Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 2, 1961 г.

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГРАВИРАЗВЕДКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА

И. Г. Клушин

Геологическое исследование закрытых областей — главнейшая задача разведочной геофизики. Наилучшим образом она может быть решена только при сочетании различных по своим основам методов исследования. В то же время в конкретных геологических условиях требуется тщательная оценка геологической и экономической эффективности каждого из них. Уточнение наших представлений о возможных в данном районе структурно-геологических формах и совершенствование геологической интерпретации наблюдаемых физических полей зачастую приводят к тому, что результативность того или иного метода со временем меняется и ранее уже использованные материалы полевых съемок вновь дают в руки исследователя ценные сведения.

В настоящее время для изучения структуры поверхности кристаллического фундамента, а также его внутренней структуры широко применяются данные аэромагнитных и в меньшей мере наземных магнитных съемок. Опыт геологического истолкования магнитных аномалий с целью прослеживания складчатых образований, выявления крупных структур первого и второго порядка величины в рельефе поверхности кристаллического фундамента, оценки вещественного состава кристаллических пород и решения ряда других задач освещен в литературе [1—5, 7, 9, 13]. Вместе с тем, несмотря на принципиальную близость гравиметрии и магнитометрии, количественное истолкование гравитационных аномалий при решении указанных выше задач практикуется сравнительно редко.

Настоящая статья ставит своей целью рассмотреть некоторые возможности гравиразведки, а также комплекса гравиразведки и магниторазведки при исследовании структуры фундамента, т. е. при выяснении его поверхности и распределении в нем тех или иных образований, формы залегания последних и взаимоотношения их друг с другом. В основу работы положены фактические материалы по юго-востоку Русской платформы (Татарский свод, Пилюгинско-Оренбургский свод и сопредельные с ними районы) и в значительно меньшей мере — по западу Средней Азии.

1. Рельеф поверхности кристаллического фундамента

Целый ряд исследователей препятствием к применению гравиразведки для изучения рельефа фундамента считают то обстоятельство, что величина гравитационного эффекта за счет изменения рельефа значи-

тельно меньше по сравнению с эффектом, обусловленным петрографической неоднородностью кристаллических пород. Однако для магнитных аномалий эта закономерность проявляется в еще большей степени, поэтому такое возражение можно не учитывать, так как оно указывает на нарушение условий лишь для самого простого случая — одной контактной поверхности двух сред с постоянной плотностью.

Сопоставление карт гравитационных аномалий с данными петрографического анализа пород фундамента и результатами глубинных сейсмических зондирований, проведенных в последнее время экспедициями ВНИИГеофизики и на Русской платформе, и в Средней Азии [6, 7], показывает, что физико-геологическая картина распределения плотности в верхней части земной коры, характерная для платформ, является во многих случаях благоприятной для вычисления глубины залегания

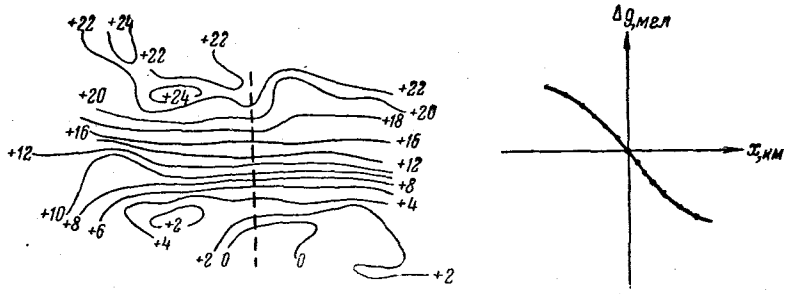


Рис. 1. Типичная гравитационная ступень

кристаллических пород, причем эти случаи легко определяются по морфологическим особенностям гравитационного поля. Наиболее существенный вывод из указанных исследований заключается в том, что и в плане, и по вертикали изменения плотности носят не постепенный, а скорее скачкообразный характер. Разумеется, зоны распространения пород того или иного состава нельзя считать однородными: в них имеются локальные включения пород, резко отличных от доминирующих по своим физическим характеристикам. Так, на Татарском своде, в зоне развития биотитоплагиоклазовых гнейсов со средней плотностью 2,67 $г/см^3$, скважиной № 37 (Сарманы) вскрыты габбро-диабазы плотностью 2,98 $г/см^3$. Иногда одна и та же скважина вскрывает совершенно различные породы. Но поскольку гравитационное поле по своей природе имеет интегральный характер, включения локальных масс с линейными размерами меньшими, чем глубина залегания, не играют особенно существенной роли. Они лишь осложняют гравитационное поле аномалиями высокого порядка, проявляющимися в виде незакономерных изгибов изоаномал.

В самом первом приближении отдельные петрографические зоны можно считать однородными по своему составу. На гравитационных картах такие зоны выделяются четкими минимумами и максимумами силы тяжести, например аномалии в районе Черемшана, Буздяка и т. д. [11]. Интенсивные, до 20 *мгл*, гравитационные ступени, трассирующие их границы, еще более подчеркивают скачкообразный характер перехода. Пример типичной гравитационной ступени — линейно вытянутой аномалии Δg с ярко выраженной асимметрией — приведен на рис. 1.

Учитывая сказанное, при вычислении глубины можно исходить из следующей приближенной схемы распределения плотности (рис. 2). В осадочной толще (верхняя часть разреза) плотность изменяется пре-

имущественно с глубиной, тогда как в горизонтальном направлении изменения происходят плавно, создавая аномалии в несколько первых миллигал. В кристаллическом фундаменте (нижняя часть разреза) изменения плотности по вертикали, и особенно в плане, происходят резко, почти скачкообразно, создавая аномалии интенсивностью до десятков миллигал.

Одна из первых попыток использования данных гравиметрических съемок для изучения рельефа поверхности фундамента восточных районов Русской платформы была предпринята А. Г. Салиховым [12]. Учитывая, что наиболее распространенной формой аномалий Δg является гравитационная ступень, А. Г. Салихов использовал формулу американского геофизика Дж. В. Фишера, позволяющую находить предел глубины залегания верхней кромки контактирующих масс при известной величине избыточной плотности. Задаваясь произвольно выбранным и чрезвычайно завышенным значением $\Delta\sigma$ (до 0,4 *г/см*^{3}), он получил большое число определений глубины, завышенных во много раз по сравнению с фактическими глубинами фундамента по данным бурения. На основе корреляционного графика, учитывающего эти расхождения для северных районов Татарского свода, делались попытки определения глубины фундамента на тех площадях, где данные бурения отсутствовали. Эти попытки в ряде случаев оказались удачными.

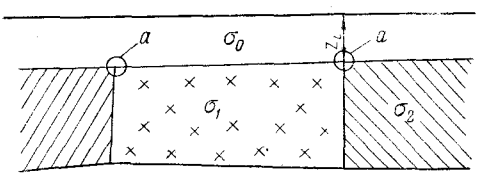


Рис. 2. Распределение плотности, которое может быть положено в основу количественных определений при истолковании аномалий типа «гравитационной ступени»:

σ_0 — плотность осадочных пород; σ_1, σ_2 — плотность блоков кристаллических пород; *а* — точки резкого изменения плотности, определяемые при расчетах (особые точки гравитационного поля); Z_i — глубина до особой точки

Естественно, такой график может иметь смысл лишь тогда, когда исходные данные (особенно $\Delta\sigma$) варьируют в небольших пределах. Так, если в какой-либо точке площади, занимаемой крупной, протяженной аномалией, уже известна глубина по данным бурения, можно попытаться оценить изменение глубины в пределах всей аномалии. Увеличение диапазона возможных изменений плотности нарушает корреляционную связь, поэтому попытка перенести установленную закономерность на площадь южного купола Татарского свода оказалась безуспешной.

Независимое определение глубины и избыточной плотности дает более удовлетворительные результаты при исследовании больших площадей [8].

Сопоставление результатов вычисления глубин по гравитационным аномалиям юго-восточных районов Русской платформы с данными бурения и региональных сейсмических исследований, выполненных Волго-Уральской экспедицией ВНИИГеофизики, показало, что среднеквадратичная погрешность вычисления глубины до фундамента, при использовании стандартных карт масштаба 1 : 200 000 с сечением изоаномал через 2 *мгл*, составляет около 25% (45% всех отклонений укладывается в пределы погрешности от 0 до 15%, а 67% отклонений — в пределы от 0 до 25%). Опыт показывает, что если для вычислений использовать только наиболее четкие и интенсивные аномалии (около 15—20 *мг*), то погрешность может быть несколько уменьшена (приблизительно до 20%). Приведенная оценка погрешности основана на анализе вычислений по 41 аномалии.

Как видим, вычисления глубин по гравитационным аномалиям приводят к несколько худшим результатам по сравнению с вычислениями по

магнитным аномалиям. Однако общее число определений при использовании гравитационных аномалий существенно увеличивается. Кроме того, независимые расчеты по гравитационным и магнитным аномалиям контролируют друг друга, дают возможность исключить из рассмотрения заведомо завышенные или заниженные определения глубины.

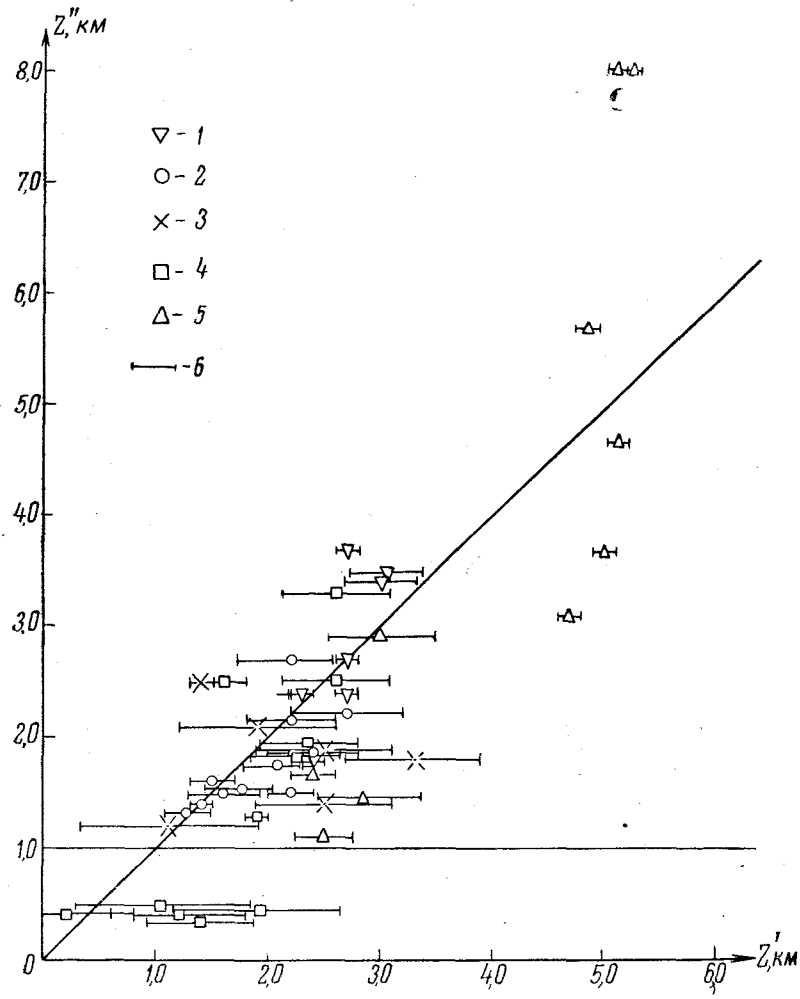


Рис. 3. Сопоставление глубины залегания верхних кромок аномальных масс (расчеты по гравитационным аномалиям) со структурной картой поверхности кристаллического фундамента, построенной Ю. Н. Годиным по комплексу геофизических и геологических данных.

Z" — расчетные глубины; *Z'* — глубины, снятые с карты. Расчетные точки групп аномалий: *1* — Бахардок-Ербентской; *2* — Бухарской; *3* — Питнякской; *4* — Туаркырской; *5* — Чарджоуской; *6* — пределы изменения глубины до кристаллического фундамента, возможные на площади осреднения гравитационной аномалии по оси *y* (сняты с карты)

Последние вызваны не столько погрешностями вычисления, сколько качеством исходных материалов и ошибками в представлениях о геологическом строении. В настоящее время установлены факты проявления палеозойского вулканизма в различных районах Русской платформы [12]. Естественно ожидать их и в юго-восточных районах, особенно в зоне сочленения трех крупнейших тектонических структур первого порядка: Средне-Русской плиты, Прикаспийской впадины и Предуральского про-

гиба, где, по данным комплекса геофизических данных, намечается серия разломов, в том числе глубинных.

Сходные по точности результаты получены при сопоставлении глубин залегания возмущающих масс, вычисленных по гравитационным аномалиям запада Средней Азии, со структурной картой поверхности палеозойского фундамента, построенной Ю. Н. Годиным (рис. 3). Вычисления осложнялись тем, что глубина залегания кристаллических пород иногда существенно менялась даже на площади одной аномалии. Поэтому на рис. 3 для каждой аномалии дается не только контрольное значение глубины, но и пределы ее изменения, возможные на площади осреднения аномалии по оси, направленной вдоль простирания. Предварительное осреднение аномалии выполнялось с целью исключения случайных изгибов изоаномал, вызванных плотностной неоднородностью контактирующих пород.

Значительные отклонения, полученные по двум аномалиям Чарджоуской группы, объясняются тем, что в некоторых глубоких впадинах палеозойские породы слабо дислоцированы, залегают почти горизонтально и фактически роль фундамента играют более древние и глубже залегающие комплексы пород, с которыми и связаны гравитационные и магнитные аномалии.

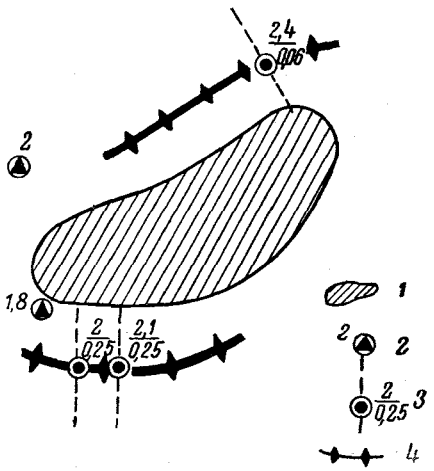


Рис. 4. Расположение расчетных точек при определении глубины залегания возмущающих масс в районе Буздяка:

1 — гравитационный максимум; *2* — точка, в которой определялась глубина (в километрах) залегания магнитных масс; *3* — точка, в которой определялась глубина до плотностного контакта (цифра в числителе — глубина, *км*; в знаменателе — избыточная плотность, *г/см*³; *4* — гравитационная ступень

В благоприятных условиях при рассмотрении резких гравитационных ступеней могут быть получены данные, позволяющие высказать суждение о геологической природе аномалии: вызвана ли она обычным контактом кристаллических пород различного петрографического состава, либо один блок оказался значительно смещенным относительно другого в вертикальном направлении, т. е. контакт проявляется в рельефе фундамента. Одним из показателей наличия в данном случае второго варианта является повышенная (около 0,18—0,25 *г/см*³) избыточная плотность. При использовании гравитационной ступени, следующей вдоль северо-западного борта Прикаспийской впадины, значение избыточной плотности получилось еще больше — до 0,30—0,35 *г/см*³.

Высокое значение избыточной плотности в случае резкого погружения кристаллического фундамента объясняется тем, что кристаллические породы образуют контакт с менее плотными осадочными породами, которые, как правило, являются отложениями нижней терригенной толщи. На стыке Средне-Русской плиты и Прикаспийской впадины этот эффект еще подчеркивался резким возрастанием мощности соленосных отложений сразу же после погружения кристаллического фундамента.

Естественно, для более достоверного определения геологической природы аномалий типа гравитационной ступени необходимо привлечение дополнительных сведений (независимых определений глубины по данным других геофизических методов или бурением, прямых определений плотности пород).

В качестве примера рассмотрим результаты интерпретации и последующих сопоставлений по Буздякскому максимуму силы тяжести (рис. 4).

Независимые вычисления глубины залегания возмущающих масс по гравитационным и магнитным аномалиям показали, что глубина на значительной площади остается неизменной — около 1,8—2 *км*, что совпадает с данными бурения. На основании этого следовало сделать вывод, что аномалии не связаны с изменением рельефа фундамента. Однако вычисления избыточной плотности по гравитационной ступени, ограничивающей максимум с юга, и по гравитационной ступени на севере дали различные результаты: $\Delta\sigma = 0{,}06$ *г/см*^{3} на севере и $\Delta\sigma = 0{,}25$ *г/см*^{3} на юге.

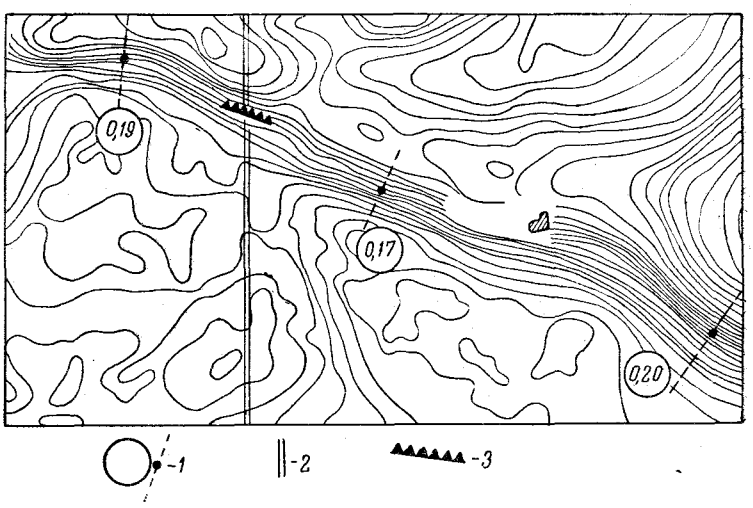


Рис. 5. Расчеты избыточной плотности по Большекинельской гравитационной ступени:

1 — расчетный профиль (цифра — избыточная плотность, *г/см*^{3}); *2* — сейсмический профиль; *3* — положение глубинного разлома по данным сейсморазведки

В центре максимума Δg расположены скважины № 4, 5, 8 и др., которые показали, что средняя плотность пород фундамента составляет 2,77 *г/см*^{3} (кристаллические породы представлены габбро-норитами и габбро-диабазами). Таким образом, плотность пород, примыкающих с юга, должна быть около 2,52 *г/см*^{3}, что соответствует плотности осадочных пород. Следовательно, на юге Буздякского максимума кристаллические породы должны контактировать с породами нижнего терригенного комплекса, который в восточных районах платформы имеет плотность около 2,50 *г/см*^{3}. В настоящее время резкое погружение фундамента установлено глубоким бурением: скважины № 39, 119 Серафимовской площади, остановленные на глубинах 2570 и 2705 *м*, не встретили фундамента, тогда как расположенные на 3 *км* севернее скважины № 8, 433 установили, что глубина до фундамента равна 1703 и 1727 *м*. Высокие значения избыточной плотности были получены также при интерпретации интенсивной гравитационной ступени, трассирующей Большекинельские дислокации (см. рис. 5) ($\Delta\sigma = 0{,}19$ *г/см*^{3}), и гравитационной ступени, совпадающей с северным бортом Прикаспийской впадины ($\Delta\sigma$ равно 0,2—0,3 *г/см*^{3}). Прямые определения плотности пород в данном случае отсутствовали. Однако региональный характер исследованных аномалий, их протяженность, достигающая нескольких сотен

километров, свидетельствуют о том, что они обусловлены не только резкой сменой петрографического состава пород фундамента. Действительно, внедрения тяжелых магматических пород типа габбро-норитов или габбро-диабазов также могут быть причиной высоких значений избыточной плотности. Однако эти породы отличаются локальным распространением, поэтому их контакты со вмещающей средой (гнейсами различного состава) будут отмечаться гравитационными ступенями второго порядка протяженностью в первые десятки километров.

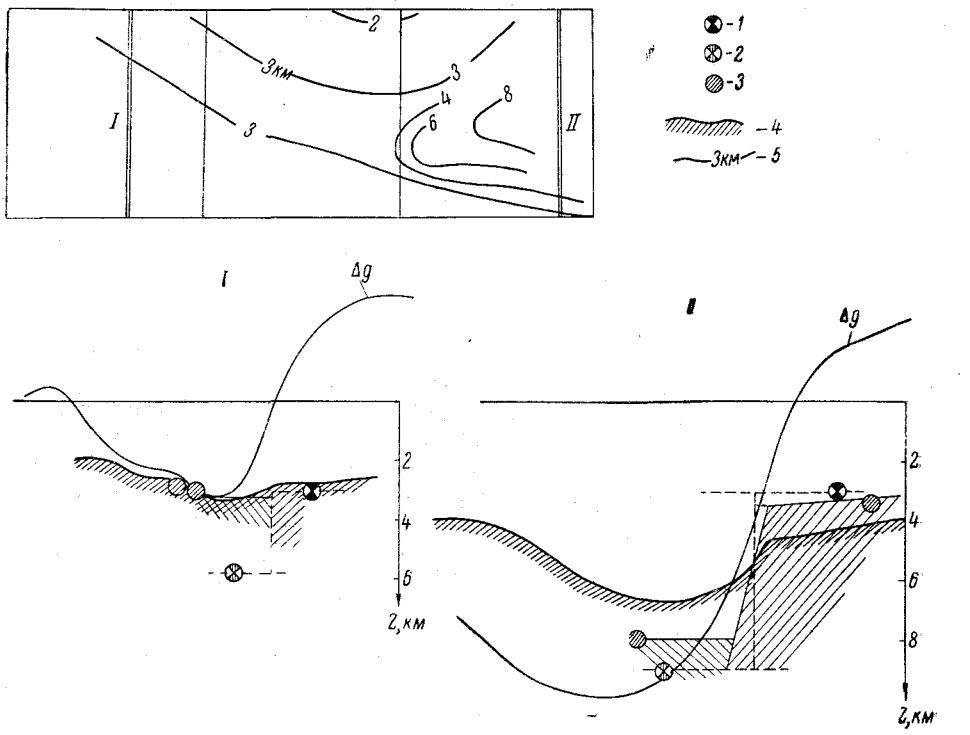


Рис. 6. Оценка вертикального смещения блоков кристаллических пород в зоне разлома по расчетам гравитационных и магнитных аномалий:

1 — верхняя кромка плотностного контакта; *2* — нижняя кромка плотностого контакта, вычисленная в предположении, что избыточная плотность остается с глубиной неизменной; *3* — глубина залегания магнитных масс; *4* — рельеф поверхности кристаллического фундамента по данным региональных сейсмических исследований ВНИИГеофизики (Ю. Н. Годин, П. А. Блохин, Н. П. Иванова, И. В. Померанцева, А. В. Егоркин и др., 1957—1958 гг.); *5* — изолинии глубины залегания возмущающих масс, *км* (по И. Г. Клушину и Р. В. Сучковой, 1957 г.). *I*, *II* — профили

Предположение о связи указанных выше аномалий с погружением кристаллических пород было подтверждено региональными сейсмическими исследованиями. В настоящее время установлено, что Большекинельская ступень совпадает в плане с глубинным разломом, проявляющимся также и в резком погружении фундамента от глубины 3—3,8 *км* на юге (Пилюгинско-Оренбургский свод) до 6—7 *км* на севере, в пределах Абдулинской впадины.

Сопоставляя данные о глубине верхних кромок намагниченных масс с данными о глубине нижней кромки масс, создающих гравитационную аномалию (в предположении, что избыточная плотность остается с глубиной неизменной), оказалось возможным оценить амплитуду вертикального смещения блоков кристаллических пород по разлому. На рис. 6

результаты вычисления глубин по гравитационным и магнитным аномалиям сопоставлены с данными сейсморазведки по профилям Абдулино — Мимляк и Черемшан—Уральск. В пределах Абдулинской впадины глубина нижней кромки уступа и глубина до магнитных масс близки друг к другу. Это дает основание полагать, что почти весь гравитационный эффект здесь обусловлен глубоким погружением кристаллических пород: до 8 *км* по гравимагнитным данным и около 6—7 *км* по данным сейсморазведки. Далее на северо-запад глубина до магнитных масс становится значительно меньше глубины до нижней кромки уступа. Это указывает на меньшее по амплитуде вертикальное смещение блоков вдоль плоскости разлома. По сейсмическим данным, глубина впадины достигает всего лишь 3,6—3,9 *км*.

2. Вещественный состав кристаллического фундамента

Тесная связь гравитационных аномалий с изменением состава пород фундамента особенно наглядно проявляется на щитах [3]. Однако и для глубоко погруженных сводов сохраняются достаточно отчетливые закономерности. Сопоставление гравитационного поля детально изученного бурением Татарского свода с петрографической характеристикой кристаллических пород проводилось многими исследователями [10, 13]. Наиболее подробная работа опубликована Н. В. Подоба и содержит карту районирования докембрийского фундамента Русской платформы по плотности слагающих его пород [11].

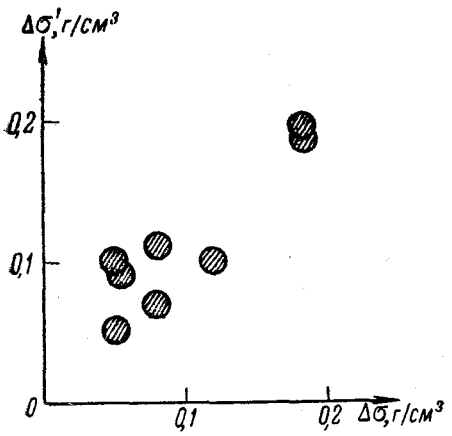


Рис. 7. Сопоставление расчетных значений избыточной плотности с данными петрографических определений:
Δσ' — расчетное значение, по И. Г. Клушину и Р. В. Сучковой; Δσ — значение, снятое с карты Н. В. Подоба

По мнению Э. Э. Фотиади и Н. В. Подоба, дифференциация аномального поля силы тяжести в пределах Татарского свода достаточно полно отражает районирование пород по плотности: локальные максимумы в районе Черемшана, Бугульмы и Буздяка связаны с зонами развития тяжелых магматических пород основного состава; относительный минимум в районе Альметьевска совпадает с участком пониженной плотности пород, представленных гранитогнейсами и микроклиновыми гранитами и т. д.

Автором совместно с Р. В. Сучковой сделана попытка сопоставить вычисленные значения избыточной плотности в зонах контакта пород различного состава с картой Н. В. Подоба. Избыточная плотность более полно характеризует изменения вещественного состава кристаллических пород, чем относительная величина максимумов и минимумов Δg; на величину последних влияет не только разность в плотности внедренных и вмещающих пород, но, в частности, и вертикальная мощность этих тел. В неявном виде во все предыдущие сопоставления была заложена предпосылка о том, что верхние и нижние кромки всех тел находятся соответственно (примерно) на одном и том же уровне.

Вычисления проводились как по методике автора (независимое определение глубины и избыточной плотности), так и по методике, основан-

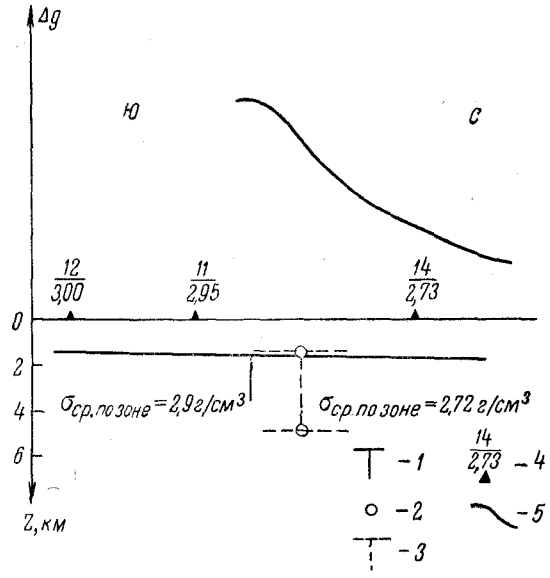


Рис. 8. Пример интерпретации гравитационной аномалии в зоне контакта магматических и метаморфических пород:

1 — контакт петрографических зон, по данным Н. В. Подоба; *2* — особая точка гравитационного поля; *3* — контакт плотностных зон по данным гравиметрии; *4* — скважина; числитель — номер скважины, знаменатель — плотность пород, вскрытых скважиной, *г/см³*; *5* — кривая Δg; $Z_1 = 1{,}53$ *км*; $Z_2 = 5$ *км*; $\Delta\sigma = 0{,}19$ *г/см³*

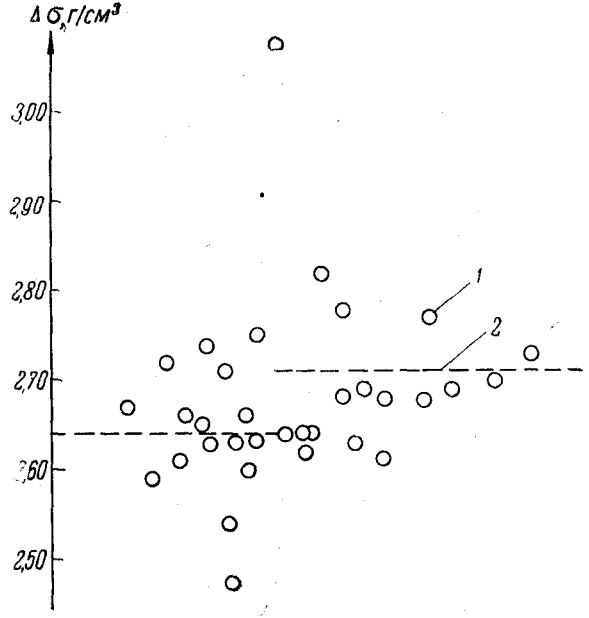


Рис. 9. Характер сложного закона изменения плотности при смене метаморфических образований метасоматическими. Точки получены проектированием скважин двух плотностных зон на линию профиля:

1 — плотность пород по отдельно взятой скважине; 2 — средняя плотность пород в каждой зоне

ной на использовании формулы Фишера. В последнем случае при вычислении избыточной плотности использовались глубины, снятые с карты рельефа поверхности кристаллического фундамента, составленной В. А. Клубовым. Окончательные результаты сопоставления приведены на рис. 7. Как показал подсчет, корреляционное отношение в среднем равно 0,79. Таким образом, вычисленные значения примерно на $^3/_4$ либо $^4/_5$ совпадают с весьма осредненными данными Н. В. Подоба. Для определений по методике Фишера получилась почти такая же сходимость (корреляционное отношение равно 0,75). Чтобы показать, в каком соответствии находятся осредненные данные Н. В. Подоба и вычисленные нами значения избыточной плотности с непосредственными определениями по скважинам, на рис. 8 представлены все фактические данные по одному из профилей.

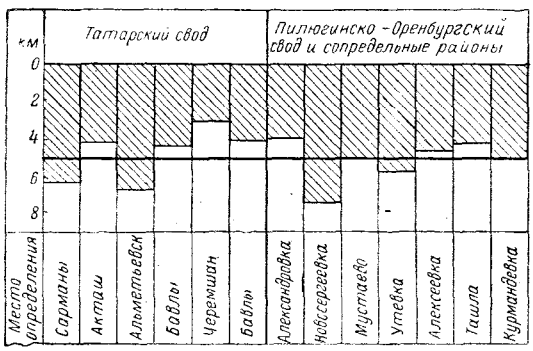


Рис. 10. Оценка глубины распространения плотностных неоднородностей фундамента. Отсчет глубин ведется от поверхности фундамента. Жирной линией обозначена средняя глубина залегания первой границы раздела в «гранитном» слое по данным глубинных сейсмических зондирований Ю. Н. Година, Н. П. Ивановой, И. В. Померанцевой, А. В. Егоркина и др.

Как отмечено выше, зоны развития пород того или иного состава лишь в самом первом приближении можно считать однородными. Фактически распределение различных образований, а следовательно, и плотности носит сложный характер. Точно так же характер границ между отдельными блоками может быть различным: в виде четких контактов (такие контакты обычно тектонически активны) и в виде постепенных переходов по сложному закону, особенно при смене метаморфических фаций в пределах одной и той же метаморфической зоны, либо при появлении метасоматических образований. В приведенном на рис. 9 примере среднее значение избыточной плотности составляет 0,07 *г/см*^{3}, расчетное значение равно 0,07$\pm$0,02 *г/см*^{3}, а общий диапазон изменения плотности — почти 0,5 *г/см*^{3}. Таким образом, расчеты по гравитационным аномалиям дают осредненные значения избыточной плотности. Незначительное число прямых определений могло бы создать неправильное представление о фактической разнице в плотности пород, как бы тщательно ни выполнялось каждое из этих определений.

Весьма интересным является вопрос о распределении тех или иных образований фундамента не только по площади, но и по глубине. Для целого ряда плотностных зон в пределах Татарского, Пилюгинско-Оренбургского сводов и сопредельных с ними районов автором приближенно оценена вероятная глубина их распространения. Такая оценка основывается на знании величины аномалии, глубины до верхней кромки и избыточной плотности на уровне верхней кромки. Полагая, что с глубиной избыточная плотность остается неизменной, мы могли получить результаты, представленные на рис. 10.

Для сопоставления на рис. 10 дано среднее положение первой границы раздела в «гранитном» слое, которая четко выделяется при глубинных сейсмических зондированиях. Приближенно можно сказать, что

почти все плотностные неоднородности заключены в интервале глубин между этой границей и поверхностью кристаллического фундамента [13]. Это утверждение станет почти полным, если интервал глубин увеличить примерно на 2—3 *км*. В этом случае нижней границей плотностных неоднородностей будет первый волновод, наличие которого предполагается по данным глубинных сейсмических зондирований (Н. П. Иванова, А. В. Егоркин и др.), проведенных в последние годы на юго-востоке Русской платформы.

Выводы

1. По гравитационным аномалиям можно приближенно определять глубину до кристаллического фундамента. Поэтому целесообразно обычно практикуемые вычисления глубин по магнитным аномалиям дополнять вычислениями по гравитационным аномалиям.

2. По гравитационным аномалиям можно определять величину избыточной плотности контактирующих пород. При наличии скважин с одной стороны контакта возможно определение абсолютного значения плотности пород, расположенных с другой стороны контакта.

3. По величине абсолютного значения плотности, а в ряде случаев и по избыточной плотности можно сделать предположение о геологической природе гравитационной ступени: связана ли данная аномалия с изменением петрографического состава или она обусловлена резким погружением поверхности фундамента.

4. Полная интерпретация гравитационных аномалий дает ценный материал для суждения о петрографическом составе пород фундамента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский А. Д., Розе Т. В., Колюбакин В. В. и др. Тектоника докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы по данным общей магнитной съемки. Изв. АН СССР, серия географ. и геофизич., 1937, № 2.
2. Архангельский А. Д., Михайлов А. А., Федынский В. В. и др. Геологическое значение аномалий силы тяжести. Изв. АН СССР, 1937, № 4.
3. Андреев Б. А. О геологическом значении гравитационной карты Карелии, Финляндии и Ленинградской области. Мат. ЦНИГРИ, 1938, № 7.
4. Андреев Б. А. Расчеты пространственного распределения потенциальных полей и их использование в разведочной геофизике. Изв. АН СССР, серия геофизич., 1947, № 1; 1949, № 3; 1952, № 2; 1954, № 1.
5. Андреев Б. А. Определение глубины поверхности кристаллического фундамента платформенных областей по магнитным аномалиям. Прикладная геофизика, 1955, вып. 13.
6. Годин Ю. Н. Комплексные региональные геофизические исследования Юго-Востока Русской платформы. «Геология нефти», 1958, № 5.
7. Годин Ю. Н. Глубинное геологическое строение Туркмении и его изучение геофизическими методами. Автореферат докт. диссерт. Изд-во Геол. ин-та АН СССР, 1959.
8. Клушин И. Г. Метод интегральных преобразований при геологической интерпретации гравитационных аномалий. Прикладная геофизика, 1958, вып. 18.
9. Логачев А. А. Методическое руководство по аэромагнитной съемке. Госгеолтехиздат, 1955.
10. Озерская М. Л. Физические свойства пород кристаллического фундамента. Прикладная геофизика, 1955, вып. 13.
11. Подоба Н. В. Результаты изучения плотностей пород докембрийского фундамента Восточной части Русской платформы и опыт их совместного изучения с геофизическими данными. Прикладная геофизика, 1959, вып. 22.
12. Салихов А. Г. К вопросу геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий в условиях Татарской республики. Изв. Казанского филиала АН СССР, 1957.
13. Фотиади Э. Э. Геологическое строение Русской платформы по данным региональных геофизических исследований и опорного бурения. Труды ВНИИГеофизики, 1958, вып. IV.