

С.С. Красовский



МЕТОДИКА
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ
КАРТИРОВАНИИ



АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ

С. С. Красовский 550.

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ
КАРТИРОВАНИИ

*(На примере Приазовского
кристаллического массива
и зоны сочленения его
с Донбассом)*

2710

КИЕВ —



НАУКОВА
ДУМКА

— 1965



На основании анализа материалов геофизических и геологических исследований приазовской части Украинского кристаллического щита и зоны сочленения Приазовского массива с Донбассом рассматриваются возможности различных геофизических методов для решения задач среднемасштабного геологического картирования. Обоснован выбор рациональной сети наблюдений в зависимости от физико-геологических условий, исследованы источники погрешностей при проведении съемок и разработана методика создания опорных сетей для крупно- и среднемасштабных съемок повышенной точности. Анализируется разрешающая способность геофизических методов при картировании группы объектов.

Работа рассчитана на геофизиков и геологов научно-исследовательских и производственных организаций, преподавателей и студентов старших курсов высших учебных заведений.

Ответственный редактор
академик АН УССР С. И. Субботин

ПРЕДИСЛОВИЕ

Начертанный Программой КПСС план построения коммунистического общества предусматривает значительное расширение минеральносырьевых ресурсов нашей Родины для создания материально-технической базы коммунизма. При этом наряду с поисками и разведкой полезных ископаемых в восточных и северных областях страны признано необходимым большее внимание уделять освоению земных богатств западных районов страны. Благодаря хорошо развитым транспортной и энергетической сетям, наличию квалифицированной рабочей силы и т. д. здесь экономически выгоднее, чем в восточных областях, вести разработку месторождений полезных ископаемых даже с меньшими запасами и на больших глубинах.

В связи с этим народнохозяйственные планы на ближайшие годы предусматривают проведение больших по объему геологосъемочных работ, значительное место среди которых занимает среднемасштабное геологическое картирование, особенно в пределах Украинского кристаллического щита. Наиболее перспективными для поисков месторождений различного вида минерального сырья являются приазовская часть щита и прилегающие к ней области, где в последние годы трест «Артемгеология» начал планомерные геологосъемочные работы.

При этом основным объектом съемки является не верхний структурный этаж, сложенный осадочными породами мезо-кайнозойского возраста, а нижележащие — докембрийский и палеозойский, если последний имеется на площади съемки. Поскольку эти структурные этажи перекрыты чехлом более молодых осадочных пород, для эффективного проведения геологического картирования необходимо широко применять геофизические методы исследований.

Неотъемлемой составной частью геологических исследований в последние десятилетия стали геофизические съемки. В геологии их начали применять в XX в., когда возникла необходимость открытия месторождений на некоторой глубине под земной поверхностью, а обычные приемы геологической съемки и поисков оказались недостаточными для решения этих задач. В настоящее время геофизические методы успешно применяются при поисках и разведке месторождений различных полезных ископаемых, изучении геологического

строения верхних и более глубоких зон земной коры, исследовании внутренних частей Земли и др.

Автор по договору с трестом «Артемгеология» проанализировал результаты геофизических съемок, проводившихся на территории деятельности треста в пределах приазовской части УКЩ и прилегающих областей до 1962 г. Одновременно была составлена карта геофизической изученности региона. Начиная с 1926 г. здесь работали 64 полевые и тематические партии и экспедиции; геофизическим исследованиям посвящено свыше 30 печатных трудов. Аналогичные работы проводились во всех частях УКЩ, а также в пределах многих других докембрийских щитов, и поэтому к настоящему времени накоплен определенный опыт применения геофизических методов для решения различных задач в подобных регионах. Однако лишь в последние годы приазовская часть УКЩ стала покрываться планомерной среднемасштабной геологической съемкой; комплексному решению задач, стоящих перед среднемасштабным геологическим картированием, геофизическими методами ранее уделялось мало внимания. Геофизические методы непосредственно в помощь геологической съемке стали применяться сравнительно недавно. Подобное положение сложилось и в других сходных по геологическому строению регионах. Поэтому, несмотря на определенные успехи, эффективность геофизических методов при среднемасштабном геологическом картировании докембрийских щитов часто была еще недостаточно высокой.

Такое положение было обусловлено целым рядом факторов, затруднявших использование материалов геофизических съемок для целей среднемасштабного картирования. Так, в Приазовье геофизические исследования для решения задач региональной структурной геологии проводились в относительно мелком масштабе, а иногда и с низкой (по сравнению с существующими сейчас кондициями) точностью. Поэтому результаты исследований имеют исторический и рекогносцировочный характер.

Многие средне- и даже крупномасштабные геофизические съемки, проведенные в Приазовье, также имеют ряд недостатков, характерных для подобных работ, которые проводились и в других регионах с аналогичным геологическим строением. Прежде всего следует указать, что большинство геофизических исследований вплоть до середины прошлого десятилетия выполнялось для решения отдельных, часто узких поисково-разведочных задач, а иногда даже без конкретных геологических заданий.

Так, еще несколько лет назад основными задачами геофизических съемок были:

- а) составление соответствующих карт физических полей;
- б) выявление и прослеживание интенсивных магнитных аномалий, обусловленных телами основных и ультраосновных пород, железистых кварцитов; детализация этих аномалий гравиразведкой с вариометром;
- в) определение глубины залегания и рельефа поверхности кристаллических пород (исключительно по данным электроразведочных работ).

Такие же задачи, как помощь в картировании комплексов кристаллических пород по составу, а особенно выявление и трассирование дизъюнктивной и пликативной тектоники докембрийских щитов, большей частью перед геофизическими исследованиями вообще не ставились. При этом геофизические

работы проводились в отрыве от геологической съемки, исследования часто велись не комплексно, а отдельными методами. Интерпретация материалов в основном выполнялась без учета требований геологической съемки.

В последние годы, когда началось планомерное проведение среднемасштабных геологических съемок УКЩ, в частности Приазовского массива, многие геофизические исследования стали проводиться непосредственно для решения задач геологического картирования и эффективность геофизических методов значительно повысилась. Однако и для последних работ этого плана можно отметить ряд недостатков.

1. Выяснению некоторых вопросов, стоящих перед геологической съемкой (например, картированию тектоники, глубинного строения и др.) уделялось недостаточное внимание.

2. Методика геофизических исследований не была нацелена на комплексное решение всех задач, поставленных перед геофизическими методами при геологическом картировании. В пределах докембрийских щитов и в иных по геологическому строению регионах при геофизических исследованиях использовались приемы, выработанные для решения частных задач.

3. Геофизические исследования проводились лишь некоторыми из необходимых для комплексного решения задач методами. Объемы детализационных наблюдений были недостаточными, геофизические исследования отставали от геологической съемки. Характерным было: малые объемы или даже отсутствие сопутствующих геологической съемке геофизических работ, недостаточно четкая связь геологической и геофизической служб.

4. В ряде случаев опытные работы проводились в неблагоприятных условиях, что отрицательно сказывалось на выводах об эффективности отдельных методов (микромагнитная съемка, металлометрия).

5. Теоретическому обоснованию многих вопросов методики полевых исследований, точности и сети наблюдений, разрешающей способности геофизических методов в различных условиях уделялось недостаточное внимание.

Такое положение обусловлено не только организационными и техническими причинами, а в основном тем, что указанным вопросам при проведении геофизических съемок в Приазовье до настоящего времени уделялось мало внимания.

В литературе [1—3, 16, 21, 28, 54—56, 60 61, 88 и др.], в соответствующих инструкциях и руководствах вопросы методики и комплексирования геофизических методов освещены довольно подробно. Но вопросы применения геофизических исследований для комплексного решения задач среднемасштабного геологического картирования в условиях Украинского кристаллического щита и его приазовской части почти не изучались; относительно больше внимания было уделено лишь геофизическим исследованиям железорудной формации УКЩ [46]. Мало сведений в этой области и для других, сходных по физико-геологическим условиям регионов. Поэтому при проектировании и проведении геофизических съемок в Приазовье руководствовались обычно положениями методики, не соответствующими современным требованиям среднемасштабной геологической съемки, которые были разработаны для иных физико-геологических условий и геологопоисковых задач.

Анализ геофизических работ, выполненных за последние годы в Приазовье и других районах УКЩ, показал, что некоторые положения методики полевых наблюдений (масштаб и сеть съемок, комплексирование геофизических методов, комплексирование геофизических и геологосъемочных исследований, интерпретация геофизических материалов), разработанные для решения отдельных задач геофизических съемок мелкого масштаба, в иных по физико-геологическим условиям регионам требуют дополнений, пересмотра или специальных разработок для применения их при среднемасштабном геологическом картировании. По согласованию с трестом «Артемгеология» автор с 1961 г. занимался в Институте геофизики АН УССР некоторыми из этих вопросов. При этом были использованы наблюдения автора за 1956—1963 гг., материалы других геофизических исследований в Приазовье, а также литературные и фондовые материалы.

Исходя из основных задач, стоящих перед геофизической службой для целей среднемасштабного геологического картирования в приазовской части УКЩ, при рассмотрении методики геофизических исследований автор основное внимание уделил вопросам, которые или недостаточно полно исследованы, или же не разрабатывались вообще. Некоторые положения, имея общий характер, могут применяться и в иных по геологическому строению регионах, при решении различных геологических задач. Значительное место в работе уделено также комплексированию геофизических методов и комплексному проведению геофизических и геологопоисковых работ.

В настоящей работе рассматриваются лишь некоторые наиболее актуальные, по мнению автора, положения, представляющие интерес для теории и практики геофизических исследований при среднемасштабном геологическом картировании, и автор ни в коей мере не претендует на полное решение всех многообразных вопросов, возникающих при проведении подобных работ. Широкий круг задач и различие природных условий на отдельных участках, естественно, не позволяют для всех случаев разработать единую методику проведения геофизических исследований в пределах даже одного региона. В связи с этим иногда автор предлагает два или несколько вариантов решения тех или иных вопросов. Вполне понятно, что в дальнейшем должны быть исследованы как рассмотренные, так и другие вопросы геофизических съемок в помощь среднемасштабному геологическому картированию, при которых отдельные выводы автора будут уточняться и дополняться.

Для решения задач среднемасштабного геологического картирования важны вопросы рационального использования материалов геофизических съемок, методики количественной и качественной интерпретации получаемых материалов. Однако наиболее правильное их решение возможно лишь в том случае, если методика полевых наблюдений и обработки материалов, сеть съемок, комплекс геофизических методов, комплексирование геофизических и геологоразведочных работ будут соответствовать задачам среднемасштабного геологического картирования.

Настоящая работа посвящена методике и комплексированию геофизических методов. Вопросы же интерпретации и рационального использования геофизических материалов при среднемасштабном геологическом картировании должны быть предметом специальных исследований. Разработкой некоторых

из этих вопросов автор занимается, но в настоящей работе они не рассмотрены.

Автор выражает глубокую благодарность академику АН УССР С. И. Субботину, под руководством которого выполнялась настоящая работа, В. Б. Соллогубу, З. А. Крутиховской, К. Ф. Тяпкину, В. Б. Бурьянову, В. И. Старостенко, Г. Г. Конькову, Б. Д. Левитесу, Л. П. Шаган, К. М. Шурапею, А. М. Ивановой, Г. А. Розношкику, С. В. Старченко, М. Я. Белобородовой и Н. А. Потаповой за советы, участие в разработке и проверке на практике некоторых вопросов и предложений, за помощь в сборе материалов и при подготовке рукописи к печати.

Глава I

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СРЕДНЕМАСШТАБНОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ

В настоящее время перед геофизическими работами, выполняемыми в помощь среднемасштабной геологической съемке Украинского кристаллического щита и его приазовской части, ставятся следующие основные задачи:

- 1) определение глубины залегания и параметров геологических объектов;
- 2) выяснение вещественного состава этих объектов по их петрографическим характеристикам;
- 3) картирование складчатой тектоники докембрийского фундамента;
- 4) выявление и трассирование элементов разрывной тектоники.

При этом наряду с исследованием верхней части кристаллического фундамента и осадочных отложений предусматривается изучение глубинной структуры фундамента.

Для решения поставленных задач в том или ином объеме и масштабе применяются все геофизические методы, причем исследования большей частью проводятся комплексом методов, так как невозможно решить все задачи каким-нибудь одним методом. Следует также подчеркнуть целесообразность комплексирования геофизических и геологоразведочных работ.

В связи с тем, что среднемасштабное геологическое картирование докембрийских щитов на значительных площадях проводится лишь в последние годы, многие положения методики геофизических съемок, разработанные при решении отдельных задач как в более мелком, так и в том же масштабе, не соответствуют новым требованиям и необходимы специальные разработки их. Поэтому в настоящей работе основное внимание уделено тем вопросам методики, которые представляют, по нашему мнению, особый интерес и в то же время недостаточно полно рассмотрены, не разрабатывались вообще или не применимы при новых задачах, условиях и масштабах съемок. При этом автор старался не повторять тех общепринятых положений методики,

с которыми согласен и которые достаточно полно изложены в соответствующих учебниках, статьях, инструкциях и руководствах.

Согласно существующим сейчас представлениям [10, 72—74, 77, 78, 104, 105 и др.], Украинский кристаллический щит и его приазовская часть сложены толщей древних осадочно-метаморфических и магматических пород, смятой в складки и значительно усложненной разломной тектоникой, более поздними интрузиями и метаморфическими процессами. Системами разрывных нарушений кристаллический фундамент разбит на блоки (горсты и грабены), в пределах которых поверхность фундамента денудирована на различных уровнях. Докембрийские породы почти повсеместно перекрыты осадочными отложениями мезо-кайнозойского возраста, а в пределах зоны сочленения Приазовского массива с Донбассом — и палеозойскими образованиями. Большие углы падения геологических тел осадочно-метаморфической толщи и дифференциация пород по физическим свойствам свидетельствуют о том, что верхнюю часть докембрийского фундамента (основной объект при среднемасштабном геологическом картировании УКЩ) в общем можно представить как вертикально- и наклонно-слоистую среду, осложненную вертикальными, иногда наклонными штоками и уступами, расположенными на некоторой глубине от поверхности наблюдений. Неоднородности осадочного чехла и глубинных частей докембрийского фундамента могут оказывать определенное влияние на характер и интенсивность физических полей, что следует учитывать при рассмотрении материалов геофизических съемок.

Из всего комплекса применяемых геофизических методов основное внимание уделялось разработке рациональной методики полевых наблюдений тех геофизических съемок, материалы которых наиболее широко используются при геологическом картировании докембрийских щитов.

А. МАГНИТОРАЗВЕДКА

Магниторазведка применяется при решении многих поставленных перед геофизическими съемками задач и занимает ведущее место в общем комплексе геофизических исследований. Магнитометрия обладает достаточно высокой разрешающей способностью при геологическом картировании докембрийского фундамента, причем полевые исследования достаточно экономичны и производительны.

Для всей территории приазовской части УКЩ выполнена среднемасштабная аэромагнитная съемка. Однако относительно меньшая разрешающая способность воздушных наблюдений по сравнению с наземными и более высокая точность последних,

как показывает анализ имеющихся материалов (А. В. Тесленко, 1954, 1955 и др.), не позволяют считать аэромагнитные исследования эффективными для удовлетворительного решения большинства поставленных задач. Поэтому в настоящее время в Приазовье проводятся исключительно наземные магнитные съемки.

Хотя магнитометрия достаточно широко и успешно применяется при решении различных геологических задач уже несколько десятков лет, однако сложные специфические геологические условия на докембрийских щитах, и особенно в приазовской части УКЩ, возросшие требования и новые задачи съемки обуславливают необходимость рассмотрения некоторых вопросов методики и разрешающей способности этого метода.

§ 1. О рациональной сети магнитных съемок

При магнитометрических исследованиях, как и при других геофизических съемках, большое значение имеет выбор рациональной сети наблюдений. Под последней обычно имеют в виду такую сеть, которая обеспечивает надежное выявление интересующих нас объектов при минимальном количестве наблюдений. Принято, что размер сети зависит от размеров объектов. Обычно применяется следующий рекомендованный инструкциями и учебниками принцип: искомое тело должно отразиться на двух-трех профилях не менее чем двумя-тремя наблюдениями на каждом профиле. При этом на практике часто принимается, что такие наблюдения должны быть выполнены в пределах проекции тела на дневную поверхность.

Так, считают, что для выявления пласта мощностью 20 м необходим шаг наблюдений 10 м. И наоборот, при шаге наблюдений в 10 м для выявления пласта минимум двумя точками мощность его должна быть 20 м. При этом мощность наносов, которая может иметь существенное значение (об этом будет сказано), как правило, не учитывается.

Рассмотрим вертикальный пласт мощностью $2b$ с вертикальным направлением вектора намагниченности I и бесконечным простираем на глубину, покрытый наносами мощностью R . Пусть этот пласт имеет бесконечное горизонтальное простираем; тогда задачу рационального выбора сети можно рассматривать как двухмерную: каково должно быть расстояние между пунктами наблюдений по профилю, проложенному вкrest простираем пласта, чтобы он надежно выделился минимум двумя-тремя точками. В настоящее время при магнитометрических исследованиях в основном измеряется вертикальная состав-

ляющая земного магнитного поля Z . Исследуем значения Z над пластом при заданных исходных параметрах [56].

$$Z = 2I \left(\text{arc tg } \frac{x+b}{R} - \text{arc tg } \frac{x-b}{R} \right). \quad (1,1)$$

Очевидно, можно принять, что при достаточной интенсивности намагничения для выделения пласта двумя-тремя точками наблюдения должны быть произведены в интервале между полу-максимальными значениями поля, т. е. между точками x_1 , в которых $Z = 0,5 Z_{\max}$. В спокойных полях, если интенсивность аномалий значительно превосходит точность съемки, это условие (достоверное выделение пласта двумя-тремя точками) может выполняться в более широком интервале между точками x_2 , в которых $Z = 0,25 Z_{\max}$. Тогда длина выбранного нами интервала составит в первом случае $2x_1$, а во втором — $2x_2$.

Для того, чтобы значение Z в данном интервале было зафиксировано хотя бы в двух точках, шаг наблюдений a должен быть вдвое меньше этого интервала. Тогда, если точка наблюдений совпадет с началом интервала, в пределах последнего будет три наблюдения, во всех остальных случаях — минимум два. Следовательно, если рациональный поисковый шаг в первом случае обозначить a_1 , а во втором — a_2 , получаем, что $a_1 = x_1$, $a_2 = x_2$.

Как известно [56],

$$x_1 = \pm \sqrt{R^2 + b^2}; \quad (1,2)$$

$$x_2 = \pm \sqrt{R^2 + b^2 + 2R\sqrt{R^2 + b^2}}. \quad (1,3)$$

Тогда, очевидно, и

$$a_1 = \sqrt{R^2 + b^2}; \quad (1,4)$$

$$a_2 = \sqrt{R^2 + b^2 + 2R\sqrt{R^2 + b^2}}. \quad (1,5)$$

Как видно из (1,4) и (1,5), шаг наблюдений оказывается в значительной степени зависящим не только от горизонтальной мощности пласта $2b$, но и от мощности насосов R . В табл. 1 приведены значения a_1 и a_2 в зависимости от отношения $2b : R$.

Проанализируем табл. 1 для шага наблюдений a_1 . При любых отношениях $2b : R < 0,2$ $a_1 = R$ и не зависит от мощности пласта. С увеличением мощности пласта при неизменной глубине его залегания величина a_1 начинает зависеть от отношения $2b : R$, но вначале очень незначительно. Так, при $2b : R = 1$ $a_1 = 1,12R$, при $2b : R = 2$ $a_1 = 1,41R$. Затем влияние размеров пласта становится все более ощутимым, и величина шага a_1 все больше приближается к значению полумощности пласта.

Так, при $2b : R = 5$ $a_1 = 2,69R = 1,08b$, при $2b : R = 10$ $a_1 = 5,10R = 1,02b$. Отсюда видно, что прямая зависимость между поисковым рациональным шагом наблюдений и полумощностью

Таблица 1

$\frac{b}{R}$	$\frac{x_1}{R}$	$\frac{x_2}{R}$	$\frac{x_{\text{ТП}} - x_m}{2R}$	$\frac{b}{R}$	$\frac{x_1}{R}$	$\frac{x_2}{R}$	$\frac{x_{\text{ТП}} - x_m}{2R}$
0,01	1,00	1,73	0,20	1,2	1,56	2,36	0,36
0,02	1,00	1,73	0,20	1,3	1,64	2,44	0,38
0,03	1,00	1,73	0,20	1,4	1,72	2,53	0,40
0,04	1,00	1,73	0,20	1,5	1,80	2,62	0,42
0,05	1,00	1,73	0,20	1,6	1,89	2,71	0,43
0,06	1,00	1,73	0,20	1,7	1,97	2,80	0,44
0,07	1,00	1,73	0,20	1,8	2,06	2,89	0,45
0,08	1,00	1,73	0,20	1,9	2,15	2,98	0,47
0,09	1,00	1,74	0,20	2,0	2,24	3,08	0,48
0,10	1,01	1,74	0,20	2,5	2,69	3,56	0,52
0,15	1,01	1,75	0,20	3,0	3,16	4,04	0,55
0,2	1,02	1,76	0,20	3,5	3,64	4,53	0,59
0,3	1,04	1,78	0,21	4,0	4,12	5,02	0,62
0,4	1,08	1,82	0,22	4,5	4,61	5,52	0,63
0,5	1,12	1,87	0,24	5,0	5,10	6,02	0,64
0,6	1,17	1,92	0,25	6,0	6,08	7,01	0,66
0,7	1,22	1,98	0,26	7,0	7,07	8,01	0,68
0,8	1,28	2,05	0,28	8,0	8,06	9,01	0,69
0,9	1,35	2,12	0,30	9,0	9,06	10,01	0,70
1,0	1,41	2,20	0,32	10,0	10,05	11,00	0,71
1,1	1,49	2,28	0,34				

пласта существует только при малой по сравнению с размерами пласта мощности наносов.

Рассмотрим теперь трехмерную задачу. Проанализируем поле вертикального полубесконечного стержня, так как аномальная область над телами, имеющими площадь поперечного сечения большую, чем можно принять для стержня, шире, чем над выбранной нами моделью. По-прежнему считаем, что поле над телом должно быть зафиксировано минимум в трех точках. Для вертикального стержня область поля, в которой значения $Z \geq 0,5 Z_{\text{max}}$, расположена в пределах круга с радиусом x_1 . Очевидно, наиболее целесообразна для поисков трехмерных объектов квадратная сеть.

Если проводить наблюдения по сети с шагом $a = x_1$, то в большинстве случаев в пределах этого круга будет три-четыре наблюдения (рис. 1, а, б), в единственном варианте — пять (рис. 1, в), но иногда в круг попадает только два наблюдения (рис. 1, г). Однако и при этом, как показывают расчеты, другие две точки наблюдений не могут находиться вне круга на расстоянии, большем $0,12 x_1$. Таким образом, практически можно считать, что съемкой по квадратной сети при $a = x_1$ аномалия над вертикальным стержнем всегда будет фиксироваться тремя-четырьмя точками со значениями $Z \geq 0,5 Z_{\text{max}}$.

Как известно [114],

$$Z = \frac{mR}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (1,6)$$

Значение x_1 , где $Z = 0,5 Z_{\max}$, составляет $0,77 R$. Таким образом, если подойти к выбору шага аналогично вышесказанному, $a'_1 = 0,77 R \approx 0,75 a_1$, т. е. для того, чтобы в пределах полумаксимумов получить минимум два наблюдения на профиле, проходящем через центр стержня, шаг должен составлять три четверти мощности наносов.

Теперь целесообразно остановиться на вопросе о минимальной величине аномального эффекта, который может быть зафиксирован при данной точности съемки ϵ . Согласно теории вероятностей [111], если величина измеренного поля в данной точке отличается от значений поля в соседних точках на величину ϵ или более, то вероятность получения ложной аномалии определенного знака в данной точке составит не более 16%.

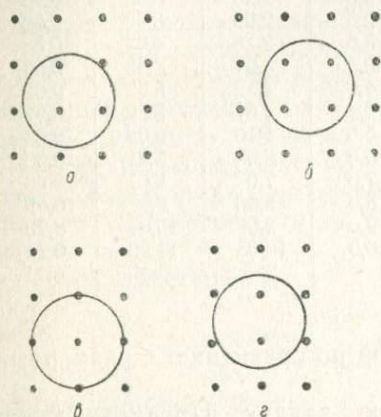


Рис. 1. Варианты расположения наблюдений в пределах области $Z > 0,5 Z_{\max}$ над вертикальным цилиндром при $a = x_1$.

Если же такой аномальный эффект наблюдается на двух соседних точках профиля, то вероятность получения ложной аномалии уменьшится до 2,5%. При получении аналогичного результата и на одной соседней точке близлежащего профиля вероятность ошибки не превысит 0,4%, а в случае выявления подобной аномалии

четырьмя точками возможность ошибки составит не более 0,065%. Следовательно, если интенсивность поля величиной более ϵ зафиксирована тремя или четырьмя точками, такая аномалия может считаться достоверной. Для вертикального пласта при $a_1 = x_1$ она фиксируется уверенно, когда $Z_{\max} \geq 2 \epsilon$, а при $a_2 = x_2$ — когда $Z_{\max} \geq 4 \epsilon$.

Аналогично для вертикального стержня при величине шага $a'_1 = x_1$ аномалия достоверно фиксируется при $Z_{\max} \geq 2 \epsilon$. Рассмотрим, какова интенсивность поля над вертикальным стержнем в точке $x = R$. Согласно (1,6) $Z_R = 0,35 Z_{\max}$. Следовательно, если проводить съемку с шагом $a = R$, то достоверно аномалия выделяется, когда $Z_{\max} \geq 3 \epsilon$. Таким образом, и в случае вертикального стержня достаточно проводить съемку с шагом $a_Z = R$ для уверенного фиксирования аномального эффекта от данного

тела; однако при этом нужно учитывать, что над вертикальным цилиндром и пластом будет разная минимальная величина Z_{\max} относительно точности съемки.

Аналогичная зависимость точности съемки и минимально возможного значения Z_{\max} при шаге наблюдений, равном мощности наносов, получена и при рассмотрении других тел, которыми можно аппроксимировать большинство геологических объектов, являющихся предметом поисков на кристаллических щитах: наклонных пластов, вертикальных и наклонных цилиндров, уступов, контактов пород и др.

Конечное простирание объектов на глубину в некоторой степени сказывается на величине расстояния $2x_1$. Однако следует отметить, что тела, которые при незначительной мощности имеют и относительно небольшие вертикальные размеры, в пределах кристаллического фундамента встречаются редко. К тому же при отрицательных значениях Z удобнее использовать амплитудные значения ($Z_{\text{ампл}} = Z_{\max} - Z_{\text{min}}$). Таким образом, можно считать, что при $a_z = R$ для любых интересующих нас объектов минимально возможное отношение $Z_{\max} : \epsilon$ практически находится в пределах 2—3. Следует подчеркнуть, что нижняя граница тел создает аномальный эффект на большей площади, чем верхняя. Поэтому поле любого конечного по вертикали объекта можно рассматривать как разность полей двух тел бесконечного простирания на глубину, имеющих разную полярность, а значит аномалию от нижнего тела можно фиксировать с большим шагом, чем аномалию от верхнего.

При мелкомасштабных съемках, когда исследователи интересовали тела больших, по сравнению с мощностью наносов, размеров, применявшийся ранее подход к выбору шага наблюдений (определенный эмпирически) в общем был правилен. Однако в настоящее время при укрупнении масштабов съемки часто объектами поисков являются незначительные по размерам тела, мощность которых меньше толщи покрывающих отложений. В этом случае проведение наблюдений без учета глубины залегания возмущающих масс может привести к необоснованному сгущению сети и удорожанию работ. Приведенные данные позволяют сделать важные практические выводы: для выявления тела любой незначительной мощности при достаточной величине аномального эффекта необходим шаг наблюдения a_z , не превышающий величину мощности наносов; чем больше мощность наносов над данным телом, тем реже нужен шаг для его выявления.

Вернемся к приведенному в начале параграфа примеру. Оказывается, для того чтобы зафиксировать пласт мощностью в 20 м при величине наносов 100 м, шаг наблюдений по профилю может не превышать 100 м, т. е. он в 10 раз больше, чем это принято при существующей методике.

Использование магнитометрической съемки при геологическом картировании не должно ограничиваться лишь фиксацией возмущающего геологического объекта. Эффективность геофизических съемок значительно возрастает, если определяются параметры объектов, т. е. проводится количественная интерпретация геофизических материалов.

Очевидно, если аномалия от возмущающего объекта зафиксирована двумя-тремя точками по профилю, то эти данные невозможно использовать для количественных расчетов. Какова же должна быть густота наблюдений по профилю, чтобы уверенно можно было проводить количественную интерпретацию? Исследуя этот вопрос, после многочисленных теоретических и экспериментальных расчетов мы пришли к следующему выводу. Если в пределах наиболее чувствительной части кривой (рис. 2) между проекцией точки перегиба $Z(x_{тп})$ кривой и проекцией точки пересечения касательных, проведенных к точке перегиба и к точке, где $Z = Z_{max}(x_m)$, произведено минимум два наблюдения, то ошибка количественной интерпретации кривой, выполненной с таким шагом, не превышает 5—10% по сравнению с кривой, полученной при непрерывной фиксации значений поля по профилю, что вполне приемлемо на практике.

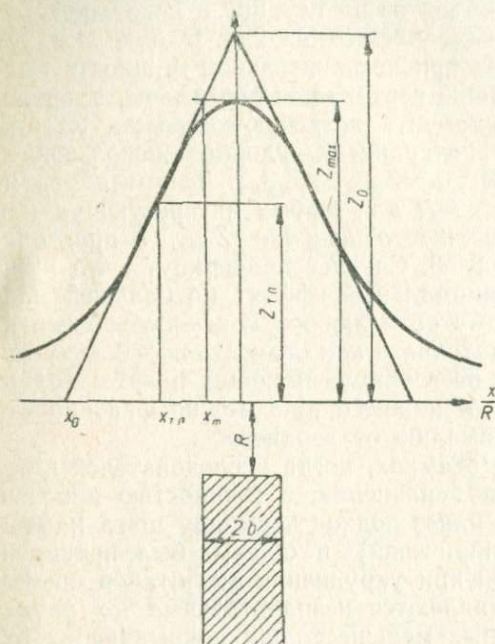


Рис. 2. Кривая Z над вертикальным пластом.

Таким образом, рациональный шаг наблюдений a с целью получения кривой, пригодной для количественной интерпретации, целесообразно определять по формуле

$$a = \frac{x_{тп} - x_m}{2}, \quad (1,7)$$

где $x_{тп}$ и x_m для вертикального полубесконечного пласта при вертикальном намагничивании можно найти следующим образом [75]:

$$x_{\text{гп}} = \pm \sqrt{\frac{1}{3} [R^2 - b^2 + 2\sqrt{(R^2 + b^2)^2 - R^2 b^2}]}; \quad (1,8)$$

$$x_m = \frac{Z_0 - Z_{\text{max}}}{Z_{x_{\text{max}}}}. \quad (1,9)$$

Величина \bar{a} зависит от глубины залегания и мощности пласта. Из табл. 1 видно, что при любых отношениях $2b : R \leq 0,2$, $\bar{a} = 0,2R$ и не зависит от мощности пласта.

По мере увеличения мощности пласта при неизменной глубине его залегания на значения \bar{a} соотношения $2b : R$ оказывают влияние, но значительно меньше, чем на величину az .

Анализ табл. 1 показывает, что для получения кривой Z , пригодной для количественной интерпретации, достаточен шаг наблюдений \bar{a} , равный 0,2 глубины залегания пласта R , даже при очень малой мощности пласта относительно глубины его залегания. Возвращаясь к примеру, видим, что при указанных условиях для проведения количественных расчетов достаточно выполнить наблюдения с шагом в 20 м, т. е. даже интерпретационный шаг наблюдений оказывается вдвое больше, чем поисковый при существующей методике. Из данных табл. 1 также следует, что поисковый шаг наблюдений в пять раз превышает интерпретационный для $2b : R \leq 0,2$, затем это отношение уменьшается до 4,5 (при $2b : R = 1,8$), а по мере дальнейшего увеличения $2b : R$ снова возрастает.

Исследования показывают, что аналогичные выводы о рациональном интерпретационном шаге можно сделать и при анализе полей над другими телами: наклонными пластами, вертикальными и наклонными стержнями, уступами и т. д., в том числе и телами конечного простирания на глубину. Практически можно считать, что рациональный интерпретационный шаг наблюдений должен быть не менее чем в пять раз гуще рационального поискового.

Отдельно следует остановиться на выборе рационального расстояния между профилями исследований. Большинство организаций проводит магнитные съемки с отношением сторон сети 1 : 3 — 1 : 5. При этом прямоугольность сети объясняется предполагаемой выдержанностью объектов по простиранию, которое считается известным исследователям. Однако на практике большей частью оба эти условия не выполняются или, точнее, выполняются лишь частично.

Почему же была выработана именно такая методика, почему ее придерживаются? Здесь необходимо остановиться на истории проведения детальнопоисковых магнитометрических исследований масштаба 1 : 50 000 и 1 : 25 000 в нашей стране. Впервые такие работы были проведены в пределах железорудных провинций [46, 68, 69, 92], где крутопадающие пласты железистых пород имеют довольно постоянное простирание. В этих

0710



условиях даже при отношениях сторон прямоугольной сети до 1:10 и 1:20 задача выявления и прослеживания пластов железистых пород решалась блестяще, хотя на участках резкого изменения интенсивности, ширины аномалии и простираения ее оси сеть профилей сгущалась; в периферических частях аномалий наблюдения проводились по радиальным профилям [46]. Но характерной для этих работ была все же прямоугольная сеть наблюдений. Когда же геофизические методы стали привлекать для решения геологических задач в пределах кристаллических щитов, эта методика механически была перенесена в новые геологические условия. Здесь, конечно, сыграли роль и представления о господствующем простираании пород в пределах всего региона, вкрест которому и задавались профили магнитной съемки.

Результаты полевых наблюдений показали, что хотя в общем простираание аномалий и остается большей частью постоянным для значительных площадей, однако в пределах некоторых участков может резко изменяться, принимая усложненные формы высших порядков. Отдельные аномалии часто недостаточно выдержаны по простираанию и интенсивности; встречаются аномалии изометричные и сложные. Поэтому даже решение задачи, которая ставилась перед магнитной съемкой в начальный период проведения исследований на кристаллических щитах, а именно — картирование пород основного и ультраосновного состава — при прямоугольной сети часто встречало значительные затруднения.

Детальные геологические наблюдения в пределах кристаллических щитов показали, что породы докембрийского фундамента имеют сложное строение, обусловленное различными пликативными и дизъюнктивными нарушениями, процессами магматизма и ультраметаморфизма. Этими факторами объясняется сложная морфология наблюдаемого магнитного поля, и вполне закономерно был поставлен вопрос о необходимости привлечения геофизических методов, и в первую очередь магнитометрии, к решению широкого круга задач, стоящих перед среднемасштабной геологической съемкой.

Поэтому нужен и новый подход к рациональному выбору сети наблюдений. Большинство исследователей, работавших на УКЩ, и особенно в его приазовской части, указывало и на целесообразность проведения магнитных съемок в масштабе не мельче 1:25 000 — 1:10 000, и на необходимость уменьшения соотношения сторон прямоугольной сети (В. М. Пелюшенко, 1956, 1957; К. Д. Столяренко, 1955; С. С. Красовский, 1958, 1959 и др.).

Так, автор в 1959 г. при проведении магнитной съемки на Покрово-Киреевском участке показал опытными исследованиями, что в этом сложном районе наиболее целесообразно про-

водить работы по изометричной сети (при неизменной плотности наблюдений). Вместо применявшейся сети наблюдений 200×40 м была проведена съемка по сети 100×80 м; профили располагались вкрест господствующего простирания аномалий и точки на профилях размещались в шахматном порядке.

Однако прямоугольная сеть более экономична при одинаковой плотности наблюдений; этот фактор в условиях отставания геофизических работ от геологических, когда требовалось в кратчайшие сроки с наименьшей затратой средств покрыть съемками большие площади, очевидно, и послужил причиной сохранения неизменного подхода к выбору сети магнитной съемки. Этому в немалой степени способствовало отсутствие обобщающих исследований и теоретических разработок.

В то же время предпринимались попытки более гибко подходить к полевым наблюдениям, корректировать направление профилей в процессе съемки. Но, во-первых, далеко не все объекты в пределах щитов имеют линейный характер, часто представляют интерес именно нарушения линейности. Во-вторых, заранее судить об изменении простирания пород трудно, а большей частью вообще невозможно; в связи с этим нельзя оперативно изменять направление профилей. В практике известны случаи, когда такое изменение направления профилей запаздывало настолько, что становилось даже неправильным.

Одним из серьезных возражений против применения изометричной сети в сложных по геологическому строению регионах является возможность нескольких вариантов проведения изолиний. Чтобы избежать подобных ошибок, некоторые исследователи (Г. М. Колеватов и др., 1961) выносят на магнитные карты элементы залегания структур по геологическим данным и, сообразуясь с последними, проводят изолинии.

Этот способ, на наш взгляд, имеет методологический недостаток: любое единичное измерение — в первую очередь отражение случайного явления, подчиняющегося в то же время общей закономерности. Причем в геологических наблюдениях элемент случайности играет большую роль, так как исследователь имеет дело хотя и с конкретным, но все же узко локальным объектом, вследствие чего наблюдения располагаются неравномерно. Единичные геологические наблюдения достоверно коррелировать невозможно. Каждое же геофизическое наблюдение, в силу природы физических полей, является отражением какого-то суммарного влияния объектов, расположенных на определенной площади и на различных глубинах. Чем ближе объект к точке наблюдения, тем сильнее его влияние по сравнению с отдаленными телами. Кроме того, геофизические наблюдения располагаются по той или иной закономерной сети. В связи с этим статистические геофизические наблюдения, хотя они и менее конкретны, чем геологические, и являются результатом суммарного

влияния полей от нескольких объектов, рассматриваются как объективно отражающие особенности геологического строения.

Мы считаем, что субъективизм при составлении геофизических карт недопустим, так как объективность геофизических материалов — одно из очень важных их преимуществ. Действительно, используя при составлении исходных геофизических карт геологические данные, а затем доказывая, что геофизические материалы хорошо подтверждают эти геологические данные, авторы предложенной методики попадают в замкнутый круг. И если при построениях допущены ошибки, то их трудно выявить, так как они вроде бы обоснованы объективными (на самом деле субъективными) геофизическими построениями. Поэтому мы считаем, что уж если по полученным материалам нельзя сделать однозначных построений, то следует указывать, что геофизическая съемка в силу тех или иных условий (очень часто из-за прямоугольности и недостаточной плотности сети наблюдений) не отражает всех особенностей геологического строения и на ее основе нельзя делать достоверные геологические выводы.

Необходимо также отметить, что наиболее полную информацию по полевым материалам геофизики получают после трансформации наблюдаемых полей, которые проще всего выполняются по квадратной сети. Появляется возможность механизации вычислений при помощи быстродействующих электронно-вычислительных машин, что резко повышает производительность труда, позволяет быстро и успешно проводить различные трансформации на значительных площадях. Очевидно, что пересчеты наблюдаемых полей скоро станут обязательными, и это необходимо учитывать при выборе методики полевых исследований.

Предлагаемые критерии поискового и интерпретационного шага наблюдений могут найти применение не только при проектировании магнитных съемок, но и при анализе имеющихся материалов. Так, можно сразу сделать вывод, что на приазовской части УКЩ, где мощность наносов составляет большей частью метры — первые десятки метров и мощность пластов гнейсово-мигматитового комплекса имеет тот же порядок, шаг наблюдений в 100 м и более (применявшийся при съемке масштаба 1 : 50 000) не мог позволить выявить все особенности геологического строения этого сложного региона. Даже шаг в 40—60 м на значительной части территории, очевидно, слишком большой для качественного решения всех геологических задач и тем более недостаточен для количественной интерпретации.

В этом случае перед исследователями вполне закономерно может возникнуть вопрос: неужели не нужно сгущать поисковый шаг до величины, соизмеримой с мощностью наносов, а наблюдения вести по квадратной сети? Ведь это приведет к чрезмерному удорожанию полевых исследований. Очевидно,

при выборе рациональной сети полевых наблюдений следует исходить из задач, поставленных перед данной съемкой. Если требуется выявить все особенности геологического строения данного района при объектах с незначительной горизонтальной мощностью, изометричных в плане или не выдержанных по простиранию, необходимо проводить наблюдения по квадратной сети с шагом, не превышающим мощности наносов. Такой подход целесообразен лишь для отдельных участков, наиболее сложных по геологическому строению или имеющих значительную мощность наносов. Но, например, в зоне сочленения приазовской части УКЩ с Донбассом и Причерноморской впадиной, в Конкско-Ялынской впадине, в области восточного продолжения приазовской части УКЩ, где мощность наносов составляет несколько сот метров, а задачей магнитной съемки является исследование пород кристаллического фундамента, сеть наблюдений вполне может быть разрежена по сравнению с применяемой в настоящее время. Анализ имеющихся полевых материалов показывает, что все особенности магнитного поля в этих районах характеризуются наблюдениями на многих точках. Однако отсутствие критериев рациональной сети наблюдений приводит к тому, что и в настоящее время в пределах погруженной части Конкско-Ялынской впадины съемка проводится с шагом 50 м, хотя мощность осадочных отложений составляет 200 м и более.

Гораздо сложнее подход к густоте сети в районах с незначительной мощностью наносов и малой мощностью возмущающих объектов. Очевидно, выбирать сеть согласно предложенным критериям для магнитных съемок, проводящихся в помощь геологическому картированию на широких площадях, невозможно по экономическим причинам. В этом случае мы предлагаем следующий подход к выбору рациональной сети магнитометрических исследований.

Шаг наблюдений должен быть таким, чтобы уверенно картировались отдельные значительные по мощности объекты или группы объектов, в общем характеризующие геологическое строение района. Чтобы проследить изменения простираний структур и характер сочленения объектов, имеющих различное простирание или изометричную форму, выделить поперечные разломы с незначительной амплитудой смещения, расстояние между профилями целесообразно выбирать соизмеримым с шагом наблюдений.

В условиях Приазовья, по нашему мнению, наиболее рациональной с этой точки зрения представляется сеть 100×100 м, по которой уже проведен ряд съемок. Для отдельных, наиболее сложных участков, возможно, требуется более густая сеть.

Направление профилей при изометричной сети следует все же выбирать вкрест господствующего простирания аномалий, точки наблюдений располагать на профилях в шахматном по-

рядке и по каждому пятому или десятому профилю проводить наблюдения с более густым шагом, соизмеримым с мощностью наносов. Необходимо также более детально прослеживать сложные аномальные зоны непосредственно во время выполнения поискового маршрута по профилю. С этой целью рекомендуется при проектировании предусматривать объем детализационных работ порядка 20% общего количества наблюдений. Такая съемка позволит получить объективную информацию о всех достаточных крупных геологических объектах, характере их сочленения и в то же время даст сведения о деталях геологического строения участка, особенно в наиболее сложных зонах. Учитывая также целесообразность дальнейших трансформаций поля, мы считаем, что хотя такая съемка и несколько дороже проводящихся сейчас по прямоугольной сети работ, геологический эффект ее полностью окупит дополнительные затраты.

В связи с тем, что при предлагаемой методике шаг наблюдений оказывается более редким, чем при прямоугольной сети, возможны возражения, будто по профилю мы получим менее детальную информацию. По этому поводу необходимо привести следующие соображения.

1. Вследствие того, что при съемке по прямоугольной сети профили не всегда располагаются вкрест простирания пород, трудно или даже невозможно коррелировать особенности поля по плану графиков Z , построенных по профилям. В связи с этим автор предложил строить планы графиков и в перпендикулярном направлении, т. е. по одинаковым точкам профилей. При этом расстояние между точками на графиках оказывается равным расстоянию между профилями. Автором были построены такие планы графиков при сети наблюдений 250×60 м и 250×50 м для многих планшетов в Приазовье. Примеры построенных таких графиков приводятся на рис. 3 и 4. Оказалось, что большинство аномальных зон, идущих вдоль профилей, достаточно уверенно, хотя и малым количеством точек, без деталей высшего порядка отражается на планах графиков при расстоянии между точками наблюдений 250 м. Анализ же планов графиков, построенных по профилям съемки, показывает, что аномальные зоны, идущие вкрест простирания профилей, большей частью могут быть однозначно выделены и прокоррелированы при разреженном шаге наблюдений.

Таким образом, основные особенности магнитного поля, как правило, выявляются при разреженном шаге.

2. В то же время вследствие уменьшения расстояния между профилями информация становится объективнее, а также уменьшается возможность пропуска характерных изменений магнитного поля между профилями.

3. Для получения сведений о детальном строении магнитного поля при предлагаемой методике проводятся детализацион-

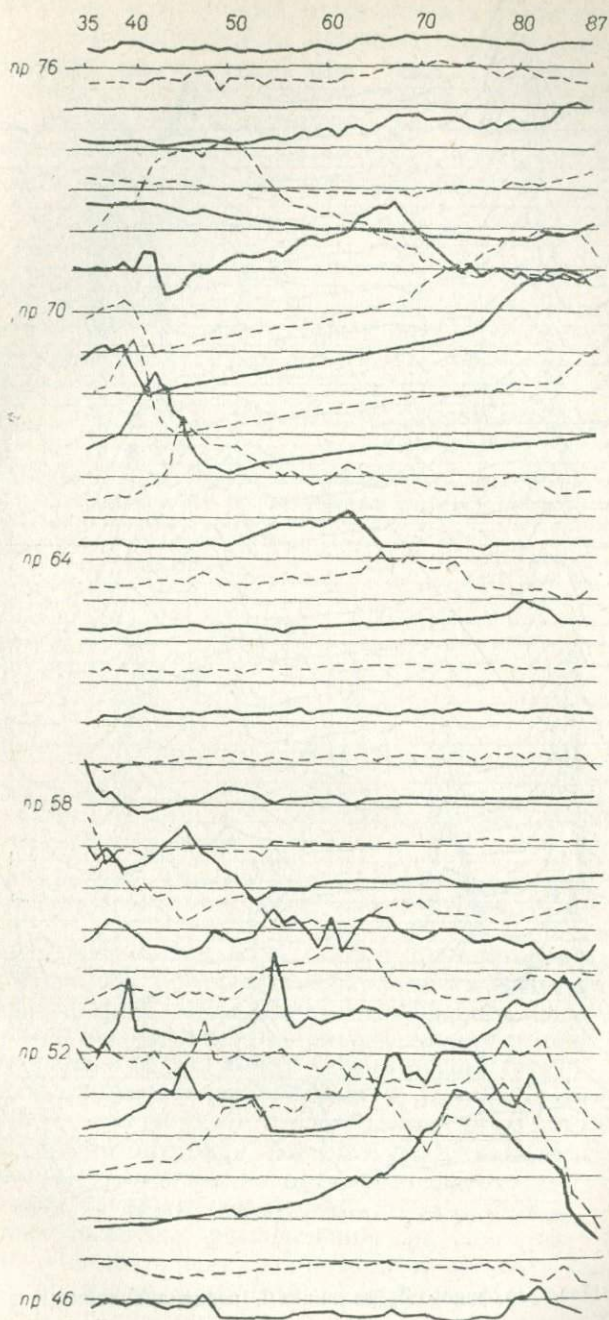


Рис. 3. План графиков Z_a по профилям.

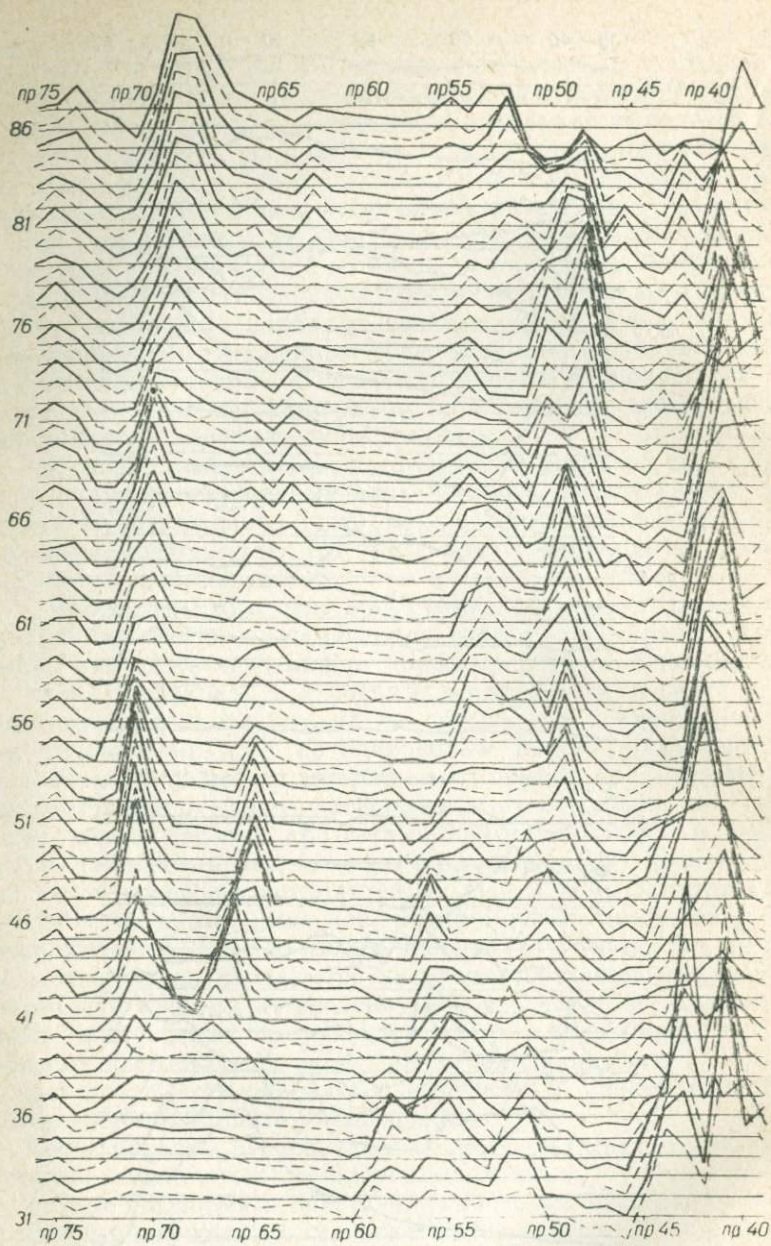


Рис. 4. План графиков Z_a по линиям, перпендикулярным профилям.

ные наблюдения по отдельным профилям и в аномальных зонах, а также точки наблюдений на профилях располагаются в шахматном порядке.

На участках с достаточно четко выдержанным простираем пород при необходимости детального расчленения поля по профилю возможно проведение магнитной съемки по прямоугольной сети при неизменной плотности наблюдений. Соотношение

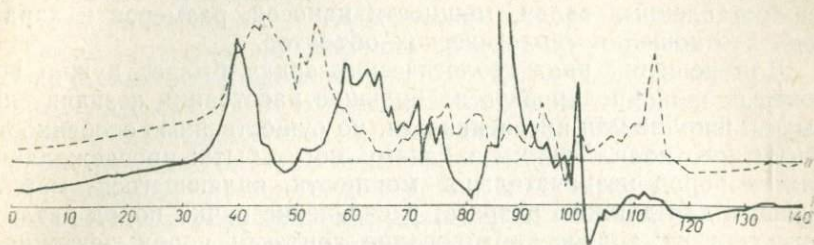


Рис. 5. Графики ΔZ по профилям, проложенным вкrest предполагаемому простираению пород участка Зеленая Могила.

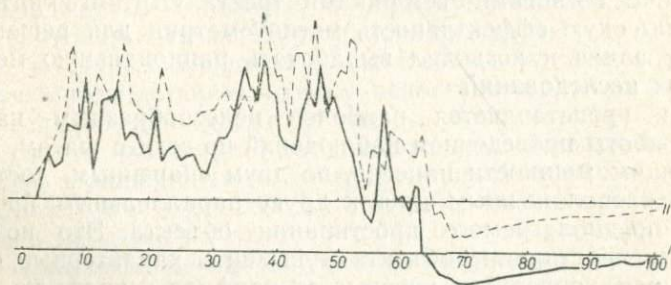


Рис. 6. Графики ΔZ по профилям, проложенным вкrest истинному простираению пород участка Зеленая Могила.

сторон прямоугольника в этом случае должно составлять 1:2, а иногда даже 1:4, допуская необходимость сгущения сети до изометричной на участках сложного магнитного поля. И в этом случае целесообразно предусматривать тот же объем детализационных наблюдений, что и при изометричной сети.

Учитывая сложность геологического строения приазовской части УКШ и разнообразие геологических задач, которые ставятся перед магнитометрией, мы считаем, что количество участков, на которых рационально проводить магнитную съемку по прямоугольной сети, незначительно.

Магнитометрические исследования не должны ограничиваться только общей площадной поисковой съемкой. Вполне возможно, что во время поисковой съемки будут выделены участки со сложным строением поля и для однозначного хотя бы ка-

чественного истолкования особенностей его, а также для уверенного составления карт такая сеть наблюдений окажется недостаточной. Возможно, на отдельных участках представят интерес особенности поля более высокого порядка, чем это было выявлено поисковой съемкой. Тогда необходимо проведение площадных детализационных наблюдений. Размеры и форма сети должны определяться в каждом конкретном случае, исходя из поставленных задач, мощности наносов, размеров и характера соотношения геологических объектов.

Для решения ряда геологических задач бывает нужно выявить и прокоррелировать на большие расстояния незначительные по ширине или интенсивности, но существенные особенности магнитного поля. Такими задачами могут быть: прослеживание пласта пород незначительной мощности, являющегося маркирующим для данного разреза; расчленение пачки пород различного состава; точное картирование контакта пород, тектонического нарушения и др. При площадной поисковой съемке эти объекты могут или очень нечетко выражаться в магнитном поле, или даже быть пропущены. Двухлетний опыт таких работ совместно с геологами-съемщиками треста «Артемгеология» показал высокую эффективность магнитометрии для решения подобных задач и позволил выработать рациональную методику полевых исследований.

Нам представляется наиболее целесообразным начинать такие работы проведением наблюдений по сети с шагом, не превышающим мощности наносов, по двум спаренным, достаточно близко расположенным друг к другу параллельным профилям вкрест предполагаемого простирания объекта. Это позволяет уточнить простирание объекта и выявить характерные особенности поля, коррелируя которые от профиля к профилю, можно успешно решать поставленные задачи.

Например, на участке Зеленая Могила над массивом основных пород исследования были начаты по двум спаренным профилям, расположенным вкрест предполагаемого простирания массива. Ранее магнитной съемкой по сети 500×100 м в районе массива несколькими точками была зафиксирована овальная аномалия, которую в первом приближении можно интерпретировать как обусловленную одним телом основных пород. Учитывая, что мощность наносов на участке составляет первые метры, нами съемка проводилась с шагом 5—2,5 м. При этом обязательно требовалось, чтобы каждый экстремум поля характеризовался минимум двумя наблюдениями, для чего шаг сгущался иногда до 1,25 м. Магнитное поле по этим двум профилям оказалось сильно дифференцированным, вся аномальная зона достаточно четко прослеживалась от профиля к профилю, но корреляции отдельных аномалий отмечено не было (рис. 5). Тогда было пройдено два аналогичных спаренных профиля перпендикуляр-

но двум первым, и по ним была выявлена четкая корреляция всех особенностей магнитного поля (рис. 6). Таким образом, первоначальное предположение о простирании массива оказалось неверным. Если бы наблюдения проводились только по одному профилю или даже по ряду далеко расположенных друг от друга профилей, были бы возможны ошибки в решении поставленной задачи. Применение же указанной методики позволило успешно расшифровать геологическое строение этого участка.

После уточнения простирания объекта исследований и выявления характерных особенностей поля целесообразно вести дальнейшие наблюдения по отдельным профилям, все время корректируя их местоположение и направление. Расстояние между профилями, как показали наши полевые работы 1963 г. в районе с. Захарьевки — на одном из участков в Приазовье, может быть до 20—30 раз большим, чем шаг наблюдений. Это позволяет в то же время уверенно картировать не только всю интересующую нас пачку пород, но и отдельные пласты. Однако необходимость продолжения промежуточных профилей при нарушении четкой корреляции особенностей поля, конечно, не исключена.

Наблюдения по некоторым из этих профилей следует проводить с рациональным интерпретационным шагом.

Хотя по данным поисковой съемки возможно вести количественную интерпретацию, однако недостаточный шаг наблюдений, расположение профилей не в оптимальных условиях требуют вести наблюдения по специальным, интерпретационным профилям с рациональным интерпретационным шагом. Последний может быть определен по данным площадной съемки и уточнен в процессе работ.

Наблюдения с целью получения информации для количественной интерпретации мы считаем необходимым вести минимум по двум сближенным профилям. Это диктуется следующими соображениями. Анализ графиков на спаренных профилях покажет, какие особенности магнитного поля характерны для данного геологического объекта, как четко коррелируются эти особенности от профиля к профилю, каково истинное простирание объекта. Результаты количественной интерпретации поля по двум или нескольким профилям при осреднении позволяют более точно определить параметры возмущающего объекта, а по изменению вычисленных параметров от профиля к профилю — выявить характер изменения положения объекта в пространстве. Над протяженными объектами интерпретационные наблюдения целесообразно вести сериями из двух или нескольких профилей в различных частях аномальной зоны.

Не останавливаясь здесь на вопросах точности магнитных съемок, создания опорной сети, комплексирования магнитометрических исследований с геофизическими наблюдениями другими методами, комплексирования геологосъемочных работ с гео-

физическими, на этапах и очередности проведения последних, которые будут изложены далее, подведем краткие итоги.

1. При выборе сети наблюдений необходимо определять рациональный шаг наблюдений.

2. Поискный рациональный шаг наблюдений зависит как от размеров и формы объектов поисков, так и от мощности наносов.

3. Для выявления тела любой мощности достаточен шаг наблюдений, не превышающий величины мощности наносов. Максимальный аномальный эффект при этом должен не менее чем в два раза превышать точность съемки для двухмерных тел и не менее чем в три раза — для трехмерных тел.

4. Рациональный интерпретационный шаг наблюдений должен быть в 4,5—5 раз гуще рационального поискового.

5. Наиболее рациональна изометричная сеть, расстояния между точками наблюдений которой соизмеримы с мощностью наносов.

6. В Приазовье при незначительной мощности наносов магнитную съемку в помощь геологическому картированию масштаба 1 : 50 000 целесообразно вести по сети 100×100 м с расположением профилей вкрест простирания пород, точки наблюдений на профилях располагать в шахматном порядке, сгущать шаг наблюдений по каждому пятому — десятому профилю, а в сложных аномальных зонах по всем профилям — до величины, соизмеримой с мощностью наносов.

На отдельных участках при выдержанном простирании пород возможно проведение съемки по прямоугольной сети с той же плотностью наблюдений при соотношении сторон 1 : 2 или 1 : 4.

7. Площадные поисковые магнитные съемки, выполняемые с шагом, большим величины мощности наносов, выявляют лишь общие закономерности магнитного поля и должны сопровождаться детальными площадными съемками или работами по сериям отдельных детализационных профилей с рациональным поисковым шагом наблюдений.

8. Для целей количественной интерпретации необходимо вести работы по сериям специальных профилей с рациональным интерпретационным шагом наблюдений.

§ 2. Об источниках погрешностей при проведении средне- и крупномасштабных магнитных съемок

Средне- и крупномасштабные магнитометрические съемки, как правило, проводятся с созданием опорных сетей. Особенности методики проведения полевых исследований влияют на точность съемок. В связи с этим автор проанализировал источники погрешностей при проведении этих съемок. По общепринятой

методике наблюдения ведутся на исследуемой площади с предварительным развитием опорной сети [54, 99]. На пункты этой сети, которая создается обычно по магистральным линиям, задаваемым вкрест простираения профилей рядовой съемки, опираются рядовые рейсы.

При такой методике наблюдений точность определения напряженности магнитного поля в любой точке съемки зависит от точности работ как по опорной, так и по рядовой сети.

Основные источники погрешностей при создании опорной сети. Чтобы определить источники ошибок, рассмотрим методику создания опорной сети по магистралям. Расстояние между магистралями выбирается таким, чтобы наблюдения по профилю в рядовом рейсе между двумя магистралями выполнялись за время, не превышающее Δt , в течение которого смещение нуля-пункта прибора в первом приближении можно считать линейным. Из опыта работ полевых партий треста «Укргеофизразведка» Δt для большинства приборов достигает 3—3,5 час.

Наблюдения на опорных пунктах (ОП) производятся замкнутыми ходами со 100%-ным повторением; продолжительность такого рейса не должна превышать Δt . Поэтому обычно за однодневный рейс выполняется два замкнутых хода, начинающихся и заканчивающихся на одном и том же ОП. Эта схема получила название восьмерки. Обозначим дневной рейс через K ; тогда ОП, на которых наблюдения велись в первом ходе, обозначим через $ОП_{k'}$, во втором ходе — $ОП_{k''}$, а ОП в середине восьмерки — $ОП_k$. Как правило, длина магистрали такова, что за один рейс нельзя провести наблюдения на всех ОП, поэтому наблюдения на последующих ОП выполняются также по схеме восьмерки. В последующем рейсе L наблюдения производятся на нескольких ОП предыдущего рейса. Таким образом, на связывающих разные рейсы опорных пунктах, обозначенных $ОП_{k'l'}$, наблюдения выполняются в двух рейсах (рис. 7).

Для определения точности создания опорной сети устанавливается ее внутренняя и внешняя сходимость. Средняя квадратическая погрешность внутренней сходимости опорной сети e находится по формуле

$$e = \pm \sqrt{\frac{\sum \varphi^2}{2n}}, \quad (2,1)$$

где φ — разность двух значений приращений вертикальной составляющей напряженности магнитного поля на любом ОП относительно контрольного пункта (КП); $\Delta Z_{оп}$ после введения поправок; n — количество ОП.

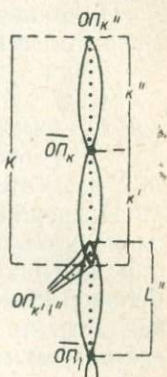


Рис. 7. Схема создания опорной сети по магистралям.

Полусумма двух исправленных значений $\Delta Z'_{оп}$ на каждом ОП представляет собой вычисленное приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля относительно КП и обозначена $\Delta Z'_{оп}$.

Внешняя сходимостъ опорной сети определяется на тех ОП, по которым сопрягаются опорные рейсы. Средняя квадратическая погрешность внешней сходимости опорной сети $\epsilon_{оп}$ вычисляется следующим образом:

$$\epsilon_{оп} = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{2n}}, \quad (2,2)$$

где δ — разность значений $\Delta Z_{оп_k}$ и $\Delta Z_{оп_l}$ каждого ОП, на котором производились наблюдения в двух рейсах (см. рис. 7); n — количество таких ОП.

Теперь рассмотрим, какие факторы и как именно влияют на точность определения опорных пунктов.

Приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля $\Delta Z'$ относительно КП определяется по формуле

$$\Delta Z' = \epsilon_z(n - n_0), \quad (2,3)$$

где ϵ_z — цена деления прибора;

n — отсчет на пункте наблюдений;

n_0 — отсчет на КП.

Погрешность определения $\Delta Z'_{оп}$ на любом опорном пункте зависит от точности измерения этих трех величин. Погрешность определения цены деления m_1 сказывается тем сильнее, чем больше величина разности $n - n_0$. Именно поэтому пункты опорной сети не следует располагать в аномальном поле. При создании сети ОП по магистралям это условие часто выполнить нельзя, что является одним из методических недостатков подобных съемок.

Особенностью ошибок в определении ϵ_z является то, что они имеют систематический характер, т. е. оказывают влияние на величину $\Delta Z_{оп}$ большинства или всех пунктов данного рейса.

Погрешность наблюдения m_2 при определении величины n обусловлена ошибкой в измерениях на точке наблюдения, зависящей от состояния аппаратуры и квалификации оператора. О способах уменьшения величины этих ошибок указаний достаточно много [30, 54, 99]. Такие ошибки имеют случайный характер, поэтому обработка наблюдений может вестись приемами, известными из теории ошибок [111].

Погрешность измерений на КП m_3 при нахождении величины n_0 зависит в основном от смещения нуля-пункта прибора. Наблюдения n_0 на КП производятся два раза в день — до начала и после окончания полевых наблюдений. Время между наблюдениями на КП составляет 8—10 час, а иногда и больше. Как известно, разница в отсчетах утром и вечером после введения по-

правок за вариации и температуру не должна превышать одного деления шкалы прибора. Поправки за вариации вводят по магнитограммам магнитных обсерваторий или магнитных вариационных станций. Поступают магнитограммы в полевые партии, как правило, не ранее чем через 10—20 дней, что задерживает проверку величины Δn_0 . На этот же срок задерживается и введение вариаций в наблюдения по опорной сети.

Причиной разницы отсчетов Δn_0 на КП считается суммарное изменение нуля-пункта прибора за день, которое представляет собой сложное физическое явление. Поэтому предположение о том, что смещение нуля-пункта может иметь линейный характер в течение 8—10 час, лишь приблизительно отвечает действительности. К тому же, очевидно, следует рассматривать различные состояния магнитной системы прибора, при которых изменение нуля-пункта может происходить по-разному: транспортировка к участку работ и обратно, производство замеров, переходы, перерывы в работе и др. Следует отметить и возможность скачкообразного изменения нуля-пункта. Учесть влияние каждого из этих факторов и найти закон смещения нуля-пункта во времени практически невозможно. На величину Δn_0 также оказывают влияние погрешности в измерениях на КП и неучтенная часть поправок за вариации и температуру. Вследствие этого при вычислениях практически трудно выбрать наиболее достоверное значение n_0 . Ошибки в определении величины n_0 имеют систематический характер, так как сказываются на большинстве или даже на всех наблюдениях рейса.

Погрешность поправки за вариации m_4 может вноситься при дальнейшей обработке опорных рейсов, когда в значения приращений вертикальной составляющей напряженности магнитного поля на каждом ОП относительно КП ($\Delta Z_{\text{оп}}$) вводятся поправки за вариации и температуру. Поскольку участки работ часто удалены на расстояние до 500 км от магнитных обсерваторий, могут быть значительные изменения по величине, а также смещения во времени между вариациями на участке работ и в районе обсерватории даже в дни относительного плавного изменения интенсивности магнитного поля. Поэтому ошибки вследствие неправильного введения вариаций могут быть значительными. Закон распределения этих ошибок близок к линейному или же более сложен. Но в любом случае значения $\Delta Z_{\text{оп}}$ искажаются на многих, если не на всех ОП данного рейса. В результате этого уровень значений $\Delta Z_{\text{оп}}$ может значительно измениться относительно истинного уровня. Поэтому ошибки при введении поправок за вариации имеют систематический характер.

Погрешность поправки за изменение температуры m_5 зависит от неправильного определения или значительного изменения в процессе работ температурного коэффициента прибора и также представляет собой ошибку систематического характера.

Погрешность поправки за смещение нуля-пункта t_6 обусловлена расхождением между действительным и принимаемым при вычислениях законом смещения нуля-пункта прибора. Величина смещения нуля-пункта в опорных рейсах определяется разностью значений $\Delta Z_{\overline{OP}}$ на \overline{OP} в центре восьмерки, полученных в начале и в конце каждого хода после введения указанных поправок. Таким образом, \overline{OP} каждого рейса является связующим звеном между КП и ОП_г этого рейса.

При определении смещения нуля-пункта прибора в опорных рейсах иногда вводят в значения $\Delta Z_{\overline{OP}}$ поправку за изменение нуля-пункта на КП, принимая закон изменения нуля-пункта за день линейным. Другие исследователи по наблюдениям на КП и \overline{OP} строят осредненную кривую изменения нуля-пункта. Но, как уж было сказано, на изменение нуля-пункта влияют много факторов и в различной степени. Кроме того, нужно учитывать, что каждое наблюдение может содержать случайные ошибки, и введение поправок за смещение нуля-пункта на КП может стать источником дополнительной ошибки при вычислении значений $\Delta Z_{\overline{OP}}$. При этом ошибка особенно велика, если во время транспортировки произошло значительное изменение нуля-пункта прибора (скачок).

Ошибки в определении смещения нуля-пункта прибора на \overline{OP} в центре восьмерки сказываются на всех ОП данного опорного хода и имеют систематический характер, изменяя уровень значений $\Delta Z_{\overline{OP}}$. Поскольку закон распределения этих ошибок неизвестен, мы не можем их исключить.

Независимо от выбранных значений $\Delta Z_{\overline{OP}}$ на \overline{OP} , мы определяем величину смещения нуля-пункта для каждого хода по разности значений $\Delta Z_{\overline{OP}}$ в начале и в конце хода — $\Delta_{\overline{OP}}$. При этом следует иметь в виду, что в величину $\Delta_{\overline{OP}}$ может входить разница неучтенных величин вариаций и температурного влияния между первым и вторым наблюдениями на ОП каждого хода. Величина $\Delta_{\overline{OP}}$ зависит также и от случайных ошибок измерений на ОП.

Закон изменения нуля-пункта за время выполнения каждого хода в первом приближении обычно принимается линейным в зависимости или от времени, или от количества наблюдений, так как при полевых работах интервалы времени между наблюдениями на соседних ОП практически одинаковы. Если при этом значение $\Delta_{\overline{OP}}$ принять за истинную величину смещения нуля-пункта, то, зная и величину, и закон изменения, можно почти полностью исключить влияние смещения нуля-пункта на значения $\Delta Z_{\overline{OP}}$. Вносимые искажения имеют уже характер случайных, а не систематических ошибок. Согласно теории ошибок, наименее надежный результат получается в середине хода. В нашем случае это значение $\Delta Z_{\overline{OP}}$ на ОП_{г1'} (см. рис. 7). Таким

образом видно, что при введении поправок за смещение нуля-пункта могут быть внесены ошибки как систематического, так и случайного характера.

Погрешность вычислений m_7 может возникнуть при любой вычислительной операции и в большинстве случаев представляет собой незначительную по величине ошибку случайного характера.

Из изложенного следует, что вычисленное приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля на любом ОП относительно КП ($\Delta Z_{\text{оп}}$) определяется с погрешностями, имеющими разные причины и различный характер.

Случайные ошибки измерений и вычислений могут быть разделены на объективные и субъективные.

Причиной объективных погрешностей является определенная разрешающая способность измерений и вычислительных операций. Субъективные погрешности обусловлены ошибками исследователей при наблюдениях и вычислениях, причем они могут быть и значительными (грубые ошибки). При внимательной работе и продуманной системе контроля эти ошибки могут быть сведены к минимуму.

Ошибки систематического характера большей частью не зависят от исполнителей работ и имеют объективные причины. Уменьшением величины сползания нуля-пункта и температурного коэффициента прибора при настройке аппаратуры, применением полевых вариационных магнитных станций величина этих ошибок может быть уменьшена, но полностью избавиться от нее мы не можем. Они присущи многим или даже всем наблюдениям данного опорного рейса, причем величина и знак их для разных рейсов и даже отдельных частей рейса могут быть различными. Эти ошибки определяют так называемое расхождение в уровнях отдельных опорных рейсов, которое может быть значительным. Найти это расхождение в уровнях δ_i можно только на ОП $_{k'l'}$, причем следует учитывать, что значение δ_i содержат и случайные ошибки. Значительную часть величины этих расхождений могут составлять систематические ошибки, что подтверждается следующим: 1) величина δ_i большей частью одинакова по знаку и близка по величине на всех ОП $_{k'l'}$ данной пары рейсов; 2) если величина δ_i значительна с одной стороны рейса, то с другой стороны этого рейса (или предыдущего) она также в большинстве случаев велика, но имеет противоположный знак. Это свидетельствует о том, что в данном случае уровни значений $\Delta Z_{\text{оп}}$ в смежных рейсах различны.

Учитывая, что величина δ_i не должна превышать $3\epsilon_{\text{оп}}$ (как это принято на практике), могут быть допущены значительные искажения уровней отдельных рейсов, хотя большей частью δ_i не превышает $\epsilon_{\text{оп}}$. Необходимо также отметить, что между рейсами по различным магистралям расхождение в уровнях вообще не определяется.

Насколько значительными могут быть систематические ошибки, показывает анализ полевых материалов Чигиринской партии треста «Укргеофизразведка» по одному из участков. Опорная сеть создавалась по описанной выше методике, наблюдения на каждой из трех магистральных линий выполнялись за один рейс. Участок работ находился в 80 км от базы партии, где располагался КП; магнитное поле на участке было довольно спокойным. Сходимость наблюдений по опорному и рядовому рейсам на каждом ОП (соответственно $\Delta Z_{оп_i}$ и $\Delta Z_{р_i}$) была удовлетворительной, разность этих значений Θ_i не превышала утроенной среднеквадратической ошибки рядовой съемки ϵ_p , заданной проектом работ.

Дальнейшие исследования материалов показали, что если Θ_i по крайним магистралям в среднем не превышали $\epsilon_p = \pm 20$ гамм, то Θ_i по средней магистрали, как правило, выше ϵ_p . Это обстоятельство позволило предположить, что значения $\Delta Z_{оп_i}$ на ОП средней магистрали (второй) содержат большие систематические ошибки. Установить это позволил статистический анализ полученных результатов. Для этого были найдены величины $a_{i_1-2} = \Theta_{i_1} - \Theta_{i_2}$ и $a_{i_2-3} = \Theta_{i_2} - \Theta_{i_3}$, где 1, 2, 3 — индексы магистралей для всех опорных пунктов. Эти вычисления выполнены в предположении, что при рядовых наблюдениях вариации, влияние температуры и смещение нуля-пункта если и не одинаковы, то во всяком случае изменяются линейно, а так как за день выполняется несколько рядовых рейсов между магистралями, эти изменения не окажут значительного влияния на величину Θ_i . Затем были вычислены средние значения a_i , найденные по формуле

$$\bar{a}_i = \frac{\sum a_i}{n}.$$

Из рассмотрения этих величин видно, что значения $\Delta Z_{оп_i}$ по второй магистрали как бы опущены на 26 гамм относительно первой магистрали и на 30 гамм относительно третьей. Уровни же крайних магистралей оказались приблизительно одинаковыми. Следовательно, в первом приближении можно принять, что значения $\Delta Z_{оп_i}$ на ОП второй магистрали в среднем ниже уровня магнитного поля участка на 28 гамм.

Когда вместо магнитограммы Киевской обсерватории, по которой первоначально вводились поправки за вариации, использовали магнитограммы Одесской обсерватории (участок работ удален приблизительно на 350 км от обеих обсерваторий), величину Θ_{i_2} удалось уменьшить в среднем на 13 гамм. Причиной нескомпенсированной части величины Θ_{i_2} следует считать ошибку в определении $\Delta Z_{оп_i}$ относительно КП. Нужно отметить,

что после уменьшения значений $\Delta Z_{\text{оп}}$ на всех ОП средней магистрали на 28 гамм и увязки рядовых рейсов по опорной сети графики вычисленных значений $\Delta Z_{\text{р}}$ стали более плавными по сравнению с первоначально вычисленными, когда в районе второй магистрали наблюдался спад на графиках $\Delta Z_{\text{р}}$, объяснить который геологическими причинами трудно.

Сумма всех ошибок на каждом ОП представляет собой погрешность $m_{\text{оп}}$, т. е.

$$m_{\text{оп}} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7. \quad (2,4)$$

Средняя квадратическая ошибка опорного пункта m_i определяется выражением

$$m_i = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 + m_6^2 + m_7^2}. \quad (2,5)$$

При вычислении внешней сходимости опорной сети определяется разность двойных наблюдений в разных рейсах (δ_i); средняя квадратическая ошибка этой разности m_δ связана с m_i следующим соотношением:

$$m_\delta = m_i \sqrt{2}. \quad (2,6)$$

Отсюда следует, что

$$m_\delta = \sqrt{2(m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 + m_6^2 + m_7^2)}. \quad (2,7)$$

Таким образом, средняя квадратическая ошибка разности двойных наблюдений δ_i зависит от суммарного влияния всех источников ошибок.

При определении же внутренней сходимости опорной сети находится разность двойных наблюдений одного рейса φ_i . Поэтому средняя квадратическая ошибка этой разности m_φ не зависит от ошибок m_1 и m_3 , а влияние остальных ошибок значительно меньше, так как погрешности систематического характера не учитываются.

Изложенное показывает, что значения $\Delta Z_{\text{оп}}$ могут содержать ошибки как случайного, так и систематического характера. Применяемая методика создания опорных сетей не позволяет исключить систематические ошибки; опорная сеть не поддается математическому уравниванию, так как каждый ОП имеет всего две связи с соседними. Поэтому невозможно объективно изучить погрешности как для всей опорной сети, так и отдельно для каждого ОП. Независимые контрольные наблюдения выполняются лишь на немногих пунктах, количество которых не превышает 10% всех ОП, причем в заранее известных местах. Очевидно, внешняя сходимость опорной сети $\epsilon_{\text{оп}}$, определяемая по этим наблюдениям, не может быть признана достаточно объективным критерием точности создаваемых опорных сетей. Внутренняя же сходимость опорной сети e учитывает только погрешности случайного характера внутри каждого рейса и во-

обще не может служить показателем точности создания опорных сетей.

Основные источники погрешностей при съемке по рядовой сети. Определение приращения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля $\Delta Z'_p$ в любой точке рядовой съемки производится по формуле (2,3).

Погрешность определения цены деления m_1 и погрешность наблюдения m_2 по источникам и свойствам аналогичны m_1 и m_2 для опорной сети. Погрешность измерений на КП m_3 не сказывается на точности рядовой съемки.

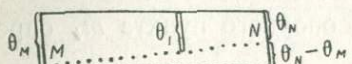


Рис. 8. Схема привязки рядовых рейсов к опорным пунктам.

Чтобы показать это, рассмотрим дальнейший путь обработки наблюдений в рядовых рейсах.

После вычисления $\Delta Z'_p$ для всех точек рядового рейса мы сравниваем значения $\Delta Z'_{p_M}$ и $\Delta Z'_{p_N}$ на опорных пунктах M и N , между которыми проложен данный профиль, со значениями $\Delta Z_{оп_M}$ и $\Delta Z_{оп_N}$. Полученные разности

$$\Theta_M = \Delta Z_{оп_M} - \Delta Z'_{p_M}; \quad (2,8)$$

$$\Theta_N = \Delta Z_{оп_N} - \Delta Z'_{p_N} \quad (2,9)$$

определяют невязку рядового и опорного рейсов на каждом ОП. При вычислениях значение $\Delta Z_{оп_i}$ на любом i -м ОП принимается жестким. Тогда величина невязки ξ_i зависит от погрешности в определении $\Delta Z'_p$ на ОП. Причина этой погрешности, помимо ошибок в измерениях, еще и в вариациях, во влиянии изменения температуры и смещения нуля-пункта.

При обработке рядовых рейсов принимается, что за время Δt линейно изменяется не только нуль-пункт прибора, но и вариации и температура. Следовательно, закон распределения и величина ошибок известны и их можно почти полностью исключить. Поэтому в любую точку рядового рейса j можно ввести суммарную поправку за смещение нуля-пункта, вариации и влияние температуры пропорционально времени или (поскольку на практике наблюдения в первом приближении ведутся с одинаковой скоростью) расстоянию. Обычно это делается графически (рис. 8).

Полученная суммарная поправка Θ_j вводится в значение $\Delta Z'_{p_j}$ соответствующей точки, и мы получаем ΔZ_{p_j} (приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля относительно КП, исправленное за невязку с опорной сетью для каждой точки):

$$\Delta Z_{p_j} = \Delta Z'_{p_j} - \Theta_j. \quad (2,10)$$

Из полученного графика видно, что если на одну и ту же величину изменить Θ_M и Θ_N , то на эту же величину изменится и поправка для каждой точки рядового рейса Θ_j .

Величины Θ_M и Θ_N зависят от $\Delta Z'_{P_M}$ и $\Delta Z'_{P_N}$, а последние определяются по формуле (2, 3). Отсюда следует, что любая ошибка в определении ρ_0 , изменяя величину $\Delta Z'_{P_j}$ (2, 3), вызывает соответствующее изменение величины Θ_j . Из формулы (2, 10) вытекает, что значения ΔZ_{P_j} при этом остаются без изменения. Поэтому при вычислениях ΔZ_{P_j} можно вообще не учитывать наблюдения на КП, а использовать их только для определения стабильности работы аппаратуры.

Как уже было сказано, суммарная поправка при вычислениях вводилась по линейному закону. В действительности имеется какая-то более сложная зависимость. Расхождение между истинным и линейным изменением суммарной поправки определяет погрешность суммарной поправки за смещение нуля, вариации и изменение температуры μ_4 .

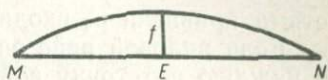


Рис. 9. Распределение ошибок при увязке рядовых рейсов.

Структура геофизического рейса позволяет определять значение $\Delta Z'_P$ в каждой его точке в виде суммирования приращений. То же самое мы имеем и при введении поправок. Искажения, вносимые при этом, имеют характер случайных ошибок. Наименее надежный результат здесь в средней части рейса.

Графически это может быть выражено в виде некоторой кривой с максимальным расстоянием f от прямой в средней части (рис. 9). При этом прямая выражает принятое линейное изменение суммарной поправки, а кривая — вероятность отклонения от линейного закона в каждой точке профиля.

Для уменьшения погрешности при введении указанной суммарной поправки можно рекомендовать использование магнитотриграмм. Для этого необходимо задать какую-то величину допускаемого отклонения вариаций от линейного закона, например, 5—8 *гамм* при проведении съемок с точностью $\pm 10 \div \div 20$ *гамм*. Если после получения магнитотриграмм выяснится, что во время рейса были отклонения вариаций от линейного закона на величину, большую допустимой, следует вводить дополнительную поправку за нелинейность изменения вариаций. В случае больших температурных коэффициентов приборов с аналогичной целью можно использовать кривые изменения температуры. Но проще, очевидно, при настройке приборов добиваться уменьшения величины температурных коэффициентов магнитометров.

Следует обратить внимание на то, что любая ошибка в определении ΔZ_{P_i} на ОП, представляющая собой погрешность

привязки рядового рейса к опорной сети μ_5 , входит в величину невязки рядовой и опорной съемок на каждом ОП Θ_i . Источники этой погрешности те же, что и погрешности измерений μ_2 , но сказывается погрешность μ_5 на всех точках данного рядового рейса, приобретая тем самым для последних характер систематической ошибки.

Поэтому при рядовой съемке необходимо производить измерения на ОП с особой тщательностью. При высокоточных съемках можно рекомендовать весь цикл наблюдений на ОП проводить дважды или же делать повторное наблюдение после захода на близлежащую точку данного рядового рейса.

Погрешность привязки налагается на общую ошибку опорного пункта $m_{оп}$ и оказывает такое же влияние на погрешность определения ΔZ_{P_j} , как и $m_{оп}$. Последняя наряду с погрешностями привязки μ_5 входит в величину Θ_i .

Если рядовой рейс опирается на опорные пункты M и N , то в каждую его точку войдет ошибка вследствие погрешности в значениях $\Delta Z_{опM}$ и $\Delta Z_{опN}$. Распределение этих ошибок линейное, и для каждой точки рядового рейса значение погрешности за опорную сеть μ_{6j} зависит от соотношения величин и знаков $m_{опM}$ и $m_{опN}$, а также местоположения точки в рядовом рейсе. Погрешность за опорную сеть сказывается на всех или на большинстве точек рядового рейса, представляя собой ошибку систематического характера.

При площадных магнитометрических исследованиях по результатам полевых наблюдений должна быть построена карта изодинам аномальных значений вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Земли Z_a , для чего необходимо найти значения Z_a для каждой точки рядового рейса. При широко распространенной схеме обработки наблюдений для этого требуется выполнить до семи вычислительных операций, являющихся источником погрешности μ_7 . Эти вычисления выполняются дважды (в две руки), что исключает грубые ошибки. Но погрешности могут быть при выполнении каждой вычислительной операции. Очевидно, при увеличении числа операций погрешность вычислений возрастает.

Необходимо также указать, что возможна погрешность привязки к уровню нормального поля, которая одинакова для всех точек съемки и не оказывает влияния на ее точность. Но на границах различных съемок она сказывается и может быть значительной.

Таким образом, общая ошибка определения рядовой точки μ_p магнитной съемки с развитием опорной сети

$$\mu_p = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5 + \mu_6 + \mu_7. \quad (2,11)$$

Средняя квадратическая ошибка определения рядовой точки выражается так:

$$\mu_j = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2 + \mu_4^2 + \mu_5^2 + \mu_6^2 + \mu_7^2}. \quad (2,12)$$

Большинство указанных погрешностей имеет незначительную величину, и при тщательном, продуманном подходе исполнителей к проведению съемки их влияние может быть учтено или уменьшено. Но погрешность за опорную сеть, имеющая систематический характер и часто значительную величину, существенно снижает точность определения рядовых пунктов.

Для определения точности рядовой съемки производятся контрольные наблюдения. На каждой из n точек, где они выполняются, вычисляется разность значений v_j в обоих рейсах

$$v_j = \Delta Z_{P_j \text{ контр}} - \Delta Z_{P_j}.$$

Так, по аналогии (2,6) и (2,7) средняя квадратическая ошибка этой разности

$$\mu_v = \mu_j \sqrt{2} = \sqrt{2(\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2 + \mu_4^2 + \mu_5^2 + \mu_6^2 + \mu_7^2)}. \quad (2,13)$$

Средняя квадратическая погрешность рядовой съемки определяется по формуле

$$\epsilon_P = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{2n}}. \quad (2,14)$$

Рассмотрим влияние на величину v_j ошибки за опорную сеть. Очевидно, величина μ_6 одинаковая для одной и той же точки только в том случае, если повторяются наблюдения на всех точках профиля и контрольный рейс опирается на те же ОП, что и обычный.

Но контрольные наблюдения производятся, как правило, лишь на некоторых точках отдельных профилей. При этом влияние погрешностей в значениях $\Delta Z_{\text{оп}}$ сказывается при определении v_j . Даже если контрольный рейс опирается на те же ОП, что и рядовой, но содержит меньшее количество наблюдений, значения μ_6 в обоих рейсах не одинаковы. В обычном рейсе ошибки $\mu_{\text{оп}M}$ и $\mu_{\text{оп}N}$ распределяются между всеми точками профиля, а в контрольном рейсе — между некоторыми из них в какой-то части рейса.

На практике контрольные рейсы обычно выполняются по отдельным точкам нескольких профилей, и при определении величин v_j в контрольном рейсе уже сказываются ошибки определения $\Delta Z_{\text{оп}}$ других ОП, а не тех, которые используются в обычном рейсе. Это имеет особое значение в том случае, если при производстве контрольных наблюдений рядовые рейсы опираются на ОП, имеющие большие расхождения в уровнях ΔZ по сравнению с ОП, используемыми при обычных рейсах. Таким образом, видно, что ошибки, допущенные при развитии опорной сети, сказываются на определении величины средней квадратической ошибки рядовой съемки, причем в зависимости от струк-

туры обычного и контрольного рядовых рейсов различным образом.

Некоторые исследователи определяют среднюю квадратическую погрешность магнитной съемки ϵ для любой точки на площади участка и исходят при этом из формулы

$$\epsilon = \pm \sqrt{\epsilon_{\text{оп}}^2 + \epsilon_{\text{р}}^2}. \quad (2,15)$$

Но, как уже было показано, величина $\epsilon_{\text{р}}$ в большинстве случаев зависит от $m_{\text{оп}}$, а не является показателем точности работ только по рядовой сети. Мы считаем, что использование формулы (2, 15) может дать завышение истинной величины средней квадратической ошибки определения значения напряженности магнитного поля в любой точке съемки.

Отсюда также следует, что для повышения точности определения рядовых точек необходимо уменьшать ошибки опорных пунктов, изменять методику магнитных съемок, повышая точность создания опорных сетей.

§3. Проведение магнитных съемок с созданием сети магнитных реперов

При средне- и крупномасштабных магнитометрических исследованиях общепринято проводить наблюдения с предварительным развитием опорной сети по магистральным линиям. Как мы уже отмечали, созданная таким образом опорная сеть не поддается математическому уравниванию и может содержать значительные ошибки систематического характера, которые невозможно учесть.

Для повышения точности опорной сети можно рекомендовать создание каркасной сети магнитных реперов, на которые при среднемасштабной съемке должны опираться опорные рейсы по магистралям. Наблюдения на магнитных реперах следует проводить по схеме, применяемой при создании опорных гравиметровых сетей. Каждый магнитный репер (МР) должен иметь не менее трех независимых связей с другими МР. Наблюдения на всех МР следует выполнять с повышенной точностью. Созданная система МР должна быть привязана к пунктам генеральной магнитной съемки.

При развитии сети МР наиболее целесообразно выполнять рейсы двумя приборами по замкнутым ходам за время, не превышающее 3—3,5 час. Каждый МР должен быть включен не менее чем в два рейса. Возможность расположения магнитных реперов по обочинам дорог и применение автотранспорта позволяют создать сеть МР для всего исследуемого участка в короткие сроки.

Обработку реперных рейсов можно вести таким же образом, как и вычисления при создании опорной сети по магистральям. Прежде всего по результатам полевых измерений определяется значение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля относительно контрольного пункта $\Delta Z'_{\text{МР}}$ — контрольный пункт при этом лучше всего располагать непосредственно на участке работ и включать в реперные рейсы. Затем в значения $\Delta Z'_{\text{МР}}$ вводятся поправки за влияние вариаций, температуру и смещение нуль-пунктов приборов. Такая схема позволяет на каждом МР выполнять минимум четыре независимых наблюдения, а полученная сеть МР может быть математически уравнена способами, известными в гравиметрии. Это дает возможность объективно оценить как среднюю квадратическую ошибку создания сети МР, так и индивидуальную погрешность для каждого из них.

При среднемасштабной съемке перед производством работ на каждом участке нужно составить схему магистральных линий, а на каждой из последних выбрать и соорудить магнитные реперы так, чтобы опорные рейсы могли начинаться и оканчиваться на них. Опорные рейсы с двукратными наблюдениями могут выполняться по способу восьмерки с центром ее на МР двумя приборами между соседними МР либо одним прибором прямым и обратным ходом.

После введения в каждое наблюдение поправок за температурное влияние и вариации дальнейшая обработка опорных рейсов может проводиться таким же способом, как и рядовых. При такой схеме наблюдений и обработки в значения $\Delta Z_{\text{оп}}$ систематические ошибки за влияние КП и смещение нуль-пункта прибора не вносятся. На точность определения $\Delta Z_{\text{оп}}$ оказывают влияние только случайные ошибки измерений, погрешности при введении поправок и точность создания сети МР.

Как известно из теории ошибок, при уменьшении количества измерений данной величины в n раз точность ее определения уменьшается в \sqrt{n} раз. Следовательно, при однократной методике точность определения $\Delta Z_{\text{оп}}$ в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем при двукратных измерениях. Поэтому при высокой точности создания сети МР, учитывая отсутствие систематических ошибок при определении значений $\Delta Z_{\text{оп}}$, для получения проектной точности опорной сети вполне возможно перейти на методику однократных наблюдений по последней. Это, безусловно, даст значительный экономический эффект, и при производстве среднемасштабных работ с созданием магнитных реперов можно рекомендовать опробование такой методики.

Таким образом, создание каркасной сети МР должно или повысить точность создания опорной сети (при двукратных наблюдениях), или вдвое сократить количество наблюдений по

«опорной сети (при однократных наблюдениях). Однако магнитные съемки в этом случае необходимо выполнять по трем сетям — каркасной, опорной и рядовой. Следует отметить, что даже такая схема опорной сети по магистралям имеет ряд недостатков.

1. Магистрали прокладываются через весь участок исследований, и отдельные опорные пункты могут оказаться расположенными в аномальном магнитном поле.

2. На каждый ОП, как правило, опираются два рядовых рейса, причем со значительным смещением во времени. В районах,

где сохранение ОП на местности затруднительно, нередко ко времени выполнения второго рядового рейса найти ОП трудно, а иногда и совсем невозможно.

3. К большинству ОП подъехать на автотранспорте невозможно, подход же от дорог пешком занимает значительное время.

4. Приходится ожидать получения вариаций для обработки наблюдений по опорной сети, что вызывает соответствующую задержку (на 10—20 дней) вычислений Z_a для точек рядовых рейсов.

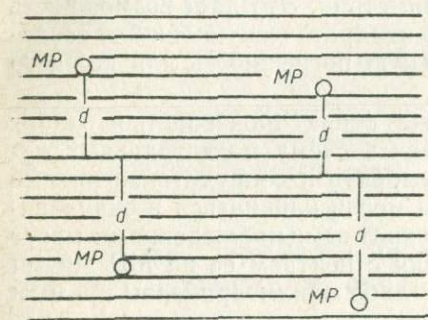


Рис. 10. Схема расположения магнитных реперов и профилей:
 — профили рядовой съемки; d — кратчайшее расстояние от профиля до ближайшего МР.

При проведении крупномасштабных магнитных съемок нам представляется возможным отказаться от опорной сети по магистралям и опираться непосредственно рядовой съемкой на магнитные реперы. Для этого нужно создать сеть МР такой плотности, чтобы оператор мог не реже чем через каждые 3—3,5 час заходить на один из МР, а кратчайшее расстояние до любого профиля от ближайшего МР при этом должно составлять не более 400—500 м (рис. 10).

Исходя из этих условий и норм выработки [99], мы рассчитали, что на 1 км^2 при съемке масштаба 1:10 000 нужно создавать 0,5—0,7 МР, а при съемке масштаба 1:5000—0,9—1,2 МР. Для обеспечения площади исследований опорной сетью по магистралям требуется создавать ОП соответственно в 10—12 и 15—18 раз больше.

Рядовая сеть должна опираться на созданную сеть МР так же, как и на опорные пункты магистрали. Рядовые рейсы следует начинать и кончать на ближайшем к данному профилю МР. Наблюдения на профиле при этом целесообразнее начинать не

с магистралю, которая в этом случае создается только для топогеодезической основы, а с ближайшей от МР точки (см. рис. 10).

При предлагаемой схеме наблюдений рядовой рейс необходимо выполнять за определенное время, количество точек в рейсе может быть различным. В связи с этим наблюдатель получает возможность производительно использовать все рабочее время в поле, так как не связан определенным количеством точек в рядовом рейсе.

При обработке рядовых рейсов нет необходимости использовать наблюдения на КП. Поэтому, если последний расположен вне участка работ, лучше увязывать с пунктами генеральной магнитной съемки не КП, а непосредственно один или несколько магнитных реперов.

Обрабатывать рядовые рейсы следует таким же образом, как и при использовании в качестве опорной сети ОП магистралей. Поскольку сеть МР для всего участка работ можно создать до начала рядовой съемки и ко времени производства последней иметь для каждого МР аномальные значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Земли $Z_{a,MP}$, это дает возможность вычислять Z_a каждой точки рядового рейса на следующий день после полевых наблюдений. Такая быстрота получения окончательных результатов съемки позволит не только более оперативно использовать ее для направления дальнейших работ, но и сократить объем вычислительных операций (не нужно вычислять значения приращения составляющей напряженности магнитного поля рядовых точек $\Delta Z'_p$ относительно КП).

При вычислениях следует учитывать, что в начальную и конечную точки каждого рядового рейса перед началом обработки рейса нужно вводить поправку за различный градиент нормального поля магнитных реперов, на которые опирается рядовой рейс, и указанных точек рейса. Для этого после создания сети МР можно нанести их местоположения на карту нормального магнитного поля. Затем по мере выполнения на эту же карту следует наносить профили рядовой съемки, после чего с карты легко снять указанную выше поправку. При обработке эту поправку можно суммировать с общей поправкой за вариации, температуру и сползание нуля-пункта.

Возможна и другая схема обработки — в аномальные значения $Z_{a,MP}$ не вводить поправки за градиент нормального магнитного поля, приведя все значения к одному уровню (например, к уровню $Z_{a,КП}$). В этом случае поправку за нормальный градиент можно определить для каждой точки до обработки рядовых рейсов.

Для проверки рациональности предложенной методики и возможности повышения точности работ по предложению авто-

ра на одном из участков магнитной съемки в Чигиринской партии треста «Укргеофизразведка» в 1960 г. была создана сеть МР. Условия при наблюдениях были обычными для съемок такого масштаба. Точность создания опорных сетей по магистральным линиям при этом обычно составляла 12—15 *гамм*. Сеть МР была создана на участке площадью 60 км². Наблюдения выполнялись двумя приборами замкнутыми рейсами с использованием автомашины. Всего было выполнено 228 наблюдений на 52 магнитных реперах. Для создания опорной сети по магистральям потребовалось бы в этом случае выполнить двукратные наблюдения на 600 опорных пунктах. Таким образом, объем работ по созданию опорной сети был значительно сокращен.

Наблюдения были обработаны по обычной для опорных сетей методике. Вариации при этом вводились по магнитограммам Одесской обсерватории. Смещение нуль-пунктов приборов определялось в каждом рейсе на одном или нескольких МР. Было выяснено, что при незначительных величинах этих смещений большей частью трудно выявить закономерность изменения нуль-пункта. Поэтому поправка за смещение нуль-пункта не вводилась.

Точность наблюдений определялась по известной из теории ошибок формуле [57, 111]

$$\varepsilon'_{\text{МР}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{m-n}}. \quad (3,1)$$

В нашем случае $\varepsilon'_{\text{МР}} = \pm 8,5$ *гамм*.

Методика создания сети МР позволила провести уравнивание полученных средних значений $\Delta Z_{\text{МР}i}$, которое выполнялось по узловой схеме [53]. Для оценки точности уравненных значений использовалась формула [57]

$$\varepsilon_{\text{МР}} = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{k-n}}. \quad (3,2)$$

Вычисленная величина $\varepsilon_{\text{МР}}$ оказалась $\pm 4,9$ *гамм*.

Дальнейший анализ полевых материалов позволил выявить следующее.

1. Для контроля за вариациями на КП непрерывно проводились наблюдения одним прибором. И хотя точно учесть смещение нуль-пункта этого прибора не представлялось возможным, наблюдения показали, что в отдельные дни лучшая сходимость повторных наблюдений даже в одном рейсе достигалась при введении вариаций не по магнитограммам Одесской обсерватории, а по измерениям вариаций на КП.

2. При рассмотрении всех полученных на каждом МР значений приращений вертикальной составляющей напряженности магнитного поля $\Delta Z_{\text{МР}i}$ относительно КП было замечено, что

на отдельных МР одно из четырех (или более) значений ΔZ_{MP_i} отличается от остальных в среднем примерно на одинаковую величину — 10—15 *гамм*. Анализ рейсов показал, что в один из дней вычисленные по результатам съемки обоими приборами значения ΔZ_{MP_i} в среднем разнятся на 14 *гамм*, в другой день — на 12. Именно значения ΔZ_{MP_i} , полученные одним из приборов в этих рейсах, давали указанное отличие от среднего значения ΔZ_{MP_i} на МР. Было сделано предположение, что поскольку наблюдения вычислялись относительно КП, расположенного вне участка исследований, во время транспортировки могло произойти скачкообразное изменение нуля-пункта прибора. Причиной этого расхождения могла быть также и ошибка в измерениях на КП. После введения поправки +14 *гамм* в значения ΔZ_{MP_i} , полученные в одном из рейсов одним прибором, и -12 *гамм* — для другого прибора в другом рейсе сходимость всех значений ΔZ_{MP_i} на этих МР значительно улучшилась, вычисленная величина ϵ'_{MP} составляла $\pm 7,6$ *гамм*, а $\epsilon_{MP} = \pm 4,6$ *гамм*.

Если бы подобный скачок произошел при наблюдениях на ОП, расположенных по магистралям, выявить эту ошибку систематического характера было бы невозможно. Этот пример доказывает также целесообразность выбора КП на участке исследований и включения его непосредственно в реперные рейсы.

При предложенной схеме измерений имеется возможность выявлять и грубые ошибки наблюдений. Действительно, если одно из четырех значений ΔZ_{MP_i} на данном МР очень отличается от остальных трех, то наиболее вероятной причиной этого отклонения следует считать ошибку в измерениях, и это наблюдение нужно исключить при дальнейших вычислениях.

Следовательно, при создании сети МР возможен более глубокий анализ полученных материалов, в результате чего можно дополнительно повысить точность сети и выяснить достоверность полученных уравниваемых значений ΔZ_{MP_i} как для всей сети, так и для отдельных МР.

Проведенные в 1960 г. опытные работы подтвердили целесообразность создания при крупномасштабных магнитных съемках сети магнитных реперов вместо сети ОП по магистралям и возможность повышения точности магнитной съемки, а также дали много дополнительных материалов для уточнения предлагаемой методики.

Преимущества производства магнитных съемок, опирающихся на сеть МР, следующие.

1. Более высокая точность сети магнитных реперов по сравнению с ОП магистралей.

2. Экономичность создания сети МР при крупномасштабных

съемках. Здесь следует отметить, что чем мельче масштаб съемки, тем меньшее количество профилей может опираться на один МР. Поэтому при среднемасштабных магнитных съемках более целесообразно создавать опорную сеть по магистралям, опирающимся на МР.

3. Создание сети МР для всего участка исследований в короткие сроки и быстрая обработка полученных материалов.

4. Возможность анализа значений ΔZ_{MP_i} на каждом МР, более полного учета и исключения систематических и случайных ошибок измерений, уравнивания значений ΔZ_{MP_i} .

5. Получение аномального значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Земли Z_a каждой точки рядовой съемки на следующий день после производства полевых наблюдений.

6. Сокращение вычислительных операций при обработке рядовых рейсов.

7. Более четкая организация работ при рядовой съемке и, возможно, повышение производительности труда в результате рационального использования всего рабочего времени.

8. Использование КП только для контроля за работой приборов.

9. Сокращение объема топогеодезических работ благодаря возможности увеличения расстояний между профилями, если обеспечивается требуемая точность этих работ.

В заключение следует указать, что предлагаемая методика производства наблюдений может существенно повысить точность крупномасштабных магнитных съемок и увеличить эффективность геофизических исследований.

Предложенная методика была опробована К. М. Шурапеем и А. М. Ивановой в Восточно-Приазовской геофизической партии Артемовской геофизической экспедиции в 1961—1962 гг. как при средне-, так и при крупномасштабной съемках и дала положительные результаты. Особенно эффективной оказалась эта методика на участке съемки масштаба 1 : 5000, где наблюдения были выполнены по схеме, составленной для участка автором на 11 МР вместо 120 ОП, предусмотренных проектом. Точность создания сети МР оказалась в полтора раза выше проектной и составила ± 6 гамм.

В связи с тем, что в общем объеме магнитометрических исследований все больший удельный вес приобретают крупномасштабные съемки, очевидно, возрастает целесообразность применения предложенной методики и в то же время должна увеличиваться ее эффективность. При незначительных размерах участков крупномасштабной съемки целесообразно отказаться от создания опорной сети и все рядовые рейсы привязывать к одному МР.

При наблюдениях по отдельным профилям или сериям далеко отстоящих друг от друга профилей нас в первую очередь интересует не абсолютная точность измерений, а относительная точность определения всех особенностей поля по профилю. В связи с этим, по нашему мнению, такие рейсы можно наблюдать без создания специальной опорной сети, увязывая их с одним из МР или КП участка.

§ 4. К вопросу об обработке рядовой магнитной съемки

Большинство магнитометрических исследований проводится с целью определения только одного элемента напряженности магнитного поля Земли — вертикальной составляющей Z . Результативными материалами таких съемок являются карты изодинам или планы графиков аномальных значений Z_a . Сразу определить эту величину при полевых наблюдениях мы не можем. Используя широко применяемые магнитные вариометры типа М-2 и др., на каждом пункте берем некоторый отсчет по шкале прибора, зависящий от искомого значения Z_a . Но для определения этого значения требуется выполнить целый ряд вычислительных операций.

Большинство магнитных съемок проводится с развитием опорной сети. Обработка наблюдений по рядовой сети, в результате которой вычисляются значения Z_a в каждой точке съемки, проводится с учетом наблюдений по опорной сети. Рекомендуемая в настоящее время схема вычислений содержит много вычислительных операций. При этом по наблюдениям на опорной сети определяется приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля на опорном пункте $\Delta Z_{\text{оп}}$ относительно контрольного пункта, включающее поправки за вариации земного магнитного поля, за изменение температуры и за смещение нуля-пункта прибора. На этом обработка наблюдений по опорной сети заканчивается.

Для каждой точки рядовой съемки прежде всего вычисляется приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля $\Delta Z'_{pj}$ относительно КП по формуле

$$\Delta Z'_{pj} = \varepsilon_z(n_j - n_0), \quad (4,1)$$

где ε_z — цена деления прибора; n_j — отсчет на пункте наблюдения; n_0 — отсчет на КП.

После этого сравниваются значения $\Delta Z'_{pj}$ на опорных пунктах со значениями $\Delta Z_{\text{оп}}$ на тех же ОП. Если на данном ОП полученные разности $\Theta = \Delta Z_{\text{оп}} - \Delta Z'_{pj}$ не превышают тройной

средней квадратической ошибки, рядовые рейсы считаются выполненными удовлетворительно и их обработка продолжается. Причиной появления разности считается суммарное смещение нуля-пункта прибора, вариации и изменения температуры. Закон изменения этих величин за время рядового рейса принимается линейным. Поэтому значения Θ на двух ОП, на которые опирается данный рядовой рейс, откладываются на миллиметровке, и по соединяющей их прямой графически находится поправка Θ_j для каждой j -й точки данного рядового рейса. Вычитая поправку Θ_j из значения $\Delta Z'_{P_j}$, находим приращение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля относительно КП, исправленное за невязку с опорной сетью. После этого для каждой точки рядового рейса по карте изолинам нормального поля вычисляем поправку ζ_j за нормальный градиент земного магнитного поля Z . Обычно поправка на КП принимается равной нулю. Алгебраически вычитая ζ_j из значения $\Delta Z'_{P_j}$, получаем для каждой точки величину $\Delta \bar{Z}_{P_j}$.

Предварительно увязав КП с пунктами генеральной магнитной съемки и определив аномальное значение $Z_{a_{\text{КП}}}$ в эпохе соответствующего года, все значения $\Delta \bar{Z}_{P_j}$ приводят к уровню нормального поля. Для этого значения $\Delta \bar{Z}_{P_j}$ алгебраически прибавляют к величине $Z_{a_{\text{КП}}}$, получая таким образом аномальное значение Z_{a_j} каждой точки рядовой съемки.

Следует также отметить, что иногда вычисляется абсолютное значение вертикальной составляющей $Z_{\text{абс}_j}$ и определяется нормальное значение вертикальной составляющей Z_{n_j} каждой точки съемки. Тогда величина Z_{a_j} находится как разность этих значений.

Таким образом, рекомендуемая схема обработки наблюдений содержит семь вычислительных операций и в общем виде для любой точки может быть записана следующим образом:

$$Z_{a_j} = \varepsilon_z(n_j - n_0) - \Theta_j - \zeta_j + Z_{a_{\text{КП}}}. \quad (4,2)$$

Тогда для опорных пунктов M и N , на которые опирается данный рядовой рейс, мы имеем

$$Z_{a_M} = \varepsilon_z(n_M - n_0) - \Theta_M - \zeta_M + Z_{a_{\text{КП}}}; \quad (4,3)$$

$$Z_{a_N} = \varepsilon_z(n_N - n_0) - \Theta_N - \zeta_N + Z_{a_{\text{КП}}}. \quad (4,4)$$

Аномальные значения (Z_a) в этих пунктах можно также получить, вводя в величины $\Delta Z_{\text{ОП}_M}$ и $\Delta Z_{\text{ОП}_N}$ поправку за нормаль-

ный градиент и приводя их к уровню нормального магнитного поля, т. е.

$$\bar{Z}_{a_M} = \Delta Z_{\text{ОП}_M} - \zeta_M + Z_{a_{\text{КП}}}; \quad (4,5)$$

$$\bar{Z}_{a_N} = \Delta Z_{\text{ОП}_N} - \zeta_N + Z_{a_{\text{КП}}}. \quad (4,6)$$

Зная значения \bar{Z}_{a_M} и \bar{Z}_{a_N} , найдем разность уравнений (4,3) и (4,4)

$$\bar{Z}_{a_M} - \bar{Z}_{a_N} = \varepsilon_z(n_M - n_N) - (\Theta_M - \Theta_N) - (\zeta_M - \zeta_N).$$

Отсюда получаем:

$$\varepsilon_z(n_M - n_N) = (\bar{Z}_{a_M} - \bar{Z}_{a_N}) - [(\Theta_M - \Theta_N) + (\zeta_M - \zeta_N)]. \quad (4,7)$$

Из этого уравнения видно, что разность отсчетов (в гаммах) на ОП при рядовой съемке отличается от разности аномальных значений на этих ОП на сумму разностей поправок за суммарное смещение нуля-пункта прибора, вариации, изменение температуры и за нормальный градиент земного магнитного поля на этих ОП. Обозначим эту суммарную поправку через τ , т. е.

$$\tau_{MN} = (\Theta_M - \Theta_N) + (\zeta_M - \zeta_N). \quad (4,8)$$

Оказывается, величину τ довольно просто найти, используя номограмму, рассчитанную по принципу линейки Н. А. Иванова. Для того чтобы сделать такую номограмму, выбирают нижний и верхний пределы a и b цены деления приборов ε_z . Прямые линии, соответствующие значениям a и b , вычерчивают параллельно на расстоянии k (рис. 11). Перпендикулярно к a и b проводят прямую $0-0$, соответствующую нулевому отсчету в гаммах. Затем в обе стороны от точек 0 на прямых a и b в соответствующих масштабах откладывают отрезки равных изменений ε_z и соединяют между собой. Расчет расстояний между прямыми линиями, соответствующими цене деления в пределах между a и b , производят по формуле

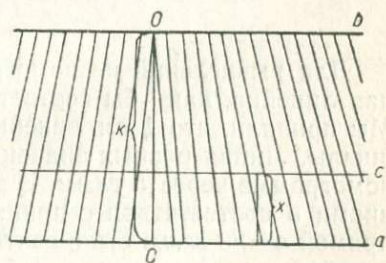


Рис. 11. Номограмма для вычисления Z_a и ΔZ .

$$x = \frac{bk(c-a)}{c(b-a)}, \quad (4,9)$$

где x — расстояние от a до искомой c .

Расчет номограмм для $a=20$ гамм, $b=25$ гамм и $k=40$ см приведен в табл. 2, где c дано в гаммах, а x — в сантиметрах.

Таблица 2

<i>c</i>	<i>x</i>	<i>c</i>	<i>x</i>
20,0	0,000	22,6	23,009
20,1	0,995	22,7	23,789
20,2	1,980	22,8	24,561
20,3	2,956	22,9	25,328
20,4	3,922	23,0	26,087
20,5	4,878	23,1	26,840
20,6	5,825	23,2	27,586
20,7	6,763	23,3	28,326
20,8	7,692	23,4	29,060
20,9	8,612	23,5	29,787
21,0	9,524	23,6	30,508
21,1	10,427	23,7	31,224
21,2	11,321	23,8	31,933
21,3	12,207	23,9	32,636
21,4	13,084	24,0	33,333
21,5	13,953	24,1	34,025
21,6	14,815	24,2	34,711
21,7	15,668	24,3	35,391
21,8	16,514	24,4	36,065
21,9	17,352	24,5	36,735
22,0	18,182	24,6	37,398
22,1	19,005	24,7	38,057
22,2	19,820	24,8	38,710
22,3	20,628	24,9	39,358
22,4	21,429	25,0	40,000
22,5	22,222		

Для вычислений по номограмме необходима также подвижная линейка, как бы соответствующая шкале магнитометра. Мы приняли, что 1 см линейки соответствует одному делению шкалы. Линии разных значений e_z в гаммах проводились на номограмме через 5 гамм. В этом случае расстояние между линиями в соответствии с принятой ценой деления линейки на прямой $a=20$ гамм было взято 2,5 мм, на прямой $b=25$ гамм — 2,0 мм.

Как следует из расчета, по номограмме очень просто определить значение ΔZ . Линейка накладывается на линию цены деления прибора и, совмещая отсчет, соответствующий значению $\Delta Z_{\text{акп}}$ на контрольном пункте, с линией 0—0, против значения n подвижной линейки считывается значение ΔZ . Таким образом выполняется вычисление согласно формуле (4,1).

Впервые на Украине использовать номограмму предложил Л. И. Орап. Теперь она широко применяется во многих партиях треста «Укргеофизразведка». Применение номограмм позволило в дальнейшем изменить методику вычислений Z_a рядовой съемки.

Исходя из (4,7) и (4,8),

$$\tau_{MN} = (\varepsilon_z n_M - \bar{Z}_{a_M}) - (\varepsilon_z n_N - \bar{Z}_{a_N}). \quad (4,10)$$

Для определения τ_{MN} наложим линейку на линию, соответствующую ε_z прибора, и совместим отсчет n_M на линейке со значением \bar{Z}_{a_M} в гаммах на номограмме. Этим самым мы приравняем к нулю первый член правой части уравнения (4,10), т. е.

$$\varepsilon_z n_M - \bar{Z}_{a_M} = 0; \quad (4,11)$$

тогда

$$\tau_{MN} = \bar{Z}_{a_N} - \varepsilon_z n_N. \quad (4,12)$$

Теперь, не изменяя взаимного расположения линейки и номограммы, определим против отсчета n_N значение $\varepsilon_z n_N$ в гаммах. Поскольку значение \bar{Z}_{a_N} нам известно, мы, беря разность значений \bar{Z}_{a_N} и $\varepsilon_z n_N$, получаем величину τ_{MN} .

Как было показано, поправки Θ и ζ вводятся линейно. Поэтому мы также линейно можем определить поправку τ_j для каждой точки рядового рейса. Очевидно, в этом случае, аналогично (4,8), мы можем записать

$$\tau = (\Theta_M - \Theta_j) + (\zeta_M - \zeta_j). \quad (4,13)$$

Теперь определим $Z_{a_{\text{КП}}}$ из формулы (4,3) и подставим в формулу (4,2)

$$Z_{a_j} = \varepsilon_z(n_j - n_0) - \Theta_j - \zeta_j + \bar{Z}_{a_M} - \varepsilon_z(n_M - n_0) + \Theta_M + \zeta_M.$$

При неизменном расположении номограммы и линейки формула (4,11) остается справедливой. Тогда, учитывая (4,13), получаем

$$Z_{a_j} = \varepsilon_z n_j + \tau_j. \quad (4,14)$$

Таким образом, мы имеем возможность, определив суммарную поправку для каждой точки рядового рейса τ_j и найдя против отсчета n_j на линейке по номограмме (при неизменном их расположении) величину $\varepsilon_z n_j$, сразу получать аномальные значения Z_{a_j} всех точек данного рядового рейса. Как видно из (4,14), для определения Z_{a_j} не нужно не только отдельно вводить различные поправки, но даже определять значения $\Delta Z'_j$. В результате этого значительно сокращается число вычислительных операций и, как следствие, повышается точность вычис-

лений. Необходимость обработки опорной сети вплоть до определений $\bar{Z}_{a_{OP}}$ не намного увеличивает объем вычислений, так как один ОП приходится на 25—50 рядовых точек. К тому же при вычислении ΔZ_{OP} , пользуясь номограммой, также сокращается число вычислительных операций.

Поскольку наблюдения на КП в вычислениях не используются, при проведении рядовой съемки они производятся только для контроля за стабильностью работы аппаратуры. Следует отметить, что ошибки в наблюдениях на КП, а также скачкообразные изменения нуля-пункта при переезде от КП к профилю или от профиля к профилю сказываются на точности определения Z_{a_j} , так как при вычислениях мы определяем на ОП не абсолютные величины невязок опорной и рядовой сетей, а разность этих невязок.

Практика полевых работ показывает, что получаемая невязка, как правило, меньше арифметической суммы расхождений ΔZ на ОП при рядовой и опорной съемках.

Особенно целесообразно применять описанную методику вычислений Z_{a_j} при создании опорной сети магнитных реперов, так как для каждого магнитного репера значение $Z_{a_{MP}}$ вычисляется заранее, до производства рядовой съемки. Вследствие этого можно получать значения Z_{a_j} в каждой точке съемки на следующий день после производства полевых наблюдений. При использовании же обычно применяемой опорной сети по магистралям необходимо ожидать получения вариаций для вычисления $\bar{Z}_{a_{OP}}$. Следует отметить, что если магнитные реперы расположены не на линии профиля, необходимо вводить дополнительные поправки за разницу нормального градиента земного магнитного поля магнитных реперов и конечных точек данного рядового рейса. Эти поправки проще всего вводить в значения \bar{Z}_{a_M} и \bar{Z}_{a_N} ; в этом случае отпадает необходимость введения дополнительной поправки в каждую точку рядового рейса — она автоматически войдет в величину τ_{MN} , а следовательно, и в τ_j .

Описанная методика обработки рядовых рейсов разрабатывалась и внедрялась в Киевской экспедиции треста «Укргеофизразведка» Л. И. Орапом, в Днепропетровской и Артемовской экспедициях автором, начиная с 1958 г., и в настоящее время успешно применяется в большинстве геофизических организаций Украины.

§ 5. Разрешающая способность магнитометрии при картировании группы объектов

Возможность разделения аномального эффекта от двух или нескольких возмущающих объектов, расположенных близко друг к другу, — один из важных вопросов геофизических съемок.

При проведении геологической съемки кристаллических пород докембрия очень часто наблюдается крутое падение пластов. Если пласты различных пород дифференцированы по физическим свойствам, по аномальному эффекту на поверхности могут быть в общем случае определены параметры отдельных

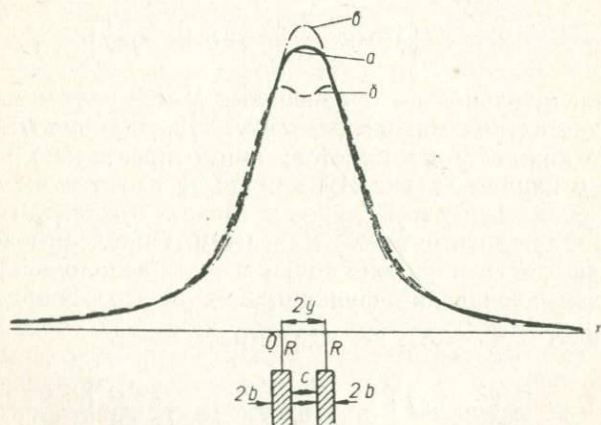


Рис. 12. Кривые Z над двумя вертикальными пластинами при различном расстоянии между ними: a — при $c=C_Z$; b — при $c>C_Z$; v — при $c<C_Z$.

пластов. Однако если в разрезе есть пачка пластов, то при незначительном расстоянии между пластинами, имеющими повышенную намагниченность по сравнению с вмещающими породами, на поверхности наблюдается недифференцированная кривая Z_a с одним плавным максимумом. При анализе ее можно сделать вывод, что в разрезе есть лишь один возмущающий объект.

Рассмотрим два вертикальных полубесконечных пласта при вертикальном направлении вектора намагниченности. Мощность каждого из пластов $2b$, мощность наносов над обоими пластинами одинакова и равна R , расстояние между центрами пластов равно $2y$ (рис. 12). Значение вертикальной составляющей земного магнитного поля над каждым из пластов определяется (1,1). Если в случае двух пластов начало координат принять в

центре левого пласта, то значение Z от правого пласта, очевидно, равно

$$Z = 2I \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x-2y+b}{R} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x-2y-b}{R} \right). \quad (5,1)$$

Тогда суммарное поле

$$Z = 2I \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x+b}{R} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x-b}{R} \pm \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x-2y+b}{R} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x-2y-b}{R} \right). \quad (5,2)$$

Для точки, равно удаленной от проекций центров обоих пластов на плоскость наблюдений, т. е. для точки, где $x=y$,

$$Z = 4I \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y+b}{R} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y-b}{R} \right). \quad (5,3)$$

При значительной по сравнению с R и b величине y кривая Z имеет два четких максимума (рис. 12, кривая b), соответствующих каждому из пластов; при относительно небольшой величине y кривая Z (рис. 12, кривая a) имеет один максимум. Следовательно, в первом случае в точке $x=y$ находится минимум кривой Z , во втором — максимум. Определим величину y для случая, когда в районе точки $x=y$ расположена область экстремальных значений функции Z . Для этого найдем вторую производную $\frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = Z''$. Из (5,3) имеем

$$\text{и} \quad \frac{\partial Z}{\partial y} = 4I \left[\frac{R}{R^2+(y+b)^2} - \frac{R}{R^2+(y-b)^2} \right] \quad (5,4)$$

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = 4I \left\{ \frac{-2R(y+b)}{[R^2+(y+b)^2]^2} + \frac{2R(y-b)}{[R^2+(y-b)^2]^2} \right\}. \quad (5,5)$$

При такой величине y , когда кривая Z переходит из одномаксимумной в двумаксимумную, вторая производная $\frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = 0$.

Согласно этому

$$y = \pm \sqrt{\frac{1}{3} [b^2 - R^2 \pm 2\sqrt{(R^2 + b^2)^2 - R^2 b^2}]}. \quad (5,6)$$

Как следует из условий поставленной задачи, значение y должно быть всегда положительно. Отсюда

$$y = \sqrt{\frac{1}{3} [b^2 - R^2 + 2\sqrt{(R^2 + b^2)^2 - R^2 b^2}]}. \quad (5,7)$$

Найдем для этого случая расстояние между двумя пластами C_Z .

Из рис. 12 следует, что $c=2y-2b$. Тогда

$$C_z = \sqrt{\frac{4}{3} [b^2 - R^2 + 2\sqrt{(R^2 + b^2)^2 - R^2 b^2}] - 2b}. \quad (5,8)$$

Таким образом, найден критерий расстояния между двумя вертикальными пластами C_z , при котором отдельные кривые Z , соответствующие каждому из пластов, сливаются в одну плавную кривую с экстремальной областью в районе точки $x=y$. Иначе говоря, когда $c=C_z$, в области максимальных значений кривая Z имеет небольшую горизонтальную «площадку» (кривая a на рис. 12).

Для упрощения практических расчетов критерия C_z автор совместно с В. Б. Бурьяновым составили таблицу зависимости величины C_z от параметров $2b$ и R (табл. 3) и номограмму (рис. 13) для функций $C=f(R)$ при различных значениях $2b$ и $C_z=f(2b)$ для различных величин R .

Как видно из табл. 3 и номограммы, при неизменной мощности пластов по мере увеличения глубины их залегания увеличивается и расстояние C_z между ними, при котором суммарная кривая Z имеет один максимум. При неизменной величине R увеличение мощности пластов $2b$ ведет к уменьшению величины критерия C_z .

До настоящего времени существовало мнение [85], что над свитой пластов получается кривая, подобная кривой над одним пластом, если расстояние между пластами меньше глубины их залегания. Однако, как следует из (5,8), эта зависимость более сложная, причем величина параметра C_z зависит как от R , так и от b . Например, для двух пластов согласно (5,8) кривая Z представлена одним максимумом при $2b=R$, если $C_z < 0,43R$, и при $2b=2R$, если $C_z < 0,15R$; величина C_z равна или больше R только при условиях, когда $2b < 1,67R$. Считалось также, что если эффект от свиты пластов общей мощностью $2b'$ представлен одномаксимумной кривой Z , то можно аппроксимировать всю свиту одним пластом с мощностью $2b'$ и намагниченностью этого пласта, равной среднему значению $I_{\text{ср}}$ для всей свиты.

Как показали наши исследования, если есть кривая Z_1 (рис. 14) от двух вертикальных однородно намагниченных по оси пластов, то можно подобрать такую кривую Z_2 от одного однородно намагниченного пласта, чтобы совпадали ветви кривых Z_1 и Z_2 , но в области экстремальных значений кривая Z_2 имеет большую величину, чем Z_1 . Если же подобрать один такой пласт, чтобы совпали максимальные значения кривой Z_3 от этого пласта и кривой Z_1 , то ширина кривой Z_3 меньше ширины кривой Z_1 .

Необходимо отметить, что кривая Z_2 соответствует одиночному пласту, параметры которого определены согласно имею-

Таблица 3

2b	R																		
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	300	400	500	600
5	2,2	7,3	12,8	18,4	24,0	30,0	41,3	52,9	64,4	76,0	87,5	99,0	110,5	168,3	226,0	—	—	—	—
10	0,8	4,3	9,2	14,5	20,0	25,6	36,9	48,3	59,8	71,3	82,7	94,2	105,7	163,4	221,0	—	—	—	—
15	0,3	2,5	6,4	11,3	16,0	22,0	32,8	44,0	55,3	66,8	78,3	89,7	101,1	158,6	216,0	—	—	—	—
20	0,1	1,6	4,5	8,7	13,3	18,5	29,0	40,0	51,2	62,6	73,8	85,2	96,6	154,0	211,0	—	—	—	—
25	—	1,0	3,2	6,6	11,0	15,5	25,6	36,3	47,6	58,5	69,7	80,9	92,3	149,4	207,0	—	—	—	—
30	—	0,6	2,1	5,0	8,8	13,0	22,6	32,7	44,0	54,4	65,6	76,8	88,2	145,1	202,0	—	—	—	—
40	—	0,3	1,1	3,0	5,6	9,0	17,3	26,7	36,9	47,4	58,2	69,0	80,0	136,3	193,0	—	—	—	—
50	—	0,1	0,8	2,0	3,7	6,3	13,3	21,7	31,0	41,0	51,4	61,9	72,6	128,0	184,5	298,8	414,0	528,8	644,0
60	—	—	0,4	1,2	2,6	4,5	10,0	17,6	26,0	35,3	45,1	55,2	65,6	120,1	176,0	290,2	404,6	519,4	633,5
70	—	—	0,1	0,7	1,8	3,2	7,8	14,0	21,7	30,2	39,5	49,2	59,2	112,6	168,0	—	—	—	—
80	—	—	—	0,5	1,2	2,2	6,0	11,5	18,2	26,0	34,7	44,0	53,4	105,4	160,0	272,6	386,5	501,2	616,0
90	—	—	—	0,4	1,0	1,7	4,7	9,2	15,2	22,2	30,3	39,1	48,2	98,2	152,5	264,6	—	—	607,0
100	—	—	—	0,3	0,6	1,2	3,6	8,0	12,5	19,0	26,5	34,6	43,3	92,2	145,2	256,0	369,1	483,1	597,5
150	—	—	—	—	—	0,4	1,3	3,0	5,4	9,0	13,5	19,0	25,4	63,6	112,8	218,5	328,0	440,0	553,0
200	—	—	—	—	—	—	—	1,0	2,5	4,5	7,2	11,0	16,0	45,4	86,6	184,3	290,5	400,3	512,0
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	2,0	3,7	5,7	21,5	50,0	130,0	226,0	327,0	440,0
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,5	3,0	11,5	30,0	90,0	173,0	267,5	369,0
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	8,0	20,0	63,0	133,0	217,0	310,0
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,5	11,6	45,0	100,0	176,0	260,0

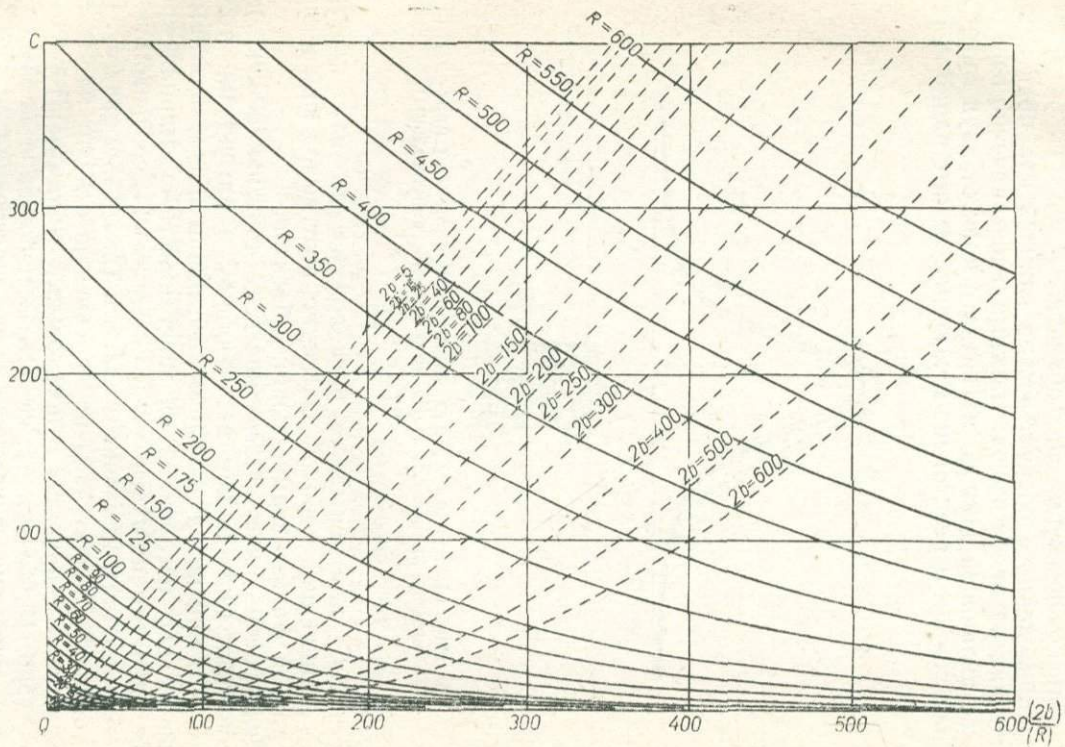


Рис. 13. Номограмма C_7 .

щимся рекомендациям для свиты пластов. Следовательно, суммарный эффект от двух пластов нельзя аппроксимировать кривой, соответствующей эффекту от любого одиночного пласта. Отсюда вытекает принципиальная возможность при трансформации такой суммарной кривой в нижнее полупространство разделять оба возмущающих объекта.

Из приведенного следует весьма важный для практики геофизических разведок вывод: максимальное значение вертикальной составляющей земного магнитного поля от двух вертикальных пластов, если расстояние между пластами c равно величине

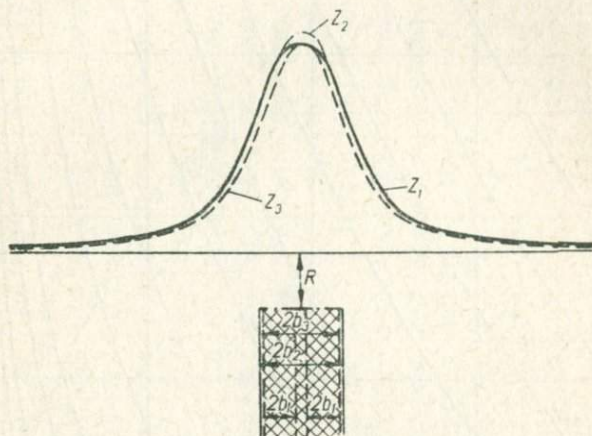


Рис. 14. Кривая Z_1 над двумя вертикальными пластами и кривые Z_2 и Z_3 над одним вертикальным пластом.

критерия C_z или меньше ее, расположено не над пластами, а над вмещающей породой. Очевидно, этот вывод справедлив и для другой формы возмущающих объектов.

Если рассматривать магнитное поле двух наклонных полубесконечных пластов при вертикальном намагничении, то очевидно, что при незначительном расстоянии между пластами $2y$ по сравнению с глубиной их залегания R суммарная кривая имеет один четкий максимум и внешний вид, соответствующий кривой над одним наклонным пластом (рис. 15, кривая σ). Если расстояние $2y$ значительно по сравнению с R , то на пологой части кривой Z появится относительный минимум второго порядка (рис. 15, кривая δ), свидетельствующий о наличии двух пластов. Очевидно, существует такое расстояние $2y$, при котором этот минимум выполаживается и приобретает сходство с описанной выше «площадкой» для двух вертикальных пластов; только «площадка» в случае наклонных пластов располагается наклонно (рис. 15, кривая a).

Специально для двух наклонных пластов теоретическое определение критерия C_Z не проводилось. Но использование C_Z , вычисленного для двух вертикальных пластов, показало, что в пределах точности вычислений им вполне можно пользоваться и при двух наклонных пластах.

Нами также было качественно проанализировано поле трех вертикальных пластов при вертикальном их намагничении (рис. 16). В этом случае вид графиков более сложный. При сравнительно небольшой мощности наносов, по сравнению с расстояниями между пластами, кривая Z имеет вид своеобразного три-

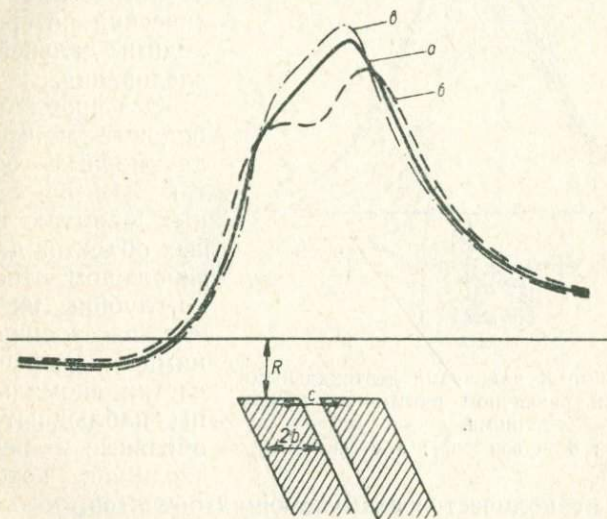


Рис. 15. Кривые Z над двумя наклонными пластами при различном расстоянии между ними:
 a — при $c=C_Z$; b — при $c>C_Z$; v — при $c<C_Z$.

зубца (рис. 16, кривая b), при относительно глубоком залегании пластов кривая Z (рис. 16, кривая v) приобретает вид графика над одним пластом, но все же при внимательном рассмотрении кривой видно, что в зоне максимума она имеет более «тупой» вид, чем кривая от одного пласта. Как и в случае двух пластов, нельзя подобрать какую-нибудь кривую над одним пластом, которая совпала бы с кривой над тремя пластами при относительно глубоком залегании пачки. При этом наблюдаются закономерности, полученные при анализе магнитного поля двух пластов.

Если расстояния между пластами соответствуют критерию C_Z для двух пластов, на аппроксимирующей кривой появляются две «площадки» (рис. 16, кривая a), расположенные наклонно по обе стороны от максимального значения кривой.

Таким образом, критерий C_Z , оказывается, может найти применение и при более сложной, чем два вертикальных пласта, комбинации возмущающих объектов.

Очевидно, что более сложная зависимость критерия C_Z от параметров возмущающих объектов и мощности наносов наблюдается, если таких объектов большое количество и параметры их разные. В связи с тем, что вопрос представляет значительный теоретический и практический интерес, необходимы дальнейшие исследования.

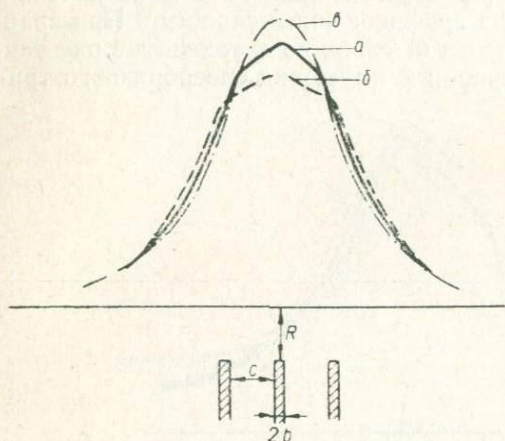


Рис. 16. Кривые Z над тремя вертикальными пластами при различном расстоянии между ними.

a — при $c=C_Z$; b — при $c>C_Z$; c — при $c<C_Z$.

указывают на количество возмущающих объектов.

Если есть большое количество незначительных по размерам относительно мощности наносов тел, очевидно, нельзя разделить поля, обусловленные каждым из объектов, и тем самым выделить их. В этом случае пачка из многих пластов может быть представлена как один пласт со средним значением $I_{ср}$ для всей свиты. Аналогично — при наличии многочисленных даек под мощным чехлом осадочных отложений, когда нет возможности выделить эффект от каждой дайки, породы, вмещающие их, следует рассматривать как породы, имеющие измененные физические свойства по сравнению с такими же неинъецированными.

Если количество одинаковых объектов четное, то при небольшом расстоянии между ними, по сравнению с их мощностью и глубиной залегания, значение Z_{max} располагается над вмещающей породой. Поэтому, если проводить проверочное бурение для выяснения природы возмущающих объектов на точках с максимальным значением поля без анализа количества возмущающих объектов и их взаимного расположения, можно вместо искоемых объектов вскрыть скважиной вмещающие по-

Эта проблема имеет большее значение для двумерных объектов, так как при площадных съемках трехмерных объектов даже при небольшом, относительно глубины их залегания, расстоянии между ними в периферических частях аномальной зоны наблюдаются своеобразные пережимы изолиний, которые и

роды. Такие случаи в практике геологоразведочных работ встречаются (например, в Приазовье у с. Андреевки). Они могут привести к дискредитации метода магнитной съемки для решения тех или иных геологических задач. С другой стороны, предположение о том, что каждая аномалия вызвана одним

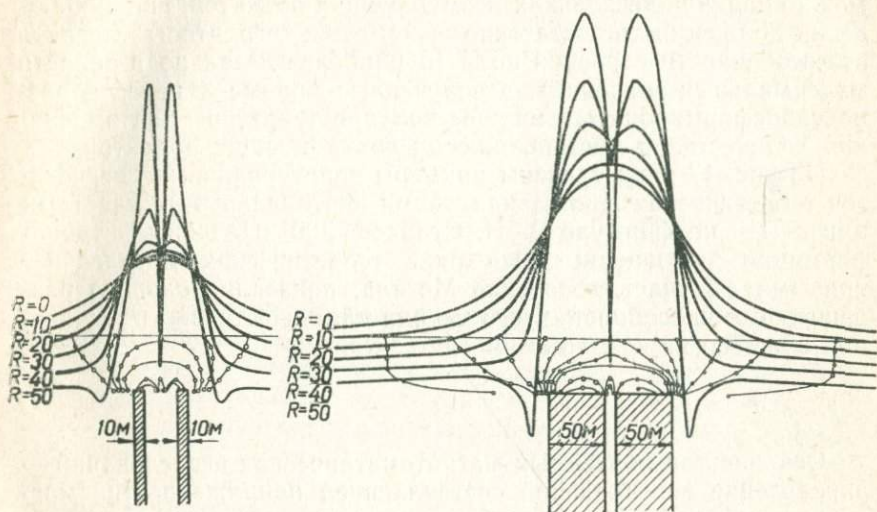


Рис. 17. Примеры пересчета в нижнее полупространство теоретических кривых Z над двумя вертикальными пластинами при $c < C_z$.

возмущающим объектом, и в то же время вскрытие в пределах одной аномалии двух различных пород (что встречается на практике) часто заводят исследователей в тупик. Например, известны случаи, когда, не найдя объяснения подобным фактам, авторы отчета объяснили природу аномалии наличием обеих пород (что, очевидно, верно), но контакт между породами проводили только по данным бурения, в результате чего на картах местоположение контакта оказывалось в зоне максимальных значений поля.

Магнитометрические исследования автора и геологоразведочные работы Г. Г. Конькова, проведенные в 1962 г. на участке Зеленая Могила в западном Приазовье, показали, что этот массив представляет собой не сплошное тело основных пород, как предполагалось ранее, а вертикальнослоистую среду, в которой перемежаются пласты основных пород и гнейсово-мигматитовой толщи. Можно предполагать, что многие небольшие массивы основных пород имеют аналогичное строение. Для расшифровки структуры таких массивов целесообразно применять геофизические методы, в частности магнитометрию. Однако при незначительной мощности пластов, по сравнению с глуби-

ной их залегания, дифференцированных графиков Z_a получить нельзя. Неправильное представление о геологическом строении изучаемых объектов можно получить и при редком шаге наблюдений.

Поэтому при проведении исследований на участках, где возможно наличие нескольких возмущающих объектов, шаг наблюдений должен быть достаточно густым для того, чтобы выяснить все особенности строения поля (и наиболее детально в области максимальных значений), а полученные кривые Z целесообразно трансформировать в нижнее полупространство для выяснения количества и местоположения возмущающих объектов.

На рис. 17 представлены примеры поинтервальных пересчетов теоретических кривых над двумя вертикальными пластинами при $c < C_z$ по формуле В. Н. Страхова [90]. Подобные трансформации, выполненные для ряда теоретических моделей и с кривыми ΔZ участка Зеленая Могила, показали большую разрешающую способность этого метода для качественного выявления каждого из возмущающих объектов.

* *
*

Основной вид наземных магнитометрических исследований — определение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Z_a . Из многочисленных магнитометров для измерений Z_a наиболее распространены различные конструкции магнитных весов. В Советском Союзе чаще всего применяется магнитометр М-2, которым выполнены почти все наземные съемки. Успехи приборостроения в последние годы позволили создать ряд новых конструкций магнитометров как в СССР (М-17, М-18, М-23 и др.), так и за рубежом («Арвела», «Фанзелау» и др.).

В последние годы «Арвела» и «Фанзелау» начали применять и в Приазовье, причем магнитометр «Арвела» внедрялся автором и при высокой производительности вполне удовлетворял требованиям точности.

Так, совместно с сотрудниками УкрНИГРИ Л. А. Абрамовым проводились наблюдения по одному контрольному маршруту со 100%-ным повторением приборами М-2 ($\varepsilon_z = 14,1$ гаммы), «Фанзелау» ($\varepsilon_z = 10,1$ гаммы), «Арвела» ($\varepsilon_z = 20,0$ гаммы). Внутренняя сходимость наблюдений по каждому из приборов характеризовалась следующими показателями: М-2 — 4,1; «Фанзелау» — 3,8; «Арвела» — 4,8 гаммы. Средняя квадратическая ошибка измерений при сравнении наблюдений приборами М-2 и «Фанзелау» оказалась 5,5 гаммы, М-2 и «Арвела» — 5,4 гаммы, «Арвела» и «Фанзелау» — 4,0 гаммы. Учитывая, что устанавливать цену деления ε_z в магнитометрах М-2 менее 15—13 гамм, как показывает опыт, нецелесообразно, можно сде-

лать вывод, что для производства наземных магнитометрических наблюдений лучше всего применять приборы «Фанзелау» (для высокоточных измерений) и «Арвела», так как при сохранении достаточно высокой точности съемка с этим прибором наиболее производительна.

Для решения ряда задач может представить значительный интерес определение вертикальных градиентов поля Z_a , которые могут достигать довольно больших значений. Так, при съемке в районе Зеленой Могилы над ультраосновными породами, обогащенными магнетитом, автор с помощью приборов М-17 и «Арвела» получил значения вертикального градиента до 6000 гамм/м. Согласно расчетам, глубина залегания верхней кромки тела составляет несколько десятков сантиметров, что и было подтверждено геологоразведочными работами.

В некоторых случаях представляет интерес измерение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля H_a . Такие наблюдения, очевидно, в небольших объемах целесообразно проводить при детализационных исследованиях.

Хотя попытки применения в Приазовье микромагнитной съемки и производились, однако достаточно убедительных результатов получить не удалось в основном из-за расположения площадок не в оптимальных условиях. Одновременно следует указать, что, как сообщил в беседе профессор Лаутербах, круг задач и возможности этого вида съемки для решения различных вопросов строения кристаллических и осадочных пород при благоприятных условиях могут быть значительно расширены.

Б. ГРАВИМЕТРОВАЯ СЪЕМКА

§ 6. О выборе рациональной сети наблюдений

К настоящему времени вся интересующая нас территория открыта поисковой гравиметровой съемкой, и поэтому вряд ли следует уделять много внимания вопросам методики полевых работ в этом масштабе. Необходимо, однако, отметить, что плотность наблюдений один пункт на два и более квадратных километра и низкая (по сравнению с современными требованиями) точность работ, позволявшая составлять карты с сечением в 2 мгл, не дают возможности достаточно эффективно использовать материалы этой съемки при геологическом картировании масштаба 1 : 50000.

В последние годы в Приазовье проводятся гравиметровые съемки крупных масштабов. Перед этими съемками ставятся те же основные задачи, что и перед магнитометрией. Необходимо отметить следующее. Если магнитные аномалии создаются

неоднородностями петрографического состава пород докембрийского фундамента, на интенсивность которых влияет мощность наносов, то гравитационные аномалии вызываются неоднородностями нижнего, среднего и верхнего структурных этажей. Большое значение имеет то обстоятельство, что при магнитометрических исследованиях измеряется величина Z , пропорциональная второй производной гравитационного потенциала, а в результате гравиметровой съемки определяются значения первой производной гравитационного потенциала. Вследствие этого гравиметровая съемка более чувствительна к глубинным объектам, а магнитная — к расположенным неглубоко от поверхности наблюдений. Отсюда вытекает, что при проведении геологического картирования необходимо комплексировать гравиметровую и магнитную съемки, а не ограничиваться только последней. В то же время, учитывая значительно большую стоимость гравиметровой съемки по сравнению с магнитной и более высокую чувствительность первой к глубинным объектам, вряд ли рационально в помощь геологическому картированию проводить гравиметровые наблюдения согласно критериям, определенным для магнитометрии.

Так, О. Л. Тарунина [96], рассматривая условия, определяющие целесообразность применения различных гравиметрических приборов при производстве детальных съемок, исходя из достигнутой точности наблюдений с гравиметром и вариометром, показала зависимость между типом применяемого прибора и глубиной залегания возмущающего объекта. Для расчетов О. Л. Тарунина приняла точность наблюдений с гравиметром $\pm 0,10$ мгл, с вариометром ± 3 этвеш и получила, что при шарообразном распределении масс возмущающего объекта лучше всего, начиная с глубин 290 м, вести наблюдения с гравиметром, а при меньших глубинах — с вариометром. Для двухмерных тел эта величина уменьшается в 1,5—3 раза. Следовательно, при глубинах возмущающих объектов менее 100 м эффективнее съемка с вариометром. Учитывая, что в Приазовье мощность наносов превышает 100 м лишь в отдельных районах, да к тому же аномальный эффект может быть обусловлен неоднородностями в этих наносах, здесь нужно применять вариометры. Однако значительно большая стоимость наблюдений с вариометром, по сравнению с гравиметровой съемкой, указывает на рациональность применения для широких площадных исследований именно гравиметров.

Рассмотрим, исходя из принципов, изложенных в § 1 для магнитной съемки, вопросы выбора рациональной сети гравиметровых наблюдений.

Для вертикального полубесконечного стержня [3]

$$\Delta g = \frac{f\Omega}{\sqrt{R^2 + x^2}}, \quad (6,1)$$

где R — мощность наносов. В этом случае значение x_1 , где $\Delta g = \frac{1}{2} \Delta g_{\max}$ составляет $1,73 R$. На основании рассуждений, аналогичных приведенным в § 1, получаем следующее. Чтобы в пределах области, ограниченной значениями $\frac{1}{2} \Delta g_{\max}$ получить минимум три-четыре наблюдения, следует проводить съемку по квадратной сети с расстояниями между сторонами квадрата $1,73 R$, т. е. в 2,25 раза более редкой, чем при магнитной съемке. Средняя квадратическая ошибка съемки ϵ при этом должна составлять не более половины значения Δg_{\max} . Если же принять условие, что $\Delta g_{\max} \geq 3\epsilon$, то расчеты показывают, что аномалия достоверно фиксируется при $a_1 = 2,8 R$.

Таблица 4

$\frac{R_2}{R_1}$	$\frac{2b}{R_1}$	$\frac{x_1}{R_1}$
1,2	0,2	1,1
2,0	0,2	1,45
2,0	1,0	1,5
3,0	0,2	1,7
4,0	0,2	2,0
5,0	0,1	2,2
5,0	0,2	2,2
5,0	1,0	2,3
5,0	2,0	2,5
6,0	1,0	2,5
10,0	0,2	3,0

Теперь рассмотрим поле вертикального пласта мощностью $2b$. Очевидно, в данном случае нельзя принимать его простираение на глубину бесконечным, так как Δg при этом обращается в бесконечность, обнаруживая очень сильную чувствительность к глубине залегания нижней кромки пласта R_2 . Аналитическое выражение Δg в этом случае достаточно сложно, и аналитических способов решения обратной задачи в общем виде нет; прямая же задача решается табличным способом, разработанным Ф. Венинг-Мейнесом [11]. Мы рассмотрели ряд числовых примеров определения методом подбора при помощи таблиц величины расстояния x , на котором интенсивность аномалии уменьшается вдвое. Для этого в формулу

$$\Delta g = \sigma \left| RA(\mu) \begin{vmatrix} x_2 R_2 \\ x_1 R_1 \end{vmatrix} \right|, \quad (6,2)$$

где $\mu = \frac{x}{R}$, $A(\mu) = b(\mu \ln \frac{1+\mu^2}{\mu^2} + 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \mu)$ и подставлялись значения x_1 , x_2 , R_1 , R_2 согласно выбранным условиям, причем величины $A(\mu)$ находились по соответствующей таблице [3]. При вычислениях параметр x_1 определялся в долях глубины залегания верхней кромки тела R_1 . На основании полученных расчетов, результаты которых сведены в табл. 4, выяснено, что при постоянной величине отношения $R_2 : R_1$ значения x_1 мало зависят от соотношения $2b : R_1$. Так, если $R_2 : R_1 = 5$, при $2b : R_1 < 1$ $x_1 = 2,2R_1$, при $2b : R_1 = 1$ $x_1 = 2,3R_1$, а при $2b : R_1 = 2$ $x_1 = 2,5R_1$. В то же время при неизменной величине отношения $2b : R_1$ значения x_1 находятся в прямой зависимости от увеличения отношения $R_2 : R_1$. Для $2b : R_1 = 0,2$ величина x_1 изменяется от $3,0R_1$ при $R_2 : R_1 = 10$ до $1,1R_1$ при $R_2 : R_1 = 1,2$. Интерес-

но отметить, что если вертикальные и горизонтальные размеры тела одинаковы, то $x_1 = R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2}$, т. е. равняется x_1 горизонтального цилиндра.

Таким образом, на основании приведенных расчетов видно, что если искомые объекты имеют вертикальные размеры, превышающие мощность наносов в четыре раза, величина x_1 составляет не менее $2,2R_1$, увеличиваясь или уменьшаясь по мере

возрастания или убывания отношения $R_2:R_1$. При геофизических съемках докембрийских щитов кристаллический фундамент в первом приближении можно рассматривать как вертикально-слоистую среду. В ней при относительно небольшой горизонтальной мощности тел практически можно считать, что в большинстве случаев вертикальные размеры не менее чем в пять раз превышают мощность наносов. При этом для достоверного выявления пластов любой малой мощности достаточен поисковый шаг $a_v = 2R_1$, если только величина аномального эффекта удовлетворяет условию $\Delta g_{\max} \geq 2\epsilon$.

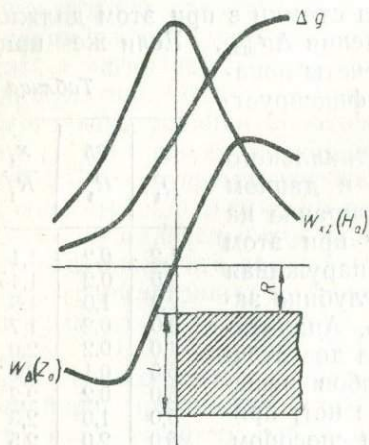


Рис. 18. Кривые Δg , $W_{xz}(H_a)$ и $W_{\Delta}(Z_a)$ над вертикальным уступом.

ны его сочленения с соседними регионами, как показано рядом исследователей, кристаллический фундамент характеризуется блоковым строением. Очевидно, над границей блоков, сложенных породами различной плотности, или при различном гипсометрическом уровне поверхности одних и тех же пород аномальный эффект можно рассматривать как обусловленный уступом. Если значение Δg над краем вертикального уступа мощностью l (рис. 18) обозначить ϵ , то расстояние x , где Δg составляет 1,5 или 0,5 ϵ , равно мощности наносов над верхней гранью уступа R_1 . Однако в данном случае вряд ли целесообразно ставить шаг съемки в зависимость от мощности наносов, как это делает для вертикального уступа О. Л. Тарунина, считая, что для выявления аномалии над уступом не менее чем тремя точками шаг съемки с гравиметром следует брать равным R_1 .

Действительно, горизонтальные размеры блоков, как правило, во много раз превышают мощность наносов, и для того,

чтобы выявить блок, вполне достаточно сеть, такая же, как при поисках вертикальных призм.

На основании изложенного следует, что для обнаружения геологических тел любой малой мощности при значительных вертикальных размерах объектов по сравнению с мощностью наносов (что в пределах кристаллических щитов большей частью выполняется) вполне достаточно поисковый шаг наблюдений a_V , равный удвоенной мощности наносов R_1 , если для двухмерных тел выполняется условие $\Delta g_{\max} \geq 2\epsilon$, а для трехмерных — $\Delta g_{\max} \geq 2,25\epsilon$. Если же вертикальные размеры тела соизмеримы с мощностью наносов, то, как показывают расчеты, при $a_V = 2R_1$ аномалии достоверно выделяются, если $\Delta g_{\max} \geq 3\epsilon$. Так, из расчетов по формуле (6,2) следует, что если $R_2 : R_1 = 2$ и $x = 2R_1$, величина Δg_x при $2b : R_1 = 1,0$ составляет $0,36 \Delta g_{\max}$, а при $2b : R_1 = 0,2$ — $0,39 \Delta g_{\max}$. И лишь при вертикальных размерах, значительно меньших мощности наносов, эти тела достоверно выделяются при $a_V = 2R_1$, если Δg_{\max} превышает среднюю квадратическую ошибку съемки более чем в три раза, но практически не более четырех раз. Следовательно, можно считать (с учетом указанных ограничений), что при гравиметровой съемке рациональный поисковый шаг наблюдений должен равняться удвоенной мощности наносов, т. е.

$$a_V = 2R_1. \quad (6,3)$$

По аналогии с анализом сети магнитной съемки рациональный интерпретационный шаг наблюдений гравиметровой съемки \bar{a}_V должен быть в пять раз гуще, чем рациональный поисковый шаг, т. е.

$$\bar{a}_V = 0,2a_V = 0,4R_1. \quad (6,4)$$

Таким образом, рациональный поисковый шаг гравиметровой съемки вдвое больше, чем магнитной. При определении рационального поискового шага мы исходили из того, что в пределах аномальной области, где интенсивность поля равна половине максимальной величины или превышает ее, по профилю было выполнено минимум два наблюдения. Как видно из анализа полей Z и Δg над аналогичными объектами, эта область в гравитационном поле более чем в два раза шире таковой в магнитном поле. Отсюда следует, что в гравитационном поле визуальное разделение аномального эффекта от двух или нескольких близко расположенных друг к другу возмущающих объектов возможно при расстояниях между этими объектами, более чем вдвое превышающих величину предельного расстояния, при котором в магнитном поле еще можно визуально разделять аномальные эффекты, обусловленные этими объектами.

Так как невозможно рассмотреть поля полубесконечных вертикальных пластов и нет разработанных способов решения задачи для пластов конечного простирания, аналитически найти критерий C_V в гравитационном поле (аналогично с определенным в § 5) не представляется возможным. Поэтому для практических расчетов можно принять, что при расстояниях между пластами, менее чем вдвое превышающих величину критерия C_Z , определяемого для магнитного поля, в гравитационном поле визуально разделить эффект от каждого пласта невозможно.

Таким образом, в первом приближении можно считать, что гравиметровая съемка, обладая большей глубинностью, характеризуется вдвое большим рациональным поисковым шагом и вдвое меньшей разрешающей способностью в отношении разделения аномального эффекта от группы возмущающих объектов, чем магнитная. Дифференциация пород кристаллического фундамента по плотностным свойствам значительно меньшая, чем по магнитным, и относительная точность съемки (по сравнению с интенсивностью создаваемых аномалий) в магнитометрии выше, чем в гравиметрии. Таким образом, при комплексировании геофизических методов в помощь среднемасштабному геологическому картированию перед этими двумя методами можно ставить несколько различные цели. Задачей магнитометрии, учитывая и разрешающую способность метода и относительную экономичность съемки, следует считать детальное расчленение пород кристаллического фундамента по составу, выделение крупных и мелких разломов, складчатых форм пород докембрия. В задачу же гравиметровой съемки целесообразно включать в первую очередь изучение более-менее крупных структурных элементов докембрийского фундамента и вышележащих ярусов, исследование строения и состава кристаллического фундамента ниже уровня эрозионного среза. Благодаря этому основными объектами поисков гравиметровой съемки являются тела больших вертикальных и горизонтальных размеров, чем при магнитной съемке. Следовательно, на значительной части территории Приазовья поисковую сеть гравиметровой съемки можно разредить по сравнению с рациональным поисковым шагом a_V . Небольшой опыт работ этим методом в средних масштабах показал, что гравиметровую съемку в Приазовье наиболее целесообразно применять на участках сложного геологического строения докембрийского фундамента, а также в зонах сочленения Приазовского массива с окружающими регионами, где в условиях блокового строения и относительно глубокого залегания поверхности кристаллического фундамента магнитометрия менее эффективна, чем непосредственно на щитах. На отдельных участках возможно сгущение сети гравиметровой съемки.

Так как перед гравиметровой съемкой в данном случае не ставится задача детального расчленения пород кристаллического фундамента, отпадает и основной довод в пользу прямоугольной сети наблюдений. Учитывая же относительно меньшую разрешающую способность гравиметровой съемки к дифференцированному выделению аномального эффекта от отдельных возмущающих объектов, а также значительное влияние регионального фона, необходимо проводить трансформации наблюденного поля, которые наиболее просто выполнять при квадратной сети наблюдений. В пользу такой сети можно также привести еще ряд доводов, указанных при обосновании поисковой сети магнитной съемки. В отличие от съемки масштаба 1 : 200 000 — 1 : 100 000, более крупномасштабные исследования нужно вести по топографической сети, а не ограничиваться средней плотностью наблюдений.

Расстояние между точками наблюдений при съемке масштаба 1 : 50 000 следует выбирать 500 м, 1 : 25 000 — 250 м, 1 : 10 000 — 100 м со сгущением шага до рационального поискового по каждому 5—10-му профилю. На наиболее сложных и интересных по геологическому строению участках необходимо предусматривать детализационные исследования, как площадные, так и по сериям отдельных профилей. При этом, если перед съемкой ставятся поисковые задачи, наблюдения следует проводить с рациональным поисковым шагом, а если она проводится для целей количественной интерпретации — с рациональным интерпретационным шагом. В то же время, учитывая лучшую разрешающую способность гравиразведки с измерением вторых производных при детализационных работах, объем детализационных гравиметрических наблюдений можно довести до 5 — не более 10%.

Аналізу источников погрешностей, оценке точности гравиметрических наблюдений большое внимание уделили А. К. Маловичко [60, 61] и ряд других авторов; поэтому мы на данных вопросах не останавливаемся.

§ 7. К вопросу уравнивания гравиметровых сетей

Вопрос уравнивания гравиметровых сетей рассмотрен автором совместно с В. И. Старостенко [43]. При гравиметровых съемках обширных площадей полевые наблюдения, как правило, выполняются в три этапа. В начале создается редкая сеть каркасных пунктов, к которым привязывается опорная сеть; рядовые рейсы опираются на пункты последней. Каркасные и опорные сети подвергаются уравниванию, причем применяемая во многих производственных организациях методика уравнивания имеет существенные недостатки.

Так, уравнивание каркасной и опорной сетей ведется по-разному. Основанием для этого служит якобы значительно большая точность создания каркасной сети по сравнению с опорной. Это было бы справедливо в том случае, если бы каркасная сеть обрабатывалась значительно более точной аппаратурой или если бы количество наблюдений (связей) между каркасными пунктами было намного больше, чем между опорными.

На практике же технические условия производства наблюдений при развитии обеих сетей идентичны, т. е. при одинаковой методике наблюдений применяется одна и та же аппаратура. Различие состоит лишь в том, что каркасная сеть создается обычно с помощью авиатранспорта, а опорная — с помощью автотранспорта.

Хотя при создании каркасной сети количество связей между пунктами обычно несколько больше, чем между опорными, это незначительно повышает точность каркасной сети. Действительно, согласно теории вероятностей [111], точность независимого определения пункта (связи) пропорциональна не количеству наблюдений на пункте (связи) m , а корню квадратному из m . Так как m_k каркасной сети не намного больше m_o опорной сети, то отсюда следует, что точности создания обеих сетей соизмеримы. Поэтому нам кажется более целесообразным проводить уравнивание и опорной и каркасной сетей одновременно, учитывая больший вес каркасных связей.

Многими исследователями вес связи P_i при уравнивании принимается пропорциональным количеству наблюдений m . Как мы уже указывали, согласно теории вероятностей более правильно принять, что

$$P_i = \sqrt{m_i}. \quad (7,1)$$

При отдельной методике уравнивания вес каркасных связей по отношению к весу опорных связей принимается равным бесконечности. Низкая точность определения одного или нескольких каркасных пунктов может перекосить опорную сеть и изменить истинный уровень значений поля на опорных пунктах. Это в свою очередь может привести к искажению полей изучаемых объектов и отразиться на правильности интерпретации геофизических материалов. Если даже при развитии каркасной сети точность определения пунктов высока, то она не намного превышает точность создания опорной сети, и нет никаких оснований абсолютизировать эти значения, считая, что при развитии опорной сети погрешности в определении каркасных пунктов можно не учитывать.

Отсюда следует вывод: каркасную сеть нужно рассматривать как часть опорной и уравнивать их как единое целое.

Тогда возникает вопрос, нужна ли вообще каркасная сеть

или достаточно одной опорной? Для получения ответа рассмотрим следующий случай. Мы можем передать значение поля из точки A в точку B или непосредственно, или через ряд промежуточных пунктов C, D, E (рис. 19), причем связи AC, CD и т. д. выполнены в различных рейсах и, таким образом, независимы. Примем, что возможная ошибка при непосредственной передаче значений поля из одного пункта в любой другой не зависит от расстояния между пунктами, т. е. вероятная ошибка наблюдения по любой связи одинаковая. Обозначим ее через μ . Тогда возможная ошибка непосредственной передачи значений поля из пункта A в пункт B ξ_{AB} равна μ . Если же наблюдения проводились по n связям, то возможная ошибка передачи Θ , согласно теории вероятностей,

$$\Theta = \mu \sqrt{n}. \quad (7,2)$$

Следовательно, по сравнению с точностью непосредственной передачи точность передачи через n дополнительных связей уменьшается в \sqrt{n} раз.

Рассмотренная закономерность справедлива в том случае, если по каждой связи выполнено одно и то же количество наблюдений и вес всех связей одинаков. При различном количестве наблюдений необходимо учитывать вес каждой связи: чем выше вес связи P_i , тем меньшую ошибку мы допустим при непосредственной передаче значений между двумя пунктами, т. е.

$$\xi = \frac{\mu}{P_i}, \quad (7,3)$$

или, согласно (7,1),

$$\xi = \frac{\mu}{\sqrt{m_i}}. \quad (7,4)$$

Значит, возможная ошибка при непосредственной передаче значений поля из A в B ξ_{AB}

$$\xi_{AB} = \frac{\mu}{P_{AB}} = \frac{\mu}{\sqrt{m_{AB}}}. \quad (7,5)$$

Если же значения поля передавались через n пунктов, то согласно теории вероятностей можно определить возможную ошибку передачи Θ_{AB}

$$\Theta_{AB} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2}. \quad (7,6)$$

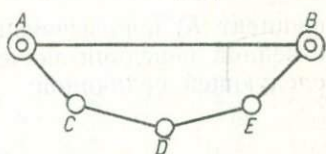


Рис. 19. Схема непосредственной и косвенной передачи значений поля.

Учитывая (7,4), получаем

$$\Theta_{AB} = \mu \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{P_i^2}} = \mu \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i}}. \quad (7,7)$$

Определим теперь отношение ошибок $\frac{\xi_{AB}}{\Theta_{AB}}$ непосредственной и косвенной передач значения поля между двумя пунктами A и B , которое обозначим $\frac{1}{K}$. Тогда согласно (7,5) и (7,7) коэффициент K , показывающий, во сколько раз точность непосредственной передачи значений поля выше косвенной, выражается следующей величиной:

$$K = \frac{\Theta_{AB}}{\xi_{AB}} = \frac{\mu \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i}}}{\frac{\mu}{\sqrt{m_{AB}}}} = \sqrt{m_{AB} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i}}. \quad (7,8)$$

В том случае, если количество наблюдений по всем связям одинаковое,

$$K_1 = \sqrt{n}. \quad (7,9)$$

При одинаковом числе наблюдений по промежуточным n звеньям получаем

$$K_2 = \sqrt{n \frac{m_{AB}}{m_i}}. \quad (7,10)$$

Из последнего соотношения вытекает интересное следствие: при $K_3=1$

$$m_i = n m_{AB}, \quad (7,11)$$

т. е. для достижения одинаковой точности при косвенной передаче значений поля через n пунктов нужно на каждой связи выполнить в n раз больше наблюдений, чем при непосредственной передаче из пункта A в пункт B .

Интересно также вычислить согласно (7, 10) отношение количества необходимых наблюдений между пунктами A и B к количеству наблюдений между n промежуточными пунктами в зависимости от числа этих пунктов при заданной заранее величине K . В табл. 5 представлены величины m_{AB} при $K=1, 2, 3, 4$.

Из изложенного видно, что при неизменном количестве промежуточных связей и наблюдений на каждой связи для повышения точности непосредственной передачи значений поля в l

раз количество наблюдений на этой связи нужно увеличить в l^2 раз.

Уравнение (7,7) показывает, что если в каком-нибудь пункте (или пунктах) съемки имеется жесткое значение поля, то чем больше связей от жесткого пункта до определяемого опорного пункта, тем менее точно определено истинное значение поля на последнем пункте. Таким образом, к периферическим от жестких пунктов участкам съемки происходит накопление ошибок. Этим, очевидно, и можно объяснить часто встречаемое в практике явление, когда на границе двух съемок, выполненных с определенной вполне допустимой точностью, наблюдается расхождение в уровнях съемок, в несколько раз превышающее точность съемки.

Действительно, подсчитывая средние квадратические ошибки съемок, мы обычно оперируем невязками определения опорных пунктов или разностями значений поля между двумя опорными пунктами. Здесь не учитывается накопление ошибок при передаче значений поля через большое количество связей (или полигонов) от жесткого пункта к опорным на периферии участка. Чтобы избежать этого, можно рекомендовать выполнить на участке съемки ряд рейсов, связывающих отдаленные опорные пункты (подобно применяемой сейчас каркасной сети). Рейсы следует выполнять по обычной методике, которая применяется для развития опорной сети, с включением связей по узловой системе в общую схему уравнивания.

Точность передачи значений поля по таким связям, как правило, выше, чем при передаче через несколько промежуточных опорных пунктов. Поэтому можно, пользуясь приведенными отношениями, определить, насколько возможная ошибка каркасной связи отличается от таковой при посредственной передаче значений поля через несколько пунктов.

Методика совместного уравнивания опорной и каркасной сетей и методика выполнения внеполигонных связей успешно опробована Г. С. Бутаковым, С. С. Красовским и В. И. Старостенко в различных районах Украины при проведении гравиметрических съемок.

Обработка внеполигонных связей может быть также рекомендована при проведении магнитных съемок с созданием сети магнитных реперов. Необходимо отметить, что создаваемая при магниторазведочных работах опорная сеть по магистралям не может быть подвергнута уравниванию и указанные рекомендации применить нельзя.

Таблица 5

n	$m_{AB} : m_i$			
	K=1	K=2	K=3	K=4
2	0,50	2,00	4,50	8,00
3	0,33	1,33	3,00	5,33
4	0,25	1,00	2,25	4,00
5	0,20	0,80	1,80	3,26
6	0,17	0,67	1,50	2,67
7	0,14	0,57	1,29	2,29
8	0,12	0,50	1,12	2,00
9	0,11	0,44	1,00	1,78
10	0,10	0,40	0,90	1,60

Очевидно, при наличии внеполигонных связей вести уравнивание сетей методом полигонов не представляется возможным, и тогда следует применять метод узлов. Необходимо отметить, что вообще при уравнивании целесообразно пользоваться не методом полигонов, а методом узлов [53]. Последний, как один из наиболее гибких и объективных методов, позволяет использовать все связи, которые могут встречаться в геофизической практике развития опорных сетей. В то же время он имеет надежные автоматические методы контроля в самом процессе уравнивания.

Для ускорения уравнивания можно воспользоваться предложенным автором приемом. Как известно, при уравнивании по методу узлов вначале определяется вероятнейшее значение на всех пунктах уравниваемой сети. Пусть пункт A связан с пунктами B , C и D . Приращение поля между звеньями сети обозначим через L_{ik} , а их веса — через P_{ik} . Значение поля в любой точке сети равно значению поля в соседней точке плюс приращение поля между этими точками L_{ik} , т. е.

$$g_k = g_i + L_{ik}. \quad (7,12)$$

Тогда в точке A вероятнейшее значение поля \bar{g}_A следующее:

$$\bar{g}_A = \frac{g_B P_{AB} + g_D P_{AD} + g_C P_{AC} + L_{AB} P_{AB} + L_{AC} P_{AC} + L_{AD} P_{AD}}{P_{AB} + P_{AC} + P_{AD}}. \quad (7,13)$$

Такие же уравнения составляются для всех точек уравниваемой сети, а затем система уравнений решается методом последовательных приближений. Первое приближение g'_A таково:

$$g'_A = \frac{\bar{g}_B P_{AB} + \bar{g}_C P_{AC} + \bar{g}_D P_{AD} + L_{AB} P_{AB} + L_{AC} P_{AC} + L_{AD} P_{AD}}{P_{AB} + P_{AC} + P_{AD}}. \quad (7,14)$$

Второе приближение g''_A находится аналогично

$$g''_A = \frac{g'_B P_{AB} + g'_C P_{AC} + g'_D P_{AD} + L_{AB} P_{AB} + L_{AC} P_{AC} + L_{AD} P_{AD}}{P_{AB} + P_{AC} + P_{AD}}. \quad (7,15)$$

Теперь определим разницу $g'_A - \bar{g}_A$ и $g''_A - g'_A$. После соответствующих преобразований получим

$$g'_A - \bar{g}_A = \frac{(\bar{g}_B - g_B) P_{AB} + (\bar{g}_C - g_C) P_{AC} + (\bar{g}_D - g_D) P_{AD}}{P_{AB} + P_{AC} + P_{AD}}; \quad (7,16)$$

$$g''_A - g'_A = \frac{(g'_B - \bar{g}_B) P_{AB} + (g'_C - \bar{g}_C) P_{AC} + (g'_D - \bar{g}_D) P_{AD}}{P_{AB} + P_{AC} + P_{AD}}. \quad (7,17)$$

Отсюда видно, что для определения разности $n+1$ -го и n -го приближений нужно знать разности n -го и $n-1$ -го приближений. Поэтому уравнивание гораздо проще и быстрее вести, оперируя разностями приближений, а не самими приближениями. Для проверки правильности уравнивания последнее приближение рекомендуется проверять по общей формуле. Этот прием успешно использовался автором и В. И. Старостенко при уравнивании целого ряда гравиметрических и магнитометрических опорных сетей.

При значительном количестве пунктов уравниваемой сети для решения системы уравнений целесообразно использовать электронно-счетные машины.

В. ДРУГИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

§ 8. Гравirazведка с измерением вторых производных

Гравirazведку с измерением вторых производных большей частью называют вариометрией, по названию типа приборов, которые многие годы применялись для измерений вторых производных гравитационного потенциала. Здесь необходимо отметить, что полное наименование «гравитационный вариометр» подчеркивает, что в данном случае измеряются производные гравитационного потенциала, так как на этом же принципе могут работать и приборы, определяющие производные магнитного потенциала. К тому же в настоящее время для измерений вторых производных гравитационного потенциала начинают широко применять градиентометры. В связи с этим наименование «вариометрия» — не вполне точное определение гравirazведки с измерением вторых производных. В дальнейшем мы будем употреблять этот термин для указания характера съемки, добавляя в случае необходимости наименование типа применяемого прибора.

Гравirazведка с измерением вторых производных была первым видом гравirazведки, примененным в СССР при геологической съемке в районе КМА, и в довоенные годы проводилась в больших объемах. В послевоенные годы развитие гравirazведки с гравиметрами, как более производительного вида съемки, привело к резкому сокращению наблюдений с гравитационными вариометрами. Однако при геофизических работах в пределах УКЩ, особенно в железорудных провинциях, этот вид гравirazведки всегда применялся в значительных объемах для решения конкретных геологических задач [46, 47]. Как уже указывалось, физическим полям вторых производных потенциальных функций хотя и присуща меньшая глубинность, чем полям первых производных, однако они по-

зволяют более точно выявлять локальные геологические объекты (обладая в этом смысле большей разрешающей способностью), а материалы съемок вторых производных могут более просто и точно интерпретироваться. В связи с этим сейчас плодотворно разрабатываются методы производства измерений и интерпретации высших производных [5] и др.

Следует также отметить, что, как показано рядом авторств [60, 62, 96], при незначительных глубинах залегания возмущающих объектов величина аномального эффекта относительно точности наблюдений для вторых производных гравитационного потенциала выше, чем для первых.

В то же время низкая производительность работ и относительно большая стоимость съемки вынуждают применять гравиразведку с измерением вторых производных не как площадной поисковый метод в общем комплексе геофизических съемок, а лишь при детальных исследованиях наиболее сложных в геологическом отношении участков, предусматривая возможность количественной интерпретации материалов. Очевидно, нет необходимости этот вид съемки проводить для решения тех задач, которые успешно решаются магниторазведкой. Его следует применять для решения дополнительных задач (например, для определения угла наклона пластов, если неизвестно направление вектора намагниченности). В том случае, когда магнитометрия ввиду отсутствия или незначительной дифференциации магнитных свойств пород не может решить поставленную задачу, а различия в плотности возмущающего объекта и окружающей среды могут обеспечить достаточный аномальный эффект, также лучше применять гравиразведку с измерением вторых производных. Как уже указывалось, если магнитометрия успешно применяется при картировании докембрийского фундамента, то гравиразведка может быть эффективна при исследовании всех структурных ярусов. Учитывая различия физического смысла полей первых и вторых производных, гравиразведка с измерением вторых производных наиболее чувствительна к неоднородностям верхнего и среднего структурных ярусов.

В настоящее время при проведении гравиразведки с измерением вторых производных для количественной интерпретации применяется в основном горизонтальный градиент силы тяжести W_{xz} . При качественной интерпретации, помимо этой составляющей, рассматривается распределение векторов W_{yz} и (если производятся соответствующие наблюдения) кривизны W_{Δ} , $2W_{xy}$. Как известно, все эти производные определяются наблюдениями с вариометром в 3—5-азимутальном цикле. В случае применения градиентометров или вариометров с 4-азимутальным циклом наблюдений вычисляются только величины W_{xz} и W_{yz} . Однако, как показал С. И. Субботин [95],

при ориентировке прибора под углом 45° к направлению профиля и в 4-азимутальном цикле можно получать, помимо значений W_{xz} и W_{yz} , также и величину W_Δ . Так как значения $2W_{xy}$ из-за сложности их физического смысла и малых возможностей при интерпретации в практике, как правило, не анализируются, при съемках с гравитационными вариометрами целесообразно применять именно такую систему наблюдений.

Для однородных вертикально намагниченных тел с постоянной плотностью составляющие напряженности магнитного поля H и Z пропорциональны по величине вторым производным гравитационного потенциала W_{xz} и W_{zz} [3]

$$H = \frac{I}{f\sigma} W_{xz}; \quad (8,1)$$

$$Z = \frac{I}{f\sigma} W_{zz}. \quad (8,2)$$

Учитывая, что для двухмерных тел $W_{zz} = W_\Delta$, в этом случае справедливо и выражение

$$Z = \frac{I}{f\sigma} W_\Delta. \quad (8,3)$$

Как известно, при наземных магнитометрических исследованиях, достаточно успешно применяемых для решения многих геологических задач, в основном измеряется и используется в целях интерпретации вертикальная составляющая Z . Очевидно, использование поля W_{zz} целесообразно и при гравиразведке. Однако лишь в последние годы появились сообщения об успешных разработках приборов для измерений этой составляющей; но приборы не нашли еще широкого практического применения.

Достаточно хорошо разработанная методика интерпретации полей вертикальной составляющей магнитного поля в настоящее время может быть применена для полей W_Δ над двухмерными объектами и полей W_{zz} , полученных путем трансформаций наблюдаемого гравитационного поля V_z . В связи с повышением точности гравиметровых съемок, проводимых большей частью по изометричным сетям, трансформации выполняются с достаточно высокой точностью и приобрели большую популярность.

В гравиразведке с измерением вторых производных главным образом (а при наблюдениях с имеющимися типами градиентометров — исключительно) используется градиент W_{xz} . В связи с этим на практике наибольший интерес представляют вопросы методики съемки и интерпретации этой производной; некоторые из них мы рассмотрим ниже. Однако следует подчеркнуть, что при интерпретации полей необходимо использо-

вать все остальные измеряемые вторые производные, уделяя особое внимание составляющей W_{Δ} над двухмерными возмущающими объектами.

В соответствии с (8,2) и (8,3) для определения рационального шага наблюдений по профилю при измерении величин W_{Δ} можно пользоваться выводами § 1. Но в гравиразведке с измерением вторых производных больший интерес представляет градиент W_{xz} . Выбор рационального шага наблюдений его анализируется далее.

Рассмотрим поле W_{xz} над вертикальным полубесконечным пластом мощностью $2b$ при толще наносов R . Как известно [3],

$$W_{xz} = f\sigma \ln \frac{R^2 + (x-b)^2}{R^2 + (x+b)^2}. \quad (8,4)$$

Из формулы следует, что градиент W_{xz} представляет собой кривую с двумя экстремальными значениями в точках $x_3 = \pm \sqrt{R^2 + b^2}$, где

$$(W_{xz})_3 = f\sigma \ln \frac{x_3 - b}{x_3 + b}. \quad (8,5)$$

При поисковой съемке, очевидно, можно считать, что пласт достоверно отразится на кривой W_{xz} , если при достаточной величине аномального эффекта в интервале между экстремальными значениями поля будет выполнено минимум два-три наблюдения. Это условие выполняется при величине шага съемки a_H , равном половине расстояния между экстремальными значениями, т. е.

$$a_H = x_3 = \sqrt{R^2 + b^2}. \quad (8,6)$$

Согласно (1,4) и (8,6) для вертикального полубесконечного пласта определение рационального поискового шага в обоих случаях следует проводить по одной и той же формуле. Все выводы о выборе рационального поискового шага, для выявления вертикальных пластов магнитометрией, изложенные в § 1, будут справедливы и при измерениях градиента W_{xz} . Следует лишь указать, что в последнем случае должно выполняться условие $(W_{xz})_{am} \geq 2\epsilon$, где $(W_{xz})_{am} = |(W_{xz})_{max}| + |(W_{xz})_{min}| = 2|(W_{xz})_3$.

В случае вертикального полубесконечного стержня [3]

$$W_{xz} = f\sigma \frac{x}{(R^2 + x^2)^{3/2}}. \quad (8,7)$$

Абсцисса x_3 , где кривая W_{xz} имеет экстремальные значения, составляет $0,707 R$, т. е. на 10% меньше, чем величина абсциссы x_1 , где $Z = \frac{1}{2} Z_{max}$. Для последнего случая нами было выяснено, что рациональный поисковый шаг равняется мощ-

ности наносов, если $Z_{\max} \geq 3\epsilon$. Учитывая, что в области экстремальных значений в некотором интервале величина W_{xz} намного меньше $(W_{xz})_{\max}$, можно, очевидно, принять, что рациональный поисковый шаг съемки для достоверного определения W_{xz} над вертикальным стержнем также может быть равным мощности наносов, если выполняется условие $(W_{xz})_{\max} \geq 3\epsilon$.

Рассмотрим теперь вертикальный уступ (см. рис. 18), геологические аналоги которого (сбросы, вертикальные контакты) довольно часто являются предметом изучения гравиразведки. Глубина залегания верхней грани R , вертикальная мощность уступа l . Тогда, как известно [3],

$$W_{xz} = f \sigma \ln \frac{x^2 + (R+l)^2}{x^2 + R^2} \quad (8,8)$$

и достигает максимального значения в точке $x=0$, причем

$$(W_{xz})_{\max} = 2l \sigma f \ln \frac{R+l}{R}. \quad (8,9)$$

Определяя согласно этой формуле абсциссы точек, где $W_{xz} = \frac{1}{2} (W_{xz})_{\max}$, получаем $x_1 = \pm \sqrt{R(R+l)}$. Отсюда следует, что даже при незначительной мощности уступа $x_1 \geq R$. По аналогии с исследованием поля Z над вертикальным полубесконечным пластом вертикальный уступ может быть достоверно определен двумя-тремя точками при $a_H = R$, если $(W_{xz})_{\max} \geq 2\epsilon$. Объекты с наклонными контактами и конечным простираем на глубину (что при незначительной мощности встречается редко) могут быть, очевидно, достоверно выявлены при наблюдениях градиентов W_{xz} с рациональным шагом, равным мощности наносов (при любой малой мощности объектов), если амплитудный аномальный эффект не менее чем в два раза для двумерных тел и не менее чем в три раза для трехмерных превышает точность съемки.

Исследования показывают, что рациональный интерпретационный шаг наблюдений и при измерении градиентов W_{xz} должен быть в пять раз гуще поискового. Аналогичный вывод, согласно (8,1), можно сделать и в отношении съемки горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля H .

В § 1 мы специально не анализировали поле Z над вертикальным уступом. Рассмотрим поле W_{zz} , учитывая, что для двумерных тел $W_{zz} = W_{\Delta}$. Как известно,

$$W_{zz} = 2 f \sigma \arctg \frac{x l}{x^2 + R^2 + R l}, \quad (8,10)$$

причем экстремальных значений кривая достигает в точках $x_2 = \pm \sqrt{R(R+l)}$, т. е. $x_2 = x_1$. По аналогии с изложенным, рациональный поисковый шаг наблюдений равен мощности

наносов, а рациональный интерпретационный должен быть гуще в 4,5—5 раз.

Наблюдения с гравитационными вариометрами и градиентометрами, как указывалось, целесообразно применять при детализационных поисковых работах и для целей количественной интерпретации. Гравиразведку с измерением вторых производных для решения многих геологических задач рационально вести по сериям отдельных сближенных профилей, как и аналогичные магнитометрические исследования, большей частью комплексируя эти методы. В зависимости от задачи съемки наблюдения следует проводить с рациональным поисковым шагом или рациональным интерпретационным шагом.

Направления профилей выбираются, исходя из данных площадных поисковых гравиметровых и магнитометрических работ. Большинство профилей должно выполняться с интерпретационным шагом (гравиразведку с измерением вторых производных целесообразно проводить в интерпретационных целях), и лишь для задач, которые не могут достаточно уверенно решаться иными методами, следует проводить съемку с поисковым шагом. В последнем случае можно выполнить и площадную съемку, если это вытекает из геологических задач. Целесообразно комплексовать гравиразведку с измерением вторых производных с гравиметровыми наблюдениями для увязки результатов съемки по участку и получения детальных карт Δg путем интегрирования полей вторых производных.

Не останавливаясь на анализе источников погрешностей при проведении съемок с гравитационными вариометрами и градиентометрами, отметим, что значительная часть суммарной ошибки определения значений вторых производных приходится на ошибки измерений, а также ошибки при введении топопоправок. Эти ошибки на соседних точках случайны, не связаны какими-либо систематическими законами измерения.

Тип прибора должен зависеть от необходимой точности съемки.

Рассмотрим теперь возможность разделения аномального эффекта W_{xz} от двух вертикальных полубесконечных пластов при тех же условиях, которые рассматриваются в § 5 (см. рис. 12). Аналитическое выражение градиента W_{xz} над каждым из пластов определяется по формуле (8,4). Если в случае двух пластов начало координат принять в центре левого пласта, то значения W_{xz} от правого пласта равны

$$W_{xz} = f \sigma \ln \frac{R^2 + [(x-2y) - b]^2}{R^2 + [(x-2y) + b]^2}. \quad (8,11)$$

Тогда суммарное значение W_{xz} вычисляется по формуле

$$W_{xz} = f \sigma \ln \frac{R^2 + (x-b)^2 \{R^2 + [(x-2y)-b]^2\}}{R^2 + (x+b)^2 \{R^2 + [(x-2y)+b]^2\}}. \quad (8,12)$$

Анализируя это выражение, получаем для точки $x=y$ значение $W_{xz}=0$, т. е. при любых параметрах двух одинаковых полубесконечных вертикальных пластов в точке, равноудаленной от проекций центров обоих пластов на плоскость наблюдений, градиент W_{xz} равен нулю независимо от расстояния между

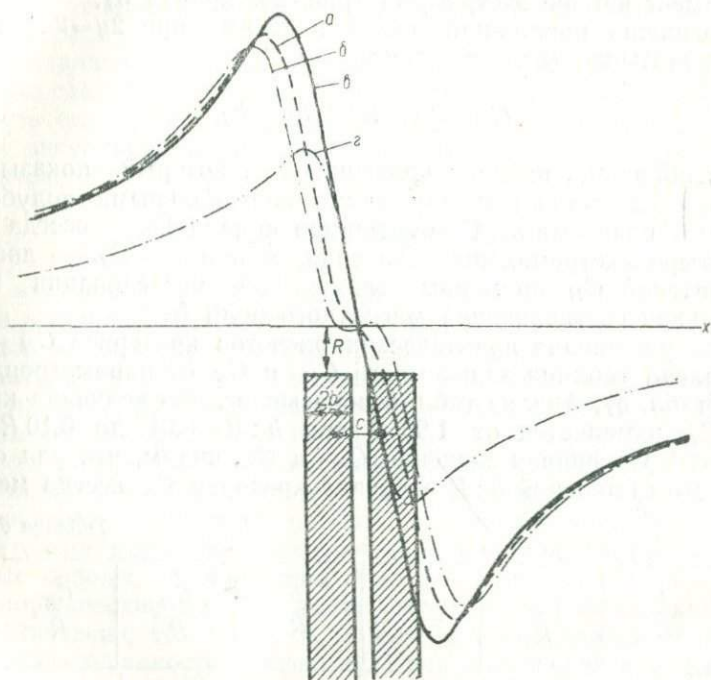


Рис. 20. Кривые H над двумя вертикальными пластами при различном расстоянии между ними:
 a — при $c=C_H$; b — при $c>C_H$; c — при $c<C_H$; d — кривая H над одним вертикальным пластом.

пластами. Поэтому подойти к решению интересующего нас вопроса так же, как для поля Z , нельзя. Однако возможен другой путь решения задачи.

Если совместить кривые W_{xz} двух пластов таким образом, чтобы совпали точка x_{\max} правого и x_{\min} левого пластов, т. е. $2y=2x_0$ (рис. 20, кривая a), то в этой точке суммарная кривая равна нулю. Слева от точки y кривая имеет положительное значение (так как участок кривой при $x<x_{\max}$ над правым пластом более пологий, чем часть кривой над левым пластом при $x<x_{\min}$), справа — отрицательное. В районе точки y суммарная кривая W_{xz} , переходя от положительных значений к отрицательным, в небольшом интервале почти горизонтальна.

Очевидно, при $2y < 2x_3$ (рис. 20, кривая θ) суммарный градиент W_{xz} , имея два экстремума, переходит через нулевое значение при большей крутизне кривой, чем при $2y = 2x_3$. Если же раздвинуть пластины на расстояние $2y > 2x_3$, то аналогичный приведенному выше анализ показывает, что суммарная кривая W_{xz} имеет четыре экстремума (рис. 20, кривая β).

Обозначая расстояние между пластинами при $2y = 2x_3$ через C_H и учитывая (8,6), получаем

$$C_H = 2(\sqrt{R^2 + b^2} - b). \quad (8,13)$$

Таким образом, найден критерий C_H , который показывает, что при расстоянии между двумя вертикальными полубесконечными пластинами $c > C_H$ суммарная кривая W_{xz} всегда имеет четыре экстремальных значения, а при $c \leq C_H$ — два.

Критерий C_H применим также для исследования горизонтальной составляющей магнитного поля H .

Для упрощения практических расчетов критериев C_H и C_Z составлена таблица зависимости C_H и C_Z от параметров пластин (табл. 6). Анализ табл. 6 показывает, что величина критерия C_H изменяется от $1,98 R$ при $b : R = 0,01$ до $0,10 R$ при $b : R = 20$. Сравнивая значения C_H и C_Z , видим, что для одних и тех же отношений $b : R$ величина критерия C_Z всегда меньше

Таблица 6

$\frac{b}{R}$	$\frac{C_H}{R}$	$\frac{C_Z}{R}$	$\frac{b}{R}$	$\frac{C_H}{R}$	$\frac{C_Z}{R}$
0,01	1,98	1,13	1,2	0,73	0,100
0,02	1,96	1,11	1,3	0,68	0,083
0,03	1,94	1,10	1,4	0,64	0,065
0,04	1,92	1,08	1,5	0,60	0,058
0,05	1,90	1,06	1,6	0,57	0,050
0,06	1,88	1,04	1,7	0,54	0,041
0,07	1,86	1,02	1,8	0,52	0,033
0,08	1,84	1,00	1,9	0,50	0,031
0,09	1,82	0,98	2,0	0,48	0,029
0,10	1,81	0,97	2,5	0,38	0,015
0,15	1,72	0,88	3,0	0,32	0,009
0,20	1,64	0,80	3,5	0,28	0,006
0,3	1,49	0,67	4,0	0,24	0,003
0,4	1,36	0,54	4,5	0,22	0,002
0,5	1,24	0,43	5,0	0,20	0,002
0,6	1,14	0,35	6,0	0,17	0,001
0,7	1,05	0,28	7,0	0,14	0,001
0,8	0,97	0,22	8,0	0,12	0,000
0,9	0,90	0,18	9,0	0,11	0,000
1,0	0,83	0,15	10,0	0,10	0,000
1,1	0,78	0,12			

C_H , причем по мере возрастания отношения $b : R$ C_Z убывает быстрее, чем C_H . В то же время суммарная кривая W_{xz} имеет характерные особенности и при $C < C_H$, а именно: между экстремальными значениями появляется два дополнительных относительных перегиба суммарной кривой W_{xz} по сравнению с кривой W_{xz} от одного пласта, что видно при сравнении кривых a и b (рис. 20).

Не анализируя влияния критерия C_H при интерпретации, как это уже сделано для критерия C_Z , следует подчеркнуть необходимость его учета, особенно при качественной интерпретации, когда визуально трудно определить количество возмущающих объектов.

§ 9. Электроразведка

В настоящее время из многочисленных методов электроразведки в Приазовье применяются главным образом ВЭЗы и различные модификации электропрофилирования.

Материалы изучения электрических свойств показывают, что пределы измерения удельных электрических сопротивлений кристаллических пород колеблются от 46 до 5450 *ом. м.* При этом выявить определенную зависимость сопротивления от состава кристаллических пород трудно, так как гораздо большее влияние оказывает состояние породы; выветрелые образцы имеют значительно меньшие сопротивления, чем монолитные неизменные породы. Можно лишь отметить, что в общем осадочно-метаморфические породы имеют меньшее сопротивление, чем магматические, что, впрочем, может быть обусловлено большей степенью сохранности последних. Кристаллические породы имеют сопротивление 1000 *ом. м.* и более; у выветрелых же образцов сопротивление уменьшается в несколько раз. Кора выветривания этих пород в среднем характеризуется сопротивлением 25 *ом. м.* Удельные электрические сопротивления пород осадочного комплекса изменяются в широких пределах — от 3 до 1000 *ом. м.* и более, но большей частью в пределах 10—100 *ом. м.*

Довольно широкие диапазоны изменения сопротивлений у одних и тех же пород обусловлены различной степенью их обводненности, а также высокой степенью минерализации воды. Последнее обстоятельство приводит к резкому уменьшению сопротивления раздробленных обводненных зон, разрывных тектонических нарушений в кристаллическом фундаменте.

Таким образом, электроразведку методами сопротивлений можно применять для выявления и прослеживания зон разломов, для определения глубины залегания поверхности опорного электрического горизонта, который может быть представлен породами кристаллического фундамента и каменноугольными отложениями (в отдельных случаях, возможно, и палеогеновыми

песками), а также для расчленения комплекса осадочных образований.

На некоторых вопросах методики электроразведки методами сопротивлений мы остановимся далее. Здесь же отметим, что иногда рационально применять метод естественного электрического поля. Так, опробование этого метода в районе месторождения сульфидной меди на Малоянисольском участке дало положительные результаты (В. М. Пелюшенко, 1956). Из сведений о геофизических исследованиях в других регионах развития кристаллических пород следует, что метод ЕЭП может успешно применяться при поисках графитовых пород, которые распространены и в Приазовье.

Для решения различных геологических задач, в соответствии с разрешающей способностью методов и условиями геологического строения конкретных участков, можно рекомендовать проведение опытных работ методом заряженного тела (для трассирования обводненных зон разломов), методом ДЭЗ (для решения тех же задач, которые решаются методом ВЭЗ), а также опробование методов, с помощью которых изучают переменные электрические и электромагнитные поля, особенно в районах с мощным чехлом осадочных отложений.

Вертикальное электрическое зондирование

Методом ВЭЗ можно решать различные геологические задачи.

1. Как правило, этим методом определяют глубины залегания и характер рельефа поверхности докембрийского фундамента. В районах развития пород среднего структурного яруса исследуют поверхность опорного геоэлектрического горизонта, который может соответствовать появляющимся в геологическом разрезе высокоомным осадочным отложениям или докембрийским породам; причем часто наблюдается стратиграфическая миграция опорного горизонта.

При решении этой основной задачи возможно также расчленение пород осадочной толщи, лежащей выше опорного геоэлектрического горизонта. Особое внимание следует уделять, если это возможно, определению мощности коры выветривания.

2. Для применения ВЭЗ благоприятна горизонтально-слоистая среда с наклоном слоев не более 20° . При вертикально-слоистой среде кривые ВЭЗ имеют значительные искажения. Но нас часто интересуют такие объекты, как зоны разломов, представленные раздробленными обводненными породами, уступы в кристаллическом фундаменте, карстовые воронки и пустоты, зоны выщелачивания в известняках. При этом искажения или замедленный выход на асимптоту правых ветвей кривых ВЭЗ, смена типов кривых ВЭЗ вполне закономерны. Анализ распределения в пространстве точек ВЭЗ может помочь в решении подобных задач.

3. В отдельных случаях представляет интерес изучение анизотропии электрического сопротивления пород (при поисках трещинных вод, определении простираения осадочных пород и др.).

Поскольку основная цель работ методом ВЭЗ — определение глубины залегания и характера рельефа поверхности опорного геоэлектрического горизонта, сеть наблюдений должна соответствовать требованиям детальности результивных материалов. В настоящее время в Приазовье при проведении среднemasштабной геологической съемки удовлетворительной считается плотность наблюдений один ВЭЗ на 1 км^2 . Установку целесообразно располагать по дорогам, соблюдая проектную среднюю плотность наблюдений.

Учитывая возможность искажения кривых ВЭЗ, необходимо особенно точно проводить измерения с большими разносами электродов.

В областях резкого изменения типов или вида кривых ВЭЗ (учитывая возможность решения задач, указанных в пунктах 2 и 3) необходимо сгущать сеть наблюдений и выполнять крестовые и круговые ВЭЗ. Для определения параметров слоев геоэлектрического разреза крестовые ВЭЗ следует проводить над скважинами (последние предпочтительно выбирать в районах различных типов кривых ВЭЗ). Для этих целей, как показывает опыт проведенных работ, необходимо предусматривать 20—25% детализационных исследований.

Методика полевых исследований в настоящее время отработана достаточно хорошо. В то же время мы предлагаем опробовать методику с сокращенным количеством установок на некоторых точках, если задача исследований — определение глубины залегания и характер рельефа поверхности кристаллического фундамента. Как известно, суммарную мощность наносов часто вычисляют по формуле $R = S\rho_l$. Для этого по кривой ВЭЗ определяется суммарная продольная проводимость S и по параметрическим ВЭЗ для каждого типа кривых вычисляется среднее продольное сопротивление ρ_l , величина которого затем корректируется для каждого ВЭЗ по изменению $\rho_{\text{кmin}}$ и ρ_l начальной ветви кривой.

На практике применение этой формулы дает вполне удовлетворительные результаты и для ее использования нам необходимо определять только величины ρ_{min} и ρ на асимптотической ветви кривой ВЭЗ.

Применительно к этому упрощенному способу интерпретации мы предлагаем и упрощение методики полевых работ, заключающееся в следующем. Вначале нужно проводить наблюдения кривых ВЭЗ обычным способом по редкой сети и над скважинами, затем определять границы различных типов кривых ВЭЗ; для каждого типа определяют величину ρ_l и зависимость этого

параметра от величин $\rho_{k_{\min}}$ и ρ_1 . Как правило, в области однотипных кривых ВЭЗ значения $\rho_{k_{\min}}$ фиксируются в интервале одного-двух определенных разносов питающей линии; правая ветвь кривой на асимптоту выходит, большей частью, в узком интервале изменений AB .

Поэтому, чтобы получить все исходные данные для проведения количественных расчетов, замеры следует проводить: при первом разносе питающих линий (находим ρ_1), в первом из указанных интервалов при двух разных AB (определяем $\rho_{k_{\min}}$) и при такой величине AB , когда значение ρ_k заведомо находится на асимптотической части кривой.

При наблюдениях методом ВЭЗ предусматривается обязательный выход правой ветви кривой на асимптоту не менее чем тремя точками. Для выполнения условия обязательного расположения последнего замера на асимптоте при сокращенном цикле наблюдений нам вполне достаточно в пределах данного типа кривых ВЭЗ выбрать такой разнос AB , при котором у большинства кривых на асимптоте находится средняя из трех точек асимптотической ветви.

Предлагаемая методика на практике еще не применялась, и опробовать ее, очевидно, целесообразно в районах с небольшой, относительно выдержанной мощностью наносов при трех-четырёхслойном (не более) геоэлектрическом разрезе. В этих условиях применение указанного способа интерпретации позволит достигнуть достаточно высокой точности определения R , а проведение полевых наблюдений по сокращенному циклу не менее чем вдвое сократит число измерений на каждой точке, что значительно повысит производительность труда и снизит стоимость этого дорогостоящего метода.

Электропрофилирование

Как известно, для электропрофилирования наиболее благоприятна вертикальнослоистая среда. Поэтому данным методом решают следующие основные задачи.

1. Картирование блоков, ступеней, выраженных в гипсометрии кристаллического фундамента, когда по вертикальному или близкому к нему контакту соприкасаются высокоомные докембрийские (или палеозойские) породы с низкоомными осадочными. При помощи электропрофилирования возможно также выделение и прослеживание трещиноватых и обводненных зон разломов, карманов в коре выветривания, карстовых воронок и пустот, зон выщелачивания.

2. Определение характера изменения мощности осадочных отложений.

3. Картирование даек и жил. Здесь необходимо отметить, что возможность решения этой задачи обусловлена скорее всего не

различием в электрических свойствах даек и жил с вмещающими породами, а различной устойчивостью пород к процессам выветривания и отражением тел в рельефе докембрийского фундамента.

Применение же этого метода при изучении состава докембрийского фундамента возможно лишь для выделения некоторых типов пород (например, графитовых сланцев) или для косвенного картирования отдельных типов пород по их отличной от вмещающей толщи степени выветрелости.

Как видно из характера этих задач, электропрофилирование целесообразно применять при детальном исследовании незначительных по мощности объектов. Поэтому указанный метод используется при детализационных съемках в комплексе с другими геофизическими методами — магнитометрией и гравиразведкой с измерением вторых производных; наблюдения большей частью ведутся по той же сети. Учитывая, что по данным электропрофилирования количественная интерпретация, как правило, не ведется, шаг наблюдений для электропрофилирования может в два раза превышать рациональный интерпретационный шаг по магнитометрии. Во всяком случае шаг наблюдений должен быть таким, чтобы каждый экстремум кривой определялся минимум двумя наблюдениями.

Наиболее широко применяется в настоящее время симметричное электропрофилирование с установкой $AA'MNB'B$. Размеры питающих и приемной линий определяются задачами съемки, геоэлектрическими условиями участка и выбираются в соответствии с результатами работ методом ВЭЗ.

Довольно широко применяется комбинированное электропрофилирование с установками $AM\infty NB$ или $AA'M\infty NB'B$. Несмотря на большую сложность полевых наблюдений, исследователей привлекает возможность определения проводящих зон по так называемым «рудным крестам», а также несколько большая дифференцированность кривых ρ_k комбинированного электропрофилирования по сравнению с симметричным при тех же разностях AB и MN . Как следует из теоретического обоснования метода, полусумма значений ρ_k комбинированного электропрофилирования должна равняться ρ_k симметричного электропрофилирования. Это положение проверялось автором во время исследований 1956—1957 г. в районе Никитовского ртутного месторождения и хорошо подтвердилось в пределах точности наблюдений. Одновременно было выяснено, что кривые ρ_k комбинированного электропрофилирования при меньших, чем при симметричном электропрофилировании, разностях AB с не меньшей детальностью дифференцируют вертикальный геоэлектрический разрез. Отсюда следует, что комбинированное электропрофилирование имеет большую разрешающую способность, чем симметричное. Несмотря на это, при большинстве съемок

перед комбинированным электропрофилированием ставилась только одна задача: определение «рудных крестов».

Следует учитывать, что при комбинированном электропрофилировании количество замеров вдвое увеличивается. Поэтому если выполнение работ симметричным электропрофилированием вполне обеспечивает решение поставленных задач, заменять эту модификацию комбинированным электропрофилированием не следует. Если геологические условия определяют рациональность применения в данном районе комбинированного электропрофилирования, то нецелесообразно комплексировать обе описанные модификации, как это часто делалось ранее.

Ряд исследователей (С. С. Красовский, 1958—1960; К. М. Шурапей, 1960—1961) опробовали в Приазовье и дипольное электропрофилирование. Работы показали, что разрешающая способность этой модификации вряд ли выше, чем указанных, так как хотя кривые ρ_k и несколько более дифференцированы, однако интерпретация материалов значительно затруднена вследствие большого числа экстремумов.

Техника и методика полевых измерений в общем соответствуют изложенным в руководствах и инструкциях. Следует отметить, что автором в 1957—1958 гг. разработаны и совместно с Б. Д. Левитесом внедрены методика конвейерного передвижения установки и пульт управления прибора.

Симметричное электропрофилирование с двумя питающими линиями по схеме $AA'MNB'B$ широко применяется на участках с незначительной мощностью наносов, часто не более первых десятков метров. При этом можно достаточно уверенно выявлять и трассировать объекты небольшой мощности, что в свою очередь обуславливает применение небольшого шага установки (l). В таких условиях за смену нужно выполнить наблюдения на многих точках и значительное время потратить на переходы оператора с аппаратурой, питанием и установкой от точки к точке, на заземления электродов.

Согласно существующим инструкциям и учебникам [16, 21], электроды A' и B' подключаются в разрезы линии AB , на что также непроизводительно тратится время. На практике довольно часто бывают случаи плохого контакта в вилках переключения. Хронометраж показывает, что время, в течение которого на точке (включая и переходы) не производятся непосредственные измерения ρ_k , при шаге в 10 м составляет 60—90 сек, а иногда и более.

Для уменьшения этой непроизводительной траты времени автор предложил измененную методику производства полевых наблюдений. Прежде всего была использована идея включения в схему кондукторов, подводящих ток от питающей и приемной линий к прибору, благодаря чему появилась возможность производить измерения на ряде точек, не передвигая аппаратуру

и питание. Это, безусловно, облегчало работу оператора и вычислителя, но все же мало повышало производительность труда, так как много времени занимали непроизводительные операции — передвижение схемы, заземление электродов, переключение линий.

В связи с этим предложено иметь в схеме две питающие линии: AB и $A'B'$, в результате чего отпадает необходимость переключать линии. Кондуктор питающих линий следует делать из четырехжильного кабеля или сплестать из четырех хлорвиниловых проводов. В центре установки две жилы непосредственно присоединяют к линии AB , две другие делают длиннее шага установки на 3—4 м и присоединяют к линии $A'B'$. Приемную линию MN также соединяют с прибором через кондуктор, причем рекомендуется приемный и питающий кондукторы располагать по разные стороны от самой установки.

Длину кондуктора определяют условиями местности и весом проводов. Опыт показывает, что применение кондукторов длиной более 100 м нецелесообразно. Размеры кондуктора L должны быть кратны шагу установки l с добавлением отрезка $K = 4—5$ м для удобства подключения к прибору. Тогда с одной стоянки прибора можно выполнить наблюдения на m точках, где m определяется уравнением

$$m = 2 \frac{L + K}{l} + 1.$$

Так, при кондукторе длиной в 105 м и шаге установки в 10 м можно, не передвигая аппаратуру и питание, производить наблюдения на 21 точке.

Процесс работы на точке с применением предложенной схемы осуществляется следующим образом. После измерения разности потенциалов ΔV_1 и силы тока I_1' в линии $A'B'$ (рис. 21, а) дается команда для перехода рабочих с линией $A'B'$ на следующую точку. Это можно сделать благодаря отростку кондуктора (рис. 21, б). Во время перемещения оператор отключает питание от линии $A'B'$, включает его в линию AB (это удобно делать при помощи панельки управления, описываемой далее) и производит замер ΔV_1 в линии AB . После этого дается команда для перехода рабочих с линией MN на вторую точку (рис. 21, в). В то же время оператор измеряет I_1 в линии AB и затем дает сигнал для перехода рабочих с линией AB на следующую точку (рис. 21, г). К окончанию замеров I_1 электроды линии $A'B'$ уже заземлены, и оператор приступает к измерению I_2' . В это время заземляются электроды MN , и можно сразу после измерения I_2' измерять величину $\Delta V_2'$ и т. д. Таким образом появляется возможность вести наблюдения на одной стоянке прибора непрерывно, чем значительно повышается производительность труда при неизменном составе бригады.

Предлагаемая методика работ при исследованиях методом комбинированного электропрофилирования может быть видоизменена. При этом вначале производят замеры ρ_k задней линией, затем передней.

При работах по указанной методике целесообразно пользоваться предложенной автором панелькой с пультом управления

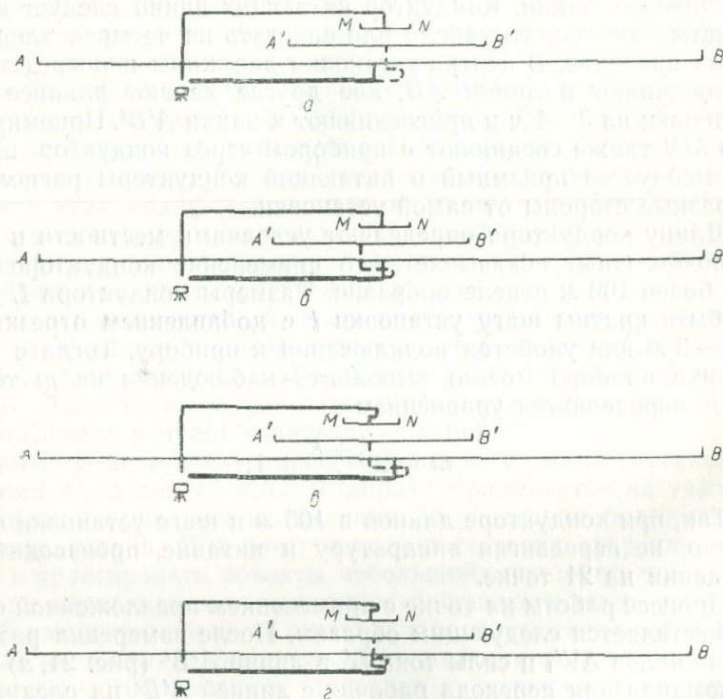


Рис. 21. Схема конвейерного способа передвижения установки $AA'MNB'B'$.

к потенциометру ЭП-1, которым большей частью производят наблюдения при различных модификациях электропрофилирования.

Принципиальная схема пульта управления показана на рис. 22. Переключатель B служит для включения в цепь пульта линии MN (при этом клеммы 3 и 4 замкнуты между собой — это положение 3—4) и для замыкания накоротко электродов MN (1—2). Такое замыкание нужно для того, чтобы за то время, в течение которого не производятся замеры ΔV_1 , уменьшить изменение электродных потенциалов во времени, по величине и знаку и создать более благоприятные условия для измерения ΔV .

Переключатель C предназначен для изменения направления

тока в цепи компенсатора поляризации переключением тумблера из положения 7—5, 8—6 в положение 7—8, 8—10.

Переключатель *A* служит для включения цепи гальванометра на замеры ΔV_1 или *I*. В положениях 13—15, 14—16 гальванометр соединяется с линией *MN* и компенсатором поляризации, а в положениях 13—11, 14—12 — с цепью включателя-прерыва-

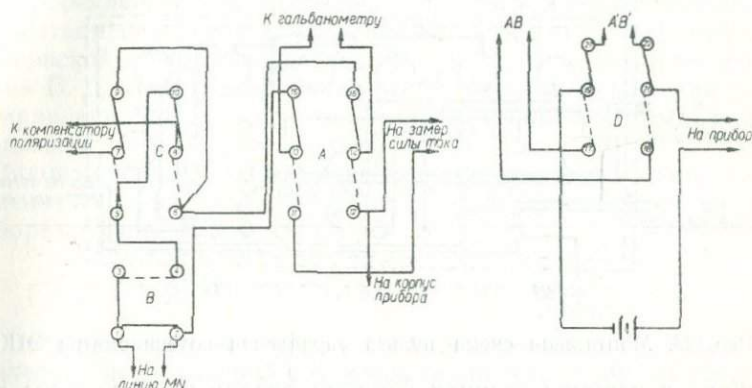


Рис. 22. Принципиальная схема пульта управления потенциометра ЭП-1.

теля. В последнем положении цепь компенсатора поляризации разрывается, что позволяет не выводить на нуль реостат компенсатора с уже скомпенсированными токами поляризации.

Переключатель *D* служит для включения источников питания в линию *AB* (положение 19—17, 20—18) или в линию *A'B'* (положение 19—21, 20—22). При работах по методу комбинированного электропрофилеирования переключатель *D* может служить для включения питания в переднюю или заднюю линию.

Клемма 12 переключателя *A* соединяется с корпусом прибора, в результате чего при измерении силы тока устанавливается надежный контакт корпуса прибора с питающей линией. Это позволило отказаться от применения контактной пружины, которая особенно неудобна при замене ключа одновременного замыкания рычагом конструкции М. Н. Моля (рычаг нашел широкое применение на Украине).

Учитывая, что электропрофилеирование большей частью производят при незначительной величине линии *AB*, необходимость в компенсаторе индукции отпадает. Поэтому панельку с предложенным пультом управления целесообразно располагать на месте компенсатора индукции, и она служит крышкой коробки компенсатора. На нижней стороне панельки производится монтаж схемы (рис. 23).

Внешний вид панельки показан на рис. 24. Помимо четырех переключателей здесь есть четыре пары гнезд. Гнезда *E* соеди-

нены с клеммами 1, 2, и в них включается линия MN. В гнезда F и H, соединенные с клеммами 17, 18 и 21, 22, включаются линии AB и A'B'. Гнезда G соединяются с клеммами 19, 20, и в них включается батарейный тройник.

Для включения в цепь пульта управления компенсатора поляризации, гальванометра, включателя-прерывателя и корпуса

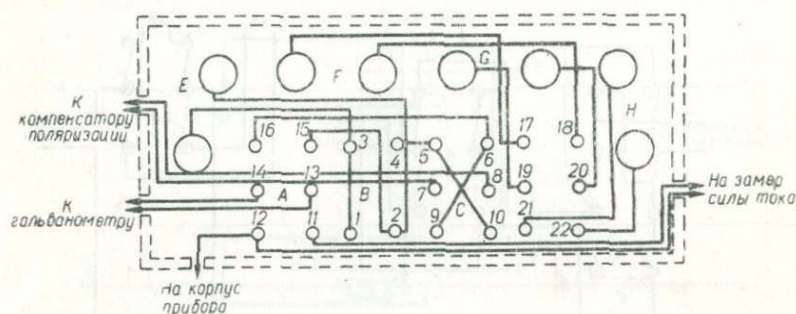


Рис. 23. Монтажная схема пульта управления потенциометра ЭП-1.

прибора в верхних стенках коробки сделаны пазы, через которые проходят соединительные провода (см. рис. 23).

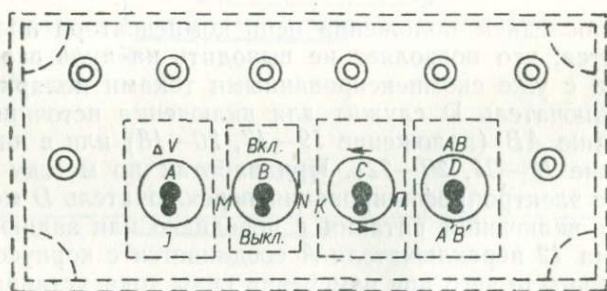


Рис. 24. Панелька с пультом управления потенциометра ЭП-1.

Расположение переключателей A и B таково, что позволяет сделать жесткое соединение ручек переключения для одновременного переключения. При этом в положении «от себя» линия MN включается в цепь пульта управления и затем в цепь гальванометра через компенсатор поляризации; в положении «на себя» цепь гальванометра включается непосредственно в цепь включателя-прерывателя, приемные электроды закорачиваются, цепь компенсатора поляризации оказывается разомкнутой.

При работе с предложенной панелькой нетрудно найти такой вариант включения всех вилок, чтобы ток через гальванометр всегда шел в одном направлении, а затем отметить соответ-

венно на каждой вилке это положение. Тогда во время замеров не нужно не только пользоваться переключателем направления тока, но и выводить перед каждым замером декады сопротивления на 0.

Принципиальную схему панельки можно использовать и при работах по методу ВЭЗ. При этом целесообразно дополнить схему переключателем приемных линий *MN* и соответствующим количеством пар гнезд для линий *MN*, как это сделал оператор Артемовской геофизической экспедиции треста «Укргеофизразведка» Б. Д. Левитес. В случае необходимости в панельке пульта управления следует делать гнезда для включения телефона и заземления.

Видоизмененная схема панельки пульта управления может применяться и при работах с электронными электроразведочными приборами типа ЭСК-1 и др.

§ 10. Остальные методы

Описанные методы являются основными при проведении геофизических исследований в помощь среднемасштабному геологическому картированию. Кратко рассмотрим другие методы.

Сейсморазведка

Сведения об упругих свойствах горных пород региона показывают, что различные по составу образования характеризуются разными скоростями распространения упругих колебаний. Немногочисленными сейсмическими исследованиями в пределах приазовской части УКЩ и прилегающих регионов был выявлен ряд отражающих и преломляющих границ, что указывает на принципиальную возможность применения сейсморазведки МОВ и КМПВ.

В настоящее время Институт геофизики АН УССР совместно с трестом «Укргеофизразведка» под руководством В. Б. Соллогуба в пределах УКЩ проводит работы методом ГСЗ. Основная задача сейсмических исследований — изучение глубинного строения. Эта задача, безусловно, представляет большой научный и практический интерес, но в связи с тем, что сейсморазведка — метод дорогостоящий, вряд ли можно рекомендовать широкое проведение таких исследований в комплексе геофизических методов при геологическом картировании.

Очевидно, сейсморазведку МОВ и КМПВ в пределах интересующей нас территории имеет смысл проводить в первую очередь с целью картирования блоков и отдельных разломов в зонах сочленения Приазовского массива с Донбассом, Причерноморской и Конкско-Ялынской впадинами, а также для изучения пликативной тектоники палеозойских отложений.

Известны и примеры применения сейсморазведки при картировании вертикально-слоистой среды. Так, в районе Белозерской магнитной аномалии под руководством В. Б. Соллогуба и др. [87] методом КМПВ успешно выделялись пласты железистых кварцитов и руд; а в условиях неглубокого залегания кристаллического фундамента в районе Овручского массива В. В. Кравцем [37] картировались контакты пород различного состава, зоны дробления в монолитных кристаллических породах.

Поскольку методика сейсмических исследований в Приазовье не разработана, в первую очередь необходимо выполнить опытно-методические работы.

Радиометрические наблюдения

В общий комплекс геофизических методов при геологическом картировании радиометрические исследования почти не включаются. Гамма-съемка, как правило, проводится непосредственно геологосъемочными партиями, и результаты ее при комплексной интерпретации геофизических материалов почти никогда не учитываются. В то же время следует отметить, что гамма-съемка может применяться не только в чисто поисковых целях, но и при картировании пород различной основности, тектонических нарушений. Например, известно, что гамма-активность кислых пород выше, чем основных и ультраосновных. Для выявления разломов вследствие повышенной эманацирующей способности разрушенных пород возможно применение эманационной съемки.

Разрешающая способность радиометрических методов в значительной степени зависит от мощности наносов, в связи с чем площади, на которых рационально вести радиометрические наблюдения, ограничены. Для повышения качества исследований и расширения площадей, на которых целесообразно проводить эманационную съемку, можно рекомендовать с помощью специальных устройств увеличить глубину отбора проб почвенного воздуха.

Металлометрия

Металлометрия, в сущности геохимический метод, во многих районах Советского Союза входит в общий комплекс геофизических исследований. Это вызвано не только производственными соображениями (отбор проб по сети магнитной съемки удешевляет металлометрию), но и тем, что результаты этого метода позволяют выявлять ореолы рассеяния различных элементов, делать определенные выводы о составе пород, обусловивших их, и структурных особенностях участка работ, т. е. решать

те задачи, которые ставятся перед геофизическими методами. В то же время следует отметить, что наличие осадочной толщи (картирование которой входит в задачи геофизических съемок) затрудняет применение металлометрии. Из опыта проведенных работ следует, что для многих элементов больший интерес представляют механические ореолы рассеяния, а не солевые. В связи с этим металлометрическую съемку, которую рационально вести по сети магнитных наблюдений, следует применять на участках с небольшой мощностью наносов (метры — первые два десятка метров) без экранирующих слоев в осадочной толще, а также отбирать пробы с больших глубин, чем это делается обычно (30—40 см).

Проведение работ не в оптимальных условиях может привести к дискредитации метода. Так, после малоудачных работ 1958—1959 гг. в районах Приазовья со значительной мощностью наносов этот метод не привлекался в комплекс с геофизическими съемками вплоть до 1962 г., когда снова стал успешно применяться под руководством П. С. Кармазина.

Подготовка металлометрических проб к спектральному анализу достаточно хорошо разработана. В то же время применявшаяся обычно методика полуколичественного анализа имела ряд недостатков. Концентрацию элементов определяли путем сопоставления почернения аналитических линий в спектрах исследуемых и эталонных проб. На пластинках снимали 40—60 спектров исследуемых проб и 3—5 спектров эталонных. При этом обычно трудно было обеспечить стабильные условия возбуждения спектров. Кроме того, трудно было сопоставлять интенсивность почернения спектров исследуемых и эталонных проб. Описанная методика не давала возможности сопоставить результаты металлометрических съемок различных организаций.

Для устранения этих недостатков сотрудник Артемовской геофизической экспедиции А. Н. Тепляков разработал специальную методику спектрального анализа, хорошо зарекомендовавшую себя на практике. Согласно предложенной методике в пламя горизонтальной электрической дуги через каждые 2 сек поочередно вводится порошок исследуемой пробы и пробы сравнения, причем спектр первой половины пробы фотографируется через ступенчатый вращающийся сектор, а спектр второй половины пробы — без ступенчатого ослабления. Благодаря этому за цикл в 24 сек на пластинке получается два спектра, каждый из которых экспонируется 6 раз, причем спектры примыкают друг к другу. Синхронизация переключения подачи проб и перекрытия участков щели с помощью диафрагмы Гартмана осуществляется электромеханическими устройствами. Для избежания взаимного «заражения» проб предусматривается очистка камеры сжатым воздухом.

В качестве «пробы сравнения» используется проба с местным нормальным содержанием элементов, подготавливаемая смешиванием большого количества проб по исследуемой территории. Эта проба обязательно сравнивается со специальными эталонными порошками.

К сожалению, вопросам методики металлометрической съемки в Приазовье до настоящего времени уделялось мало внимания, и необходимы специальные исследования в этом направлении.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теоретическое обоснование возможности решения различных геологических задач геофизическими методами, сведения о физических параметрах горных пород, опыт геологических исследований в Приазовье и других областях докембрийских щитов показывают большую эффективность и широкие возможности геофизических съемок при среднемасштабном геологическом картировании.

Следует отметить, что только отдельные геологические задачи могут достаточно уверенно и однозначно решаться одним из геофизических методов. В большинстве же случаев для более полного и уверенного истолкования геофизических материалов требуется применение комплекса методов. Однако сложное геологическое строение регионов, широкие пределы изменения физических свойств горных пород при перекрывании этих диапазонов у различных типов пород, разные условия залегания и размеры возмущающих объектов, проявление в физических полях суммарного влияния нескольких геологических тел — все это вызывает необходимость широко привлекать для геологической интерпретации данные геофизических съемок, все имеющиеся геологические и геоморфологические материалы, а также проводить специальные геологоразведочные работы по выяснению природы физических полей, проверке и уточнению выводов, сделанных на основании комплексной интерпретации результатов геофизических съемок. Поэтому при геологическом картировании необходимо рационально комплексировать геофизические исследования с геологоразведочными и геоморфологическими работами.

В те годы, когда геологическая съемка докембрийских щитов проводилась в мелких масштабах, опираясь в основном на естественные обнажения, геофизические исследования выполнялись большей частью по редкой сети, причем в незначительных объемах, при низкой точности съемок. Перед геофизическими методами ставились лишь отдельные задачи геологического картирования, методика этих исследований только разрабатывалась. Часто оставался даже не ясен круг задач, которые могут

решаться с помощью геофизических съемок. Все это привело к недооценке возможностей и эффективности геофизических методов при геологическом картировании, хотя уже в довоенные годы геофизические съемки успешно применялись, например, в Криворожском бассейне, где они выполнялись под руководством П. М. Никифорова, С. И. Субботина, В. А. Сельского и других исследователей.

Повышение качества и расширение масштабов применения геофизических исследований в последние годы, с одной стороны, задача геологического картирования докембрийского фундамента, закрытого на значительных площадях наносами мощностью от первых метров до десятков и сотен метров — с другой, — привлекли внимание геологов к геофизическим съемкам. И теперь необходимость применения геофизических методов при геологическом картировании ни у кого не вызывает сомнений.

Однако некоторые геологи еще недооценивают возможности геофизических исследований, поскольку еще не разработан или недостаточно изучен ряд вопросов методики полевых наблюдений и геологической интерпретации геофизических материалов для целей среднемасштабного геологического картирования, а также нет достаточной информированности о возможностях геофизических методов. Иногда некоторое недоверие к геофизике бывает следствием имевшего место до этого преувеличения ее возможностей, когда вслед за успешным решением той или иной геологической задачи в благоприятных условиях ожидалось столь же успешное применение геофизических съемок на других, более сложных по своему строению участках, или для решения задач без достаточных физических предпосылок к проведению геофизических исследований. С другой стороны, отдельные геологи, преувеличивая возможности и эффективность геофизических методов, ставят вопрос об удешевлении геологосъемочных работ при использовании геофизических материалов путем сокращения объемов непосредственно геологических работ. Эту точку зрения вряд ли следует признать состоятельной.

Действительно, геофизические съемки позволяют успешно решать ряд геологических задач, причем некоторые из них только геологическими методами решить очень трудно или даже невозможно (например, вопросы глубинного строения, пликативной тектоники докембрийских щитов и др.). Но заменить геологические исследования геофизическими все же нельзя, хотя последние и позволяют более целенаправленно вести геологосъемочные, поисковые и разведочные работы, рационально размещать скважины и горные выработки, сокращать объем этих работ для решения конкретной задачи, составлять более достоверные геологические карты при том же количестве геологической информации. К тому же для более уверенного истолкования геофизических материалов необходимы определенные

сведения о геологическом строении данного региона и участка, которые могут быть получены только в результате именно геологосъемочных работ.

Таким образом, мы считаем наиболее правильной следующую постановку вопроса. Геофизические методы позволяют в значительной степени повысить эффективность, достоверность и глубинность и должны быть неотъемлемой частью общего комплекса работ по геологическому картированию. При неизменных объемах геологических работ достоверность и эффективность геологической съемки без применения геофизических методов резко снижается. Решение же некоторых задач без геофизики требует больших дополнительных затрат, а иногда — просто невозможно.

Следовательно, геофизические исследования нужно рассматривать как один из необходимых составных методов геологического картирования, дополняющий и уточняющий, но не исключающий или заменяющий другие методы.

Нам представляется наиболее целесообразным проводить комплексные геофизические исследования в помощь среднемасштабному геологическому картированию в два этапа: предшествующий и сопутствующий геологической съемке. Целевое назначение геофизических работ на этих этапах несколько различное.

§ 11. Геофизические исследования, предшествующие геологическому картированию

На первом этапе геофизические исследования должны быть направлены прежде всего на решение общих вопросов геологического строения участка и в то же время уделять по возможности внимание деталям. Целесообразно, чтобы данные этих работ были проинтерпретированы до начала непосредственно геологической съемки, которая должна в значительной мере опираться на результативные геофизические материалы. В связи с этим предшествующие геологическому картированию геофизические работы следует проводить за два-три года до начала геологической съемки, учитывая, что геофизические отчеты о полевых работах данного года выходят в свет в середине следующего полевого сезона.

Работы первого этапа должны начинаться с проектирования. В этот период следует собрать все результативные геологические и геофизические материалы, которые должны быть положены в основу проектного задания. Из геофизических материалов в первую очередь нужно проанализировать карты физических полей для всей территории участка в наиболее крупном масштабе и сведения о физических свойствах региона (а если есть — и по участку). Особое внимание следует уделять

геофизическим съемкам, проведенным в таком же или более крупном масштабе, чем проектируемые исследования. Если качество результативных материалов удовлетворяет кондициям проектируемых работ, объем последних следует соответственно уменьшать. Учитывая специфику площадных магнитометрических и гравиметрических исследований, при более крупных масштабах съемок этими методами не представляется возможным непосредственно использовать фактические материалы предшествовавших работ, за исключением пунктов ГМС и высокоточных опорных гравиметровых сетей. В то же время точки ВЭЗ, как не связанные друг с другом, следует использовать (если только кривые ВЭЗ имеют удовлетворяющее поставленным требованиям качество и достаточно уверенную топографическую привязку) при более крупномасштабных исследованиях, корректируя объем и местоположение проектируемых ВЭЗ.

Помимо геофизических работ, выполненных непосредственно по участку, следует провести анализ геофизических съемок на смежных площадях для получения общих представлений о физических полях региона и о возможности использования опыта геофизических исследований, аналогичных проектируемым. Затем должен быть проведен совместный анализ геологических и геофизических материалов, чтобы установить связь между особенностями геологического строения и характером физических полей. После этого нужно приступить непосредственно к выбору требуемого комплекса геофизических методов и рациональной методики полевых наблюдений.

На предшествующем геологической съемке этапе в результате геофизических работ должны быть получены карты физических полей и составлена схематическая геолого-структурная карта участка.

Площадные исследования должны сопровождаться детализационными работами теми же методами, а также электропрофилированием и гравиразведкой с измерением вторых производных. Однако объем наблюдений на первом этапе геофизических работ вряд ли следует предусматривать большим, так как целевое назначение исследований — выяснение общих черт геологического строения участка. Детализационные наблюдения следует ставить там, где по основным съемкам нельзя получить достаточно уверенное истолкование природы физических полей и хотя бы в общих чертах решить поставленные геологические задачи, а не на всех участках сложного строения полей, которые требуют детализации.

Следует также предусматривать проведение дополнительных наблюдений комплексом методов на линиях, пересекающих основные структурные элементы участка и приуроченных к скважинам, шурфам и обнажениям.

В результате геофизических исследований, предшествующих

геологической съемке, должны быть составлены различные карты и схемы, основные из которых следующие.

По магнитометрии:

- 1) карты изодинам Z_a и карты фактических значений Z_a ;
- 2) планы графиков Z_a во взаимно перпендикулярных направлениях.

По гравиметрии:

- 1) карты Δg в редукции Буге со стандартной для региона плотностью промежуточного слоя и с редуцированием на уровень моря;
- 2) карты Δg в редукции Буге с переменной плотностью промежуточного слоя и редуцированием на целесообразный по тем или иным причинам уровень;

3) карты различных трансформаций наблюденного поля, в первую очередь карты региональных и локальных аномалий.

По электроразведке методом ВЭЗ:

- 1) карты типов кривых ВЭЗ;
- 2) карты изоощностей рыхлых отложений и карты рельефа кровли маркирующего горизонта, причем эти карты целесообразно составлять совместно на одной основе.

По металлотрии:

карты изоконцентрат тех элементов, которые обнаруживают повышенное по сравнению с кларковым содержание или расположение ореолов которых проявляет какую-то закономерную связь с геологическим строением участка.

Целесообразно также составлять геолого-геофизические разрезы по линиям, пересекающим основные структурные элементы участка.

Помимо перечисленных результативных материалов, значительный интерес могут представлять и другие. Среди них следует отметить планы графиков Z_a , пересчитанные в нижнее полупространство, карты изоглубин до кровли магнитоактивных пород со схемой изменения магнитной восприимчивости этих пород, карты Δg в редукции Фая, планы графиков Δg , карты W_{zz} и W_{zzz} (полученные при помощи различных трансформаций наблюденного поля), карты S , $\rho_{k_{min}}$ и другие карты качественной интерпретации ВЭЗ.

На основании изучения физических свойств горных пород следует составлять соответствующие таблицы, диаграммы вариационные кривые, а также проводить статистический анализ полученных данных.

Интерпретацию геофизических материалов целесообразно вести вначале раздельно по каждому методу с тем, чтобы наиболее полно использовать полученную информацию, а затем комплексно рассматривать полученные карты и разрезы на фоне более мелкомасштабных исследований с обязательным учетом всех известных геологических материалов. Так как геофизические исследования этого этапа предшествуют геологической

съемке, в геофизической партии нужно иметь геолога, который не только изучал бы фондовые геологические материалы, но описывал обнажения и по возможности увязывал выявленные геофизические аномалии с теми или иными геологическими объектами.

Такая последовательность интерпретации обусловлена тем, что разные факторы в различной степени влияют на физические поля, получаемые в результате съемок отдельными геофизическими методами. Только при раздельной интерпретации можно наиболее полно использовать получаемую при помощи каждого метода информацию. Последующая же комплексная интерпретация позволяет автоматически контролировать результаты интерпретации по каждому методу, если аномалии обусловлены одними и теми же возмущающими объектами, и выявлять дополнительно возмущающие объекты, не обнаруженные при раздельной интерпретации. Так, при совместном анализе магнитного и гравитационного полей появляются возможности более достоверно определить элементы залегания возмущающих масс, в частности, угол наклона вектора намагниченности, тектонику и вещественный состав пород различных структурных этажей [3, 28, 41, 46, 51, 56, 108 и др.].

Уже при проектировании геофизических работ мы в значительной мере обосновываем выбор комплекса методов и методики полевых наблюдений известными сведениями о геологическом строении исследуемого участка. Без определенной геологической информации и опыта истолкования геофизических материалов в отдельных регионах невозможно проводить качественную и количественную интерпретации; необходимо иметь хотя бы в первом приближении сведения о физических моделях геологических тел данной территории, о связи физических параметров возмущающих объектов с геологическими данными и т. д. Поэтому и при раздельной интерпретации геофизических материалов по методам нельзя говорить об абстрагировании от геологических сведений.

В то же время вряд ли целесообразно на этом этапе интерпретации привлекать все геологические и геоморфологические данные и рассматривать случаи подтверждения или неподтверждения геофизическими материалами имеющихся геологических и геоморфологических сведений. Ведь в задачу геофизических съемок при геологическом картировании входит не выяснение частных задач, а выявление всех особенностей физических полей и объяснение их теми или иными геологическими причинами. Вполне понятно, что степень достоверности этих построений различная, однако только таким образом можно повысить эффективность геологической отдачи геофизических работ. Догматический подход и формализм в данном случае

могут привести к ошибкам. Кроме того, что достоверность местоположения контакта, проведенного между двумя точками наблюдений, явно условна, необходимо учитывать и возможные ошибки в определениях петрографических разностей пород по скважинам, пробуренным только до коры выветривания кристаллических пород, или в месторождении этих скважин. А такие ошибки были при геологических работах еще 10—20 лет назад.

Следует также предусматривать возможность расположения возмущающих объектов ниже поверхности кристаллического фундамента или же обусловленность аномального поля группой объектов и расположением скважины как раз между объектами.

Поэтому при интерпретации каждый отдельный геологический факт необходимо рассматривать как единичное геологическое наблюдение, которое тем или иным способом должно объясняться физическими полями. Таким образом, вначале нужно как-то объяснить все особенности физического поля по каждому из геофизических методов, а затем, рассматривая комплексно результаты интерпретации по всем геофизическим методам, геологические и геоморфологические данные, делать те или иные геологические заключения с различной степенью достоверности. При этом допускаем в отдельных случаях два или несколько вариантов геологических причин, обусловивших аномальные физические поля. Для выяснения природы аномалий, достоверность геологической интерпретации которых сомнительна, необходимо проводить проверочное бурение. Бурить следует специальными буровыми отрядами, входящими в состав геофизических экспедиций, или же при проектировании для этих целей нужно предусматривать определенный метраж в геологических партиях, проводящих буровые работы в районах деятельности геофизических партий.

Однако объем такого бурения, проводящегося в период полевых и камеральных геофизических работ, вряд ли должен быть большим, так как на этом этапе целесообразно бурение только тех скважин, которые позволяют решить принципиальные вопросы интерпретации, или перспективы обнаружения месторождений полезных ископаемых. Выяснить же все особенности физических полей и достоверность их геологического истолкования рациональнее всего непосредственно во время проведения геологической съемки данного участка.

По результатам комплексной интерпретации геофизических материалов всех методов совместно с геологическими данными должна быть составлена схематическая геолого-структурная карта. На ней следует отразить достоверность сделанных построений; указать участки, рекомендованные для проведения детализационных геофизических исследований с целью решения тех или иных геологических задач; выделить участки, перспективные для поисков различных полезных ископаемых; наметить

местоположения проверочных скважин. В объяснительной записке нужно указать, какие геофизические и геологические методы целесообразно применить для повышения достоверности проведенных построений, обосновать выбор поисковых и детализационных участков, местоположения скважин.

Эффективность комплексных геофизических исследований для решения задач среднемасштабного геологического картирования можно проиллюстрировать на примере Покрово-Киреевской структуры, расположенной в Комсомольском геологическом районе [41].

В пределах изучаемого участка кристаллический фундамент представлен докембрийскими породами и палеозойскими образованиями, перекрытыми осадочным чехлом мезо-кайнозойских отложений от нескольких десятков до первых сотен метров. Закрытый характер этого сложного в геологическом отношении района затрудняет его исследование. Поэтому значительное место в общем комплексе геологических работ последних лет занимают геофизические методы.

До 1958 г. в районе Покрово-Киреевской структуры проводились в основном мелкомасштабные геофизические работы, позволившие изучить лишь общие закономерности физических полей, по которым Г. Т. Собакарь [80] наметил основные черты строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом. Использовать результаты этих исследований для детального изучения геологического строения отдельных участков, как правило, невозможно. В последние годы на Покрово-Киреевском участке трест «Укргеофизразведка» проводил детальные комплексные геофизические работы, которые с конца 1958 г. до июня 1960 г. выполнялись под руководством автора.

В общем комплексе геофизических методов ведущее место занимала поисково-разведочная магнитная съемка, проведенная на всей территории участка, причем как указано в § I, наблюдения на большей части участка были выполнены по сети 100×80 м, хотя первоначально была запроектирована обычно применявшаяся прямоугольная сеть (в данном случае 200×40 м). Для обоснования изменения сети наблюдений при неизменной их плотности проведены соответствующие опытные работы.

На всей площади участка проводились электроразведочные работы методом ВЭЗ с учетом и использованием материалов 1955 г. треста «Геофизуглеразведка». Общая плотность наблюдений составила один пункт на 2 км^2 .

При комплексной интерпретации геофизических материалов в 1959 г. мы использовали результаты гравиметровой съемки ИГН АН УССР, а в 1960 г. по проекту автора К. М. Шурапей на большей части участка выполнил гравиметровую съемку по сети 500×500 м со сгущением до 250×250 м. На наиболее сложных по геологическому строению и перспективных для поисков

полезных ископаемых площадях выполнялись детализационные работы. Были проведены наблюдения по сериям отдельных профилей (магнитометрия, гравиразведка с вариометром, электро-разведка модификациями симметричного и комбинированного электропрофилирования), площадная магнитная съемка по сети 60×20 м (для вытянутых в плане объектов) и 30×30 м (на площадях наиболее сложного строения магнитного поля).

При интерпретации полученных материалов мы стремились выявить все особенности полученных физических полей и объяснить их возникновение или изменение определенными геологическими причинами. Для этого все материалы геофизических исследований отдельными методами интерпретировались комплексно с учетом известных результатов геологоразведочных работ. Изодинамы Z_a для всего диапазона напряженности магнитного поля проведены с интервалом 100 гамм, что позволило выделить незначительные, но существенные особенности магнитного поля (рис. 25), в частности более уверенно определить местоположения контактов геологических объектов. Применяемая же обычно система разрежения изолиний по мере возрастания интенсивности поля не позволила бы сделать это.

При площадных исследованиях широко применялись построения графиков Z_a и корреляция особенностей магнитного поля от профиля к профилю.

Аналогично коррелировались графики Z_a , W_{xz} , W_Δ и ρ_k — по детализационным профилям, причем особое внимание уделялось выявлению качественных особенностей различных кривых, характеризующих один и тот же геологический объект. Количественная интерпретация материалов по этим профилям служила в основном целям уточнения наших представлений о природе возмущающих объектов и определения глубины верхней кромки последних.

При рассмотрении кривых ВЭЗ совместно с материалами, полученными в ходе исследований другими геофизическими методами, и результатами геологоразведочных работ была намечена приуроченность искаженных в правой части кривых ВЭЗ к зонам тектонических нарушений. Аналогичные результаты получены автором и в районе г. Нового Буга в 1958 г.

Ввиду трудности точной количественной интерпретации кривых ВЭЗ широко применялось построение различных карт качественной интерпретации: карты S , карты типов кривых ВЭЗ (рис. 26), асимптоты «точки отрыва» и др., большей частью дающих дополнительные сведения для интерпретации. В основу классификации типов кривых ВЭЗ был положен не формальный принцип отнесения каждой кривой к тому или иному геоэлектрическому разрезу (НКН и т. д.), а принципиальное соответствие кривых ВЭЗ определенным геоэлектрическим условиям, характеризующим различные части исследуемого участка. Так,

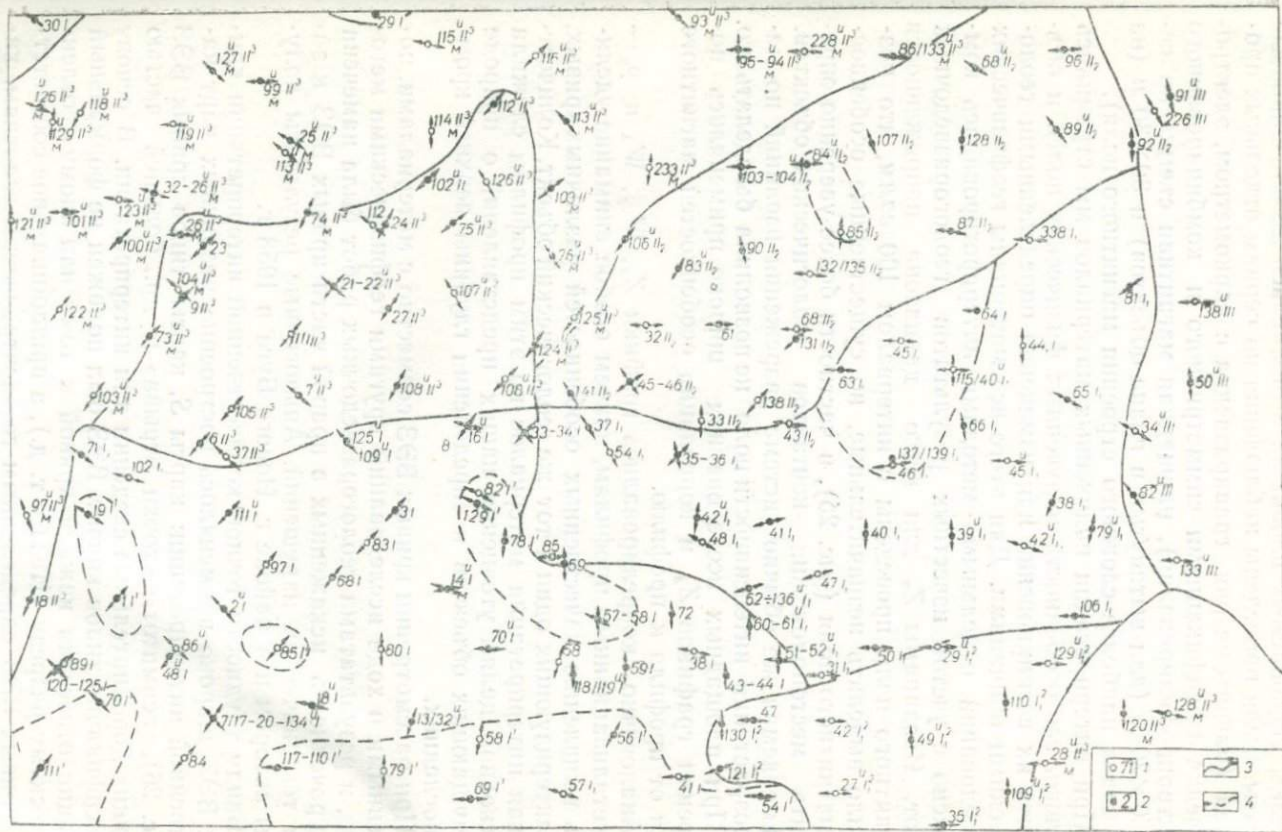


Рис. 26. Карта типов кривых ВЭЗ Покрово-Киреевского участка.

1 — точки ВЭЗ 1956 г.; 2 — точки ВЭЗ 1959 г.; 3 — границы типов кривых ВЭЗ; 4 — границы подтипов кривых ВЭЗ.

первый тип соответствует трехслойному разрезу, где под поверхностным слоем расположены породы с высокой проводимостью, а нижний горизонт представлен породами докембрийского фундамента, имеющими практически бесконечно большое электрическое сопротивление. Кривые ВЭЗ II типа характеризуют разрез, в котором между глинами и кристаллическими породами докембрия появляется слой пород с относительно повышенным сопротивлением (переслаивающиеся пески, песчаники, известняки и т. д.). Для III типа кривых ВЭЗ характерно появление над докембрийскими образованиями второго слоя хорошо проводящих пород. Различные же менее существенные изменения геоэлектрического разреза (увеличение мощности отдельных слоев, появление прослоев в глинах, отсутствие поверхностного слоя и др.) отражены индексами при типе кривых. Кривые ВЭЗ, имеющие искажения в правой асимптотической части, анализировались отдельно.

Несмотря на сложную структуру магнитного и гравитационного полей, отчетливо видна общая закономерность их строения, а при наложении на карту фактического геологического материала — связь с определенными геологическими объектами. Менее заметно это при сравнении результатов электротриеметрии с указанными материалами. В то время далеко не все особенности полученных физических полей были отражены на существовавших в 1959 г. геологических картах.

При рассмотрении гравитационного и магнитного полей в центральной части участка прежде всего обращает на себя внимание выделенная Г. Т. Собакарем Покрово-Киреевская аномалия. Последняя включает, как показали наши наблюдения, три обособленные аномальные зоны, из которых промежуточная названа Покрово-Киреевской группой аномалий, южная — Бешевской группой аномалий, северная — Вишневецкой аномалией.

Наиболее интенсивна Покрово-Киреевская группа аномалий в пределах центральной части, где выделяется шесть обособленных аномалий интенсивностью $+3000$ — $+4800$ гамм, а между ними — участки с относительно пониженной напряженностью магнитного поля (от $+3000$ до $+2400$ гамм). В пределах площади Покрово-Киреевской группы аномалий еще до производства детальных геофизических исследований был пробурен ряд скважин, встретивших габбро-пироксениты. Но ни одна из этих скважин не оказалась расположенной на обособленных аномалиях. Геофизические наблюдения по нескольким детализационным профилям показали чрезвычайно сложное строение всей зоны, причем контакты отдельных геологических тел достаточно четко выделялись по кривым Z_n , W_{xz} , W_Δ и, как правило, местоположения их, определенные по разным кривым, совпадали. Количественная интерпретация дала глубину до кристаллических пород в восточной части 100 — 120 м, а в западной — менее 100 м.

Высказанное нами предположение о связи наиболее интенсивных участков Покрово-Киреевской группы аномалий с породами ультраосновного состава было проверено буровыми работами и подтвердилось: скважина, пробуренная в пределах наиболее интенсивной магнитной аномалии, на глубине 70 м встретила ультраосновную породу типа пироксенита, которая на глубине 154 м сменилась перидотитом, имеющим сходство с кимберлитом. Проверка природы аномалий с относительно пониженной интенсивностью подтвердила предположение о наличии в этих зонах более кислых пород — при бурении был обнаружен ксенолит кварцевых сиенитов.

Встреченные к юго-востоку базальты и порфириды, расположенные в магнитном поле интенсивностью от +3000 до +1000 — +500 гамм, позволили интерпретировать всю эту зону как поле развития порфиритов и базальтов. Между габбро-пироксенитами и базальтоидами, очевидно, существует тектонический контакт по разломам, выделяемым на карте Z_0 по линии наибольших изменений градиента, вариометрией по ряду профилей, и зафиксированным двумя буровыми скважинами. Были выделены также субмеридиональные разломы в пределах Покрово-Киреевской группы аномалий, подтверждаемые результатами ВЭЗ.

При рассмотрении магнитной карты в области развития порфиритов виден сложный характер поля с локальными аномалиями, участками сгущения изолиний (большей частью субширотного направления). Эти сгущения, возможно, обусловлены субширотными разломами, по которым проходили излияния эффузивов (как и в Волновихской зоне разломов). Здесь можно предполагать наличие и ряда субмеридиональных разломов.

С запада к этой зоне примыкает Бешевская группа магнитных аномалий, четко выделяемая и в гравитационном поле. Отдельные участки этой аномальной области интерпретировались аналогично Покрово-Киреевской группе аномалий.

К северу от Бешевской группы выделяется Жуковский разлом, прослеженный геофизическими работами от с. Жуки через весь участок до Покрово-Киреевского грабена и, возможно, далее на восток; западнее участка он выявлен при проведении буровых работ.

Комплекс геофизических методов позволил выделить и Вишневецкий разлом, который ограничивает с севера породы, вызывающие Покрово-Киреевскую группу аномалий. Севернее этого разлома по результатам количественной интерпретации фиксируется опускание кристаллических пород.

На восточной и юго-восточной периферии Покрово-Киреевской группы аномалий была отмечена полоса пониженной интенсивности магнитного поля, связываемая с крутопадающим телом альбитофиров, вскрытых скважинами. Гравиразведкой с измерением вторых производных и электропрофилерованием

здесь прослеживается ряд разломов, выделяемых и буровыми работами.

Отмечаемые к юго-западу от с. Покрово-Киреево четыре «залива» пониженного магнитного поля вызвали особый интерес. Скважины, пробуренные в этой области до 1960 г., оказались, к сожалению, расположенными в пределах сложного мозаичного поля интенсивностью до $+1600$ гамм между «заливами» и на контакте с ними. Скважинами вскрыты малиньиты, содержащие ксенолиты базальтоидов. При анализе магнитного поля здесь намечена серия субширотных и субмеридиональных разломов. Буровыми работами, проведенными по нашим рекомендациям, в последнее время установлено, что участки пониженных значений Z_a соответствуют нефелиновым снитам.

Южнее этой зоны поле интенсивностью $+600$ — $+700$ гамм с отдельными локальными аномалиями в $+100$ — $+200$ гамм обусловлено, очевидно, массивом граносенитов с многочисленными лампрофировыми дайками, как это отмечено геологоразведочными работами. К востоку от массива кристаллический фундамент погружается. В пределах массива, по данным ВЭЗ, намечается субширотный разлом.

Покрово-Киреевский грабен, выполненный в основном палеозойскими осадочными отложениями, отмечается на карте Z_a понижением поля до $+450$ — $+300$ гамм, подтверждается в гравитационном поле и результатами ВЭЗ. Исходя из анализа физических полей, в первом приближении можно наметить серию субмеридиональных и субширотных разломов. Аналогичные выводы можно сделать и на основании буровых работ. Однако в отличие от существовавшего представления о восточном-юго-восточном направлении разломов мы предположили, что близкое к широтному направление более вероятно. Тело грабена, очевидно, представляет собой систему блоков, опущенных на различную глубину.

На севере Покрово-Киреевский грабен сочленяется с так называемым Культурным горстом. Мы считали, что направление разлома, по которому произошло опускание, субширотное. Это подтвердилось буровыми работами.

Восточнее Покрово-Киреевского грабена по резкой смене типов кривых ВЭЗ и увеличению мощности мезо-кайнозойских отложений было подтверждено существование выделенной Г. Т. Собакарем Среднееланчикской зоны разломов.

Выявленная Новохопровская магнитная аномалия в первом приближении была связана с массивом основных и ультраосновных пород, погруженных на значительную глубину.

Большой интерес представили выделенные всеми методами Культурный горст и Вишневецкий грабен, аналогичный, очевидно, по своему строению Покрово-Киреевскому. Открытие Вишневецкого грабена геофизическими методами исследований под-

тверждено буровыми работами. Учитывая интенсивность магнитного поля (свыше +1000 гамм) над Культурным горстом, мы были склонны связывать природу аномалии с более основными породами (возможно, в связи с внедрением мощных лампрофировых даек), хотя до этого в Культурном горсте были известны только граниты. Скважинами, пробуренными по нашим рекомендациям, это предположение подтвердилось — в гранитах встречены лампрофировые дайки, а также малиньиты.

При сравнении кривых Z_a , W_{xz} , W_Δ и ρ_k (рис. 27) сделано предположение, что Культурный горст и Вишневский грабен сочленяются по двум субмеридиональным разломам, один из которых севернее Вишневского разлома не отмечается.

Вишневский грабен, судя по характеру магнитного поля и результатам ВЭЗ, соединяется с Покрово-Киреевским своеобразным перешейком палеозойских осадочных пород. Культурный горст с востока, очевидно, ограничен субмеридиональным разломом.

К западу от Вишневской и Покрово-Киреевской и к северу от Бешевской групп аномалий буровыми работами установлен архейский мигматитовый комплекс пород, фиксируемый довольно спокойными гравитационным и магнитным полями. Но в последнем отмечается субмеридиональная полоса интенсивностью до +700 гамм, которая, по аналогии с результатами геофизических исследований в других районах Приазовья, была связана с гнейсами. Так же были проинтерпретированы и аномалии южнее с. Жуки.

К востоку от х. Войково выделена Войковская магнитная аномалия интенсивностью свыше +1200 гамм, нашедшая отражение и в гравитационном поле. По аналогии с геофизическими исследованиями в Волновахской зоне разломов, эту аномалию могли вызвать базальтоиды, внедрившиеся по разлому субширотного направления, названному нами Колосковским. Из анализа результатов электроразведочных работ (карта типов кривых ВЭЗ, карта S и др.) видно, что эта зона отмечается искаженными кривыми ВЭЗ, а к северу от Войковской аномалии можно ожидать погружение докембрийского фундамента и развитие палеозойских отложений. Намечен также субмеридиональный разлом, по которому ограничивается распространение палеозойских отложений на восток. Мы предполагаем, что здесь Войковский разлом как бы смещен к востоку по Колосковскому разлому. Пробуренные по нашим рекомендациям на Войковской аномалии в 1960 г. две скважины показали, что аномалия вызвана эффузивной породой основного состава, а к северу от нее встречены палеозойские известняки. Это подтвердило интерпретацию физических полей в данном районе.

К северу от Жуковского разлома были выделены отрицательные аномалии интенсивностью до —200 гамм. Если такую

аномалию к северу от Бешевской группы можно было объяснить падением пород к югу, то для других отрицательных аномалий такое объяснение неприемлемо. Учитывая, что аналогичные магнитные поля в других районах Приазовья вызваны гранитами типа екатерининских и каменноугольных, отрицательные аномалии к северу от Жуковского разлома в первом приближении можно связать с гранитами этого типа.

Таковы основные геологические результаты комплексной интерпретации геофизических материалов. Изложенное свидетельствует о том, что большинство геологических объектов, известных на Покрово-Киреевском участке до проведения детальных геофизических исследований, нашло то или иное отражение в физических полях. Последние позволили в значительной степени уточнить, а в отдельных случаях и изменить представление о распространении и контактах кристаллических пород различного состава, направлении и протяженности разломов и др. Исходя из анализа всех особенностей полученных физических полей, удалось расширить наши представления о сложном геолого-тектоническом строении Покрово-Киреевского участка и выделить ряд неизвестных ранее геологических объектов (Вишневский грабен, Колосковский разлом и др.).

Результаты геологических и геофизических работ позволили сделать ряд выводов по истории формирования Покрово-Киреевской структуры. Опираясь на фактический геологический материал и результаты интерпретации геофизических данных, мы составили схематическую тектоническую карту Покрово-Киреевского участка (рис. 28). Буровые работы 1959—1960 гг. подтвердили в основном главные выводы, построения и правильность истолкования природы физических полей.

Материалы проведенных комплексных геофизических исследований в дальнейшем широко использовались при геологоразведочных работах в районе месторождения флюорита и при среднемасштабной геологической съемке. Положительные результаты этих работ позволили рекомендовать проведение комплексных геофизических исследований при среднемасштабном геологическом картировании в остальных районах Приазовского кристаллического массива и зоны сочленения массива с Донбассом.

Именно в этот период перед автором возник ряд вопросов методики и комплексирования геофизических методов, комплексного ведения геологических и геофизических работ. Некоторые из них были решены уже в процессе указанных исследований (целесообразность наблюдений по изометричной сети, упрощенная схема обработки магнитометрических наблюдений, применение панельки с пультом управления и схемы с кондукторами для электроразведки и т. д.), а для других были намечены пути решения. Успешное решение многих геологических задач

обусловлено, очевидно, тем, что комплекс применяемых методов и методика полевых работ в общем соответствовали поставленным задачам и физико-геологическим условиям участка.

Так, в основном правильно был выбран комплекс площадных геофизических исследований и детализационных работ. Площадные съемки выполнялись по изометричной сети с ша-

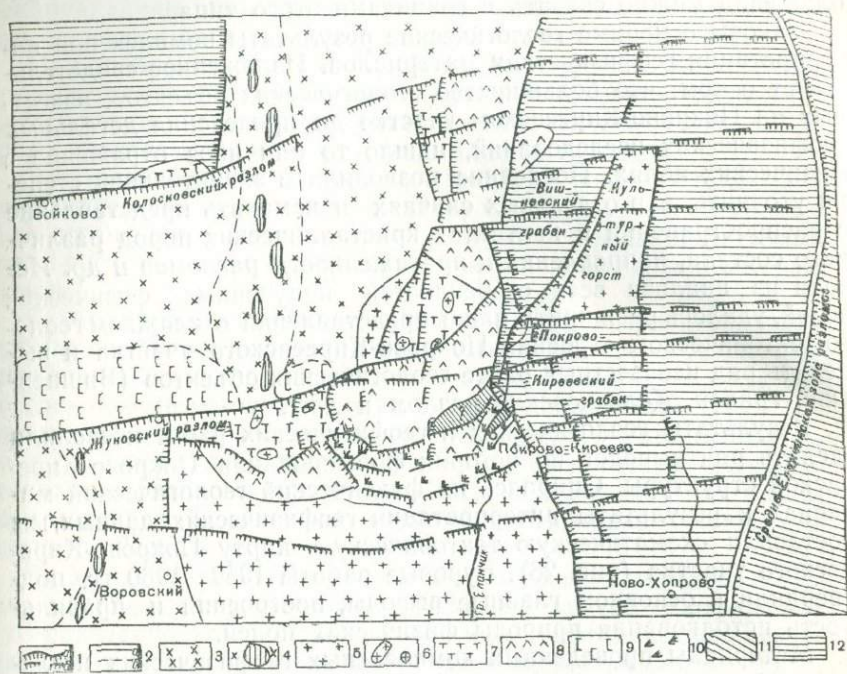


Рис. 28. Схематическая тектоническая карта Покрово-Киреевского участка: 1 — тектонические нарушения по геофизическим и геологическим данным: а — установленные, б — предполагаемые; 2 — контакты пород по геофизическим и геологическим данным: а — выделенные, б — предполагаемые; 3 — мигматиты; 4 — гнейсово-мигматитовый комплекс; 5 — граносениты; 6 — ксенолиты кварцевых порфиров; 7 — пироксениты, габбро-пироксениты; 8 — базальты, порфириты; 9 — граниты типа екатерининских; 10 — малиниты; 11 — альбитофиры; 12 — палеозойские отложения.

гом, для большей части территории близким к рациональному поисковому. На участках наиболее сложного строения физических полей с целью их расшифровки и количественной интерпретации проводились детализационные исследования с шагом, соизмеримым для данного участка с рациональным интерпретационным. Интерпретация полученных материалов выполнялась комплексно, с учетом результатов всех геологических работ.

Однако проведенные исследования, представляя в 1958—1960 гг. значительный интерес, с точки зрения положений, изложенных в настоящей работе, имеют ряд методических недо-

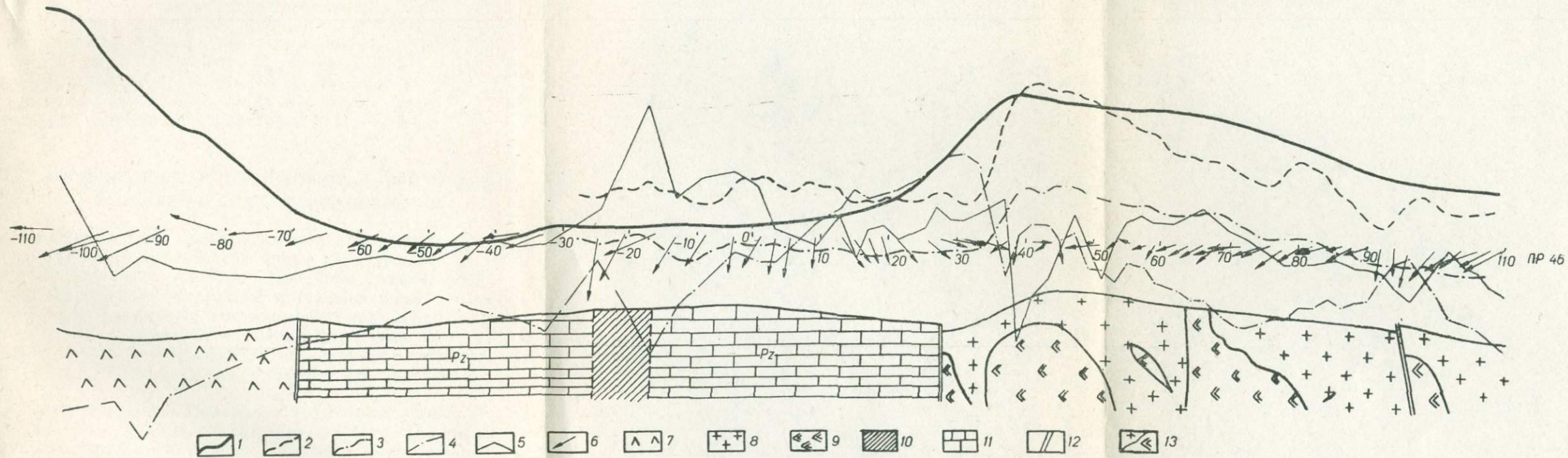


Рис. 27. Графики Z_a , ρ_K , W_{xz} , W_{Δ} , план векторов W_{sz} и схематический геологический разрез по профилю 46:

1 — кривая Z_a (в 1 см 200 гамм, линия профиля + 200 гамм); 2 — кривая ρ_K при $AB=1200$ м (в 1 см 10 ом.м, линия профиля 30 ом.м); 3 — кривая ρ_K при $AB=680$ м (в 1 см 10 ом.м, линия профиля 30 ом.м); 4 — кривая W_{xz} (в 1 см 20 этвеш); 5 — кривая W_{Δ} (в 1 см 20 этвеш); 6 — векторы W_{sz} (в 1 см — 50 этвеш); 7 — базальты, порфиры; 8 — граносиениты; 9 — малиниты, породы основного состава (нерасчлененные); 10 — альбитофиры, ортофиры; 11 — палеозойские отложения; 12 — тектонические нарушения; 13 — контакты пород.

статков. Так, например, в восточной части участка с мощной толщей осадочных отложений сеть магнитометрии 100×80 м и даже 200×40 м оказалась явно густой, а западнее с. Покрово-Киреево — редкой. Здесь наблюдения с рациональным поисковым шагом 30—50 м, проведенные хотя бы по каждому пятому — десятому профилю, могли бы более полно отразить сложное строение этого участка без большого объема площадных детализационных работ.

Таким образом, на этом примере применения комплексных геофизических исследований видна целесообразность использования некоторых положений и рекомендаций настоящей работы при проведении геофизических исследований, предшествующих среднемасштабному геологическому картированию.

Следует отметить, что некоторые положения и рекомендации предложены производственным организациям в процессе работы над настоящей темой и в той или иной степени уже используются при полевых исследованиях.

§ 12. Геофизические исследования, сопутствующие геологическому картированию

Основное задание геофизических работ этого этапа — решение конкретных геологических задач на отдельных участках в пределах изучаемой площади. При этом задачи могут быть весьма различными: выделение и трассирование зон разломов и отдельных разрывных тектонических нарушений, картирование элементов складчатой тектоники докембрийского фундамента, выявление, трассирование и оконтуривание отдельных геологических тел, определение элементов их залегания, состава и др.

Геофизические исследования, сопутствующие геологическому картированию, должны выполняться согласно заданиям геологов, проводящих съемку, а по времени — совмещаться с геологосъемочными работами. Подход к выбору участков для проведения геофизических наблюдений и определение задач могут быть различны, в зависимости от полноты и характера сведений о подлежащем исследованию геологическом объекте, характера отражения этого объекта в различных физических полях, сведений и предположений о физических свойствах и параметрах объекта и вмещающей среды. Большое значение имеет также очередность поступления различной информации.

При проектировании геофизических исследований этого этапа должны быть детально проанализированы материалы геофизических работ, предшествующих геологическому картированию, и результаты проверки бурением и горными выработками рекомендаций по этим работам. Следует отметить необходи-

мость оперативного изучения физических параметров пород, вскрываемых проверочными геологоразведочными работами.

В отдельных случаях возможно, основываясь на результатах этой проверки и анализе физических полей, дать уже во время проектирования однозначный и вполне удовлетворяющий требованиям геологов ответ о природе и параметрах возмущающего объекта. Это достигается при переинтерпретации в соответствии с данными бурения, геофизических материалов, полученных на предшествующем геологической съемке этапе, и, очевидно, отпадает необходимость в проведении дополнительных полевых геофизических наблюдений.

Большинство же задач, поставленных перед геофизическими методами на этом этапе съемки, может решаться только при проведении необходимых полевых геофизических работ. Пути решения этих задач (комплекс необходимых методов, точность съемок, методика наблюдений и др.) иногда могут быть определены уже во время проектирования, а в процессе работ возможны дополнения и изменения, что следует предусматривать в проектах работ. Однако часто имеющейся геологической и геофизической информации недостаточно для того, чтобы уверенно найти пути решения той или иной конкретной геологической задачи. В таких случаях необходимо проводить опытные работы различными геофизическими методами, разрешающая способность которых может оказаться достаточной для решения поставленной задачи.

Помимо тех задач, которые могут быть определены и сформулированы в период проектирования, перед геологами возникает ряд вопросов непосредственно при проведении геологического картирования. Таким образом, проектирование геофизических исследований, сопутствующих геологической съемке, может в зависимости от конкретных задач, полноты и очередности поступления информации проводиться различным образом. Рассмотрим шесть основных вариантов, которые могут возникнуть при проектировании.

1. На предшествующем геологической съемке этапе одним или несколькими геофизическими методами уверенно выделяется интересующий съемщиков объект (или группа объектов), причем однозначность интерпретации или подтверждается геологическими наблюдениями, или же не вызывает сомнений. Задачей геофизических исследований в этом случае может быть уточнение местоположения данного объекта, выяснение характера его сопряжения с другими объектами, определение параметров объекта.

Для решения этих вопросов могут привлекаться как только методы (или даже один из методов), применявшиеся на первом этапе, так и другие геофизические методы. Участки для проведения таких исследований определяются во время проек-

тирования. Тогда же, в зависимости от задач съемки, величины и характера ожидаемого аномального эффекта, для каждого из участков разрабатываются пути решения поставленных задач: комплекс необходимых методов, методика и сеть наблюдений, точность съемок и т. д.

2. При уверенном выделении геофизическими методами того или иного геологического объекта (или группы объектов) однозначность интерпретации не обеспечена. Примером такого варианта могут быть магнитные или гравимагнитные аномалии, геологическая природа которых не ясна. Если при любом варианте истолкования объект заслуживает внимания, то геофизические работы, сопутствующие съемке, для решения задач, аналогичных изложенным в п. 1, проектируются в подготовительный период и проводятся без дополнительного согласования с геологами-съемщиками.

Если же некоторые варианты истолкования природы геофизических аномалий не представляют определенного интереса для геологической съемки, геофизические исследования, сопутствующие геологической съемке, проектируются. Однако выполнять при этом наблюдения следует после определенных геологосъемочных работ и получения заключения геологов о необходимости постановки геофизических исследований на данном участке.

3. При проведении предшествующих съемке геофизических работ те или иные геологические объекты не четко выражены в физических полях. Однако во время проектирования при совместном анализе геофизических и геологических материалов могут быть обнаружены определенные связи между известными геологическими объектами и некоторыми особенностями физических полей. Примером такого варианта может быть соответствие установленной геологическими материалами зоны тектонического нарушения некоторым особенностям физических полей, которые являются критериями отражения тектонических нарушений. При этом не исключается возможность и того, что исполнители геофизических работ на предшествующем съемке этапе не обратили внимания или не придали значения тем или иным особенностям физических полей.

В этом варианте геофизические исследования следует проектировать аналогично изложенному в п. 1.

4. При проектировании известные геологические объекты не находят определенного отражения в физических полях, полученных на предшествующем съемке этапе геофизических работ. Однако если для решения геологических задач в этом случае необходимы геофизические методы, целесообразно выяснить возможность применения последних. Для этого опытные исследования нужно проводить как методами, которые применялись на предшествующем геологической съемке этапе (но по более

густой сети и с более высокой точностью), так и другими. Участки для проведения таких работ и программы опытных исследований определяются при проектировании.

5. Определенная связь между геологическими объектами и особенностями физических полей устанавливается при совместном анализе имеющихся геофизических материалов и получаемых в процессе геологической съемки данных. Участки для проведения геофизических исследований, сопутствующих геологической съемке, как и программы полевых наблюдений, в этом случае, естественно, не могут быть выбраны в период проектирования. Однако необходимость выполнения таких работ должна предусматриваться в проектных заданиях, для чего целесообразно проектировать некоторые резервные («подвешенные») объемы наблюдений различными геофизическими методами без определения заранее участков съемок, методики, сети полевых наблюдений и т. д.

6. В процессе геологической съемки картируются заведомо известные или предполагаемые, исходя из различных геологических соображений, объекты, которые в физических полях, полученных для данного участка ранее, не фиксируются. В этом варианте следует проводить опытные геофизические исследования таким же образом, как изложено в п. 4. Поскольку участки работ и программы полевых исследований не могут быть определены в период проектирования, следует предусматривать также «подвешенные» объемы наблюдений различными геофизическими методами.

Таким образом, проектирование геофизических работ, сопутствующих геологической съемке, следует проводить в тесном контакте с геологами, картирующими данную территорию. Ряд задач, подлежащих решению геофизическими методами, может быть определен только в процессе проведения геологической съемки. Тесный контакт геологов и геофизиков необходим также и при полевых геофизических наблюдениях, и при интерпретации геофизических материалов, и при составлении геологических отчетов. В связи с этим организация геофизических работ должна быть иной, чем на первом этапе.

В настоящее время на практике применяются два основных организационных варианта выполнения геофизических исследований.

1. Создается единая геолого-геофизическая партия со специальным геофизическим отрядом, решающим все задачи, которые требуют применения геофизических методов. Такая организационная структура удобна и выгодна потому, что одни и те же задачи на площади съемки решаются как чисто геологическими, так и геофизическими методами. Однако указанный вариант не лишен некоторых недостатков. Прежде всего, учитывая необходимость применения нескольких геофизических ме-

тодов (в различных объемах и в разной последовательности), такой геофизический отряд должен иметь все необходимые средства, аппаратуру и кадры для проведения возможных при геологической съемке видов геофизических работ.

Учитывая специфику проведения геофизических исследований на втором этапе, при проектировании невозможно точно определить объемы и очередность полевых наблюдений различными методами.

Очевидно, затраты на организацию и содержание геофизического отряда значительные, и в то же время некоторые бригады вынуждены иногда простаивать или проводить работы, выполнение которых не обуславливается поставленными задачами.

2. Геофизические работы, сопутствующие геологической съемке, проводятся специальной геофизической партией, которая выполняет еще ряд других заданий (например, геофизические съемки, предшествующие геологическому картированию, на соседних планшетах и др.). Преимущество такой организации заключается в возможности выполнять все задачи, требующие решения геофизическими методами, достаточно квалифицированно и экономично. Но в этом случае руководители геофизических исследований уделяют внимание геологической съемке в процессе ее выполнения лишь частично, и геофизические работы проводятся менее оперативно.

Поэтому можно рекомендовать следующую организацию геофизической службы, проводящей сопутствующие геологической съемке работы. Следует организовать специальную геофизическую партию, которая должна обслуживать несколько геологопоисковых партий. В связи с тем, что магнитометрия — ведущий геофизический метод при решении многих задач, стоящих перед геологическим картированием, каждой из геологопоисковых партий должно быть придано по одной магнитометрической бригаде. При решении же геологических задач другими методами в составе геофизической партии должно быть организовано соответственно этим методам по одной (в случае большого объема работ — несколько) бригаде для выполнения наблюдений поочередно во всех обслуживаемых геологосъемочных партиях. Если необходимо, в составе геофизической партии следует иметь дополнительные магнитометрические бригады, которые направляются в помощь магнитометрическим бригадам, приданным геологическим партиям.

Такая организация геофизической службы, выполняющей задания геологической съемки в процессе ее проведения, должна позволить достаточно оперативно и экономично решать все поставленные задачи. Инженерный состав геофизической партии сможет все внимание уделять решению только этих задач, исследования будут проводиться при тесном контакте геологов-съемщиков и геофизиков, а сосредоточение всех геофизических

работ в одной партии должно позволить на более высоком уровне вести полевые наблюдения, обработку и интерпретацию геофизических материалов.

Комплекс методов, масштаб наблюдений, методика съемки, способы представления полевых геофизических материалов и методика интерпретации должны определяться конкретными задачами и геолого-структурными условиями на каждом отдельном участке. Как указано, на этом этапе возрастает объем и роль опытных геофизических исследований; методика полевых работ, масштабы съемок и даже комплекс методов должны корректироваться, а если требуется — и изменяться. В связи с необходимостью получения максимально полных сведений о параметрах возмущающих объектов должен возрасти объем наблюдений, выполненный с рациональным интерпретационным шагом.

Опыт проведения детальных геофизических исследований в гределах приазовской части УКЩ и других докембрийских щитов показывает, что при незначительной мощности наносов (десятки — первые сотни метров) большинство геологических объектов, представляющих интерес при среднемасштабной геологической съемке, находят то или иное отражение в физических полях. Особенно повышается эффективность геофизических работ при тесном комплексировании геологических и геоморфологических исследований с геофизическими.

В то же время, если поставленные задачи можно вполне успешно решить одним или несколькими видами геофизических съемок, необходимо ограничить комплекс геофизических методов. При этом целесообразно предпочитать методы, наиболее экономичные и обладающие высокой разрешающей способностью.

Для детальных геофизических исследований докембрийских щитов наиболее часто применяются магнитометрия, гравиметрия, гравиразведка с измерением вторых производных, электропрофилеирование различными методами в масштабе 1:10 000—1:5000 и крупнее, электроразведка методом ВЭЗ в масштабе 1:25 000—1:10 000, а в районах с мощностью наносов до 10—20 м — и металлотрия по сети магнитных наблюдений, микромагнитная съемка, радиометрия. Все эти виды геофизических работ могут найти применение при решении различных задач, стоящих перед среднемасштабным геологическим картированием. В некоторых случаях можно применять и другие геофизические съемки (магнитометрию с измерением горизонтальной составляющей земного магнитного поля H , сейсморазведку, электроразведочные исследования переменных электрических и электромагнитных полей и др.) Полевые работы должны сопровождаться изучением физических свойств горных пород.

В зависимости от поставленных задач, форм и особенностей

возмущающих объектов могут проводиться как площадные геофизические съемки, так и наблюдения по сериям отдельных профилей. При этом на сопутствующем геологическому картированию этапе целесообразно комплексировать площадные и профильные исследования.

Проводить геофизические работы рекомендуется в определенной последовательности. Вначале следует изучить характер физических полей над возмущающим объектом (группой объектов) и наиболее эффективным методом (в случае необходимости — несколькими методами) провести наблюдения по такой сети, которая обеспечила бы надежную качественную характеристику интересующих нас объектов. В одних случаях этому условию могут удовлетворять геофизические съемки этапа, предшествующего геологическому картированию. В других необходимо проводить специальные полевые работы, которые большей частью должны выполняться как площадные исследования. При линейном характере возмущающих объектов наблюдения целесообразно вести по сериям профилей.

После достоверного выяснения качественной характеристики возмущающих объектов следует проводить геофизические исследования для уточнения характера сочленения различных объектов (большей частью площадные съемки) и для целей количественной интерпретации материалов. В последнем случае значительное место могут занимать наблюдения по сериям профилей. Вследствие причин, указанных в § 1, проводить геофизические работы по отдельным профилям нецелесообразно. Наблюдения целесообразно проводить с рациональным интерпретационным шагом.

Комплексирование различных геофизических методов на сопутствующем геологическому картированию этапе здесь подробно не рассматриваем.

Интерпретация материалов этого этапа исследований должна вестись оперативно, комплексно по всем геофизическим методам, при максимальном использовании геологических и геоморфологических данных. При увязке геофизических и геологических работ все заявки и рекомендации геофизиков по проверке и уточнению полученных в результате интерпретации выводов должны выполняться оперативно.

В процессе интерпретации материалов геофизических работ, сопутствующих геологическому картированию, необходимо уделять внимание всем качественным особенностям физических полей и широко применять различные методы количественной интерпретации. Должны широко использоваться материалы геофизических съемок, предшествующих геологическому картированию. Способы обработки, интерпретации и представления результативных материалов могут быть различными в зависимости от характера решаемых задач, комплекса применяемых гео-

физических методов и методики полевых наблюдений. По данным геофизических и геологических работ необходимо составлять геологические карты или схемы участков исследований.

Следует отметить, что специальной службы для проведения геофизических исследований на сопутствующем геологической съемке этапе до настоящего времени в Приазовье не создано. Разрабатывая указанные положения, мы исходили из опыта детализационных работ, проводившихся геофизическими партиями при общих съемках, сведений о подобных работах в других регионах, а также из опыта магнитометрических исследований, проводившихся нами в 1962—1963 гг. по согласованию с геологосъемочной партией АКГРЭ треста «Артемгеология». Однако даже незначительные объемы таких наблюдений показали их большую эффективность для оперативного решения ряда задач, стоящих перед геологами-съемщиками.

В § 1 подчеркивалось успешное применение сопутствующей геологической съемке магнитометрии при картировании массива основных пород Зеленой Могилы (см. рис. 6) и пачки гнейсов в районе с. Захарьевки. Положительные результаты были получены также при прослеживании выявленного геологами тектонического нарушения у х. Пищевик, при картировании дайкового пояса в районе Южно-Кальчикского массива (под незначительным по мощности чехлом осадочных отложений) и на других участках. Все эти объекты при геофизических работах на предшествующем геологической съемке этапе выявлены не были, и только постановка специальных магнитометрических исследований, выполнявшихся совместно с геологическим картированием, позволила успешно решить поставленные задачи.

§ 13. К вопросу о комплексировании магнитометрии и гравиразведки с измерением вторых производных

Остановимся на вопросе о комплексировании магнитометрии и гравиразведки с измерением вторых производных силы тяжести. Как указано, оба метода применяются при решении всех основных задач, которые ставятся перед геофизическими работами при геологическом картировании.

Анализ физических свойств докембрийских пород показывает, что при изменении плотности, как правило, наблюдается соответственное увеличение или уменьшение намагниченности. Однако встречаются и исключения. Например, для серпентинитов характерно увеличение намагниченности при уменьшении плотности. А в богатых железных рудах наблюдается увеличение плотности (по сравнению с менее богатыми) без существенного изменения магнитных свойств [47, 48]. (В Приазовье такие породы распространены незначительно). В этих случаях, чтобы ус-

тановить природу геофизических аномалий и однозначно решить поставленные задачи, необходимо комплексирование обоих методов.

Как известно, магнитометрия — ведущий геофизический метод при картировании пород, магнитные свойства которых хорошо дифференцированы, и применение этого метода при картировании докембрийских щитов обязательно.

Рассмотрим, в каких случаях при картировании пород, для которых наблюдается прямое соотношение между изменением магнитных свойств и плотности, целесообразно применять наряду с магнитометрией гравirazведку с измерением вторых производных. Большей частью из-за отсутствия необходимых сведений направление намагниченности пород неизвестно и условно принимается вертикальным. Интерпретация полевых материалов проводится исходя из этого предположения, в результате чего могут быть сделаны неправильные выводы об угле падения пород. Однако при геологическом картировании очень важно знать истинный угол падения пород. Поэтому если угол падения неизвестен и нет достоверных сведений об угле намагниченности пород, необходимо выполнить гравirazведку с измерением вторых производных над магнитными аномалиями, которые отражают характерные, достаточно протяженные и выдержанные пласты или пачки пластов. Наблюдения рекомендуется проводить сериями из двух профилей (для установления корреляционной зависимости и повышения достоверности интерпретации) с рациональным интерпретационным шагом в местах, где требуется установить истинный угол наклона объектов или предполагается изменение направления этого угла.

Очень часто гравirazведка с измерением вторых производных применяется для дифференциации докембрийских пород по плотности с целью определения петрографического состава этих пород. При этом, как правило, используются кривые W_{vz} . Рассмотрим, исходя из отношения точности исследований и разницы в величине физических свойств, какой метод рациональнее применять для получения большего амплитудного эффекта относительно точности съемки.

Анализ проведен на примере вертикального полубесконечного пласта и вертикального уступа при вертикальном намагничении. В соответствии с [54, 55] для вертикального пласта $Z_{ам} = Z_{max}$, а для вертикального уступа $Z_{ам} = 2Z_{эстр}$.

В аналитические выражения амплитудных значений $Z_{ам}$ над этими телами входят функции арктангенсов, которые обозначим

$$\arctg \frac{2bR}{R^2 - b^2} = 2 \arctg \frac{b}{R} = A_n, \quad (13,1)$$

$$2 \arctg \frac{l}{2\sqrt{R(R+l)}} = A_y. \quad (13,2)$$

Амплитудное значение W_{xz} для вертикального пласта представляет сумму экстремальных значений W_{xz} , абсолютные величины которых одинаковы. Тогда согласно (8,5) и (8,6)

$$(W_{xz})_{\text{ам}} = 2f\sigma \ln \frac{\sqrt{R^2 + b^2} + b}{\sqrt{R^2 - b^2} - b}. \quad (13,3)$$

Для вертикального уступа в аналитическое выражение амплитудного значения $(W_{xz})_{\text{ам}}$, равного $(W_{xz})_{\text{мах}}$, также входит функция логарифмов (8,9). Обозначим

$$\ln \frac{\sqrt{R^2 + b^2} + b}{\sqrt{R^2 - b^2} - b} = J_{\text{п}}, \quad (13,4)$$

$$\ln \frac{R + l}{R} = J_{\text{у}}. \quad (13,5)$$

Для различных параметров обоих объектов составлены таблицы значений $A_{\text{п}}$, $J_{\text{п}}$ и $A_{\text{у}}$, $J_{\text{у}}$ (табл. 7, 8). Согласно [55],

Таблица 7

$\frac{b}{R}$	$J_{\text{п}}$	$A_{\text{п}}$	$\frac{b}{R}$	$J_{\text{п}}$	$A_{\text{п}}$
0,05	0,10	0,10	1,9	2,80	2,17
0,1	0,20	0,20	2,0	2,89	2,22
0,2	0,40	0,40	2,5	3,29	2,46
0,3	0,59	0,58	3,0	3,64	2,50
0,4	0,78	0,76	3,5	3,93	2,59
0,5	0,96	0,93	4,0	4,19	2,65
0,6	1,14	1,08	4,5	4,42	2,70
0,7	1,31	1,22	5,0	4,63	2,75
0,8	1,47	1,35	5,5	4,81	2,78
0,9	1,62	1,47	6,0	4,98	2,81
1,0	1,76	1,57	6,5	5,16	2,84
1,1	1,90	1,67	7,0	5,29	2,86
1,2	2,03	1,75	7,5	5,45	2,88
1,3	2,16	1,83	8,0	5,56	2,90
1,4	2,28	1,90	8,5	5,67	2,91
1,5	2,39	1,97	9,0	5,80	2,92
1,6	2,50	2,02	9,5	5,90	2,93
1,7	2,60	2,06	10,0	5,99	2,94
1,8	2,70	2,13			

а также (13,1), (13,3) и (13,4) для вертикального пласта получаем

$$Z_{\text{ам}} = 2I_{\text{п}}A_{\text{п}}, \quad (13,6)$$

$$(W_{xz})_{\text{ам}} = 2f\sigma_{\text{п}}J_{\text{п}}. \quad (13,7)$$

Аналогично в соответствии с [54] и (8,9), (13,2), (13,5) для вертикального уступа

$$Z_{\text{ам}} = 2I_{\text{у}}A_{\text{у}}, \quad (13,8)$$

$$(W_{xz})_{\text{ам}} = 2f\sigma_{\text{у}}J_{\text{у}}. \quad (13,9)$$

Таблица 8

$\frac{l}{R_1}$	A_y	L_y	$\frac{l}{R_1}$	A_y	L_y
0,05	0,05	0,05	3,5	1,38	1,50
0,1	0,10	0,10	4,0	1,46	1,61
0,2	0,18	0,18	4,5	1,53	1,70
0,3	0,26	0,26	5,0	1,59	1,79
0,4	0,33	0,34	6,0	1,69	1,95
0,5	0,40	0,41	7,0	1,78	2,08
0,6	0,46	0,47	8,0	1,85	2,20
0,8	0,58	0,59	9,0	1,92	2,30
1,0	0,68	0,69	10,0	1,98	2,40
1,2	0,77	0,79	15,0	2,16	2,77
1,4	0,85	0,88	20,0	2,28	3,04
1,6	0,92	0,96	25,0	2,37	3,26
1,8	0,99	1,03	30,0	2,43	3,43
2,0	1,05	1,10	40,0	2,52	3,71
2,5	1,18	1,25	50,0	2,59	3,93
3,0	1,29	1,39	100,0	2,75	4,62

Из формул (13,6) и (13,7) получаем, что для вертикального пласта

$$I_{\Pi} = \frac{Z_{ам}}{2A_{\Pi}}, \quad (13,10)$$

$$\sigma_{\Pi} = \frac{(W_{xz})_{ам}}{2f \cdot I_{\Pi}}. \quad (13,11)$$

Соответственно из (13,8) и (13,9) для вертикального уступа

$$I_y = \frac{Z_{ам}}{2A_y}; \quad (13,12)$$

$$\sigma_y = \frac{(W_{xz})_{ам}}{2fL_y}. \quad (13,13)$$

Как указывалось в § 1 и 8, вертикальный пласт достоверно выделяется при рациональном поисковом шаге наблюдений, если величина амплитудного эффекта не менее чем вдвое превышает среднюю квадратическую погрешность съемки, т. е. если $Z_{ам} \geq 2\varepsilon$, $(W_{xz})_{ам} > 2\varepsilon$. Аналогичные выводы получены также и для вертикального уступа.

Тогда согласно (13,10) — (13,13) можно определить минимальную величину I и σ , которая обеспечит достоверное выделение аномалии при рациональном поисковом шаге и известной точности съемки, т. е.

$$I_{\Pi} = \frac{\varepsilon_{\Pi}}{A_{\Pi}}, \quad (13,14)$$

$$\sigma_{\Pi} = \frac{\varepsilon_{\omega}}{fL_{\Pi}}, \quad (13,15)$$

$$I_y = \frac{\varepsilon_m}{A_y}, \quad (13,16)$$

$$\sigma_y = \frac{\varepsilon_w}{fL_y}, \quad (13,17)$$

где ε_m — средняя квадратическая ошибка магнитной съемки, а ε_w — средняя квадратическая ошибка определения градиентов W_{xz} .

При рациональном интерпретационном шаге наблюдений в пределах аномальной зоны находится не менее 10 наблюдений. Как показано в § 2, при магнитной съемке по профилю большинство источников ошибок для соседних точек если и оказывает различное влияние на суммарную ошибку определения Z_a , то все же величины и знак суммарных ошибок для смежных точек разнятся не на большую величину. В связи с этим практически можно считать, что при магнитной съемке с рациональным интерпретационным шагом наблюдений для достоверного выделения вертикального пласта или уступа достаточна величина амплитудного эффекта, соизмеримая с величиной средней квадратической ошибки съемки.

Для гравirazведки с измерением вторых производных из-за того, что основной источник ошибок — это погрешность в измерениях, подобный вывод, очевидно, сделать нельзя.

При дальнейшем изложении будем основываться на формулах (13,14) — (13,17). В настоящее время практически можно считать, что средняя квадратическая ошибка профильной магнитной съемки ε_m не превышает 15 гамм, а величина ε_w — не более 3 этвеш (нас интересует абсолютная величина средних квадратических ошибок съемок, и поэтому знаки плюс и минус опущены).

Тогда можно записать, что

$$I_n = \frac{150}{A_n} \cdot 10^{-6}, \quad (13,18)$$

$$\sigma_n = \frac{0,045}{L_n}, \quad (13,19)$$

$$I_y = \frac{150}{A_y} \cdot 10^{-6}, \quad (13,20)$$

$$\sigma_y = \frac{0,045}{L_y}. \quad (13,21)$$

Основываясь на этих формулах и данных таблиц 7 и 8, можно определить, какая минимальная величина I или σ нужна для достоверного выявления объекта при различных величинах параметров пласта или уступа относительно мощности наносов, и затем делать вывод о целесообразности применения гравirazведки с измерением вторых производных.

Согласно формулам (13,18), (13,19) и табл. 7 вертикальные пласты с избыточной интенсивностью намагничения $1000 \cdot 10^{-6}$ СГС при величине отношения $b : R < 0,5$ практически столь же эффективно выделяются и при измерении градиентов W_{xz} , если $\Delta\sigma_n = 0,3 \text{ г/см}^3$. По мере увеличения отношения $b : R$ для одинаковой эффективности магнитометрии и гравиразведки с измерением вторых производных при $\Delta I_n = 1000 \cdot 10^{-6}$ СГС величина $\Delta\sigma_n$ уменьшается, достигая при $b : R = 10$ $0,15 \text{ г/см}^3$. На основании формул (13,20), (13,21) и табл. 8 для вертикального уступа практические условия одинаковой эффективности обоих методов при $l : R < 0,5$ такие же, как и для вертикального пласта, т. е. уступ одинаково эффективно выделяется при $\Delta I_y = 1000 \cdot 10^{-6}$ СГС и $\Delta\sigma_y = 0,3 \text{ г/см}^3$. По мере увеличения отношения $l : R$ величина $\Delta\sigma_y$ также уменьшается, но медленнее, чем в предыдущем случае, достигая $0,25 \text{ г/см}^3$ при $l : R = 10$.

Сравнивая эти данные с результатами определения физических свойств горных пород Приазовья, можно сделать вывод, что при картировании большинства из них с целью определения петрографического состава рациональнее применять магнитометрию, а не гравиразведку с измерением вторых производных. К тому же последняя более чем в 10 раз дороже магнитной съемки. Поэтому гравиразведку с измерением вторых производных для определения петрографического состава докембрийских пород следует применять лишь в отдельных случаях, когда магнитометрией нельзя однозначно решить поставленную задачу. Следует также указать, что диапазоны изменения магнитных свойств для одной и той же породы более широкие, чем изменения плотности, и в отдельных случаях это может быть дополнительным доводом в пользу гравиразведки с измерением вторых производных.

Интересно отметить, что аналогично формулам (13,7) и (13,9) для вертикального пласта

$$H_{ам} = 2I_n, \quad (13,22)$$

а для вертикального уступа

$$H_{ам} = 2I_y. \quad (13,23)$$

Тогда на основании формул (13,6), (13,8), (13,22), (13,23), данных в табл. 7 и 8, можно сделать следующие выводы: при небольших относительно мощности наносов размерах тел величины амплитудного эффекта как вертикальной, так и горизонтальной составляющей магнитного поля одинаковы; по мере увеличения относительных размеров тел амплитудный эффект горизонтальной составляющей увеличивается по сравнению с таковым вертикальной составляющей.

При решении некоторых задач геологического картирования объекты могут значительно отличаться по плотности от вме-

щающей среды, но быть слабо дифференцированы по магнитным свойствам. К таким объектам можно отнести разрывные тектонические нарушения, которые имеют зону дробления пород или по которым произошли перемещения блоков, в результате чего на контакте можно встретить различные породы. В этих случаях применение гравirazведки с измерением вторых производных в комплексе с магнитометрией обязательно.

§ 14. Некоторые рекомендации по методике и комплексированию геофизических исследований в различных районах Приазовского кристаллического массива и зоны сочленения его с Донбассом

В предыдущих разделах рассмотрены некоторые вопросы методики геофизических наблюдений, комплексирования геофизических исследований различными методами, комплексного проведения геофизических и геологосъемочных работ. Поскольку задача настоящей работы — изучение рационального использования комплексных геофизических исследований при среднемасштабном геологическом картировании районов Приазовского кристаллического массива и зоны сочленения массива с Донбассом, очевидно, необходимо учитывать различие физико-геологических условий в отдельных частях региона. На основе изложенного мы считаем возможным сделать ряд рекомендаций по ведению геофизических исследований в помощь среднемасштабному геологическому картированию.

Однако, прежде чем предлагать рекомендации для различных геологических районов Приазовья, необходимо в свете указанных требований методики геофизических исследований оценить возможность использования имеющихся уже на отдельных участках материалов, геофизических съемок. Учитывая круг задач, решаемых с помощью магнитометрии, и сложность геологического строения региона, без значительных дополнительных полевых исследований могут быть использованы лишь магнитные съемки масштаба 1 : 25 000 и крупнее. Следует иметь в виду, что большая часть съемок масштаба 1 : 25 000 выполнена по резко прямоугольной сети и при проведении геофизических работ, сопутствующих геологической съемке, необходимо предусматривать определенные объемы полевых магнитометрических исследований с рациональным поисковым шагом для уточнения построений, выполненных ранее. В большинстве случаев с помощью таких дополнительных работ вполне уверенно можно использовать имеющиеся материалы. Но на участках наиболее сложного магнитного поля целесообразно провести детализационные и площадные магнитометрические исследования в масштабе 1 : 5000.

Что же касается магнитометрических съемок масштаба 1 : 100 000 и мельче, а также аэромагнитных исследований, то для большей части территории Приазовья, где мощность осадочных отложений не превышает 100 м, их материалы могут представить интерес лишь как рекогносцировочные. Для районов с глубоко залегающей поверхностью магнитоактивных масс большой интерес могут представить съемки, расстояния между точками и профилями наблюдений которых соизмеримы с мощностью осадочных отложений (в пределах Донбасса, южного окаймления Приазовского кристаллического массива). К сожалению, в пределах этих территорий количество таких съемок ограничено, а точность работ относительно низкая.

Следует особо остановиться на магнитной съемке масштаба 1 : 50 000, проведенной Приморской геофизической партией в 1957 г. на одном из участков в Центральном Приазовье. Хотя многие исследователи придерживаются мнения, что для большинства районов УКЩ такой масштаб вполне достаточный, для Центрального Приазовья (как и для большинства районов приазовской части УКЩ) сеть 100×500 м очень редкая. Как показывает анализ съемок масштаба 1 : 25 000 на смежных площадях, съемки масштаба 1 : 50 000 не обеспечили выявления геологических структур, которые достаточно уверенно картируются при более крупномасштабных работах. Поэтому на площади съемки масштаба 1 : 50 000 целесообразно провести магнитометрические исследования в масштабе 1 : 25 000, а на отдельных, наиболее сложных и интересных участках — 1 : 10 000. По мере возможности следует учитывать результаты съемки 1957 г. для направления работ и возможного разрежения расстояния между профилями на некоторых участках.

При геологической съемке должны, безусловно, учитываться материалы гравиметровой съемки масштаба 1 : 50 000. Работы более мелкого масштаба следует рассматривать как рекогносцировочные даже на участках с относительно глубоким залеганием поверхности докембрийского фундамента, так как в этих районах на характер гравитационного поля значительное влияние оказывают неоднородности в строении среднего и верхнего структурных этажей.

Результаты работ методом ВЭЗ могут быть использованы независимо от масштаба съемки, так как в большинстве случаев съемки мелкого масштаба можно дополнить более детальными исследованиями и затем совместно проинтерпретировать все кривые ВЭЗ.

Съемки другими геофизическими методами, как правило, проводились в относительно крупных масштабах, и материалы их, безусловно, должны использоваться при проведении геологической съемки.

Теперь рассмотрим, каким должен быть рациональный комп-

лекс геофизических исследований, предшествующих геологической съемке в различных районах Приазовья. Начнем с геологических районов, для которых характерно неглубокое залегание поверхности докембрийского фундамента (мощность осадочных отложений — от нескольких метров до десятков метров). К таким районам, согласно классификации треста «Артемгеология», относят Западно-Приазовский, Центрально-Приазовский, Восточно-Приазовский, Октябрьский и Зачатьевский. Ведущим методом в этих районах должна быть магнитометрия в масштабе 1 : 25 000. На тех площадях, где такая съемка не проводилась, рекомендуем изометричную сеть 100×100 м с возможным разрежением расстояния между профилями до соотношения сторон сети 1 : 2. При этом необходимы неизменная плотность наблюдений и сгущение шага на каждом пятом — десятом профилях до рационального поискового. Учитывая мощность наносов, рациональный поисковый шаг для Западно-Приазовского, Центрально-Приазовского, южной части Октябрьского и Зачатьевского и западной части Восточно-Приазовского районов равен 5—20 м. На этом этапе работ он может быть принят 20 м. Для восточной части Восточно-Приазовского района рациональный поисковый шаг магнитной съемки можно увеличить до 40 м, а для северной части Октябрьского и Зачатьевского районов — до 50—80 м.

Гравиметровую съемку на всей территории этих районов следует проводить в масштабе 1 : 25 000 по сети 250×250 м. Однако на отдельных участках при отставании гравиметровой съемки от магнитной для успешного решения поставленных задач возможна постановка гравиметровой съемки в масштабе 1 : 50 000. Значительный интерес может представить сгущение шага до рационального поискового (который при гравиметровой съемке вдвое больше, чем при магнитной) по отдельным профилям.

Сеть наблюдений методом ВЭЗ, учитывая возможность определения мощности осадочных отложений по данным магнитометрии, должна быть 1×1 км со сгущением на отдельных участках до 500×500 м.

На всей территории, за исключением северной части Октябрьского и Зачатьевского районов и, возможно, восточной части Восточно-Приазовского (ввиду значительной мощности наносов), по сети магнитной съемки следует провести металлометрические исследования.

Указанные площадные съемки должны сопровождаться детализационными работами как теми же методами, так и электропрофилеированием и гравиразведкой с измерением вторых производных; при этом шаг наблюдений должен обязательно быть не реже, чем рациональный поисковый, а для целей коли-

чественной интерпретации — рациональный интерпретационный. Детализационные наблюдения на этом этапе следует проводить там, где по основным съемкам нельзя получить четкое истолкование природы физических полей и хотя бы в общих чертах решить поставленные задачи.

Иными физико-геологическими условиями характеризуется зона сочленения Приазовского кристаллического массива с Донбассом. Если в южной части этой зоны кристаллический фундамент представлен докембрийскими образованиями, то в северной части — палеозойскими породами. Для нее характерна также бóльшая, чем на Приазовском кристаллическом массиве, мощность мезо-кайнозойских осадочных отложений, перекрывающих фундамент. Поскольку магнитометрия дает наиболее четкие результаты в пределах развития докембрийских пород, а также при картировании эффузивных образований девона и менее эффективна при картировании площадей развития пород каменноугольного возраста, особое внимание этому методу должно уделяться именно на площадях развития докембрийских и девонских пород.

На этих участках масштаб исследований должен быть 1 : 25 000 при сети 100×100 м. В Волчанском районе на участках распространения докембрийских пород по каждому пятому — десятому профилю целесообразно сгущать шаг наблюдений до рационального поискового, равного 50—70 м. Аналогичные рекомендации могут быть даны для южной части Еленовского и юго-западной части Комсомольского участка, где рациональный поисковый шаг составляет 40—60 м. В то же время в южной части Владимирского участка в связи с увеличением мощности осадочного чехла сеть наблюдений может быть разрежена до 150×150 и 200×200 м. В северных и северо-восточных частях Комсомольского, Еленовского, Владимирского и Волчанского участков, в пределах которых развиты осадочные породы палеозоя, вполне можно проводить магнитную съемку в масштабе 1 : 50 000 по сети 250×250 м, а возможно, и по сети 500×500 м, со сгущением на участках проявления эффузивной деятельности девонского возраста. Следует также отметить, что вследствие относительно глубокого залегания магнитовозмущающих масс и плавного характера поля наземную магнитную съемку здесь можно заменить высокоточными аэромагнитными исследованиями в том же масштабе.

Гравиметровая съемка, эффективная при картировании докембрийских и палеозойских пород, на всей площади указанных участков рекомендуется в масштабе 1 : 25 000 по сети 250×250 м.

Плотность электроразведочных наблюдений методом ВЭЗ должна составлять в среднем 1×1 км.

Относительно детализационных работ следует указать то же,

что и для других районов Приазовского кристаллического массива. Но, очевидно, объем магнитометрии должен быть меньшим, а гравиметрии, гравиразведки с измерением вторых производных и электроразведки — большим. В зоне сочленения целесообразно также проводить по отдельным профилям сейсморазведку.

Конкско-Ялынская впадина характеризуется тем, что здесь докембрийский фундамент залегает под мезо-кайнозойскими отложениями мощностью в несколько сот метров. В связи с этим для центральной части района рекомендуется магнитная съемка по сети 250×250 м, гравиметровая — по сети 500×500 м со сгущением в прибортовых частях до 250×250 м. Здесь следует предусмотреть также возможность проведения высокоточной аэромагнитной съемки масштаба 1:25 000 вместо наземных магнитных исследований.

В связи с тем, что вся территория этого геологического района покрыта электроразведкой методом ВЭЗ, на отдельных площадях можно предусмотреть дополнительные детализационные исследования. В то же время целесообразно выполнение сейсморазведки хотя бы по двум взаимно-перпендикулярным профилям, пересекающим впадину.

Для Ждановского и Бердянского районов характерно уступообразное погружение кристаллического докембрийского основания к югу. В северной части этих участков, где докембрийские образования покрыты осадочным чехлом в несколько десятков метров, следует применить тот же комплекс методов, что и в районах Приазовского кристаллического массива, корректируя лишь величину рационального поискового шага в соответствии с мощностью осадочной толщи. По мере погружения кристаллического ложа (данные об этом можно получить по результатам интерпретации кривых ВЭЗ, для чего электроразведочные работы здесь должны опережать магнитометрические) следует разрезать сеть магнитной съемки, а затем, возможно, переходить к аэромагнитной. На участках относительно глубокого залегания поверхности кристаллического фундамента, возможно, рациональнее перейти от масштаба гравиметровой съемки 1:25 000 к масштабу 1:50 000. Сеть наблюдений методом ВЭЗ должна составлять 1×1 км.

Детализационные работы на Ждановском и Бердянском участках должны проводиться так же, как и в зоне сочленения Приазовского кристаллического массива с Донбассом. Здесь рекомендуем выполнить наблюдения по ряду субмеридиональных сейсмических профилей.

Учитывая возможность определения глубинного строения приазовской части УКЩ и прилегающих областей, в ближайшие годы целесообразно провести геофизические наблюдения хотя бы по двум региональным профилям. Один из них должен

пересекать приазовскую часть УКЩ в субширотном направлении, а второй — в субмеридиональном, продолжаясь в Донбасс и Причерноморскую впадину. Ведущим из геофизических методов по этим профилям должно быть глубинное сейсмозондирование (ГСЗ), которое надо обязательно сопровождать магнитометрическими и гравиметрическими наблюдениями, а также, возможно, и магнито-теллурической съемкой.

Задачи, решаемые сопутствующими геологической съемке геофизическими работами, методика исследования, комплексирование различных методов нами уже рассмотрены. Следует отметить, что в разных по физико-геологическим условиям районах комплекс, методика и организация работ, очевидно, должны быть различными. Работы непосредственно в помощь геологическому картированию геофизическими партиями проводятся эпизодически, в очень незначительных объемах, и своей геофизической службы геологосъемочные партии в Приазовье пока не имеют. Поэтому наши рекомендации в основном исходят из общих теоретических положений, изложенных в настоящей монографии, и двухлетнего опыта совместных с геологами-съемщиками АКГРЭ (трест «Артемгеология») работ. Учитывая незначительный объем таких исследований и чрезвычайное разнообразие условий при решении многих геологических задач, мы не ставим перед собой цель дать однозначные рекомендации для всех случаев и разных условий. Мы наметили лишь общие положения, которые в дальнейшем должны уточняться и развиваться (а возможно, и изменяться) как в отдельных районах, так и в целом по региону. В то же время совместные работы привели нас к твердому убеждению, что проведение геофизических исследований, сопутствующих геологической съемке, совершенно необходимо для успешного выполнения последней.

Наши совместные исследования проводились непосредственно на участках районов, входящих в Приазовский кристаллический массив. При решении большинства задач ведущий метод — магнитометрия, наиболее экономичная и простая в организационном отношении. Учитывая, что геофизическая служба, проводящая сопутствующие геологической съемке геофизические работы, еще не создана и что при любой форме организации эта служба в первую очередь должна проводить именно магнитометрические исследования, а также принимая во внимание сложность создания сразу многометодной службы, далее основное внимание уделено организации и методике проведения именно магнитометрических наблюдений. В то же время, безусловно, при недостаточном решении той или иной задачи одной лишь магнитометрией и наличии соответствующих материальных и организационных возможностей целесообразно комплексировать несколько геофизических методов.

Методика магнитометрических исследований при решении той или иной из задач, поставленных геологами-съемщиками, зависит от конкретных условий и характера этой задачи. Так, для выявления и прослеживания отдельных геологических тел в кристаллическом фундаменте, пликативных структур (по картированию отдельных маркирующих горизонтов), разрывных нарушений, узлов их пересечения и при решении ряда других подобных вопросов исследования могут проводиться сериями профилей или даже в виде площадных съемок.

Контакты различных образований, отдельных разломов, даек, т. е. явно линейных объектов, большей частью достаточно уверенно могут быть выявлены и прослежены наблюдениями по сериям разреженных профилей. Такие же задачи, как расчленение разреза, сложенного пачкой пластов, определение параметров возмущающих объектов, выбор точек для заложения скважин, могут решаться при помощи наблюдений по спаренным профилям или сериям профилей. При этом шаг наблюдений для качественного выявления интересующих нас объектов должен быть не реже рационального поискового. При мощности наносов 5—20 м в Западно-Приазовском, Центральном-Приазовском, южной части Зачатьевского и Октябрьского и в западной части Восточно-Приазовского районов шаг наблюдений по профилям должен быть 5—20 м. Для восточной части Восточно-Приазовского района рациональный поисковый шаг рекомендуем 40—60 м, а для северной части Октябрьского и Зачатьевского районов — до 50—80 м. Если мощность наносов для конкретного участка не известна, то критерием соответствия шага наблюдений рациональному поисковому будет фиксация каждого экстремума кривой ΔZ минимум тремя точками, чего и следует добиваться при съемке.

Для целей количественной интерпретации наблюдения должны проводиться с рациональным интерпретационным шагом, т. е. в пять раз гуще. Расстояния между профилями и количество необходимых профилей должны определяться непосредственно руководителем работ в зависимости от характера задачи и получаемых результатов.

Предварительный опыт наших исследований (учитывая сложность геологического строения Приазовского кристаллического массива и общие теоретические положения) показывает, что для решения основных задач, стоящих перед геофизикой на сопутствующем геологической съемке этапе, наблюдения должны быть выполнены минимум по 35 *пог. км* с рациональным поисковым шагом и по 5 *пог. км* с рациональным интерпретационным шагом на каждом планшете съемки. В среднем для большей части районов Приазовского кристаллического массива рациональный поисковый шаг равняется 10 м, а рациональный

интерпретационный — 2 м. Таким образом, общий объем наблюдений на планшет составляет 6000 точек.

Несколько иным должен быть подход к проведению сопутствующей магнитометрии в областях с мощностью наносов в несколько десятков метров. В условиях, когда наблюдения на предшествующем этапе проводятся с шагом, близким к рациональному поисковому, объем наблюдений с рациональным поисковым шагом на втором этапе может быть уменьшен, особенно на тех участках, где наблюдения на первом этапе проводились по изометричной сети со сгущением шага до рационального поискового по каждому пятому — десятому профилю. В то же время возрастает необходимость количественной интерпретации получаемых материалов, расчленения суммарных полей группы объектов, и в связи с этим должен увеличиваться удельный вес наблюдений с рациональным интерпретационным шагом.

Поэтому для восточной части Восточно-Приазовского и северных частей Октябрьского и Зачатьевского районов, где мощность осадочного покрова возрастает до 40—80 м, можно считать, что наблюдения с рациональным поисковым шагом (в данном случае в среднем 50 м) на этапе, сопутствующем геологической съемке, достаточно провести по 20 пог. км. В то же время магнитные наблюдения с рациональным интерпретационным шагом (10 м) следует рекомендовать провести на таком же количестве профилей — общей длиной 20 пог. км. Таким образом, на одном планшете при неизменной длине профилей (40 пог. км) потребуется выполнить 2400 физических точек.

Аналогичные рекомендации могут быть даны и для юго-западных частей Волчанского, Комсомольского участков и для южной части Еленовского, где кристаллические породы докембрия и девона развиты на глубине 40—80 м. В южной части Владимирского участка (где мощность осадочных пород увеличивается до 100—150 м и магнитная съемка на этапе, предшествующем геологическому картированию, должна быть проведена с шагом, равным рациональному поисковому) на сопутствующем съемке этапе целесообразно, очевидно, проводить наблюдения только по интерпретационным профилям общей длиной в 40 пог. км на один планшет с рациональным интерпретационным шагом в 25 м. Общий объем наблюдений на один планшет таким образом составит 1600 физических точек.

На участках же зоны сочленения, где развиты осадочные породы каменноугольного возраста, получение положительных результатов с помощью детальной магнитометрии для решения задач геологического картирования проблематично, и такие исследования можно рекомендовать только как опытные на участках проявления эффузивной деятельности.

В пределах Конкско-Ялынской впадины на сопутствующем геологической съемке этапе магнитометрию целесообразно при-

менить в интерпретационных целях, так как на первом этапе исследования должны быть проведены с рациональным поисковым шагом. При общей длине профилей в 40 пог. км и средней величине рационального интерпретационного шага 40 м количество наблюдений на один планшет составит 1000 физических точек.

Для северных частей Ждановского и Бердянского районов рекомендации относительно проведения магнитометрии на сопутствующем геологическому картированию этапе аналогичны, как и для сходных по физико-геологическим условиям северных частей Зачатьевского и Октябрьского районов. В южных частях этих районов возможности магнитометрии и целесообразность проведения детализационных наблюдений могут быть выяснены только после проведения соответствующих опытных исследований.

В случае необходимости в пределах развития докембрийских образований под осадочным чехлом незначительной мощности (от нескольких метров до первых сотен метров) магнитометрические исследования на этапе, сопутствующем средне-масштабной геологической съемке, должны комплексироваться с другими методами, в первую очередь с гравиразведкой с измерением вторых производных и электропрофилеированием, а также гравиметрией, электроразведкой методом ВЭЗ и др. Эти методы, как менее экономичные, должны применяться в первую очередь с интерпретационными целями. Выбор шага наблюдений, как указано, производится для гравиразведки с измерением вторых производных так же, как и для магнитометрии. Аналогично может выбираться шаг и для электропрофилеирования. Рациональный шаг для гравиметрии вдвое реже соответствующего шага для магнитометрии.

В областях с более глубоким погружением поверхности докембрийского фундамента и развитыми палеозойскими отложениями возможности магнитометрии меньше. Здесь большая роль принадлежит другим методам, в первую очередь гравиметрии, а также сейсморазведке и электроразведке. Вот почему и на этапе, сопутствующем геологической съемке, эти методы в указанных областях для решения многих задач должны так же широко привлекаться, как в пределах Приазовского кристаллического массива применяется магнитометрия. Однако в областях, примыкающих к районам Приазовского кристаллического массива, подобные исследования еще не выполнялись, и для разработки конкретных рекомендаций необходимо провести соответствующие опытные работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геофизические исследования, позволяя в значительной степени повысить эффективность, достоверность и глубинность геологического картирования, должны быть неотъемлемой частью общего комплекса геологосъемочных работ.

Проводить геофизические исследования в помощь средне-масштабному геологическому картированию целесообразно в два этапа — предшествующий и сопутствующий геологической съемке. Для ведения геофизических работ второго этапа следует создать специальную геофизическую службу в составе экспедиций, выполняющих геологическую съемку, или при геофизических экспедициях. Организацию такой геофизической группы целесообразно начинать с образования магнитометрических отрядов, дополняемых в дальнейшем гравиметрическим и электроразведочным отрядами.

Геофизическая служба, проводящая исследования на сопутствующем геологической съемке этапе, при относительно небольших затратах на ее содержание может значительно повысить эффективность геологического картирования.

Геофизические работы в два этапа — предшествующий и сопутствующий — можно рекомендовать при геологическом картировании других районов УКЩ и иных регионов.

При решении основных задач среднемасштабного геологического картирования должен применяться комплекс геофизических методов с обязательным комплексированием геологических и геофизических работ. Для повышения эффективности геофизических и геологосъемочных работ необходима оперативная проверка буровыми работами рекомендаций геофизиков.

При геофизическом обеспечении среднемасштабного геологического картирования приазовской части УКЩ и сопредельных областей нам представляется целесообразным идти по пути выявления возможно большего числа геологических объектов в толще докембрийских пород. Для этого нужно проводить поисковые исследования с рациональным поисковым шагом, а для

целей количественной интерпретации — с рациональным интерпретационным шагом.

Одновременно необходимо повышать точность получаемых материалов, для чего, наряду с использованием более точной аппаратуры, следует совершенствовать методику полевых работ. При магнитометрических исследованиях этому должны способствовать создание уравниваемой опорной сети с использованием магнитных реперов. Особенно целесообразна такая методика при укрупнении масштабов съемок. Следует также указать на необходимость увязки магнитных съемок разных лет. При обработке материалов рационально использовать упрощенную схему вычислений* и соответствующую номограмму.

Для повышения точности гравиметрических съемок мы рекомендуем совместное уравнивание опорной и каркасной сетей и выполнение внеполигонных связей. При этих работах также необходима увязка съемок одного и того же масштаба по всей территории региона. Следует предостеречь от использования опорной сети съемки более мелкого масштаба вследствие низкой точности последней по сравнению с требованиями, предъявляемыми к среднемасштабным гравиметровым съемкам.

При проведении гравirazведки с измерением вторых производных необходимо также предусматривать уравнивание площадных съемок.

При работах методом ВЭЗ нужно учитывать и использовать материалы предшествующих исследований, комплексировать определение мощности осадочного чехла по данным ВЭЗ с результатами интерпретации магнитометрических материалов и по возможности разрезать сеть точек ВЭЗ. Можно также рекомендовать опробование методики наблюдений с сокращением числа замеров на каждой точке. Для повышения производительности электроразведочных работ целесообразно применять панельку с пультом управления, а при исследованиях модификациями электропрофилирования — схему с кондукторами.

Наряду с дальнейшим совершенствованием методики широко применяемых в Приазовье геофизических методов большое внимание следует уделять и другим геофизическим методам. Для выяснения глубинного строения региона целесообразна постановка сейсморазведки методами КМПВ, МОВ и ГСЗ. Для получения сведений о составе и строении верхней части кристаллического фундамента можно рекомендовать применение высокочастотной сейсмики.

Можно также рекомендовать опробовать в условиях Приазовья различные методы электроразведки, провести изучение электромагнитного поля, при магнитометрических съемках наряду с вертикальной составляющей земного поля измерять и горизонтальную составляющую, вертикальные градиенты, ши-

ре привлекать микромагнитные и радиометрические исследования.

Методика металлотрической съемки нуждается в усовершенствовании и более широком применении в комплексе с геофизическими исследованиями.

Необходимость одновременного решения ряда задач геологического картирования обуславливает целесообразность применения комплекса геофизических методов. В то же время выяснение отдельных вопросов возможно одним или некоторыми из применяемых методов. Поэтому при детализационных исследованиях и сопутствующих геологической съемке работах для решения конкретных задач следует применять по возможности ограниченный комплекс геофизических методов, отдавая предпочтение наиболее экономичным из них.

В ходе проведения геофизических исследований большое значение имеет разрешающая способность методов при картировании группы объектов. Поэтому при интерпретации и заложении скважин необходимо учитывать возможную аппроксимацию полей от каждого из объектов суммарным внешне не дифференцированным полем.

Рассмотренные автором положения методики разрабатывались, исходя из физико-геологических условий приазовской части УКЩ. Эти условия в общем подобны для всей территории УКЩ и для некоторых других регионов, а на решение отдельных из рассматриваемых вопросов различие физико-геологических условий не накладывает существенных ограничений. Поэтому отдельные положения настоящей работы могут найти применение при геофизических исследованиях в разных районах для решения различных задач.

В то же время следует отметить, что при разработке некоторых вопросов методики мы исходили из типичных для приазовской части УКЩ условий, не охватывая всего многообразия геологических тел, которые можно встретить в данном, а тем более в иных регионах. Поэтому при дальнейших исследованиях в области методики геофизических съемок наряду с развитием положений, разработанных для принятых нами физико-геологических условий, следует рассмотреть отдельные вопросы методики применительно к иной физико-геологической обстановке, например, при картировании наиболее локализованных геологических тел типа шара. В целом же необходимо еще раз подчеркнуть, что для успешного проведения среднемасштабного геологического картирования следует широко комплексировать геологические и геофизические методы, причем методика комплексных геофизических исследований должна быть нацелена на решение всех задач, стоящих перед геофизическими съемками в помощь среднемасштабному геологическому картированию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Б. А. О расчете сети наблюдений при гравиразведочных работах. — Мат-лы ЦНИГРИ. Геофизика. Л., 1938, 5.
2. Андреев Б. А. Геофизические методы в региональной структурной геологии. Госгеолтехиздат, 1960.
3. Андреев Б. А., Клушин И. Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Гостоптехиздат, 1962.
4. Бабієнко Д. В. Геофізичні розвідки в УРСР. — Мат-ли геофіз. розвідок в УРСР. К., 1936, ч. I.
5. Балабушевич И. А. Высшие производные потенциала силы тяжести (возможности их использования в геологической гравиметрии). Изд-во АН УССР, 1963.
6. Баранова Н. М., Малявко Г. I., Борисенко С. Т. Третинні відклади південно-східної частини України. Вид-во АН УРСР, 1960.
7. Бондарчук В. Г. та ін. Схема гіпсометрії поверхні докембрійського фундаменту УРСР і деяких суміжних територій. — ДАН УРСР, 1958, 8.
8. Бондарчук В. Г. та ін. Гіпсометрія поверхні докембрійського кристалічного фундаменту території Української РСР та Молдавської РСР. Тектоніка території Української РСР та Молдавської РСР (пояснювальна записка до тектонічної карти УРСР та МРСР, М. 1:750 000). Вид-во АН УРСР, 1959.
9. Бондарчук В. Г. и др. Рельеф поверхности докембрійского фундамента Украинской и Молдавской ССР. — Сов. геол., 1959, I.
10. Борисенко С. Т., Древин А. Я., Царовский И. Д. Разломная тектоника Приазовья и связанная с нею металлогения. — В кн.: Металлогения докембрійских щитов и древних подвижных зон. Изд-во АН УССР, 1960.
11. Венинг-Мейнес Ф. Гравиметрические наблюдения на море, Геодезиздат, 1940.
12. Геология СССР. Т. VII. Донецкий бассейн. Госгеолтехиздат, 1944.
13. Геология СССР. Т. V. Украинская ССР и Молдавская ССР. Ч. I. Геологическое описание платформенной части. Госгеолтехиздат, 1958.
14. Годин Ю. Н. Региональные геофизические исследования. — Геология нефти, 1957, 6.
15. Гойжевський О. О. Конкський розлом (про тектонічну межу Приазовського масиву і Конксько-Ялинької западини). — Геол. ж. АН УРСР, 1958, 18, 4.
16. Головцин В. М., Скопиченко М. Ф. Електрична розвідка корисних копалин. Вид-во Київ. ун-ту, 1961.
17. Грушинский Н. П. Об установлении рациональной густоты размещения пунктов и необходимой точности определения аномалий силы тяжести при гравиметровых съемках. — В кн.: Развед. и промысл. геофизика. Гостоптехиздат, 1956, 15.

18. Грушинский Н. П. Об ошибках интерполяции и представительстве детальных гравиметрических съемок, точности карт и целесообразности размещения пунктов.—Астрон. ж., 1957, 34, 2.
19. Грушинский Н. П. О систематизации гравиметровых съемок и создании опорной гравиметрической сети.—В кн.: Развед. и промысл. геофизика. Гостоптехиздат, 1957, 17.
20. Грушинский Н. П. Введение в гравиметрию и гравиметрическую разведку, Изд-во МГУ, 1961.
21. Дахиов В. Н. Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений. Гостоптехиздат, 1953.
22. Донабедов А. Т. Геофизические методы разведки в проблеме Большого Донбасса.—Тр. XVII сес. Междунар. геол. конгр. 1937 г., ГОНТИ, М., 1939, 1.
23. Донабедов А. Т. Некоторые результаты геофизических исследований Большого Донбасса. Изд-во АН СССР, 1940 (Сер. геол., 5).
24. Донабедов А. Т. Об изучении физических свойств горных пород угленосных бассейнов СССР.—Сов. геол., 1940, 7.
25. Донабедов А. Т. Результаты геофизических исследований на территории Большого Донбасса.—В кн.: Большой Донбасс. Изд-во АН СССР, 1941.
26. Древин А. Я., Зарицкий А. И. О гидротермально-метасоматическом флюорите зоны сочленения Донбасса с Приазовьем.—ДАН СССР, 1960, 131, 1.
27. Древин А. Я., Зарицкий А. И., Царовский И. Д. О строении юго-восточной краевой части Украинского кристаллического щита (Покрово-Киреевская структура).—Сов. геол., 1960, 10.
28. Дюков А. И. Использование геофизических методов при крупномасштабном геологическом картировании и изучении структур рудных полей и месторождений.—В кн.: Структуры рудных полей и месторождений. Госгеолтехиздат, 1960.
29. Жогалев Л. П., Миронов В. С. Крупномасштабные гравимагниторазведочные работы при геологическом картировании по рудникам Алтая.—Уч. зап. ЛГУ. Сер. геофиз. и геол. наук, 1959, 11.
30. Иванов Н. А. Регулировка полевых магнитных весов типа М-2.—Сб. ст. по геофиз. методам разведки. Госгеолтехиздат, 1955.
31. Идельсон Н. И. Теория потенциала. ОНТИ, 1936.
32. Каратаев Г. И. Основные вопросы метода совместного анализа магнитных и гравитационных аномалий.—Вопр. разв. геофизики. Новосибирск, 1961, 2.
33. Касаткин Д. П. О масштабах и точности гравиметрических съемок.—В кн.: Геофиз. разведка. Гостоптехиздат, 1961, 3.
34. Клушин И. Г. О выделении геофизических аномалий меньших среднеквадратичной погрешности измерений. Изд-во АН СССР, 1959 (Сер. геофиз., 2).
35. Ковалевский С. А. Геологические черты линеамента 38-го меридиана в районе Черного моря.—ДАН СССР, 1960, 130, 6.
36. Котляревский Б. В. Оценка точности гравиметрической съемки. выбор рациональной сети наблюдений и сечения изоаномал силы тяжести.—Прикл. геофизика. Гостоптехиздат, 1958, 2.
37. Кравец В. В. Применение сейсморазведки для изучения тектонического строения западной окраины Овручского массива.—Тр. ИГН АН УССР. Сер. геофиз., 1958, 2.
38. Кравченко Г. Л. Природа Мангушской магнитной аномалии Юго-Восточного Приазовья.—Геол. ж. АН УССР, 1961, 21, 4.
39. Красовский С. С. Об источниках погрешности при проведении средне- и крупномасштабных магнитных съемок.—В кн.: Некоторые вопр. геофиз. исследов. на Украине. Изд-во АН УССР, 1962, 3 (5).

40. Красовский С. С. Проведение магнитных съемок с созданием сети магнитных реперов.— В кн.: Некоторые вопр. геофиз. исследований на Украине. Изд-во АН УССР, 1962, 3(5).

41. Красовский С. С. Применение комплексных детальных геофизических исследований при изучении Покрово-Киреевской структуры.— В кн.: Некоторые вопр. геофиз. исследований на Украине. Изд-во АН УССР, 1962, 3(5).

42. Красовский С. С. К вопросу об обработке наблюдений по рядовой сети магнитной съемки.— Мат-лы геофиз. исследований территории Украины. Изд-во АН УССР, 1963, 6(8).

43. Красовский С. С., Старостенко В. И. К вопросу уравнивания геофизических сетей.— Мат-лы геофиз. исследований территории Украины. Изд-во АН УССР, 1963, 6(8).

44. Красовский С. С., Бурьянов В. Б. Магнитное поле двух вертикальных пластов.— В кн.: Геол. интерпретация и методика геофиз. исследований. «Наукова думка», 1964, 7(9).

45. Крутиховская З. А. Вопросы методики геофизических исследований с целью поисков богатых руд криворожского типа.— Тр. ИГН АН УССР. Сер. геофиз., 1956, 1.

46. Крутиховская З. А., Кужелов Г. К. Применение геофизических методов для изучения железорудной формации Украинского кристаллического щита. Госгеолтехиздат, 1960.

47. Крутиховская З. А., Шмидт Н. Г. Геофизические методы поисков и разведки железорудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1961.

48. Кужелов Г. К. Геологическая структура Украинского кристаллического щита по геофизическим данным.— Сов. геол., 1957, 59.

49. Кузнецов П. П. Результаты магнитометрических съемок в Мелітополь-Бердянському та Оріхово-Павлоградському районах.— Мат-ли геофиз. розвідок в УРСР. Ч. I. Укр. філ. Всесоюз. н.-д. ін-ту мінеральної сировини, 1936.

50. Лебедев Т. С., Собакарь Г. Т. Рельеф поверхні докрейдових порід північно-східного Приазов'я.— ДАН УРСР, 1961, 11.

51. Лебедев Т. С., Собакарь Т. Г. Тектоника северо-восточного Приазовья. Изд-во АН УССР, 1962.

52. Лебедев Т. С. и др. Геологическая структура зоны сочленения Покрово-Киреевского и Тельмановского блоков (северо-восточное Приазовье).— Геофиз. сб. Ин-та геофиз. АН УССР, 1962, 1(3).

53. Линицкий Н. В., Власова И. И., Юхновец Н. И. Гравиметрическая узловая сеть.— В кн.: Разв. и промысл. геофизика. Гостоптехиздат, 1954, 8.

54. Логачев А. А. Курс магниторазведки. Госгеолтехиздат, 1951.

55. Логачев А. А. Курс магниторазведки. Госгеолтехиздат, 1955.

56. Логачев А. А. Курс магниторазведки. Гостоптехиздат, 1962.

57. Лукавченко П. И. Гравиметрическая разведка на нефть и газ. Гостоптехиздат, 1956.

58. Лучицкий В. И., Лебедев П. И. Петрография СССР, сер. I. Региональная петрография, вып. 3. Петрография Украины. Изд-во АН СССР, 1934.

59. Маковер С. Г. Уравнивание вариометрических сетей по способу наименьших квадратов.— Прикл. геофизика. Гостоптехиздат, 1945, 1.

60. Маловичко А. К. Основной курс гравиразведки. Ч. I. Изд-во Перм. ун-та, 1960; ч. 2. 1961.

61. Маловичко А. К. Об источниках погрешностей, служебных допусков и оценка точности гравиметрических наблюдений. Вопросы обработки и информации геофизических наблюдений.— Сб. ст. Перм. ун-та, 1961, 2.

62. Маловичко А. К., Тарунина О. Л. К методике выявления аномальных полей соизмеримых с ошибками наблюдений.— В кн.: Геофиз. разведка. Гостоптехиздат, 1961, 4.

63. Мельничук М. И. Задачи и перспективы метода градиентов в магниторазведке.— Научные зап. Львов. политехн. ин-та, 46, Прикл. геол. разв., 1956, 1.
64. Михайлова Н. П. К методике маршрутной съемки.— Геофиз. сб. Изд-во АН УССР, 1962, 1(3).
65. Михайлова Н. П. Об удельном электрическом сопротивлении пород Украинского кристаллического щита.— В кн.: Комплекс. геофиз. исследований территории Украины, 1963.
66. Нечаев С. В. Особливості металоносності південної окраїни Донбасу.— Геол. ж. АН УРСР, 1959, 19, 3.
67. Нечаев С. В., Бондаренко И. Г. Рудоносные скарны в пределах некоторых отрицательных магнитных аномалий на юге Донбасса.— Разведка и охрана недр, 1960, 7.
68. Никифоров П. и др. Гравиметрическая разведка кварцитов Криворожского района.— Изв. ИПГ. Л., 1927, 3.
69. Никифоров П., Гирич С., Успенский Д. Гравиметрическая разведка железистых кварцитов Криворожского района.— Изв. ИПГ. Л., 1928, 4.
70. Нумеров Б. В. Теоретические основания применения гравитационных методов в геологии. Влияние внешних масс на гравитационные наблюдения в случае бесконечного простираения.— Тр. ГГРУ, 1931, 36.
71. Пелюшенко В. М., Бакланов Н. К. Некоторые результаты геофизических исследований при поисках корундов в Приазовье.— Геофиз. сб. Ин-та геофиз. АН УССР, 1962, 2(4).
72. Половинкина Ю. Ир. Стратиграфия, магматизм и тектоника докембрия Украинской ССР.— Тр. лаб. геол. докембрия АН СССР, 1953, 2.
73. Половинкина Ю. Ир. Эффузивно-осадочные и магматические комплексы Украинского кристаллического массива.— Тр. ВСЕГЕИ, 1954, 1.
74. Половинкина Ю. Ир. Структурное районирование Украинского кристаллического массива как основа для поисков полезных ископаемых.— В кн.: Металлогения докембрийских щитов и древних подвижных зон. Изд-во АН УССР, 1960.
75. Пономарев В. Н. Вертикальные градиенты вертикальной составляющей магнитного поля и техника их измерений.— Прикл. геофизика, 1960, 25.
76. Савинский К. А. и др. Эффективность геофизических методов разведки. Гостехиздат, 1959.
77. Семененко Н. П. Докембрий Украинской ССР.— Тр. лаб. геол. докембрия, 1953, 2.
78. Семененко Н. П. Металлогения докембрийского щита и складчатых зон Украины.— В кн.: Металлогения докембрийских щитов и древних подвижных зон. Изд-во АН УССР, 1960.
79. Семенов А. С. Методика геофизических работ на месторождениях полиметаллических руд.— Вопр. рудной геофизики. ВИРГ. Госгеолтехиздат, 1957.
80. Собакар Г. Т. Структура зоны зчленування Донбасу з Приазовським масивом за даними геофізики. Вид-во АН УРСР, 1958.
81. Собакар Г. Т. Тектоника закрытой части зоны сопряжения Донбасса с Приазовским массивом по геофизическим данным.— Тр. ИГН. АН УССР. Сер. геофиз., 1958, 2.
82. Собакар Г. Т. Структура зоны зчленування Донбасу з Приазовським масивом (за даними геофізичних досліджень).— Геол. ж. АН УРСР, 1961, 21, 3.
83. Собакар Г. Т. Об одной простой зависимости между точностью съемки, густотой точек наблюдений, масштабом изображения и сечением изоаномал при гравиметрических и магнитометрических исследованиях.— Геофиз. сб. Изд-во АН УССР, 1962, 1(3).

84. Собакаръ Г. Т. Развитие сети опорных гравиметрических пунктов методом треугольных полигонов.— Геофиз. сб. Изд-во АН УССР, 1962, 1(3)1
85. Соколов К. П. Геологическое истолкование магниторазведочных данных. Госгеолтехиздат, 1956.
86. Соллогуб В. Б. Тектоника передовых прогибов альпийской геосинклинальной области и сопредельных районов Европейской части СССР. Изд-во АН УССР, 1960.
87. Соллогуб В. Б. и др. Применение высокочастотной сейсморазведки с целью расчленения метаморфического комплекса пород Белозерского железорудного месторождения.— Геофиз. сб. Изд-во АН УССР, 1962, 2(4).
88. Сорокин Л. В. Гравиметрия и гравиметрическая разведка. Госгеолтехиздат, 1963.
89. Страхов Б. И., Гринкевич Г. И. Методика магнитной съемки высокой точности.— Сб. ст. по геофиз. методам разведки. (Свердл. горн. ин-т). Госгеолтехиздат, 1955.
90. Страхов В. Н. Об аналитическом продолжении двумерных потенциальных полей.— ДАН СССР, 1959, 126, 5.
91. Страхов В. Н. Опыт интерпретации магнитных аномалий КМА методом построения изолиний ΔZ в вертикальной плоскости.— Прикл. геофизика, 1960, 27.
92. Строна А. А. Криворожско-кремчугские магнитные аномалии.— Сов. геол., 1939, 9, 10-11.
93. Ступак Н. К. О новом способе изображения магнитных и гравитационных аномалий.— Разведка и охрана недр, 1959, 7.
94. Ступак Н. К., Тяпкин К. Ф. Логарифмическая палетка для определения глубины залегания пласта намагниченных пород.— Разведка и охрана недр, 1956, 3.
95. Субботин С. И. Измерение величины $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$ при работе гравитационного вариометра в четырехазимутальном цикле.— Науч. зап. Львов. политехн. ин-та, 1949, 3.
96. Тарунина О. Л. Об условиях, определяющих целесообразность применения различных гравиметрических приборов для производства детальных съемок.— Вопр. обработки и интерпретации геофиз. наблюдений. Сб. статей Перм. ун-та, 1961.
97. Тектонічна карта Української РСР і Молдавської РСР. М. 1 : 750 000. Під ред. В. Г. Бондарчука і М. П. Семененка. Вид-во АН УРСР, 1959.
98. Тектонічна територія Української та Молдавської РСР. Пояснювальна записка до тектонічної карти Української і Молдавської РСР. М. 1 : 750 000. Вид-во АН УРСР, 1959.
99. Техническая инструкция по магнитной разведке. Госгеолтехиздат, 1963.
100. Трипільська М. І. Геологічна будова зони зчленування Донецького кряжа з Приазовським кристалічним масивом. Вид-во АН УРСР, 1958.
101. Троянский В. Т. Трассирование главного северного надвига восточного Донбасса методом преломленных волн.— Разведка и охрана недр, 1959, 3.
102. Тяпкин К. Ф., Ступак Н. К. Интерпретация магнитных и гравитационных аномалий, обусловленных пластообразными телами и контактами.— Прикл. геофизика, 1959, 22.
103. Тяпкин К. Ф. Интерпретация гравитационных аномалий, обусловленных конечными по простиранию геологическими объектами. Ч. 1. Госгеолтехиздат, 1961; ч. 2, 1962.
104. Усенко И. С. К истории формирования кристаллического фундамента Западного Приазовья.— ДАН СССР, 1952, 87, 5.
105. Усенко И. С. Основные и ультраосновные породы западного Приазовья. Изд-во АН УССР, 1960.

106. Усенко І. С. та ін. Формациї українського щита.— Геол. ж. АН УРСР, 1963, 23, 1.
107. Федюк В. И. Микромагнитная съемка и ее геологические возможности. Госгеолтехиздат, 1958.
108. Фотиади Э. Э. Геологическое строение Русской платформы по данным региональных геофизических исследований и опорного бурения.— Тр. Всесоюз. н.-и. ин-та геофиз. Госгостехиздат, 1958, 4.
109. Харечко Г. Є. До питання про тектоніку Руської платформи в районі міст Бердянськ—Нагайськ (за даними геофізичних досліджень).— Геол. ж. АН УРСР, 1960, 20, 1.
110. Чебаненко И. И. Разломная тектоника земной коры. Изд-во АН УССР, 1963.
111. Чеботарев А. С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. Гостехиздат, 1958.
112. Широков А. С. Методика геофизических работ при разведке полезных ископаемых.— Разведка и охрана недр, 1961, 4.
113. Юньков А. А., Афанасьев Н. Л., Федотова Н. А. Интерпретация аномалий над контактами и сбросами. Госгеолтехиздат, 1961.
114. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Изд. 2. Госгостехиздат, 1953.
115. Elcins T. A. The second derivation method in gravity interpretation.— Geophysics, 1951, 16, 1.
116. Jung K. Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik. Leipzig, 1961.
117. Henderson R. G. a. Zietz I. The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields.— Geophysics, 1949, 16, 4.
118. Feters L. I. The direct approach to magnetic interpretation and its practical application.— Geophysics, 1949, 14, 3.
119. Rosenbach O. A contribution to the computation of the second derivation from gravity data.— Geophysics, 1953, 18, 1.
120. Saxov S., Nyggard K. Residual anomalies and depth estimation.— Geophysics, 1953, 18, 4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-------------	---

Глава I

Некоторые вопросы геофизических исследований при среднемасштабном геологическом картировании		9
A. Магниторазведка		10
§ 1. О рациональной сети магнитных съемок		11
§ 2. Об источниках погрешности при проведении средне- и крупномасштабных магнитных съемок		28
§ 3. Проведение магнитных съемок с созданием магнитных реперов		40
§ 4. К вопросу об обработке рядовой магнитной съемки		47
§ 5. Разрешающая способность магнитометрии при картировании группы объектов		53
B. Гравиметровая съемка		63
§ 6. О выборе рациональной сети наблюдений		69
§ 7. К вопросу уравнивания гравиметровых сетей		69
V. Другие геофизические исследования		75
§ 8. Гравиразведка с измерением вторых производных		75
§ 9. Электроразведка		83
§ 10. Остальные методы		93

Глава II

Комплексирование геофизических исследований		
§ 11. Геофизические исследования, предшествующие геологическому картированию		99
§ 12. Геофизические исследования, сопутствующие геологическому картированию		113
§ 13. К вопросу о комплексировании магнитометрии и гравиразведки с измерением вторых производных		120
§ 14. Некоторые рекомендации по методике и комплексированию геофизических исследований в различных районах Приазовского кристаллического массива и зоны сочленения его с Донбассом		126
Заключение		135
Литература		139

Сергей Сергеевич Красовский

Методика комплексирования геофизических исследований при геологическом картировании.
(на примере Приазовского кристаллического массива и зоны сочленения его с Донбассом).

Печатается по постановлению Ученого совета Института геофизики АН УССР

Редактор Р. И. Бычкова, Н. Я. Шарай, художественный редактор И. П. Антониук, оформление художника Б. А. Ануфриенко, технический редактор Н. А. Турбанова, корректор З. И. Бех. БФ 05440. Зак. № 1377. Изд. № 151. Тираж 1200. Формат бумаги 60x90^{1/16}. Печ. физ. листов 9,0+2 вкл. Услови. печ. листов 9,75. Учетно-изд. листов 9,82. Подписано к печати 30. IX 1965 г. Цена 50 коп. Т. п. 1965 г. поз. 225.

Издательство «Наукова думка», Киев, Репина, 3.

Областная книжная типография Львовского областного управления по печати. Львов, Стефанка, 11.

50 коп.

2710

ЛЬВОВСКАЯ ОБЛАСТНАЯ КНИЖНАЯ ТИПОГРАФИЯ