Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVI, вып. 2, 1963 г.

ГИПСОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТАТАРСКОГО СВОДА

(по данным аэромагнитной съемки)

И. Г. Александров

На территории Русской платформы кристаллический фундамент перекрыт чехлом осадочных отложений, мощность которых достигает нескольких километров. Одной из задач аэромагнитной съемки (экспедиция В. Н. Зандера, 1959—1961)[1] было определение погребенного рельефа фундамента в связи с поисками нефтегазоносных структур в осадочном чехле. Основным методом решения задачи являлось вычисление глубины верхней кромки магнитных тел, как правило, соответствующей поверхности кристаллического фундамента [5, 8].

Глубина вычислялась по графикам ΔT аэромагнитной съемки. Выработанная в процессе исследований методика вычисления глубин дается здесь на примере определения рельефа кристаллического фундамента одного из участков съемки — северной части Татарского свода.

Предварительное определение формы тел, вызывающих аномалию. Непосредственным вычислениям глубин предшествует тщательное изучение формы аномалии, что должно дать представление о возможной форме объекта, вызывающего аномалию. По данным буровых скважин определяется наличие магнитных пород в осадочном чехле, их возможное влияние на аномальное магнитное поле участка.

Как показали исследования, находящиеся в разрезе осадочной толщи изучаемого участка, маломощные, редкие, локализованные прослои эффузивов и туфов не вызывают существенного изменения аномального магнитного поля, созданного в основном магнитными породами кристаллического фундамента.

Большинство аномалий имеет хорошо выраженное линейное простирание со значительным превышением линейных размеров над поперечными (рис. 1). По-видимому, они вызваны магнитными породами фундамента, внедрившимися по ослабленным зонам и имеющими форму пластов и даек. Преобладающая симметричная форма аномалий свидетельствует о вертикальных контактах магнитных тел с вмещающими породами фундамента. Несколько асимметричных аномалий северного простирания указывают на наличие магнитных тел, имеющих наклонные контакты со вмещающими породами.

Предварительный анализ магнитного поля должен дать конкретное представление о форме магнитного тела, о возможном геологическом строении участка с тем, чтобы при вычислениях глубин верхней

[1] Съемка проведена аэромагнитометрами АЭМ-49 и модернизированными аэромагнитометрами АСГМ-25М с выпускной гондолой и расширенной шкалой записи.

кромки магнитных тел применить наиболее благоприятный способ вычисления в каждом отдельном случае.

Для определения глубины верхней кромки магнитного тела необходимо в первом приближении знать следующие параметры объек-

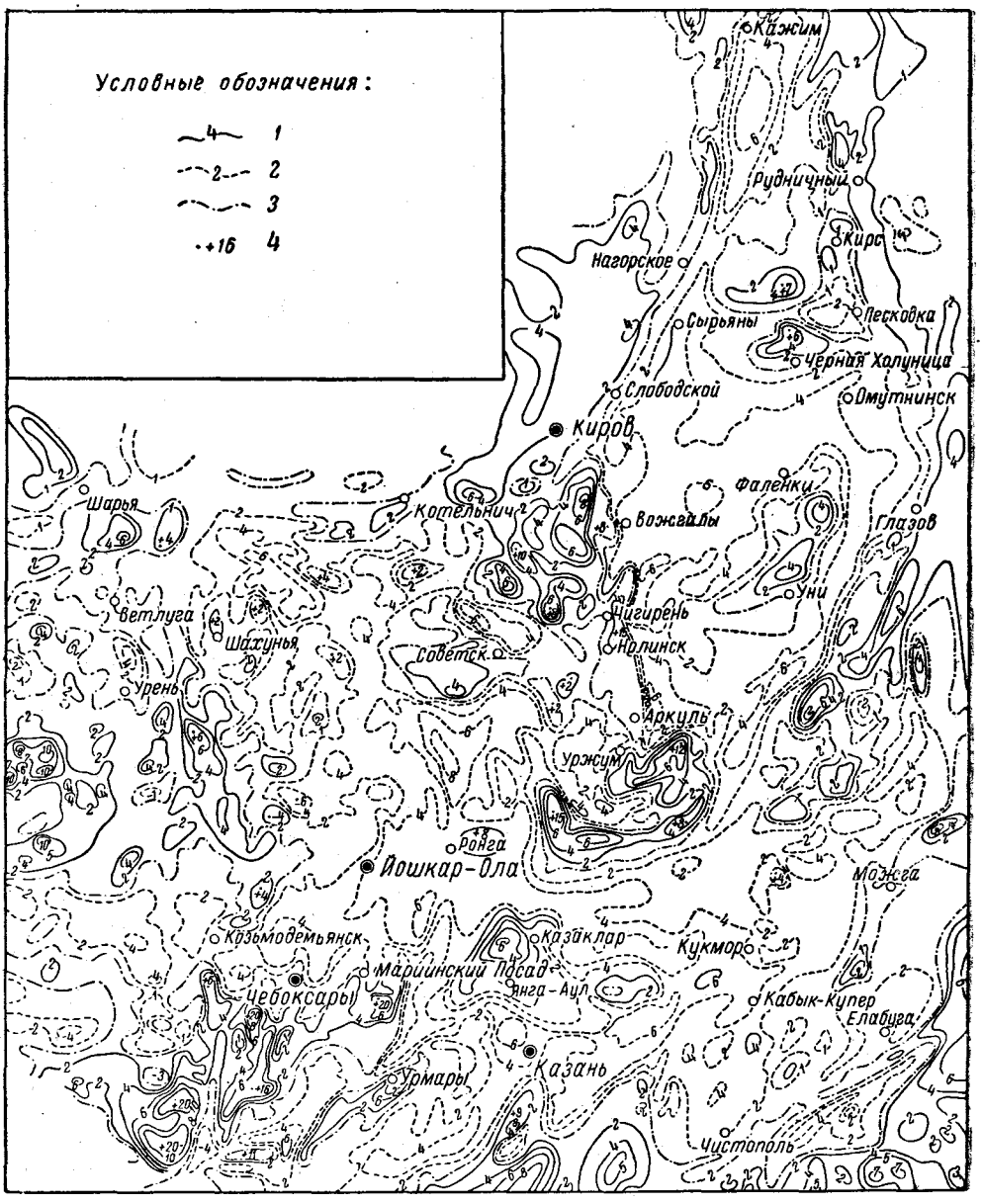


Рис. 1. Карта магнитных аномалий (в изолиниях ΔT) северной части Татарского свода (по данным В. Н. Зандера, 1960 г.):

1 — изолинии положительных значений ΔT, *мэ*; *2* — изолинии отрицательных значений ΔT, *мэ*; *3* — изолинии нулевых значений ΔT; *4* — отдельные значения ΔT, *мэ*

та: отношение полумощности пласта к глубине залегания его верхней кромки $\frac{b}{h}$; отношение длины тела по простиранию к видимой мощности пласта $\frac{L}{2b}$; угол падения пласта α; отношение вертикальных размеров тела к глубине залегания верхней кромки пласта $\frac{2l}{h}$.

На рассматриваемом участке $\frac{b}{h}$ определялось по характеру максимума аномалии: аномалии с острыми максимумами относились к телам, имеющим $\frac{b}{h}<1$, а аномалии с тенденцией выполаживания максимума и с пологими максимумами — к телам, для которых $\frac{b}{h}>1$. Отношение $\frac{L}{2b}$ примерно определялось на карте магнитных аномалий ΔT и для исследуемого участка в основном было больше 4, что позволяло рассматривать отдельные графики ΔT как поле от двухмерных тел.

Угол α специально не определялся. Устанавливался по форме графика лишь сам факт наклонного падения, которое не вносило ошибки в вычисление глубины, произведенное способами, принятыми для вертикальных пластов, так как глубина, определенная раздельно по обеим ветвям аномалии, для всех аномалий осреднялась арифметически и результат относился к центру аномалии.

Более сложна примерная оценка отношения $\frac{2l}{h}$ по форме аномалий. Если аномалия находится на фоне спокойного магнитного поля, то можно примерно оценить это отношение по форме и глубине минимумов, сопровождающих положительную часть аномалии. Обычно наличие слабого минимума или отсутствие минимумов свидетельствует о том, что $\frac{2l}{h}>5\div10$ (рис. 2, *а*, *б*). Если $\frac{2l}{h}<5\div10$, то ветви аномалии до перехода в спокойное магнитное поле[1] осложнены минимумами (рис. 2, *в*, *г*, *д*).

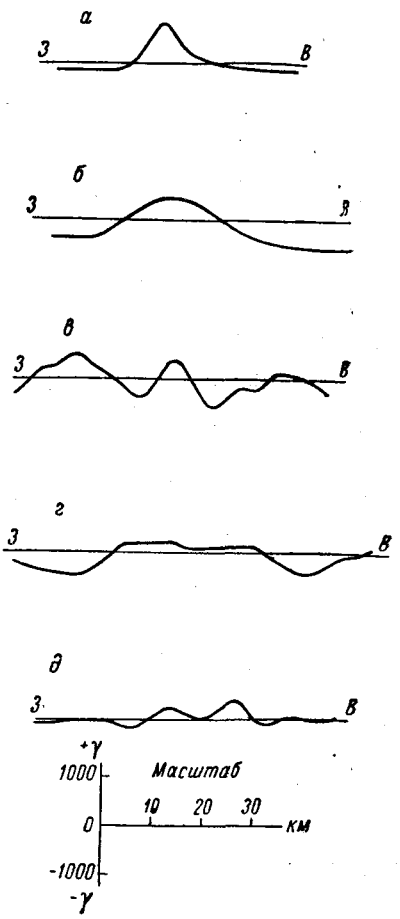


Рис. 2. Некоторые характерные аномалии ΔT исследуемого участка

Если аномалии вызваны близко расположенными друг от друга магнитными телами, то взаимное сложение минимумов дает более резкий минимум, и по форме аномалии можно сделать заключение о величине $\frac{2l}{h}$ меньше действительной. Однако для определения глубины верхней кромки пласта в данном случае важно оценить именно это «фиктивное» отношение, так как при вычислении глубины верхней кромки магнитного тела учитывается именно этот осложненный минимум.

Таким образом, предварительное представление о форме тела, вызывающего аномалию, определяет выбор наилучшего для данной формы тела способа вычисления глубины верхней кромки магнитного

[1] Термин *спокойное магнитное поле* употребляется вместо термина *нормальное поле*, так как нормальное магнитное поле, определенное для большой территории съемки, часто не является нормальным полем для данной аномалии (рис. 1, *а*—*г*).

тела. В табл. 1 приведен пример такой предварительной характеристики тел для аномалий рис. 1.

Таблица 1

Аномалия (см. рис. 2)	$\frac{b}{h}$	$\frac{L}{2b}$	Падение	$\frac{2l}{h}$
а	<1	4	Восточное	$>5\div10$
б	>1	1	Западное	$>5\div10$
в	<1	4	?	$<5\div10$ (фиктивное)
г	>1	2	Вертикальное	$<5\div10$ (фиктивное)
д	<1 (для каждой из двух аномалий)	8	Вертикальное или синклинальная складка (?)	$<5\div10$

Вычисление глубины залегания верхней кромки магнитных тел. Известно много хорошо разработанных способов вычисления глубины верхней кромки магнитных тел различной формы.

Для вертикального узкого пласта «бесконечного» по падению $\left(\frac{b}{h}<1;\ \frac{L}{2b}\geqslant 4;\ \frac{2l}{h}>5\div10\right)$ удовлетворительные результаты дают интегральный способ Т. Н. Симоненко [7], способ пересечения полных векторов А. А. Логачева [4], способ касательных В. К. Пятницкого [6] и др. Эти способы дают хорошие результаты и для наклонных пластов этого типа при осреднении левой и правой частей кривой (при способе Т. Н. Симоненко) и при осреднении глубин, полученных по правой и левой ветвям способом В. К. Пятницкого. Для асимметричных кривых можно применять способ среднегеометрического [4].

Для вертикального или наклонного мощного пласта $\left(\frac{b}{h}>1;\ \frac{2l}{h}>5\div10;\ \frac{L}{2b}\geqslant 4\right)$ применяются способы характерных точек (с осреднением кривой для наклонного пласта) А. А. Логачева [2], способ вторых производных ΔT А. А. Логачева [3, 4] с осреднением значений по левой и правой ветвям при наклонном пласте и др.

Для пластов с отношением $\frac{2l}{h}<5\div10$ почти нет удовлетворительных способов, определяющих верхнюю кромку. Существует ряд способов вычисления глубины центра тяжести тела и магнитного момента, но верхняя кромка тела при этом определяется только при известных примерной форме тела (цилиндр, эллипсоид, пласт) и намагниченности I.

Непосредственно определить глубину верхней кромки тела, ограниченного по вертикали, можно способом полных градиентов И. Г. Клушина [1]. Способ вторых производных А. А. Логачева дает удовлетворительные результаты для мощных пластов, ограниченных по вертикали.

В табл. 2 приведено сравнение способа вторых производных и способа касательных при вычислении глубины залегания верхней кромки на теоретических кривых ΔT, построенных для вертикальных пластов с косым намагничиванием при $\frac{b}{h}=2$. Для ограниченных по вертикали узких пластов при $\frac{b}{h}=0{,}5$ наряду со способом И. Г. Клушина, но с несколько большей погрешностью дают хорошие результаты способы пересечения полных векторов и «среднегеометрического».

Таблица 2

Способ	h при $\frac{2l}{h}$			
	0,25	1,5	2,5	∞
	$\frac{b}{h}=2$			
Касательных с коэффициентами [6]	0,56	0,74	0,78	1,06
Вторых производных [3, 4]	0,70	1,03	1,10	1,27
	$\frac{b}{h}=0,5$			
Касательных с коэффициентами [6]	0,42	0,68	0,75	0,96
Пересечение полных векторов [4]	0,55	0,75	0,83	1,05
Среднегеометрического [4]	0,60	0,70	0,80	1,05
Интегральный [7]	0,5	—	—	0,99
Полных градиентов [1]	0,72	—	—	—

Примечание. h дано в единицах истинной глубины до верхней кромки тела

При вычислении глубин на всем участке применялись способы касательных с коэффициентами В. К. Пятницкого (для узких пластов

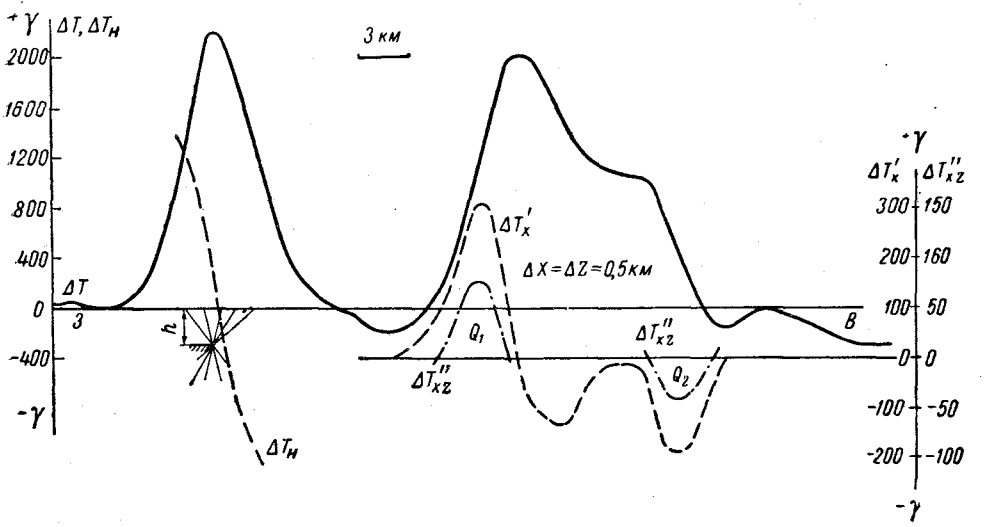


Рис. 3. Пример расчета глубин залегания верхней кромки магнитных тел

с $\frac{2l}{h}>5\div10$), «среднегеометрического» А. А. Логачева (для узких асимметричных пластов), пересечения полных векторов А. А. Логачева (для узких пластов), вторых производных А. А. Логачева (для мощных пластов), способ полных градиентов И . Г. Клушина (для узких пластов с $\frac{2l}{h}<5\div10$).

На рис. 3 приведен пример вычисления глубины по одному из маршрутов. Обе аномалии имеют по краям минимумы, один из них (между аномалиями) общий. Поэтому при вычислении глубины были применены способы, дающие удовлетворительные результаты для тел, ограниченных по вертикали. Левая аномалия, имеющая острый макси-

мум, вызвана телом, обладающим, очевидно, отношением $\frac{b}{h}<1$. Для вычисления глубины был применен способ пересечения полных векторов (здесь также можно было применить и способ И. Г. Клушина). Правая аномалия сложная, вызвана двумя близко расположенными пластами, что позволяет вычислять глубину по крайним ветвям

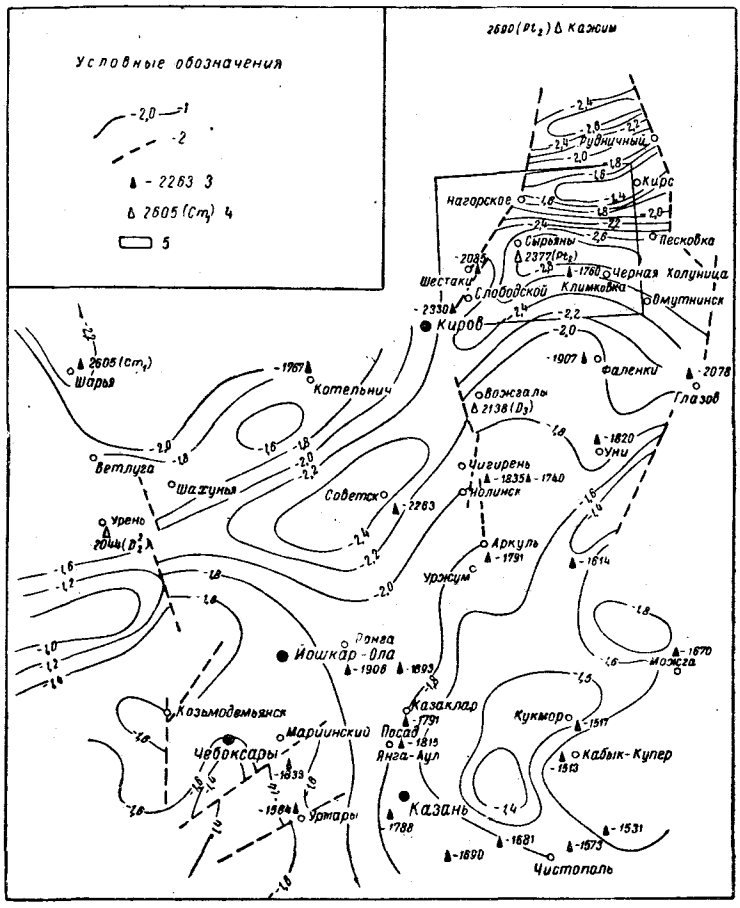


Рис. 4. Гипсометрическая карта поверхности кристаллического фундамента северной части Татарского свода (по данным аэромагнитной съемки и бурения):

1 — изогипсы поверхности фундамента, *км*; *2* — линии тектонических нарушений по геофизическим данным; *3* — буровые скважины, дошедшие до поверхности фундамента с абсолютной отметкой поверхности, *м*; *4* — буровые скважины, не дошедшие до поверхности фундамента с глубиной забоя (*М*) и указанием горизонта, где остановлено бурение; *5* — участок, представленный на рис. 5 в крупном масштабе

в предположении, что аномалия вызвана одним общим мощным телом с $\frac{b}{h}>1$. Здесь был применен способ вторых производных. Глубины до верхней кромки, полученные этими способами, равны —1,8 *км* для левого тела и —1,9 *км* для правого, что хорошо согласуется с глубиной до кристаллического фундамента —1,8 *км*, определенной по данным бурения.

Вычисления глубины, проведенные неподходящим для данных аномалий способом касательных В. К. Пятницкого, дали глубины до верхней кромки левого тела —1,3 *км* и для правого —1,4 *км*.

Составление карты рельефа поверхности фундамента. Предварительно все вычисленные глубины наносятся на рабочую карту гра-

фиков. Затем для большей достоверности глубины осредняются в пределах каждой аномалии по трем-четырем соседним маршрутам. В осредненные глубины вносятся поправки сначала на угол между осью аномалии и направлением маршрута путем умножения осредненной глубины на синус этого угла[1], затем вычитается высота полета самолета, снятая с РВ-2, и абсолютная отметка рельефа дневной поверхности.

Таким образом, получались абсолютные отметки верхней кромки магнитных тел, которые, как указано выше, отождествлялись с поверхностью кристаллического фундамента.

На основании совместного анализа карты полученных глубин с картами магнитного поля, гравитационного поля и данных буровых скважин, достигших поверхности кристаллического фундамента, проводятся изогипсы поверхности фундамента. В местах, где перепад между глубинами настолько большой, что его нельзя объяснить плавным изменением рельефа поверхности фундамента, проводятся тектонические линии, образующие как-бы отдельные блоки, смещенные по вертикали относительно друг друга. В пределах каждого такого блока проводятся изогипсы поверхности фундамента. Кроме того, наносятся тектонические линии по данным карты магнитного поля. Построенная таким образом карта приведена на рис. 4.

Для оценки точности вычисления глубин и, следовательно, карты рельефа кристаллического фундамента приведена табл. 3, где сравниваются результаты вычислений с данными бурения. Среднее расхождение по 27 скважинам 4,2%, что составляет при средней глубине залегания фундамента 1,7—1,8 *км* погрешность ±75 *м*.

Таблица 3

Скважина	Положение скважины	Расстояние от скважины до точки расчета, *км*	Глубина до поверхности кристаллического фундамента (абсолютная отметка), *км*		Расхождение	
			по скважине	по результатам вычисления	*км*	%
Аркуль	На аномалии	13	—1,79	—1,7	—0,09	—5,0
Глазов		8	—2,08	—2,2	+0,12	+5,8
Елабуга, 31		6	—1,55	—1,8	+0,25	+16,1
Кабык-Купер, 1	В стороне от аномалии	13	—1,52	—1,6	+0,08	+5,3
Казаклар, 4		15	—1,79	—1,8	+0,01	+0,6
Камское Устье, 3		23	—1,81	—1,8	—0,01	—0,6
Кирмени, 21		5	—1,53	—1,6	+0,07	+4,6
Колобово, 2	На аномалии	5	—1,74	—1,8	+0,06	+3,5
Котельнич		22	—1,77	—1,7	—0,07	—4,0
Кукмор, 4		8	—1,52	—1,5	—0,02	—1,4
Мариинский Посад, 4	В стороне от аномалии	13	—1,63	—1,6	—0,03	—1,8
Можга		12	—1,67	—1,6	—0,07	—4,2
Ронга, 2	На аномалии	19	—1,91	—1,9	—0,01	—0,5
Советск	В стороне от аномалии	15	—2,26	—2,4	+0,14	+6,2
Татарское Азелеево, 2	На аномалии	6	—1,79	—1,8	+0,01	+0,6
Ува		9	—1,71	—1,9	+0,19	+11,1
Уни		15	—1,82	—2,0	+0,18	+9,9
Урмары, 3		8	—1,57	—1,6	+0,03	+1,9
Фаленки	В стороне от аномалии	24	—1,91	—2,0	+0,09	+4,7

[1] Для глубин, вычисленных способом вторых производных, на синус угла умножалась глубина, полученная до центра цилиндра, и затем уже вычиталась половина интервала дифференцирования по оси *z*.

Продолжение табл. 3

Скважина	Положение скважины	Расстояние от скважины до точки расчета, км	Глубина до поверхности кристаллического фундамента (абсолютная отметка), км		Расхождение	
			по скважине	по результатам вычисления	км	%
Чистополь	На аномалии	15	—1,57	—1,6	+0,03	+1,9
Чистополь, 8		12	—1,73	—1,6	—0,13	—7,5
Шихово-Чепецкая, 3		12	—2,33	—2,4	+0,07	+3,0
Шурга, 1	В стороне от аномалии	20	—1,89	—2,0	+0,11	+5,8
Янга-Аул, 1	На аномалии	22	—1,82	—1,8	—0,02	—1,1
Янчиково, 11		11	—1,68	—1,7	+0,02	+1,2
Янчиково, 12	В стороне от аномалии	22	—1,69	—1,7	+0,01	+0,6
Шестаки		10	—2,08	—2,0	+0,08	+3,8

Данные буровых скважин, пройденных в районе Шестаков и Рехина, полученные после составления карты рельефа, подтвердили гипсометрию фундамента, построенную по вычисленным глубинам. Сква-

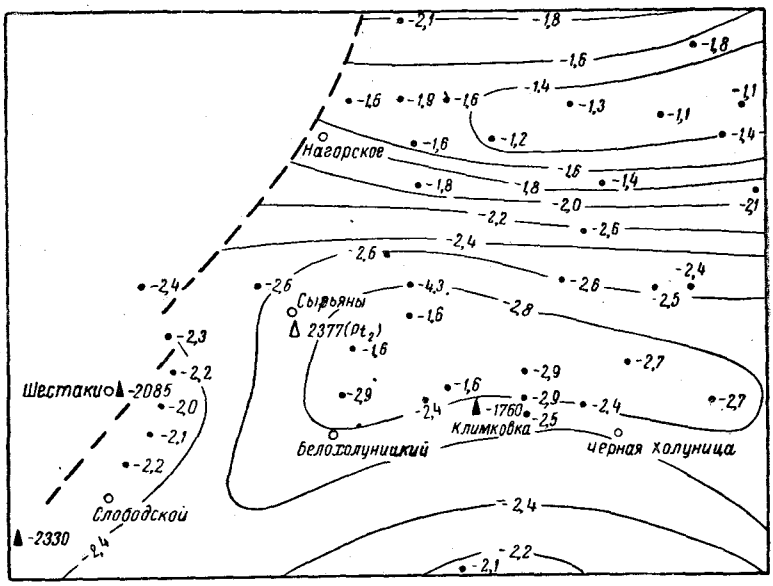


Рис. 5. Выкопировка из карты рис. 4 (точкой с цифрой отмечены места вычисления глубин)

жина в Климковке, по которой абсолютная отметка фундамента равна —1760 *м*, противоречит схеме изогипс рельефа фундамента. При вычислении глубин в этом районе (на рис. 5 этот район изображен в более крупном масштабе) в трех точках получено значение глубины верхней кромки фундамента —1,6 *км*. Так как эти глубины находятся в тесном окружении более низких отметок верхней кромки фундамента (—2,6÷—2,9), при построении мелкомасштабной карты рельефа трудно представить столь локальное резкое поднятие, и глубины —1,6 *км* не были учтены при построении карты.

На территории изучаемого района проведена высокоточная крупномасштабная аэромагнитная съемка прибором АМ-13. После обра-

ботки результатов этой съемки в соединении с данными по Климковской скважине можно будет установить контуры этого поднятия.

Оконтуривание Климковского поднятия по материалам аэромагнитной съемки 1960 г. невозможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клушин И. Г. Об оценке глубины залегания кристаллического фундамента по расчетам магнитных и гравитационных аномалий. Сб. «Прикладная геофизика», вып. 27, 1960.

2. Логачев А. А. Курс магниторазведки. Госгеолтехиздат, 1951.

3. Логачев А. А. Методическое руководство по аэромагнитной съемке. Госгеолтехиздат, 1955.

4. Логачев А. А. Использование высших производных магнитного потенциала в магниторазведке. Зап. ЛГИ, т. XXXIX, вып. 2, 1961.

5. Неволин Н. В. Геологическое значение гравитационных и магнитных аномалий центральных и восточных районов Русской платформы. «Геология нефти», 1957, № 3.

6. Пятницкий В. К. К методу касательных. Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР, вып. 11, 1961.

7. Розе Т. Н. Приближенная оценка глубины залегания намагниченных тел. Материалы по геологии и полезным ископаемым ВСЕГЕИ, ч. I, вып. 8, 1956.

8. Фотиади Э. Э. Геологическое строение Русской платформы по данным региональных геофизических исследований и опорного бурения. Тр. ВНИИГеофизики, вып. IV, 1958.