охотно способствует материальным интересам, ими не ограничивается, а требует равного усердия для всех элементов своего исследования”. Соглашаясь в принципе с этим высказыванием К. Ф. Гаусса и нисколько не умаляя главного назначения научного познания как средства ориентации людей в природной и общественной

среде, подчеркнем, что успешным развитием геомагнетизм обязан тому обстоятельству, что решение определенных научных задач гарантировало решение задач практических и было неразрывно с ним связано. Характерно, что и в наши дни наиболее быстро прогрессируют не направления, связанные с „чистой” наукой, а направления, развитие которых сулит непосредственный практический выход или обеспечение конкретных задач, нужных для чисто практических целей в недалеком будущем. Одной из причин такого положения является повышение стоимости научной информации, если речь идет о повышении точности экспериментальных исследований или изучении все более тонких эффектов какого-либо явления. Людям, профессионально занимающимся наукой, это хорошо известно как „принцип уменьшения отдачи”. Теория показывает, что для получения абсолютной точности, допустим, местоположения судна в океане, штурман должен затратить бесконечное количество энергии. Поэтому сегодняшнее развитие научной отрасли во многом определяется вкладываемыми в нее средствами. Естественно, что при разумной организации научных исследований фундаментальным общим проблемам должно уделяться соответствующее внимание, ибо все развитие науки доказывает, что „нет ничего практичнее хорошей теории”. Но общество вправе требовать и требует от научных исследований скорейшего удовлетворения своих сегодняшних насущных запросов, стимулируя для этого соответствующую отрасль науки.

Первой частной проблемой в геомагнетизме, безусловно чисто практической, была проблема морской навигации, в ходе решения которой оформились некоторые разделы науки о земном магнетизме. Эта проблема до сих пор еще не исчерпана, хотя к настоящему времени она весьма существенно преобразовалась. Открытие склонения поставило задачу изучения его географического распределения и соответствующего удобного для мореплавателей представления, то есть поставило вопрос о

магнитных картах. Когда необходимость в картах стала очевидной, по просьбе Ост-Индской компании английским правительством, была проведена первая специальная морская магнитная съемка под руководством Эдмунда Галлея. Результаты ее обработки и представления ознаменовались рождением нового направления в геомагнетизме — магнитной картографии. Следует напомнить, что магнитный компас используется как путеуказатель, а склонение необходимо знать, чтобы иметь возможность перейти от магнитного азимута к направлению географического меридиана, то есть, строго говоря, для перехода от „магнитной” системы координат к географической. В наше время эта же самая задача возникла в более общей постановке после запусков искусственных спутников Земли. Имея на спутнике магнитометр, можно с помощью него ориентировать любое устройство относительно направления вектора индукции по вектору или перпендикулярно ему. Магнитная ориентация может быть пересчитана в географическую систему координат, если известны два угла — склонение и наклонение в пространстве, где находится спутник. Эти свойства магнитного поля стимулировали развитие как магнитометрической аппаратуры, так и методики пространственного представления геомагнитного поля, в частности методов сферического гармонического анализа, позволяющих в отличие от карт связать элементы геомагнитного поля с тремя координатами, то есть рассчитать структуру поля не на плоскости, а в трехмерном пространстве.

Активное изучение переменного магнитного поля и электромагнитных процессов во внешнем пространстве также обусловлено, в первую очередь, практическими запросами, которые не могут быть удовлетворены без правильного понимания физики явлений. Еще до широкого развития радиосвязи было обнаружено, что при значительных возмущениях геомагнитного поля происходит нарушение проводной связи за счет индуцируемых ими в земле токов. Радиосвязь поставила новые совершенно

конкретные задачи перед специалистами-магнитологами, что стимулировало изучение пространства, окружающего Землю, процессов, протекающих в нем, и их связи с солнечной активностью и магнитным полем космоса. Но решение тех или иных задач возможно только при соответствующем техническом оснащении научной отрасли, а новая приборная база всегда вызывает к жизни новые методики, способы и приемы исследования явлений, из чего могут вырастать и новые научные направления. Яркий пример тому — сверхчувствительный аstaticкий магнитометр П. Блэкетта, на основе использования которого расцвела новая интереснейшая отрасль геомагнетизма — палеомагнетизм. Со своей стороны палеомагнитные исследования в значительной мере способствовали возникновению новых представлений о строении и развитии Земли — представлений неомобилизма. Понятно, что чем более достоверны наши представления о становлении и развитии нашей планеты и происходящих на ней геологических процессах, тем более уверенные прогнозы поиска полезных ископаемых на основе этих представлений можно получить и тем более рационально можно использовать природные ресурсы океанов и континентов.

Наверное, наилучшей иллюстрацией взаимного влияния запросов практики и развития научных направлений является история развития поисковой геофизики, в том числе магниторазведки. Магическую лозу сменил вполне реальный магнитометр, причем на первых этапах простейший горный компас. Возможности этого прибора были ограничены, но обнаружение железорудных ископаемых значительной концентрации он гарантировал. Свообразной революцией, обеспечившей резкое повышение производительности поисков, было внедрение магнитометра, и в особенности феррозондового магнитометра, на самолеты. Рост чувствительности и стабильности их показаний позволил ученым поставить вопрос не только о поисках железорудных месторождений, но и

о возможности картирования по точно измеренному магнитному полю кристаллического фундамента геологических тел и характерных структур, связанных с немагнитными минералами, такими, как нефть, газ, соль и т. д.

Как природный объект магнитное поле Земли представляет собой реальность в ее бесконечной сложности и многообразии связей и переходов. Мы, естественно, изучаем только отдельные стороны, отдельные грани этого неисчерпаемого природного объекта. Согласно данному выше определению, земной магнетизм занимается изучением геомагнитных явлений, происходящих на Земле и в околоземном пространстве (магнитосфере). В последние годы наблюдается распространение знаний о магнитных явлениях, полученных в земных условиях, на планеты солнечной системы и звезды. Основанием для такой экстраполяции известного знания является то, что геомагнитные явления есть частный случай магнитных взаимодействий движущихся электрических зарядов, то есть эти явления входят в замкнутую систему понятий, связанных аксиомами, индуктивно выведенными и оформленными законами Максвелла. Справедливость их доказывается тем, что все следствия, выведенные из них путем логической дедукции, оправдываются на опыте. Математический аппарат этой системы (ее формализм) опирается на разделы классической математики, хорошо разработанные к настоящему времени и глубоко логически обоснованные. Сложившаяся практика исследований вопросов геомагнетизма несколько условно делит этот раздел геофизики на следующие подразделы: главное магнитное поле Земли, переменное магнитное поле, магнетизм горных пород, геомагнитные измерения и магнитометрические приборы. Каждый из этих разделов, в свою очередь, подразделяется на отдельные научные области со своими задачами и специфической методикой исследований. Но какую бы область геомагнетизма мы не взяли, в ней можно четко выделить вопросы и проблемы, непосредственно связанные и с океаном. Если гово-

речь об изучении главного магнитного поля Земли на акватории Мирового океана, то одной из проблем (как уже упоминалось) является выяснение вопроса, действительно ли океанические и континентальные сегменты Земли обладают столь кардинальными особенностями строения, которые сказываются даже на источниках главного магнитного поля, то есть на жидкой части ядра. Вероятный путь решения этой проблемы, возможно, заключается в изучении палеомагнитных свойств коренных пород дна океана, изучении по ним истории инверсий и поведения магнитного поля на акваториях в прошлом. Проводить магнитные измерения в океане, с одной стороны, даже проще, чем на суше, так как не приходится преодолевать многие трудности, свойственные сухопутным экспедициям (перевозка громоздких и точных приборов, бездорожье и т. п.). Но, с другой стороны, корабельная качка и влияние железных масс самого судна на результаты измерений резко снижают точность измерений, особенно компонентных, что является стимулом для разработки новых приборов и методик. Изучение аномального магнитного поля океанов уже сыграло свою роль в становлении новых представлений о тектонических и геологических процессах, формирующих лик Земли. Детализация этих представлений чрезвычайно интересна для общей геотектоники, и перед морскими магнитологами существует обширное и благодарное поле деятельности. Весьма перспективными для непосредственного поиска полезных ископаемых на морском дне представляются придонные магнитные съемки с буксируемых или автономных аппаратов. Совсем малоизученным остается вопрос о связи главного магнитного поля и переменных электромагнитных полей в океане с жизнью и поведением морских организмов, да и вообще с проблемой возникновения жизни на Земле, коль скоро она зародилась в неких первичных океанах при существовавшем тогда магнитном поле. Можно наметить и еще ряд проблем, где вопросы

общей океанологии и вопросы изучения магнитного поля неразрывно связаны.

В геологии есть одно золотое узаконенное правило: все результаты изысканий, как положительные, так и отрицательные, подлежат долгосрочному хранению с тем, чтобы в будущем иметь возможность переоценить накопленный фактический материал с точки зрения новых теоретических представлений. Геофизики уже давно ему следуют, убедившись на собственном опыте в его жизненной необходимости. Даже трудно себе представить, как неожиданно иногда в известных, кажется, досконально явлениях возникает новая грань, совершенно меняющая наши представления о причинно-следственных связях, их вызывающих, да и о самом явлении в целом. Интерпретация линейных магнитных аномалий на акваториях океанов сначала с классических традиционных позиций, а затем с позиций инверсионно-спредингового механизма (с позиций новой глобальной тектоники) — лучшее тому подтверждение. Казалось бы, факт один — линейные аномалии, а интерпретации этого факта совершенно различны, как различны теоретические и практические следствия этих интерпретаций. Хотя научные факты и являются базой научного развития, но фактов совершенно „чистых“, не зависящих от наблюдателя, не бывает. Известный советский ученый-физик и популяризатор науки Н. В. Барашенков так выражает эту мысль: «Мир не существует в том виде, как он воспринимается нашими органами чувств. Картину мира мы воссоздаем с помощью мышления. И этот процесс зависит от того, какими знаниями уже „заряжено“ наше сознание. Если оно достаточно не подготовлено, мы можем вообще не заметить некоторых факторов, они для нас как бы не существуют. Например, если бы человек каменного века увидел надпись на скале, он едва ли придал бы ей какое-либо значение, для него это было бы всего только какие-то случайные подтеки и пятна, которые просто скользили бы мимо его сознания». Исследования физических

полей Земли в жидкой среде или в твердом теле Земли трудны тем, что, как правило, приходится решать обратную задачу геофизики — заведомо неоднозначную и неустойчивую. Самые точнейшие измерения (а их еще надо провести!) не помогают, когда совершается интерпретационный переход от поля к источникам, то есть к причинам, его вызывающим, что собственно и является самым важным и интересным, например, для геологии. В интерпретационном процессе велика роль моделей, гипотез, общей эрудиции исследователя, его опыта и способностей привлекать далекие от рассматриваемого вопроса области знаний. Тем-то геофизика интересна и привлекательна, что все время заставляет искать, размышлять, сопоставлять, чаще приносит разочарование, чем удовлетворение, однако тем сильнее и радость познания истинно нового.

Но в жизни за все надо платить, в том числе и за радости познания. Расплата ученого — те сомнения, которые сразу же приходят после первых часов душевного подъема и удовлетворения: „А прав ли я? Неужели до меня это никому не приходило в голову? Все ли я учел? Да тут и нового-то ничего особенно нет!“.

Наукой занимаются живые люди с их слабостями и пристрастиями, усвоившие определенную сумму знаний и верящие в бытующую научную парадигму. Со временем к ним приходит понимание возможностей и ограничений тех способов и методов, которыми они пользуются в повседневной научной работе. На все это уходят годы и годы. Вот почему таким болезненным бывает переход от истин, которые еще недавно представлялись надежными и убедительными, к другим точкам зрения, иногда резко отличным от всего того, во что ты верил всю жизнь. Ведь если ученый не будет убежден в правильности своей концепции, в достоверности используемых им методов, он просто не сможет работать под тяжестью все разъедающих сомнений. Поэтому определенный здоровый консерватизм, основанный на преемственности и

усвоении всего предшествующего знания, бесспорно полезен. Но науки о Земле и геофизика в частности никогда не представляли собой тихую академическую заводи. Слишком важны практические аспекты научных выводов и теоретических рекомендаций, касающиеся поисков полезных ископаемых, предсказаний природных катастрофических явлений, использования естественных физических полей нашей планеты. Сейчас, как никогда, ученые, посвятившие себя изучению Земли, ощущают все увеличивающееся давление со стороны кровно заинтересованного в результатах их работы общества. В руках исследователей оказываются огромные материальные средства и тем самым определенные возможности для реализации своих научных замыслов. Такая ситуация стимулирует приток в геофизику специалистов различного профиля, творчески мыслящих и энергичных в хорошем смысле этого слова. Но одно должно быть присуще всем, кто занимается научными исследованиями в любой области наук о Земле и не только о Земле, и это, как прекрасно выразился Бертран Рассел, „приверженность к истине, под которой я понимаю привычку основывать свои убеждения на наблюдениях и выводах настолько неличных и настолько освобожденных от местных предрассудков и предубеждений темперамента, насколько это возможно для человеческого существа”.

Но что такое истина? Понимание истины как соответствия знаний вещам было свойственно уже ученым античности. Согласно Аристотелю, „прав тот, кто считает разделенное — разделенным и соединенное — соединенным”. Распространенная в домарксовской философии точка зрения на истину как на завершенное, раз навсегда данное знание, абсолютно противоположное заблуждению и незнанию, вызвала поиски абсолютного критерия истины. Одни ученые видели его в якобы абсолютной очевидности ощущений, другие усматривали такой критерий в разуме, поскольку его идеи адекватны вещам. Но уже французские философы-материалисты XVIII—XIX вв.

и немецкий философ Л. Фейербах приближались к понятию практики как критерия истины. Итак, истина, согласно марксистской философии, есть „адекватное отражение объективной реальности познающим субъектом, воспроизводящее познаваемый предмет так, как он существует вне и независимо от сознания; объективное содержание человеческих ощущений, представлений, понятий, суждений, умозаключений, теорий, проверенных общественной практикой”.

Некоторые буржуазно-идеалистические концепции истины изображают процесс познания как заранее обреченную на неудачу „погоню” за вечно ускользающей истиной и отрицают диалектический переход от относительной истины к абсолютной. Эта точка зрения в общем-то понятна и естественна для исследователей, работающих в передовых научных областях, где решение какой-либо проблемы ставит все новые и новые и все более сложные вопросы. Это действительно может привести в отчаяние, особенно если задуматься о краткости человеческой жизни. Лишь глубокая философская подготовка и усвоение понятий и духа марксистской материалистической диалектики позволяет ученому выработать правильную точку зрения на процессы научного познания, в частности на вопросы относительной и абсолютной истины. Диалектический материализм понимает истину как исторически обусловленный процесс отражения действительности. Истина относительна, поскольку на каждом этапе исторического развития она отражает объект лишь в известных пределах, условиях, отношениях, которые изменяются и зависят от общего уровня развития науки и технических средств познания. В этом смысле истина неполна, не исчерпывает всего содержания объекта, приближительна. Но в каждой относительной истине, поскольку она объективна, частично содержится абсолютная. Абсолютная истина представляет собой такого рода знание, которое тождественно самому предмету и поэтому не может быть опровергнуто

при дальнейшем развитии познания.

Способы практической проверки истины многочисленны: наблюдение, эксперимент, проверка через сопоставление следствий из теории с фактами, физическое и математическое моделирование и т. д. Почти все эти способы совместно используются при исследованиях магнитного поля Земли, при создании теории земного магнетизма, так как ученые понимают, что в изолированном фрагменте знания истина может быть умерщвлена.

Авторы попытались показать в книге, что в познании природы магнитного поля Земли мы еще не только очень далеки от абсолютной истины, то есть от знания, тождественного самому предмету нашего исследования, но и что многие относительные истины об отдельных явлениях земного магнетизма при внимательном рассмотрении не являются таковыми. Скорее всего, это правдоподобные суждения (гипотезы) на основе накопленных наблюдательных данных, которые не всегда имеют природу научного факта. Но даже то, что мы сегодня знаем о магнитном поле Земли, позволило советскому геофизику С. И. Брагинскому сформулировать ряд научных вопросов, на которые должна ответить теория земного динамо, ответственного, по представлениям подавляющего большинства (но не всех!) ученых, за существующее земное магнитное поле. Вот эти вопросы.

Почему геомагнитное поле в основном представляет собой диполь, направленный вдоль оси вращения Земли?

Почему существует меньший, но довольно значительный поперечный диполь (наклон магнитной оси), а также сложного вида недипольные составляющие поля?

Почему эти отклонения от осевого диполя испытывают вариации с периодами порядка 10^3 лет?

Почему происходят короткопериодные вековые вариации с периодами порядка 10^2 лет и менее?

Почему происходит западный дрейф поля и вековых вариаций и чем объясняется корреляция неравномерностей дрейфа с флуктуациями в скорости вращения Земли?

Почему основной диполь и другие характеристики поля испытывали колебания с периодом порядка 10^4 лет?

Почему происходили многократные изменения знака основного диполя в прошлом?

Почему переполюсовки поля происходили за время порядка 10^4 лет и как именно протекал этот процесс?

Почему за огромные промежутки времени — порядка 10^8 — 10^9 лет — величина магнитного поля сохранялась приблизительно неизменной?

Почему за время существования Земли происходили большие систематические перемещения магнитных полюсов по ее поверхности?

Со времени постановки этих вопросов в 1967 г. прошло немало лет. Но ни на один из них исчерпывающего убедительного количественного ответа пока еще не получено. Однако — и это немаловажно — мы можем исходя из наших сегодняшних знаний откорректировать некоторые из этих вопросов (например, установлено, что время переполюсовок меньше, чем 10^4 лет, что существование поперечного диполя вызывает сомнения и т. д.), то есть более правильно сориентировать исследователей на получение неких относительных истин.

Всякая истина — дитя своего времени, производное от всей суммы знаний. Наука, в свою очередь, не склад готовых истин, а процесс их получения, основанный на устремлениях и человеческих страстях, и, может быть, без человеческого, эмоционального отношения любое познание попросту невозможно. Но ведь познание не самоцель. Его смыслом, по словам Б. Кедрова, является „знать, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы действовать”, добавим — действовать для людей и на благо людей.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Барашенков Н. В. Понимаем ли мы квантовую механику?— Знание — сила, 1983, № 4.
2. Батюшкова И. В. История проблемы происхождения материков и океанов.— М.: Наука, 1975.
3. Буллард Э. Г. Происхождение магнитного поля Земли.— Природа, 1960, № 12.
4. Вестин Э. Г. Магнитное поле Земли.— В кн.: Планета Земля. М.: Иностран. лит., 1961.
5. Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира.— М.: ОГИЗ, 1948.
6. Гаусс К. Ф. Избранные труды по земному магнетизму.— М.: Изд. АН СССР, 1952.
7. Гильберт В. О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле, новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов.— М.: Изд. АН СССР, 1956.
8. Гордин В. М. Об определении возраста второго слоя океанической коры по магнитным аномалиям.— Бюллетень МОИП, отд. геологии. 1983, т. 58, вып. 2.
9. Зоненшайн Л. П. Савостин Л. А. Введение в геодинамику.— М.: Недра, 1979.
10. Иванов М. М. Магнитная съемка океанов.— М.: Наука, 1966.
11. История Мирового океана.— М.: Наука, 1971.
12. Карасик А. М. Геоисторический анализ океанического магнитного поля и тектоника плит.— В кн.: Геофизические методы исследований Мирового океана. Л.: Изд. НИИГА, 1979.
13. Косыгин Ю. А. Заметки о геотектонических гипотезах.— Тихоокеанская геология, 1982, № 2.
14. Косыгин Ю. А. О методологических вопросах тектоники.— Тихоокеанская геология, 1985, № 2.
15. Крылов А. Н. Собр. соч. Т. 2— М.: Изд. АН СССР, 1952.
16. Ле-Пишон К., Франшто Ж., Боннин Ж. Тектоника плит.— М.: Мир, 1977.
17. Маловицкий Я. П., Чумаков И. С. и др. Земная кора и история развития Средиземного моря.— М.: Наука, 1982.

18. Миков Д. С. Методы интерпретации магнитных аномалий.— Томск, 1962.
19. Милашин А. П., Панаев В. А. Тектоника и нефтегазоносность дна Мирового океана.— М.: Недра, 1985.
20. Новая глобальная тектоника.— М.: Мир, 1974.
21. Палеонтология, палеобиогеография и мобилизм.— Магадан, 1981.
22. Петрова Г. Н. Место геомагнетизма в изучении строения и эволюции Земли.— В кн.: О. Ю. Шмидт и советская геофизика 80-х годов. М.: Наука, 1983.
23. Плешаков Л. П. Вокруг света с „Зарей”.— М.: Мысль, 1965.
24. Пущаровский Ю. М. Тектоническое районирование океанов и проблема их происхождения.— В кн.: Морская геология, седиментология, осадочная петрография и геология океана. Л.: Недра, 1980.
25. Рассел Б. Человеческое познание. Его сфера и границы.— М.: Иностран. лит., 1957.
26. Резанов И. А. Палеомагнетизм и дрейф материков.— Советская геология, 1968, № 3.
27. Резанов И. А. История двух альтернативных течений в геотектонике.— Вопросы истории естествознания и техники, 1980, № 3.
28. Такеучи Х., Уеда С., Канамори Х. Двигутся ли материки?— М.: Мир, 1970.
29. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике.— М.: Мир, 1966.
30. Шрейдер Ю. Наука — источник знания и суеверия.— Новый мир, 1969, № 10.
31. Юдович А. Б. Под парусами в XX веке.— М.: Географгиз, 1960.
32. Юинг М., Пресс Ф. Геофизические различия между континентами и океаническими бассейнами.— В кн.: Земная кора. М.: Иностран. лит., 1957.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВСТУПЛЕНИЕ	6
1. О ТОМ, ЧТО МЫ ЗНАЕМ И ЧЕГО НЕ ЗНАЕМ О МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ	26
2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И МИРОВОЙ ОКЕАН .	51
3. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ОКЕАНОВ И АНОМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ	71
4. НЕМАГНИТНАЯ ШХУНА „ЗАРЯ”	95
5. КАК НАЧИНАЕТСЯ МОРСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ. ЖИЗНЬ В МОРЕ	111
6. АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН. РЕЙС № 8	130
7. ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН. РЕЙС № 9	156
8. ПОИСК ПОЛЬЗЫ И ИСТИНЫ	176
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	189

Научно-популярное издание

ЛЕОНИД ГРИГОРЬЕВИЧ КАСЬЯНЕНКО,
АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ПУШКОВ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ,
ОКЕАН
И МЫ

Редактор М. Г. Тараканова. Художник К. Ли. Художественный редактор Б. А. Денисовский. Технический редактор Л. М. Шишкова. Корректор И. А. Динабург

ИБ № 1687

Сдано в набор 05.12.87. Подписано в печать 17.07.87. М — 17224 Формат 70×100¹/₃₂. Бумага тип. № 1 и офсетная. Гарнитура таймс. Печать высокая и офсетная. Усл. печ. л. 7,61, в т. ч. вкл. Усл. кр.-отт. 8,63. Уч.-изд. л. 9,26. Тираж 88000 экз. Индекс ПЛ-49. Заказ № 3127. Цена 50 коп. Гидрометеиздат. 199226. Ленинград, Беринга, 38.

Минский ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат МППО им. Я. Коласа. 220005, Минск, Красная, 23.