

Курская магнитная аномалия

ПО РАБОТАМ КОМИССИИ ПРИ АКАДЕМИИ НАУК.

(с 1 июля 1919 г. по 1 июля 1920 г.)

П. Лазарев.

§ 1.

Вопрос о магнитной аномалии в Курской губ. начал интересоваться исследователей начиная с времени первой геомагнитной с'емки России, предпринятой в период от 1872 до 1877 годов *И. Н. Смирновым* ¹⁾, открывшим 2 пункта с аномальным магнетизмом в Курской губ. *Н. Д. Пильчиков*, желая расширить наблюдения *Смирнова*, произвел в окрестностях Белгорода 71 серию наблюдений, при чем несколько серий относились к местам с резко выраженной аномалией. Исследования *Пильчикова*, начатые по предложению Русского Географического Общества, были продолжены студентом *Сергиевским*, произведшим магнитную с'емку в 155 пунктах в области Белгорода и Непхаева, где также была констатирована аномалия. В виду большого научного интереса Белгородско-Непхаевской аномалии Русское Географическое Общество по предложению *Э. Е. Лейста* и *М. М. Поморцева* создало постоянную Комиссию по исследованию земного магнетизма и в 1893 году студенту *Родду* было поручено произвести дальнейшее изучение аномалии в области Курской губернии и *Родду* удалось сделать с'емку в 133 местах. Однако это исследование в печати не появилось.

В тоже время среди членов магнитной комиссии возникла мысль пригласить для работ в Курской губернии Директора Парижской Магнитной Обсерватории *Moureaux*, который согласился принять участие в исследованиях русских ученых при условии создания в Курске постоянной магнитной станции для наблюдения вариаций земного магнетизма. В 1896 г. при содействии Курской Губернской Земской Управы

¹⁾ Подробности читатели найдут в отчете о работах Комиссии по изучению Курской Магнитной аномалии за 1919 г. Издание Государственного Издательства, Москва. 1920: В отчете даны и литературные ссылки.

был устроен магнитный павильон для вариационных инструментов и заведывание павильоном взял на себя *П. Г. Попов*. За короткое время пребывания *Moureaux* в Курской губернии он сделал 149 серий наблюдений на 102 станциях, при чем его работа велась не систематически, так что составить карт по его наблюдениям не представлялось возможным. Исследования *Moureaux* обнаружили, что в селе Кочетовке аномалия еще значительнее чем в Непхаеве и Белогороде, так что естественно возник вопрос о необходимости изучения всей Курской губернии в магнитном отношении.

Эту задачу взял на себя *Э. Е. Лейст*, который пользуясь классическими приемами исследования (инclinатор, магнитный теодолит), исследовал в течение 22 лет Курскую губернию, где определил в 4500 точках склонение *D*, наклонение *I*, горизонтальную составляющую *H*. Обширный числовой материал, заключающий значения *D*, *I*, *H*, а также карты, позволил вполне охарактеризовать магнитную аномалию в Курской губ. с ее научной и научно-практической стороны. В весьма интересном докладе, прочитанном весной 1918 года на Физическом Коллоквиуме Научного Института, *Лейст* дал общую характеристику аномалии, не приводя таблиц и координат мест, где наблюдалась аномалия. Из доклада вытекало, что Курская магнитная аномалия распадается совершенно ясно на две области: северную проходящую через Дмитровский уезд Орловской губ. и далее через уезды Фатежский, Курский, Щигровский, Тимский Курской губ. и направляющуюся в области Воронежской губ. Направление аномалии по работам *Лейста* с северо-запада на юго-восток и ширина аномальной полосы с максимальными отклонениями элементов от нормы должно составлять около 2—3 верст.

К югу от первой полосы тянется через Обоянский, Белгородский Корочанский и Новооскольский уезды вторая полоса, включающая в себя Непхаево Белгород и Кочетовку. Общее направление и ширина южной полосы аномалий такова же, как и северной. Промежуток между полосами является то же аномальным, но аномалия здесь слабее.

Места с наибольшей аномалией были отмечены *Лейстом* в северной полосе аномалии. В заключение своего доклада *Лейст* привел некоторые соображения о возможных причинах аномалии и о глубине залегания магнитоносного слоя. По отношению к причине аномалии *Лейст* высказался совершенно определенно за присутствие железа, считая иные причины слишком непостоянными и малыми, чтобы вызвать аномалию, подобную наблюдаемой. В рукописи воспроизводящей доклад и переданной для напечатания в трудах Физического Института *П. П. Лазареву*, *Лейст* прямо пишет: „Принимая во внимание, что

залежи в Kūgūna ¹⁾ имеют в длину не более 10 километров, а в Курской губ. оба хребта 500 километров и максимум $Z=14,782$ Гаусса, т.е. больше, чем в Kūgūna, надо полагать, что курские залежи несравненно богаче железными рудами с высоким процентным содержанием железа, чем лапландские“.

Глубина магнитных пород *Лейстом* определялась по правилам, установленным главным образом шведскими горными инженерами, в предположении что магнитную аномалию вызывает только точечный полюс, заключающий весь магнетизм определенного знака. Пользуясь этим грубым представлением, *Лейст* находит глубину залегания около 300 метров.

Печатанаяе доклада *Лейста*, переданного в редакцию Архива Физических Наук летом 1918 года, затянулось, *Лейст* уехал в Германию и там среди лета скончался. Осенью выяснилось, что получить необходимые для печатания карты и числовой материал с координатами точек не удалось, так как он по слухам будто остался в Германии, и поэтому печатание пришлось отложить. В то же время стало известно, что *Лейстом* и *Штейном* в Германии была издана на немецком языке брошюра, имевшая целью познакомить широкую публику с практическим значением курской аномалии, при чем в брошюре прямо указывалось на железо, как причину аномалии.

В виду важности вопроса и невозможности получить подлинных документов *Лейста*, определяющих положение точек, в которых наблюдалась аномелия, осенью 1918 года Народный Комиссар *Л. В. Красин* обратился к *П. П. Лазареву* с предложением создать комиссию для разработки этого вопроса. По предложению *Л. В. Красина Лазаревым* было создано совещание в составе *Лазарева, Архангельского, Пришлецова, и Бастамова*, которое отметило прежде всего огромную важность изучения аномалии и желательность выполнения работ, которые восстановили бы данные *Лейста*, и указало, что возможно, что исследования к практическим результатам не поведут, так как причиной аномалии может быть и не железо. После доклада *П. П. Лазарева* Академии Наук о состоянии дела по изучению аномалии в Курской губернии, Академия причислила Комиссию к Московскому Отделению Постоянной Комиссии по исследованию Естественных Производительных сил России при Академии Наук; после ассигнования средств Чрезвычайной Комиссией по снабжению армии была начата под руководством *Лазарева* организационная работа.

В виду невозможности в короткое время получить необходимое число наблюдений классическими точными методами и в виду невозможности получить большое количество приборов этого рода, комиссия

¹⁾ В Лапландии.

из специалистов магнитологов, физиков и гидрографов, заседавшая в Петрограде 6 марта 1919 года, постановила по предложению академика *А. Н. Крылова* использовать для исследования аномалии метод дефлектора *де-Колонга*, применяемый в нашем флоте при изучении магнитной аномалии корабля. Комиссия единогласно согласилась со мнением *Крылова*, поручив начальнику магнитной части флота *В. Я. Павлинову* приспособление прибора для работ в Курской губ. Благодаря любезности Начальника Главного Гидрографического Управления *Е. Л. Бялокоза* Комиссии удалось получить 10 приборов *де-Колонга* и кроме того для работы с ними были командированы состоящие при Главном Гидрографическом Управлении опытные гидрографы-магнитологи, которые и составили отряд по исследованию Курской Магнитной Аномалии, состоящей под начальством *К. С. Юркевича* при заведующем магнитной частью *А. И. Заборовском*.

После доклада *П. П. Лазарева* Московская Комиссия специалистов-магнитологов присоединилась к мнению Петроградского собрания и постановила принять прибор и метод *де-Колонга*, имея в виду, что при большой глубине залегания магнитоносных слоев необходима возможно большая точность тех магнитных данных, которые определяют координаты магнитоносного слоя. Прибор *де-Колонга* дает точность около четверти процента и, хотя эта точность меньше точности методов классической магнитометрии, применявшихся *Лейстом*, все же она достаточна для получения необходимых для практических и научных целей данных. Кроме того было уже заранее решено, что в местах с наибольшей аномалией необходимо произвести съемку классическим методом, применяя магнитометр *Lamont'a* и инклинатор. Методы *Thalen'a* и *Tieberg'a* и их модификации обычные применяемые при изысканиях железа были отвергнуты с самого начала, так как при этих методах возможна ошибка при определении силы, доходящая до 10%, и даже более; эта точность является достаточной при определении неглубоких залежей (около 10—25 сажен) и совершенно непригодна при определении магнитоносного слоя, лежащего на глубине 100—200 сажен, как это может иметь место в Курской аномалии. С подобным мнением согласны указания такого авторитетного ученого, каковым является *Е. Naumann*, состоявший директором топографо-геологической съемки Японии, изучивший знаменитую Японскую аномалию в области Fossa magna. Вот что пишет по этому поводу *Naumann*¹⁾: „предположенный *Thalen'ом* метод разыскания железных руд мне представляется слишком теоретичным и основанным на незначительных фактических данных: кроме того мне представляются его методы изме-

¹⁾ *E. Naumann. Die Erscheinungen des Erdmagnetismus in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdrinde p. 65. Stuttgart—1887.*

рения не достаточно точными. Во всяком случае проявление магнитной силы рудных месторождений нельзя истолковывать без точного знания распределения магнетизма в данной местности. Магнитное исследование месторождения должно идти рука об руку с детальной магнитной съемкой или даже следовать за этой съемкой. *Smock*¹⁾ сообщает подробно о применении приборов, которые уже в течение более ста лет употребляются для отыскания залежей магнитного железняка в Нью-Джерссе. Особенно интересным для нас является утверждение *Smock'a* что большие и известные железные рудники часто показывают малое магнитное притяжение и что из величины отклонения магнитной стрелки или величины силы нельзя вывести определенного заключения о существовании залежей и о их мощности. Таким образом остается открытым вопрос можно ли идти так далеко, чтобы точно определять места и величину залежей из точных измерений и расчетов“.

Сомнения высказанные *Naumann'*ом являются особенно приложенными к глубоким залежам, магнитных минералов и в этом отношении Курская магнитная аномалия, как вызванная центрами магнетизма, которые могут лежать глубоко, должна требовать и точных приемов исследования, и среди них после классического метода, требующего огромного времени первое место занимает метод де-Колонга.

Методы обычного грубого определения залежей, применяемые геологами для залежей железа еще в одном отношении оказываются неудобными для Курской губ. В комбинированном приборе *Tieberg'a* и *Thalen'a* или в инклинаторе *Tieberg'a* нормальный магнетизм компенсируется действием груза, величина которого подбирается по соседству с местом аномалии в нормальной области земного магнетизма, так, чтобы при действии нормального поля стрелка прибора была горизонтальна. В этом случае при существовании местной аномалии получается наклонение стрелки и по его величине легко судить о поле аномалии. Во всяком случае при применении прибора *Tieberg'a*—*Thalen'a* необходимо знать величину нормального поля в точке наблюдения из наблюдений по соседству. В виду того, что область Курской аномалии очень обширна и по соседству с аномальными местами нормальных мест найти невозможно, компенсация силы магнетизма грузом или определение нормального поля опытом может дать колоссальные ошибки и выделение поля аномалии может быть сделано только точным определением величины равнодействующего поля и выделения отсюда путем вычисления поля аномалии.

В своем докладе „О Курской магнитной аномалии“ (1918 г.) *Лейст* пишет „В области величайшей в мире геомагнитной аномалии едва ли можно найти место с нормальными магнитными элементами,

¹⁾ *Smock*. The use of the magnetic needle in searching for magnetic iron ore. Transact. Americ. Institutes of Mining Engineers 4—1875—1876.

чтобы с ними сравнить другие места, где явно выражены нормальные величины. Хотя между обоими магнитными хребтами имеется широкая полоса, местами шириною до 60 километров, но она находится в поле сильных и обширных магнитных масс, действующих с обеих сторон. Карты изогон, изоклин и изодинам показывают, что и в этой сравнительно спокойной полосе нормального равновесия магнитных сил нигде нет, по крайней мере в той степени, которая требуется для установления нормальных магнитных условий с целью базировать на них степень ненормальности. Точно также для этой цели не могут служить наблюдения на некотором расстоянии от аномальной области, раз неизвестно до какого места распространяется сама аномалия и ее влияние“.

Наконец последней причиной выбора метода дефлектора де-Колонга было то обстоятельство, что методы *Tieberg'a* и *Thalen'a* не могли дать, как это легко показать подсчетом, деталей изолиний на малых расстояниях от вертикали находящейся над причиной аномалии, вследствие малой точности методов и большой глубины залегающих в Курской губернии магнитоносных слоев.

Из подобия совершенно ясно, что если при глубине залегания в 10 саженей мы можем сделать прибором *Tieberg'a* и *Thalen'a* наблюдения через 10 саженей, то при глубине в 300 саженей, если магнитоносный слой остается подобным прежнему, то те же наблюдения должны быть сделаны через 300 саженей.

С выбором метода работ Академической Комиссии согласилась и Комиссия при Горном Совете, которая в заседании 15 июня 1920 г. приняла следующие резолюции.

„В заседании установлено, что приборы которыми пользовалась Академическая Комиссия, дают более точные результаты, чем обычно применяемые приемы исследования рудных залежей железа и не уступают в быстроте определений. Разница в результатах исследования Комиссии при Академии Наук от обычных магнитных геологических измерений состоит только в большой точности результатов Комиссии при Академии“. (Резолюция *П. П. Лазарева*) „Продолжая работы по исследованию Курской магнитной аномалии ведущееся в настоящее время Академией Наук, произвести исследование пунктов с наибольшими магнитными аномалиями более точными приборами“, (Резолюция *А. Д. Архангельского*) Против этих резолюций особенно восставали в пользу методов *Tieberg'a* и *Thalen'a* инж. *Кисельников*, проф. *Ключанский* и доцент *Ортенберг*, предложившие резолюции, отвергнутые собранием.

Аналогичная резолюция была вынесена и в заседании Н. Т. О. В. С. Х. Н. после доклада *Ортенберга*.

Наконец после доклада *Ортенберга* на 1 съезде Российской ассоциации физиков секция космической физики единогласно против

Ортенберга приняли следующую резолюцию, „Считая метод, описанный *Ортенбергом*, для определения глубины магнитных слоев, основанием на ряде недоразумений и приборы шведского типа недостаточно точными секция космической физики 1-го с'езда Российской ассоциации физиков считает невозможным его применение в области курских магнитных аномалий и считает необходимым продолжение исследования Курских Магнитных аномалий методом дефлектора с последующим изучением максимальных по аномалии мест классическими методами инструмента *Lamont'a* и инклинатора и с изучением изменений геомагнитных элементов по высоте“.

§ 2.

Так как применение дефлектора де-*Колонга* было сделано впервые для геомагнитных измерений то считаем не лишним дать общую характеристику этого важного для магнитной с'емки метода.

Метод де-*Колонга* позволяет определять горизонтальную и вертикальную составляющую H и Z с точностью до четверти процента. Отсюда легко найти полную величину силы $F(F = \sqrt{H^2 + Z^2})$ и наклонение I , т.е. угол между плоскостью горизонта и осью магнитной стрелки, подвешенной за центр тяжести, $\text{tg} I = \frac{Z}{H}$. Кроме того метод позволяет легко найти

из простейших астрономических наблюдений (по солнцу, руководствуясь таблицами) положение меридиана места и следовательно определить угол между осью магнитной стрелки и плоскостях меридиана D , называемый склонением.

Способ определения H и Z является понятным из следующего схематического описания.

Пусть мы имеем вращающийся около вертикальной оси S магнит M (рис. 1), связанный с легким подвижным круглым диском (картушкой), имеющим по окружности деления и отметки севера, юга, востока и запада (N, S, O и W).

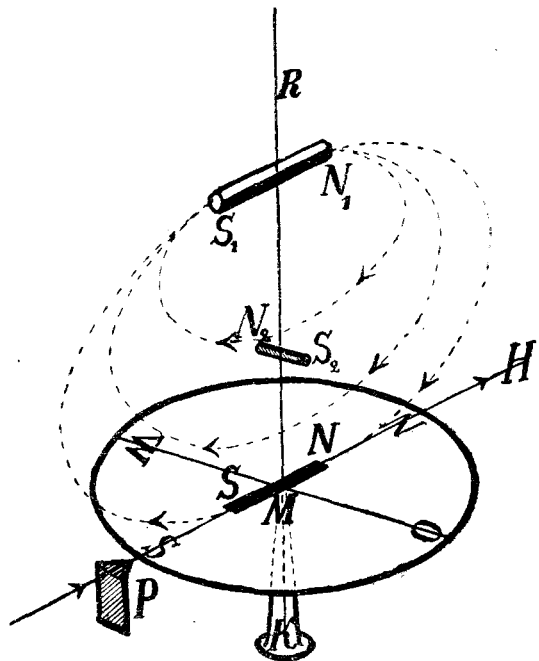


Рис. 1.

Картушка несет кроме того деления на градусы.

Пусть диск, связанный с магнитом NS , устанавливается в плоскости магнитной силы, против знака S диска подводится указатель P , связанный с деленным кругом, укрепленным на стеклянной крышке сосуда (котелка), заключающего колонку K и вращающийся диск со стрелкой NS . Указатель P , так устроен, что позволяет делать точный оптический отсчет положения диска. С деленным вращающимся кругом, находящимся на крышке прибора, связана накрепко подставка, позволяющая помещать на продолжение оси вращения MR медную колонку с магнитом $N_1 S_1$, расположенным всегда так, что плоскость оси магнита проходит через ось вращения MR и P и южный полюс S_1 магнита всегда обращен к P ; перпендикулярно этому первому перемещающемуся вверх и вниз магниту помещается второй и слабый магнит $N_2 S_2$. Магнит $N_1 S_1$ дает при таких условиях дополнительное поле, изображенное на рис. 1 пунктиром и направленное горизонтально, противоположно изучаемому земному полю.

Перемещая магнит $N_1 S_1$ вниз, не изменяя его направления, мы увеличиваем величину дополнительного поля, перемещая вверх — уменьшаем его. Таким образом можно добиться того, что горизонтальная составляющая H , изучаемого поля будет компенсирована полем магнита $N_1 S_1$. В этом случае, если подвижный магнит NS достаточно мал по своим размерам и магнит $N_2 S_2$ удален, то на NS в горизонтальной плоскости не будут действовать силы и его можно установить в любом положении по отношению к плоскости изучаемой силы.

Чтобы узнать, достигнут ли этот момент, в плоскости, перпендикулярной к оси магнита $N_1 S_1$ и проходящей через ось вращения MR , устанавливается второй слабый магнит $N_2 S_2$, так называемый перпендикулярный магнит. После компенсации изучаемого поля полем магнита $N_1 S_1$ единственным действующим полем будет поле магнита $N_2 S_2$, вследствие чего картушка с магнитом NS повернется своей точкой S к полюсу N_2 магнита $N_2 S_2$ и к указателю P подойдет точка O , отстоящая от S на 90° . Понятно, что, если магнит $N_2 S_2$ будет повернут и к западу будет обращен полюс S_2 магнита, то к нему подойдет полюс N подвижного магнита и против указателя P будет стоять отметка W .

Зная, каким горизонтальным полям соответствует то или иное положение магнита $N_1 S_1$, что достигается предварительным, точно выполненным градуированием, можно в относительных или абсолютных единицах определить величину составляющей поля H .

Если назвать величину горизонтальной составляющей земного поля H , величину поля магнита $N_1 S_1$ в точке $M-H_1$ и поле магнита $N_2 S_2-H_2$, то, обозначая угол между магнитным меридианом и осью стрелки NS через α , имеем $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_2}{H-H_1}$. Если $H-H_1=0$, то есть

поле земное компенсировано полем N_1S_1 то $\operatorname{tg} \alpha = \infty$ и $\alpha = 90^\circ$ т.е. магнит NS становится перпендикулярно меридиану.

Для получения вертикальной составляющей изучаемого поля Z , пользуются магнитной стрелкой NS , вращающейся около вертикальной оси (рис. 2) вместе с кругом, несущим деления и в то же время вращающимся около горизонтальной оси AB . Тонкий и маленький магнит NS укреплен на горизонтальной оси так, чтобы в размагниченном состоянии его ось лежала бы горизонтально. В поле, где имеется вертикальная составляющая Z , направленная книзу, северный конец вращающегося около оси AB магнита NS опустится вниз так, что равнодействующая всех сил совпадает с осью магнита N_1S_1 . Чтобы компенсировать вертикальное поле, дополнительный магнит N_1S_1 ставится вертикально так, чтобы его ось совпадала с пересечением оси вращения MK вертикальной и AB горизонтальной и чтобы вниз был обращен тот же полюс, как и полюс стрелки NS , поднявшийся вверх. Тогда, если магнит NS достаточно мал, то поле около магнита NS от дополнительного магнита N_1S_1 однородно и, перемещая его вниз или вверх, можно уменьшить действующую на N вверх силу Z , и довести ее до того что она уничтожает силу Z . Тогда стрелка NS расположится горизонтально, что чрезвычайно легко определяется с большой точностью на глаз. Помимо

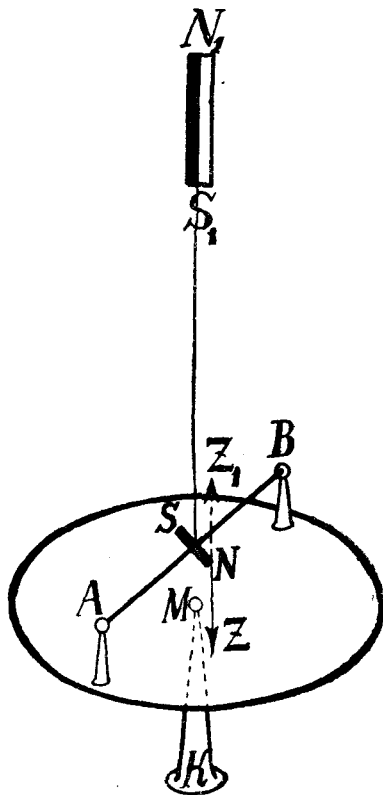


Рис. 2.

определения I из отношения $\frac{Z}{H}$ в некоторых случаях эта величина находилась непосредственно инклинометром.

Магниты прибора де-Колонга, носящего название дефлектора де-Колонга, выверялись от времени до времени на специальной станции, размещенной в экономии Овсянникова. В последнее время Членом Магнитной Комиссии В. Я. Павлиновым были сделаны важные усовершенствования в дефлекторе де-Колонга, позволяющие его применять при очень больших значениях H и Z в области аномалии.

Весь прибор заключен в медном сосуде (котелке), укрепленном в медном Кардановском подвесе на треноге. Прибор не включает в себе, как понятно, железных частей. Размер и вес прибора таковы, что его удобно можно передвигать и переносить одному человеку и в этом отношении он является незаменимым инструментом для полевых геомагнитных работ в аномальных областях.

§ 3.

Производство работ в 1919 году началось из-за задержки откомандирования гидрографов только в июне; 17-го июня отряд приехал в деревню Белый Колодец, откуда по поручению Председателя Комиссии *И. П. Лазарева* и должна была быть начата работа. Первоначально была произведена общая ориентировочная съемка, определен астрономический пункт и начаты систематические наблюдения в области открытой аномалии рядами через определенные расстояния. Необходимо отметить здесь, что условия работы были (в течение лета) крайне неблагоприятные: за июль было всего 11 рабочих дней, остальное время из-за дождя и плохих дорог работать было невозможно. Не способствовала работе и общая обстановка. Уже в самом начале в близлежащей деревне распространились слухи о том, что в Овсянниково прибыл отряд для восстановления власти помещиков и только умелыми и энергическими мерами начальника отряда *К. С. Юркевича* удалось добиться сознательного и разумного отношения к экспедиции со стороны граждан. Кроме всего перечисленного очень мешала спокойной работе и близость фронта. Еще в самом начале экспедиции отряд был задержан на станции Орел, так как в Курск не пропускались даже воинские эшелоны. Далее во время работы многократно приходилось думать об эвакуации, пока наконец 16 августа начальнику отряда не пришлось отдать приказа об эвакуации. В журнале *Юркевича* помечено: „16 августа вся местность была без власти, все учреждения Тима были эвакуированы в Карандаково, Белое и Мармыжи“.

Далее в течение июля заболел один из ответственных работников экспедиции тифом, и это расстроило правильную регулярную работу. Несмотря на чрезвычайно неблагоприятно сложившиеся обстоятельства, экспедиции удалось не только произвести общую качественную съемку, но и дать обследование района с площадью в 260 квадратных верст, дав на этом пространстве количественные наблюдения в 443 точках. При этом в окрестностях деревни Лозовка удалось наблюдать точку с максимальным значением $Z=15,77$ Гаусса (у Лейста максимум Z был по одним данным 14,782, а по другим 18,36).

Летние полевые работы 1920 года начались в апреле и уже к

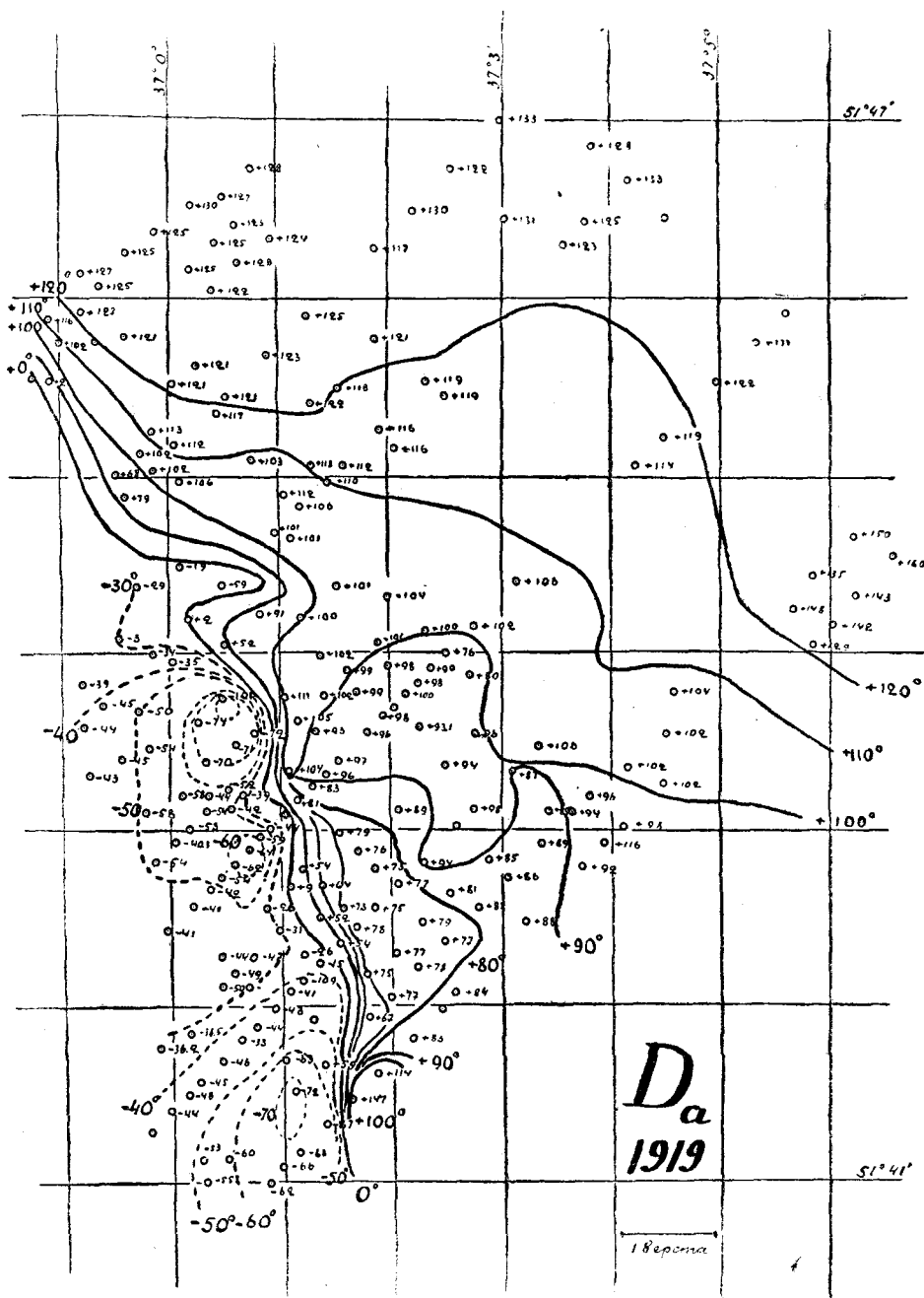
1-му июня дали почти двойной материал против летней кампании 1919 года. Всего до 1 августа промерено более 1600 точек.

§ 4.

Общие закономерности в области аномалии можно характеризовать так: Линии с равным склонением D , изгоны, в области Курской губ. должны бы при отсутствии аномалии представлять линии направляющиеся с юга на север и отстоящие приблизительно на равных расстояниях. Аномалия во первых сближает изгоны и во вторых, заставляет их изгибаться так, что в области аномалии изгоны тянутся с северо-запада на юго-восток. Аномальная полоса проходит западнее Тима, захватывая область Лозовки (юго-западнее Шигров). В ряде мест изгоны образуют замкнутые линии, заключая области с максимальным восточным или западным склонением. Линии равного наклонения I (изоклины) являются на земле линиями, тянущимися с востока на запад и, если бы магнетизм земли происходил от бесконечно малого магнита, заложенного в центре земли, то изоклины, являясь магнитными параллелями, должны были бы быть и линиями равного потенциала. В изученной области Курской аномалии изоклины искривлены по отношению к нормальному ходу, местами сильно сближены, в общем дают ход с северо-запада на юго-восток и образуют местами замкнутые линии, ограничивая собою точки с максимальным (или минимальным) наклонением. Такой же аномальный характер носят и линии равного вертикального Z и горизонтального H напряжения поля. Эти линии в случае бесконечно малого магнита, совпадающие с изопотенциальными линиями на поверхности земли, резко искривляются и сближаются в районе аномалии, ограничивая местами участки с замкнутыми изодинамами горизонтальной и вертикальной составляющей. Мы приводим на рис. 3, 4, 5 и 6 карты изеоаномал (линии с равным значением элементов аномального поля), вычисленные из данных съемки 1919 г., равно как и карты съемки 1920 года (до 1 июня) (рис. 7, 8, 9) и вычисленное из них аномальное поле (рис. 10, 11, 12).

Для вычислений аномального поля, представим себе, что мы разложили полную величину магнитной силы F , включающую нормальную и аномальную слагающую по трем осям координат. Одна из осей Z идет вертикально вниз, другая X в горизонтальной плоскости к северу и третья Y в горизонтальной плоскости к востоку. Тогда слагающие силы X , Y , Z получается проектированием силы на оси координат.

Силы X , Y , Z получаются из слагающих по тем же осям нормального поля X_n , Y_n , Z_n и из слагающих аномального поля X_a , Y_a , Z_a



таким образом:

Рис. 3.

$$X = X_k + X_a$$

$$Y = Y_k + Y_a$$

$$Z = Z_k + Z_a$$

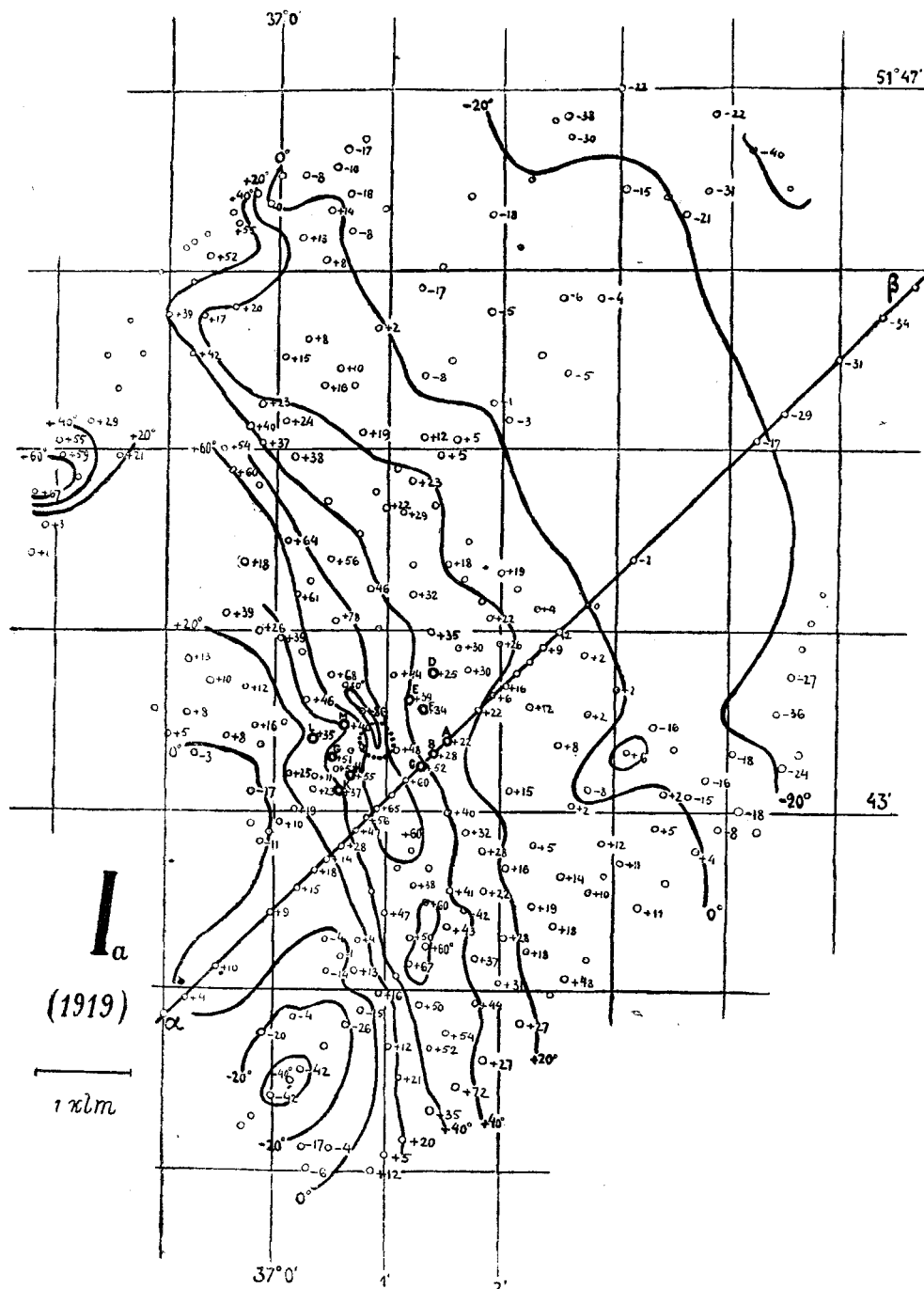


Рис. 4.

Так как X_n , Y_n , Z_n могут быть определены по формулам Petersen'a-Neumaier'a для каждой точки земного шара, а X , Y , Z находятся из

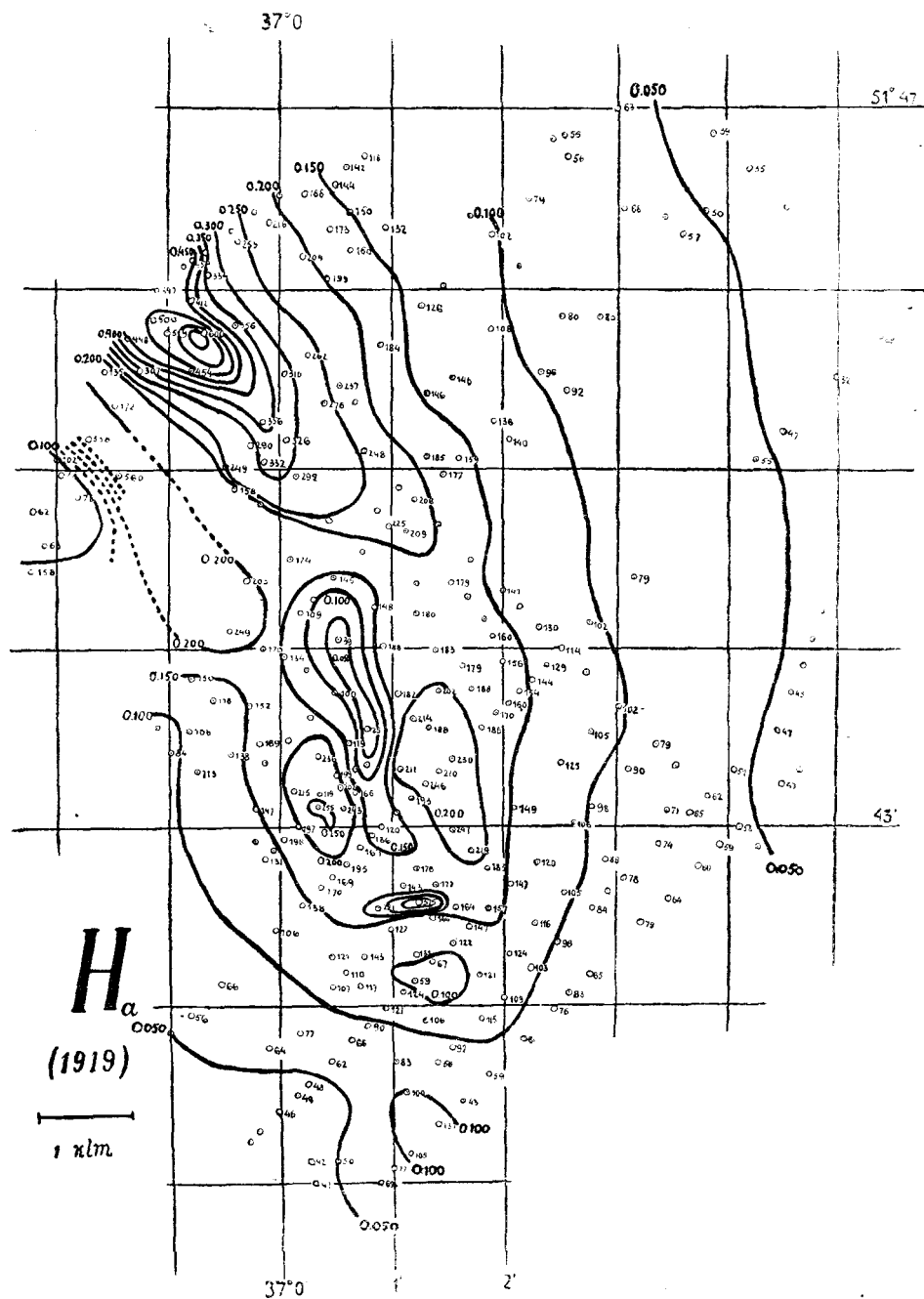


Рис. 5.

непосредственных определений, то отсюда легко получаются X , Y , Z , которые вполне характеризуют аномальное поле и позволяют определить помимо величины вертикальной аномальной составляющей Z_0

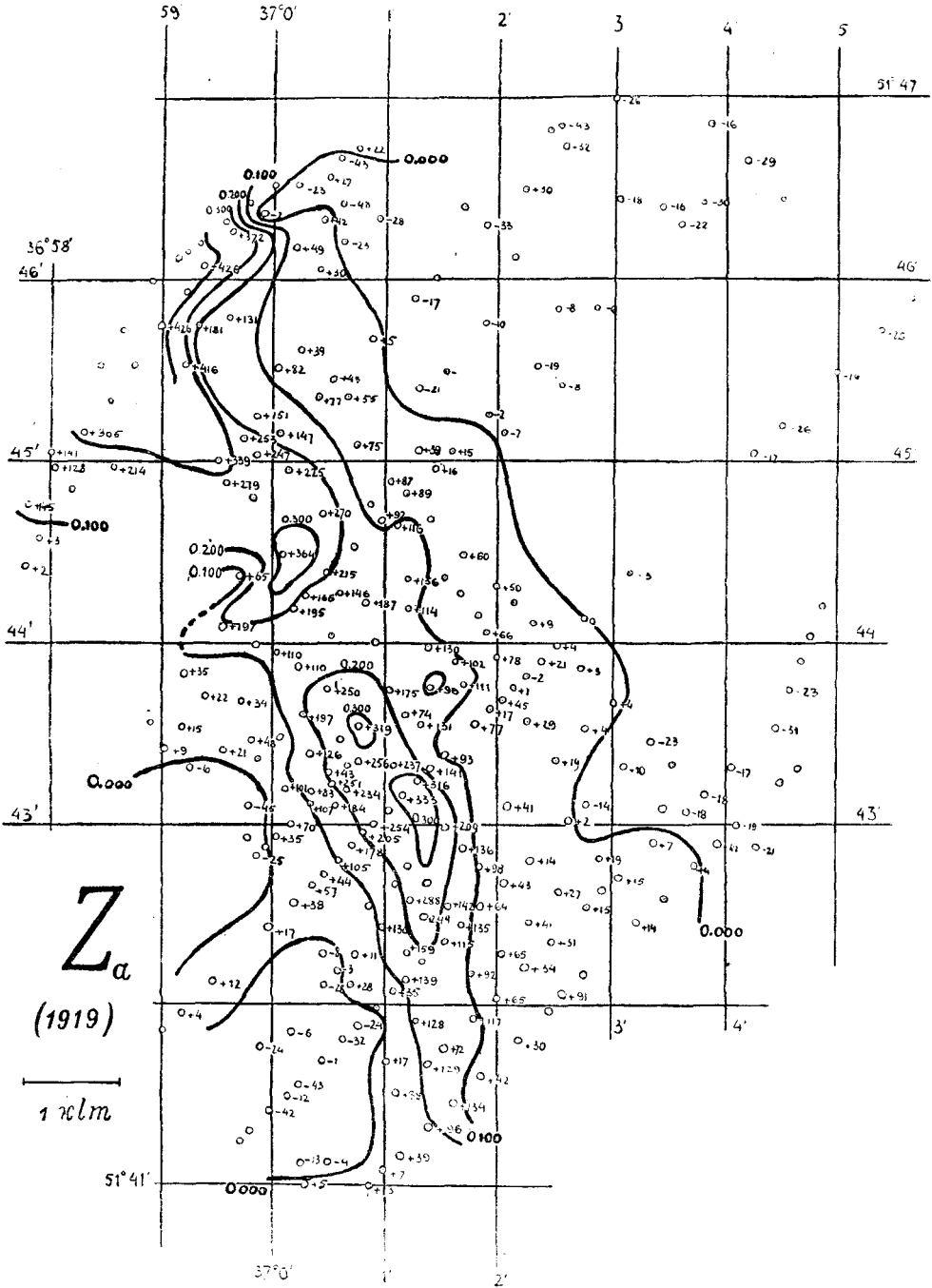


Рис. 6.

еще горизонтальную аномальную составляющую H_{α} , аномальное наклонение I_{α}

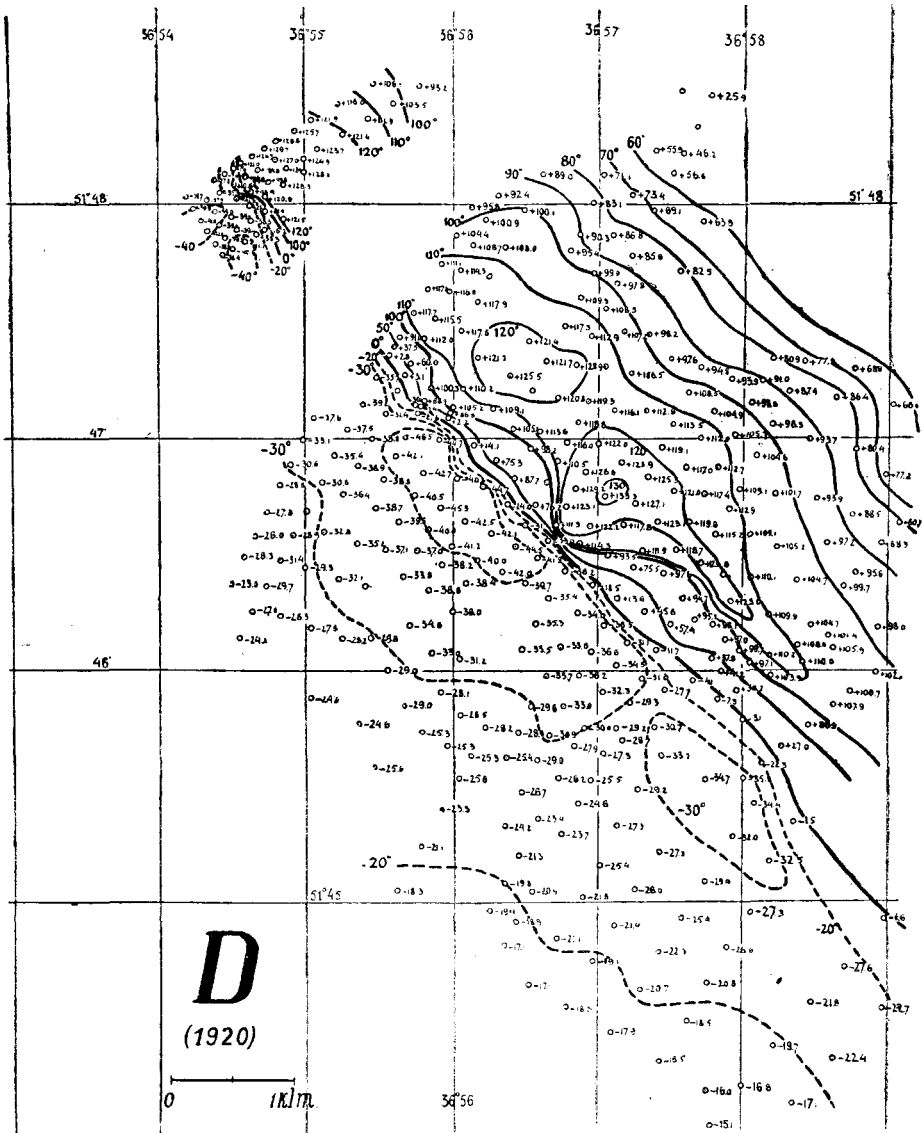


Рис. 7.

$$H_a = \sqrt{X_a^2 + Y_a^2}$$

$$\operatorname{tg} I_a = \frac{Z_a}{\sqrt{X_a^2 + Y_a^2}}$$

наконец аномальное склонение D определяется так:

$$\operatorname{tg} D_a = \frac{Y_a}{X_a}$$

По этому методу для всех точек съемки 1919 и 1920 года А. И. Заборовским

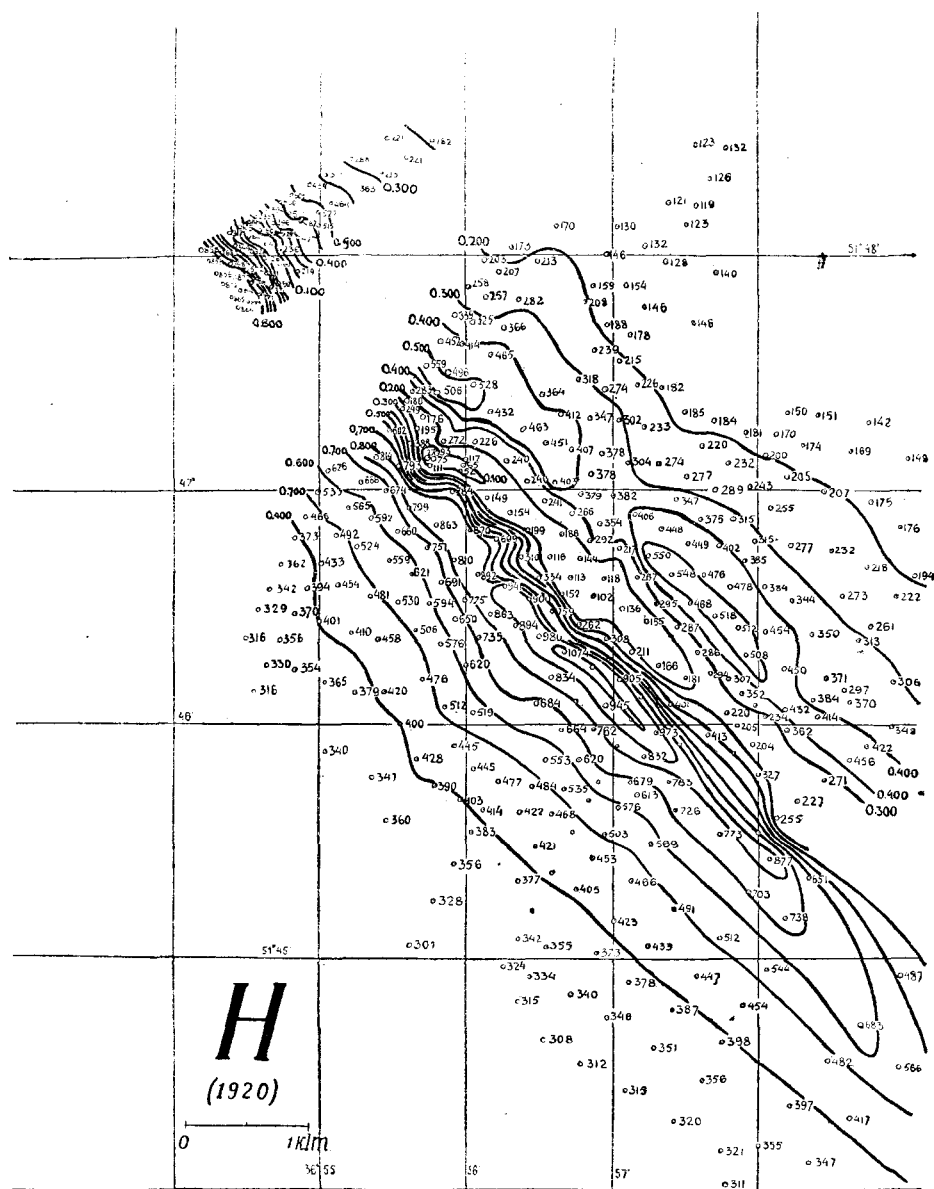


Рис. 8.

были произведены подсчеты аномального поля и на приведенных ниже картах даны соответствующие аномальные изолинии. При этом поправка на суточные вариации нормального поля не производилась, так как суточные вариации составляют приблизительно 0,15% нормальной величины поля, точность же метода составляет 0,25%.

При точном определении постоянных геомагнетизма в местах с

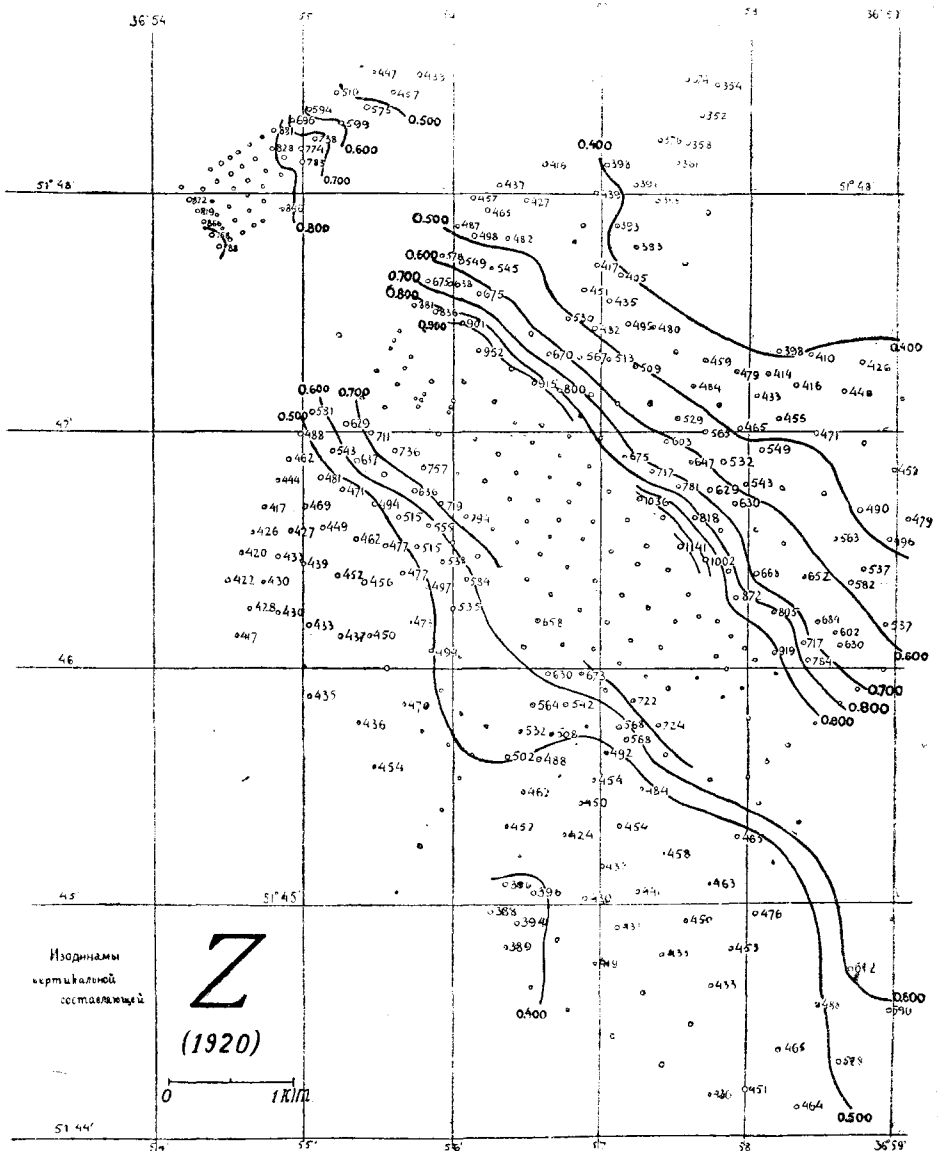


Рис. 9.

максимальной аномалией имеется в виду при точной съёмке ввести поправку на суточную вариацию земного поля, устроив магнитную станцию в Курской губ. При этом нужно отметить, что в аномальных местах, как это легко доказать, вариации элементов могут увеличиваться или уменьшаться против нормальных мест.

В самом деле пусть мы имеем силу H , состоящую из силы поля земного и поля аномалии; пусть к этой силе прибавляется горизон-

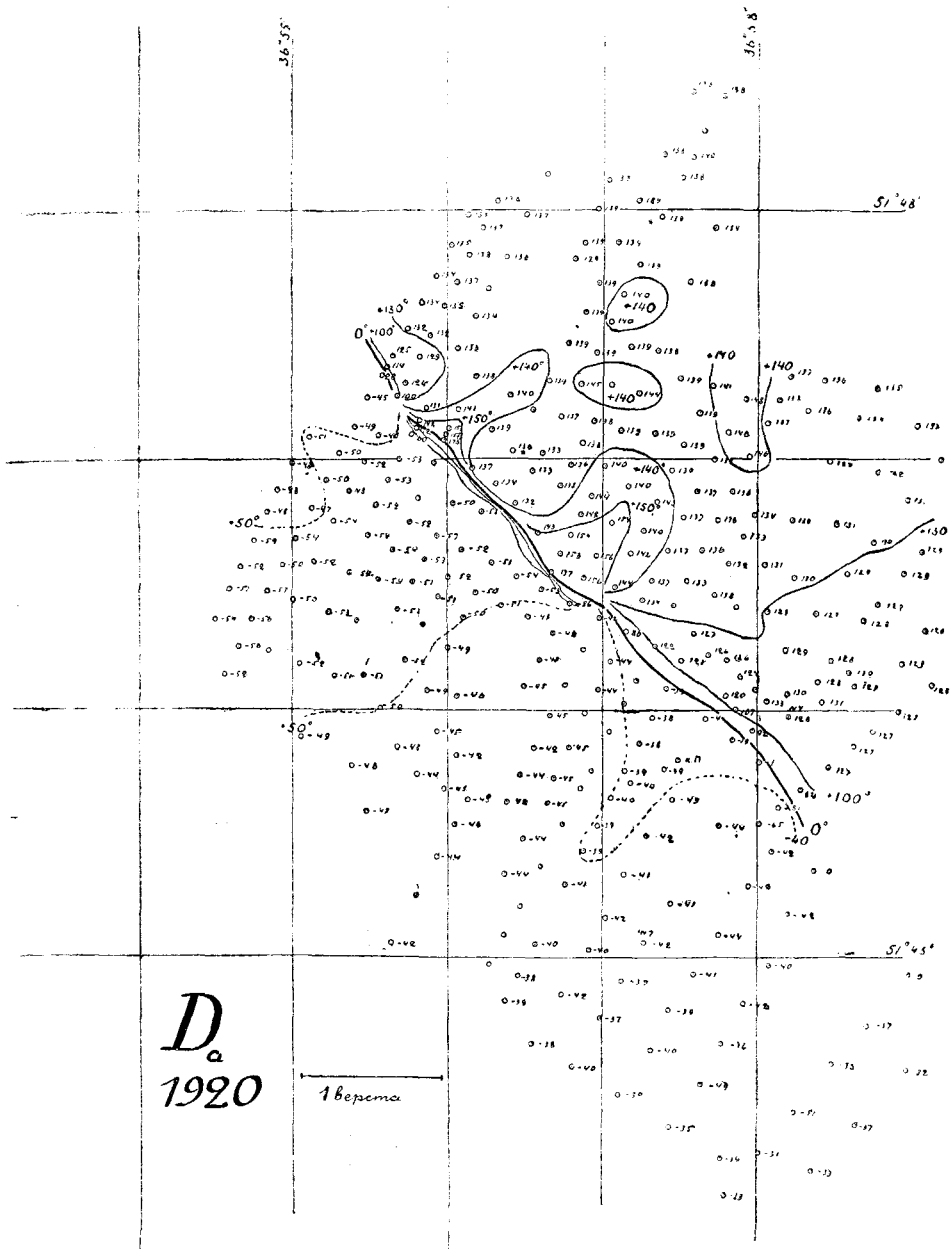


Рис. 10.

тальная составляющая вариация H_v и пусть вариация делает с направлением H угол D_v , тогда если ось X направлена в плоскости магнитного меридиана к северу и ось Y к востоку, то

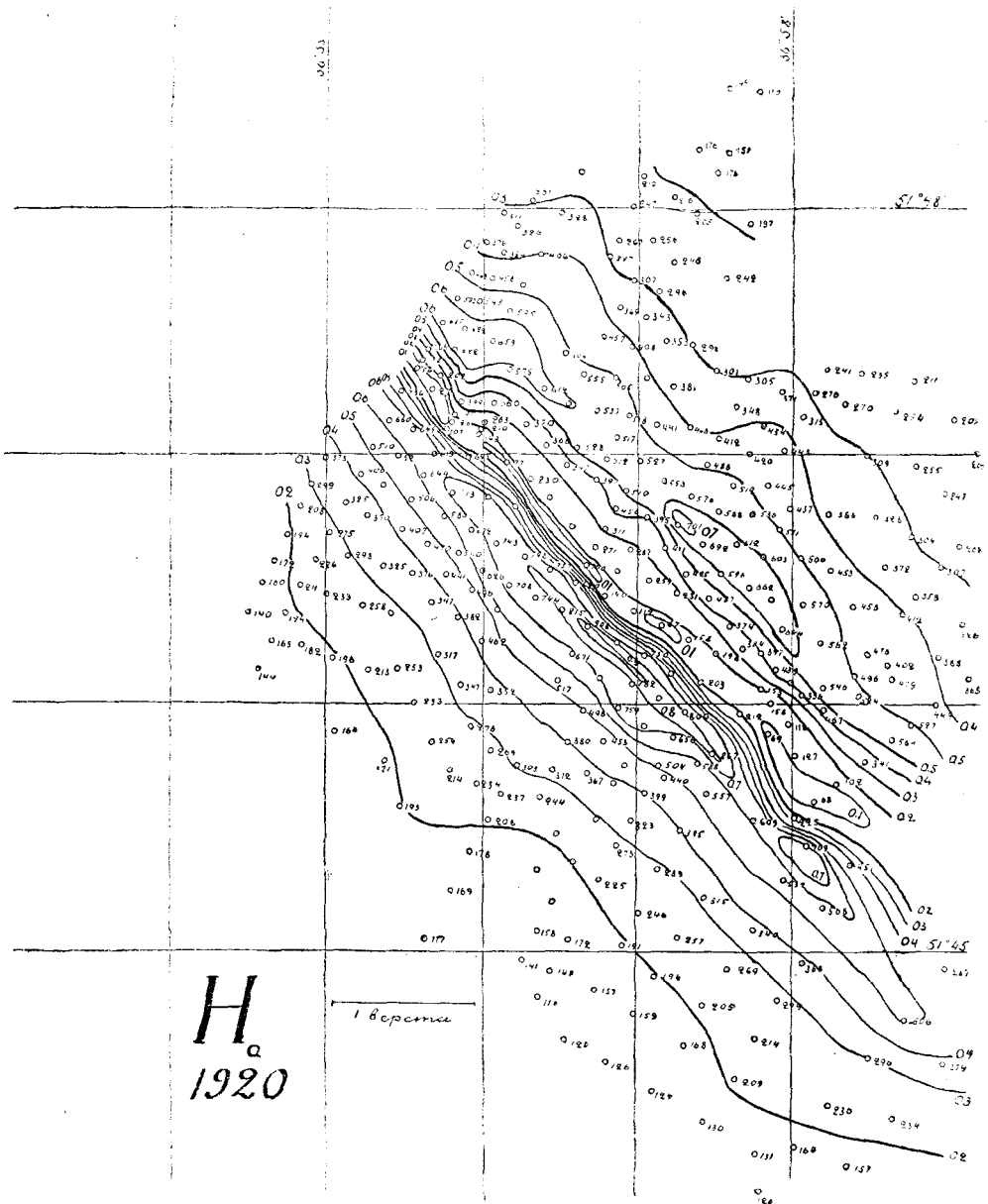


Рис. 11.

$$\begin{aligned} X &= H_1 + H_v \cos D_1 \\ Y &= H_v \sin D_1. \end{aligned}$$

Отсюда имеем, что тангенс угла отклонения магнитной стрелки от ее положения в меридиане есть

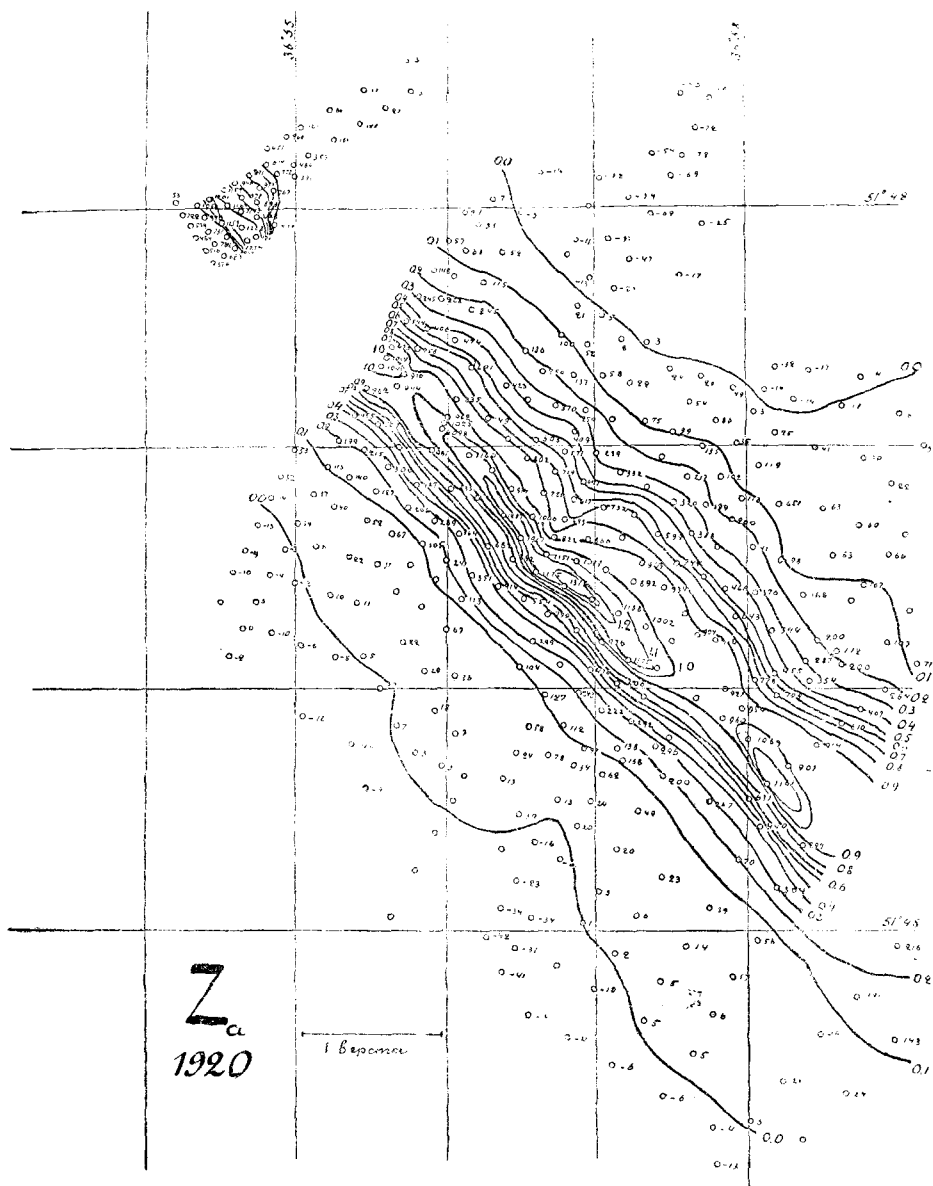


Рис. 12.

$$\operatorname{tg} D = \frac{Y}{X} = \frac{H_f \sin D_1}{H + H_f \cos D_1}$$

D есть изменение склонения; при прочих равных условиях D будет увеличиваться с уменьшением H , если H имеет соответственный знак; то же конечно касается и других элементов магнетизма.

Эти все данные можно удобно проверить экспериментально и эта

проверка сделана В. И. Пришлецовым¹⁾, создавшим в определенной области при помощи искусственных магнитов аномальное поле и показавшим соответствующее изменение в вариации элементов. Для поправок при точных исследованиях предположено изучить вариации в максимуме и минимуме аномалии в области Курской аномалии.

Как легко видеть из изолиний аномальной силы мы имеем дело с определенным направлением аномалии, с юго-запада на север-восток, причем имеются обширные области с замкнутыми изоаномалами.

В заключении интересно отметить, что линии максимальных значений I_a , Z_a и F_a и минимального значения H_a в Курской аномалии почти совпадают. (См. рис. 21).

Через эту же область проходит и линия PP к которой направлены все векторы H_a . Эти данные взяты из обработки результатов экспедиции 1919 года.

В приведенных картах поля аномалии 1919 года и карт аномалии 1920 г. исправлены определение географических координат (широт мест.), которые в отчете 1919 г. содержали погрешности вследствие ошибочной разбивки планшет. Это особенно касается западной части, где погрешность оказалась наибольшей.

§ 5.

Что касается до причины аномалии, то *Лейст*, отбрасывая земные токи и намагниченные метеоры, а также смещение горных пород, как причину аномалии, останавливается подробно на железе которое в других местах земли вызывает аномалии. Особенно подчеркивает *Лейст* аналогию распределения магнетизма в шведских залежах железа в Кйтупа и в Курской губернии. Однако в виду геологических соображений (мнение А. Д. Архангельского, Я. В. Самойлова и А. Е. Ферсмана) едва ли представляется возможным переносить заключения, сделанные для шведских залежей на Курскую губернию, тем более, что одну и ту же картину распределения магнетизма на земле могут дать самые разнообразные причины. Знаменитая Японская аномалия, изученная *Науманн*²⁾ показывает весьма интересную связь с геологическим строением области аномалии. Вот что пишет по этому поводу *Науманн*³⁾ „Изогона соответствующая $5^0 W$ совпадает в общем с тектонической линией³⁾“. Это является весьма важным результатом. Мы можем сказать, что вся горная цепь в области Fossa magna имеет изгиб. Изогоны дают в этой области подобный же изгиб. До сих пор о таком

¹⁾ В. И. Пришлецов Магистерская Диссертация. Москва.

²⁾ E. Naumann loc. cit. p. 19.

³⁾ Курсив автора Naumann'a.

близком совпадении магнитных и тектонических явлений совершенно нельзя было думать и трудно представить себе для этого лучший пример, чем это имеет место в Японии. Многие горные хребты, пересекаемые магнитными линиями, вызывают отклонение этих линий и в действительности влияние гор на магнитные линии составляет правило, но при пересечении линий влияние сказывается не так ясно и в таких случаях представляется трудным установить связь с геологическими процессами. Япония представляет то большое преимущество что изогоны показывают достаточно близкий параллелизм с общим направлением горной цепи“.

Здесь любопытно отметить, что землетресения могут вызывать далеко за пределами центра сотресения магнитные явления, причины которых повидимому нужно искать в смещениях намагниченных горных пород. В момент смещения намагниченных масс мы имеем возмущение которое и распространяется в виде волны и дает себя знать на значительном расстоянии. Что движение магнитографов в этом случае не зависят от сотрясения производимого землетресением, доказывається опытами *Moureaux* ¹⁾ который показал, что в то время как во время землетресений обычный бифилярный магнитометр показывает колебания, медный стержень подвешенный бифилярно совершенно также как и магнит не показывает никакого движения.

Как указывает *Arrhenius* бифилярный магнитометр в *Parc St. Maur* зарегистрировал землетресение в Калькуте 12 июня 1897 г., магнитометр в Потсдаме большое Японское землетресение 22 марта 1894 г. После смещения очевидно магнетизм пород отчасти исчезает ²⁾. Аномалия в Японии невелика, но возможно представить себе и большие магнитных явления причем не следует упускать из виду, что известные до сих пор железные рудные месторождения также не показывают тех огромных аномалий, которые имеются в Курской губ., и это обстоятельство также может говорить против железа, как причины аномалии.

Таким образом вопрос о причине Курской аномалии не может быть решен по аналогии и необходимы геологические изыскания которые и позволят решить этот важный вопрос.

Также неопределенно стоит вопрос и о глубине залегания магнитных слоев. *Лейст* в своей статье и в своем докладе в Научном Институте приводит практические правила для определения глубины залегания и эти правила таковы (см. рис. 13):

- 1) Глубина залегания магнитных масс равна расстоянию на земной поверхности точек $H=O$ и $H=Z$.
- 2) Глубина залегания магнитных масс равна расстоянию на земной поверхности точек, где $I=45^\circ$ и $I=90$.

¹⁾ Cp. S. Arrhenius. Lehrbuch der Kosmischen Physik. p. 990 Leipzig. 1903 г.

²⁾ Arrhenius loc. cit. p. 990.

верхности чертежа через A , причем одна плоскость дает след MT и другая параллельная намагниченной полуплоскости дает след UW . Для всех точек плоскости перпендикулярной к плоскости чертежа и проходящей через MT угол ω одинаков и следовательно плоскость след которой MT есть изопотенциальная поверхность. Называемая α угол MAW между MT и UW , находим $\omega = 2\alpha$.

Таким образом потенциал V листка в точке A равен

$$V = \Phi\omega = 2\Phi\alpha$$

Отсюда нормальная к MT сила

$$F = \frac{dV}{d\alpha} \frac{1}{r} = \frac{2\Phi}{r},$$

где r расстояние MA .

Силовые линии на чертеже образуют круги центр которых лежит в M и системы изодинам лежат на круглых цилиндрах с центром в M . Сила в точке C , находящейся на перпендикуляре к SS , равна $H = F = \frac{2\Phi}{R}$

(1) ($R = MC$); вертикальная составляющая $Z = 0$; в обе стороны от этой точки полная сила уменьшается, так как расстояние R_1 увеличивается

по закону $R_1 = \frac{R}{\cos \varphi}$, где φ угол между линией MD , идущей от M до точки наблюдения D и вертикалом MC и следовательно $F = \frac{2\Phi \cdot \cos \varphi}{R}$;

горизонтальная составляющая в этой точке найдется, помножая F на $\cos \varphi$, так что $H = \frac{2\Phi \cos^2 \varphi}{R}$, при чем эта величина по обе стороны MC

на равном расстоянии от C одинакова.

Вертикальная составляющая Z равна в этом случае полной величине силы $\frac{2\Phi}{R} \cdot \cos \varphi$, умноженной на $\sin \varphi$, так что,

$$Z = \frac{2\Phi \cos \varphi \cdot \sin \varphi}{R} = \frac{\Phi}{R} \cdot \sin 2\varphi$$

Наклонение I определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} I = \frac{Z}{H} = \operatorname{tg} \varphi$$

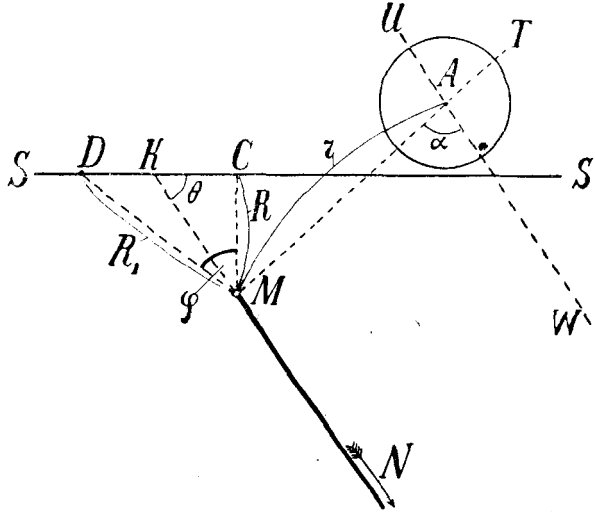


Рис. 14.

и следовательно в точке, где $\varphi = 45^\circ$, и где следовательно $I = 45^\circ$, $H = Z$; так как кроме того над точкой M (в C) H имеет максимальное значение и $Z = 0$ то мы получаем таким образом для этого второго случая данные, определяющие глубину слоя, совершенно отличные от данных определения Лейста.

Вершина хребта лежит в точке, глубина которой под землей равна расстоянию между точками, в которых $I = 0^\circ$ и $I = 45^\circ$. При этом очень важно отметить, что бесконечный хребет MN может тянуться под любым углом θ к поверхности земли SS , распределение сил останется одинаковым, хотя в одной части (вправо от C) под землей будут лежать огромные магнитные массы, а в другой (влево от C) их не будет. Бурения сделанные от C по направлению к K , не дадут никаких результатов, и поэтому *одно бурение в этом случае заведомо ни к каким определенным заключениям привести не должно.*

Наконец возможно решить вопрос относительно листка конечной ширины. Поле такого листка можно получить если рассматривать поле бесконечного листка представляющего полуплоскость A и на расстоянии d от граничной линии плотно приложить к нему бесконечно же тонкий листок B , представляющей полуплоскость с равной магнитной силой Φ направление которой противоположно направлению силы листка A .

Если сечение такого листка плоскостью перпендикулярно к нему и его параллельным ребрам будет MN (Рис. 16); то в точке A потен-

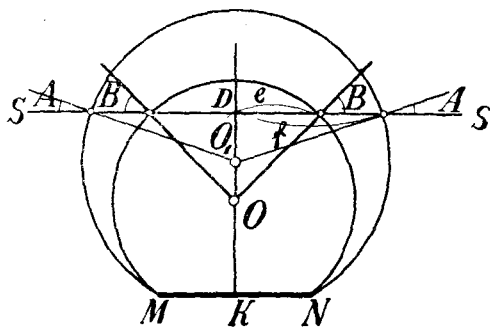


Рис. 15.

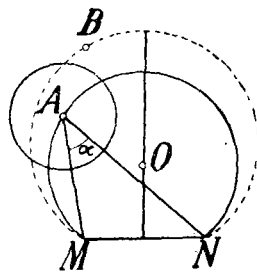


Рис. 16.

циал будет равен как понятно из предыдущего $V_1 = 2\Phi\alpha$ и изопотенциальная поверхность представить в сечении окружность, вмещающую угол α .

Для точки B лежащей вне круга MAN имеется другая окружность с центром, лежащим на линии проходящей через O перпендикулярно MN , представляющая собой сечение изопотенциальной поверхности плоскостью чертежа.

Таким образом изопотенциальные поверхности в данном случае суть части поверхности круглых цилиндров.

Для практики может быть интересным случай, когда бесконечный листок ограниченной ширины лежит параллельно горизонтальной поверхности земли. В этом случае одна из изопотенциальных линий пересечет поверхность земли так, что полная сила, перпендикулярная к изопотенциальной линии, будет делать с поверхности земли угол $B = 45^\circ$ (рис. 15). Если применять в этом случае последний прием *Лейста*, то понятно, что мы найдем центр изопотенциальной поверхности O , который может лежать от хребта MN на любом расстоянии, а так как кроме того силы, исходящие из MN , на линии DK , перпендикулярной к MK и проходящей через O , перпендикулярны к поверхности земли в точке D и не имеют в этой точке горизонтальной составляющей, то ясно, что правила *Лейста* ведут к неверным заключениям.

Суждение о глубине залегания магнитных масс по двум наблюдениям может дать абсолютно несогласные с действительностью результаты и привести к совершенно ложным и преуменьшенным заключениям о глубине магнитного слоя.

Правильные заключения в этом последнем случае можно получить построив две изопотенциальные поверхности по наблюдениям пары точек где $I = A$ и другой пары где $I = B$; для одной пары, (A например), I может равняться 45° .

Из рис. 15 легко видеть взаимное расположение изопотенциальных поверхностей. Зная расстояния $DB = e$ и $DA = f$ можно вычислить глубины залегания центров изопотенциальных поверхностей равные $DO = e \operatorname{tg} B$ и $DO_1 = f \operatorname{tg} A$. Радиусы OB и O_1A двух кругов соответственно равны $R_1 = \frac{e}{\cos B}$ и $R_2 = \frac{f}{\cos A}$; следовательно, зная DO и DO_1 с одной стороны R_1 и R_2 с другой можно графически найти точки пересечения M и N двух изопотенциальных поверхностей и графически же найти глубину DK .

Весьма интересно отметить, что листок MN может быть и не плоским, необходимо только, чтобы две ограничивающие его прямые, перпендикулярные в M и N к плоскости чертежа, были бы параллельны поверхности земли. Сам листок в сечении может представлять любую форму и K может понижаться на какую угодно величину ниже линии проходящей через M и N .

Производя бурение в этом случае отвесно в D и дойдя до плоскости MN мы не найдем никакого магнитного слоя, так как намагниченный слой лежит глубже.

Еще сложнее могут быть отношения, если плоскость линий, ограничивающих листок лежит наклонно к поверхности земли и, если

деления потенциала аномального поля. Для этого предполагается изучить изменение поля с аэропланов, что даст распределение силы на разной высоте. Наконец необходимо экспериментальное изучение модели намагниченного хребта предпринятое Академической Комиссией по изучению Курской аномалии в Физическом Институте Научного Института и в Институте Биологической Физики Н. К. З.

Ниже мы приведем для центра кружка обведенного пунктиром (рис. 4) расчеты глубины слоя, сделанные в предположениях, что имеется два ряда полюсов, лежащих один над другим в виде хребта, простирающегося на большое расстояние (теоретически бесконечно большое).

Из этого предположения выводится уравнение силовых линий, которые изображаются графически на бумаге (см. рис. 18). Из сравнения распределения наклонения на поверхности земли в разных точках, с данными, полученными графически из теоретической схемы отыскивается глубина вершины хребта, его наклонение к горизонту и толщина. При применении этого метода *А. И. Заборовским* и *В. В. Колубакиным* получены следующие данные для залегания магнитного слоя для точки окруженной пунктиром.

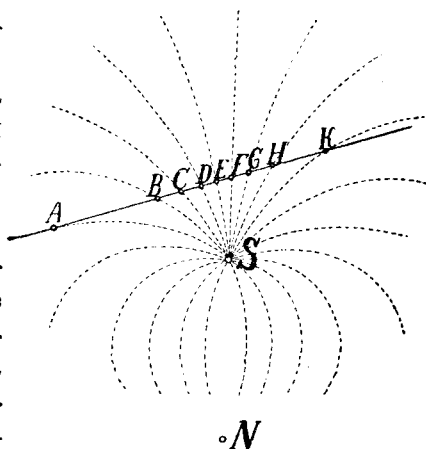


Рис. 18.

Глубина под поверхность 490 метров.

Ширина (расстояние северного и южного полюсов) около 600 метров.

Наклонение пласта к горизонту 67°.

Если определять глубину действующих масс из более простых предположений именно допуская, что размеры магнита велики по сравнению с его расстоянием от поверхности земли и мы можем считать, что линии сил около верхнего полюса представляются прямыми, тогда, если x есть расстояние верхнего полюса от поверхности земли, d расстояние между точками, $I=90^\circ$ и $I=i$ находим:

$$x = d \cdot \operatorname{tg} i = \frac{Z}{H}$$

Таким способом были получены *А. И. Заборовским* следующие данные для глубин залегания по линии $\alpha\beta$ и т. д. (см. рис. 4).

x в метрах	x в метрах
A 260	G 680
B 180	H 750

C 240
D 300
E 309
F 350

K 680
L 410
M 270

Порядок величин получается тот же как при первом способе подсчета, но глубины часто получаются вдвое или втрое большими, чем по первому способу. Мы конечно не придаем решающего значения этим подсчетам и приводим их для представления о порядке величин тех расстояний, которые можно ожидать найти.

Относительно возможных расположений магнитных масс удалось установить следующие правила. Пусть магнитный пласт образован под землей или непрерывным рядом полюсов, расположенных по прямой линии. Пусть линия полюсов проектируется на горизонтальную

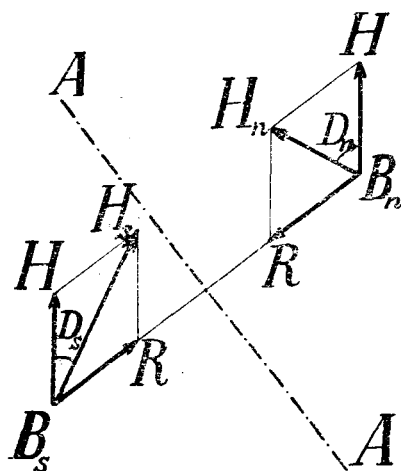


Рис. 19.

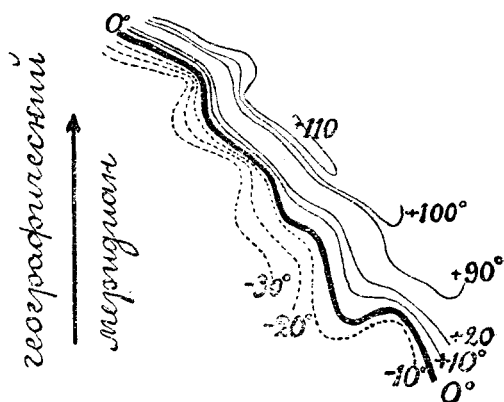


Рис. 20.

поверхность земли в виде линии AA (рис. 19). Над этой линией горизонтальная составляющая аномалии равна нулю; что, касается до вертикальной, то она равна максимуму. В двух точках лежащих симметрично по отношению к хребту, слагающая аномалии равна R и направлена в прямопротивоположных направлениях поэтому, если склонение в области аномалии равно нулю и следовательно H , зависящее от земного поля, направлено по географическому меридиану, то на север от хребта в точке B_N мы будем наблюдать западное склонение, на юге восточное, как это ясно из рисунка, причем изогоны параллельны линии AA . Курская аномалия в определенной части по-

казывает приблизительно эти отношения; в самом деле на рисунке 20 видны изогоны, близко лежащие друг от друга, разница с теоретическим случаем заключается в том, что по отношению к линии со склонением 0° северные и южные изогоны расположены несимметрично и на севере их густота больше, чем на юге. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что хребет представляющий форму листка ограниченных размеров (или систему двух полюсов) расположен не параллельно поверхности земли, а так, что его ребро, направленное на север, ближе к поверхности земли, чем направленное на юг и покрытая южным магнетизмом поверхность обращена к земле, будучи подставлена линиям земной силы, которые могут подходить к хребту приблизительно нормально. При этом, как понятно из рис. 19 и 20 к северу и к югу от хребта равные силы должны лежать на разном расстоянии. Наконец из приложенных карт аномалии, полученных в 1919 году (рис. 4, 5, 6), а также из определения общей величины общей величины аномального поля F_a видно, (рис. 21), что максимум I_a , Z_a и F_a , минимум H_a , наконец линия, к которой сходятся силы — линия PP , в значительной части друг с другом совпадают. Если бы мы имели листок ограниченный двумя прямыми, то изодинамы горизонтальной составляющей должны бы были быть прямыми, параллельными хребту. Этого однако не наблюдается и зависит это оттого, что хребет, то опускается, то поднимается, и единственное средство, чтобы получить представление о расположении намагниченных масс, это — экспериментальные лабораторные воспроизведения аномалии со всеми ее особенностями. При этом, как понятно, придется предполагать, что намагничивание делается или полем земли по индукции, или, что намагниченные в глубоких слоях земной коры магнитные слои, обладающие одинаковой степенью намагничивания, выдвинуты в более поверхностные слои, давая таким образом явления местной магнитной аномалии.

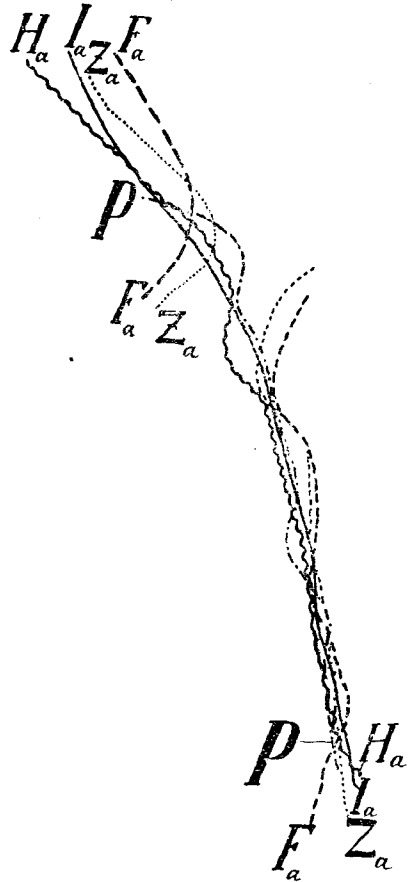


Рис. 21.

В настоящее время при В. С. Н. Х. создана специальная Комиссия для глубоких бурений. Задача Комиссии состоит в производстве глубокого бурения в местах, избранных для этого Комиссией. Каковы бы ни были результаты бурения, во всяком случае, работы эти должны разрешить одну из интереснейших задач геомагнетизма, дав некоторые интересные указания и на теорию явления аномалии, представляющей самую крупную аномалию на земном шаре.

Москва. Физический Институт
М. Н. И. и Институт Биологической Физики при Н. К. Э.
Сентября 1920 г.
