

А. И. РОДЫГИН

АЗИМУТАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ В СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ



А. И. РОДЫГИН

АЗИМУТАЛЬНЫЕ
ПРОЕКЦИИ
В СТРУКТУРНОЙ
ГЕОЛОГИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Томск — 1981

УДК 551.243:515.53

Родыгин А. И. Азимутальные проекции в структурной геологии. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1980.

Многие задачи структурной геологии, касающиеся угловых соотношений между разнообразными плоскостными и линейными структурными элементами, решаются просто, быстро и достаточно точно с помощью азимутальных проекций. Применение данной методики неизмеримо расширяет возможности структурного анализа как в полевых условиях, так и при камеральной обработке геологических материалов.

В работе рассмотрены примеры, которые автору удалось встретить в опубликованной литературе; кроме того, разработан ряд новых задач, связанных с определением геометрических элементов пласта, изучением складчатых структур, трещиноватости горных пород, разрывных нарушений и пр.

Почти ко всем задачам даны методические указания о ходе решения, а некоторые из них сопровождаются специально составленными упражнениями и контрольными заданиями для самостоятельной работы.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов-геологов, занимающихся исследованием строения дислоцированных толщ, и студентов вузов, изучающих курс структурной геологии.

Рецензент — докт. г.-м. наук Л. А. Рагозин

Р 20904
177(012)—81 82—81

© Издательство Томского университета, 1981 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава I. Типы азимутальных проекций	
1. Краткие общие сведения	9
2. Равноугольная проекция	10
3. Равноплощадная проекция	13
4. Равнопромежуточная проекция	15
Глава II. Работа на сетке Вульфа и сетке Шмидта	
1. Общие положения	17
2. Основные задачи	21
Контрольная работа 1	28
Глава III. Повороты, осуществляемые на сетках Вульфа и Шмидта	
1. Основные правила	29
2. Повороты структурных элементов	30
3. Повороты диаграмм, составленных в равноплощадной и равноугольной проекциях	33
Глава IV. Определение геометрических элементов пласта	
1. Анализ замеров в естественных обнажениях и горных выработках	42
2. Определение элементов залегания пород по удаленным выходам	50
3. Определение залегания пород по данным буровых скважин	57
4. Определение ориентировки линейности	65
Контрольная работа 2	66
Глава V. Изучение складчатых структур	
1. Определение геометрических элементов складки	70
2. «Снятие» структурного несогласия	74
3. Корректировка замеров косой слоистости за наклон пласта	77
4. Корректировка замеров линейных структурных элементов за наклон пласта	80
Контрольная работа 3	87
Глава VI. Изучение трещиноватости	
1. Приведение системы трещин к поверхности напластования	92
2. Реконструкция осей напряжений по трещинам	97
3. Определение сопряженных систем трещин	99
Глава VII. Изучение разрывных нарушений	
1. Основные положения	103
2. Анализ соотношений между различными элементами взбросо-сдвига	106
3. Изучение характера перемещений в плоскости сместителя	109

4. Определение направления и величины смещения в плоскости разрывного нарушения	114
5. Анализ соотношений между разрывным нарушением и оперяющими трещинами	117
Контрольная работа 4	126
З а к л ю ч е н и е	129
Л и т е р а т у р а	132

Введение

Стереографическая (равноугольная) и эквивалентная (равноплощадная) проекции, относящиеся к группе азимутальных проекций, находят широкое применение в кристаллографии, микроструктурном анализе, при исследовании минералов на универсальном столике Е. С. Федорова. Как известно, стереографическая сетка для этих целей впервые была предложена Е. С. Федоровым (1901), отметившим, что «эта проекция служит для того, чтобы с графической точностью изображать на бумаге угловое пространственное положение кристаллических граней и ребер».

В 1902 г. Г. В. Вульф опубликовал свою стереографическую сетку, которая вскоре завоевала широкую популярность и стала под именем сетки Вульфа всюду использоваться для изучения морфологии и оптики минералов.

Исключительно высокую оценку стереографическим проекциям дал в 1915 г. А. Е. Ферсман, подчеркнувший, что выполненные им минералогические исследования были бы невозможны без этого замечательного метода (1952, с. 50).

Значительно позднее азимутальные проекции стали использоваться в структурной геологии. В эту область довольно быстро проникла равноплощадная сетка В. Шмидта, нашедшая широкое применение при изучении трещинной тектоники и в микроструктурном анализе как основа для составления диаграмм ориентировки. Медленнее внедрялась сетка Вульфа. Одним из первых обратил внимание на ее ценность при изучении

трещиноватости горных пород В. Бухер (1920); широкую применимость стереосетки отметил О. Зейц (1924); страстным пропагандистом данной методики явился Д. Фишер (1938, 1941, 1943). Однако это были лишь отдельные примеры использования стереографической методики для решения конкретных структурно-геологических задач.

Обстоятельное изложение теории и практики стереографических проекций применительно к геологическим задачам впервые дано Н. К. Разумовским (1927, 1932). Для наших целей в его книге, являющейся теперь редкостью, наибольший интерес представляют основные вводные задачи, знакомящие с приемами работы на сетке Вульфа, а также две горно-геометрические задачи, приводимые ниже в числе прочих.

Из зарубежных работ, содержащих систематизированное изложение методики, наиболее интересны практические руководства В. Бухера (1944), Ф. Филлипса (1954), П. Гамана (1961). Великолепный образец широкого, разнообразного использования методики стереографических проекций в структурном анализе геологических объектов разных масштабов (микро-, мезо-, макро-скопических) дан в работах Ф. Тернера (1948) и Ф. Тернера и Л. Вейса (1963).

В нашей литературе отдельные примеры использования азимутальных проекций можно найти в пособиях по горной геометрии [Ушаков И. Н., 1951; Рыжов П. А., 1951, 1952; Рыжов П. А., Букринский В. А., 1958 и др.]. И. Б. Вассоевич и В. А. Гроссгейм [1954, см. также Л. Б. Рухин, 1953] описали применение сетки Вульфа для корректировки косої слонстости за наклон слоев, т. е. для определения первичного залегания косых слоев. М. В. Гзовский (1954) изложил методику реконструкции осей главных нормальных напряжений по данным трещинной тектоники, А. Е. Михайлов (1956) — приведение систем трещиноватости к поверхности напластования. Общие ознакомительные задачи по сферической геометрии и способы их решения приведены в книге А. Б. Вистелиуса (1958), посвященной вопросам составления структурных диаграмм.

В 60-х годах количество примеров использования методики значительно возрастает, однако доступного обобщающего пособия по этому вопросу не появилось.

Первым таким пособием, нацеленным на решение структурно-геологических задач, явилось руководство «Применение азимутальных проекций в структурной геологии», в котором разобрано более 40 задач, даны их решения, приведены упражнения для самостоятельной работы [Родыгин А. И., 1973]. Затем вышла в свет книга И. А. Очеретенко и В. В. Трошенко (1978), содержащая наиболее полное изложение этой методики и разошедшаяся очень быстро.

Целью предлагаемой работы является демонстрация широких возможностей азимутальных и прежде всего стереографической проекций и внедрение их в практику полевых и камеральных исследований.

В настоящее время, когда геологические исследования становятся все более детальными, требуются новые подходы к анализу геологических структур, и одним из самых актуальных, многообещающих методов, по глубокому убеждению автора, является метод азимутальных проекций, примеры использования которого уже достаточно многочисленны и убедительны как у нас, так и за рубежом, но который еще не стал достоянием широкого круга геологов.

Ответственная задача структурного анализа, без решения которой невозможно полноценное детальное картирование, состоит в изучении мезомасштабных структурных форм, т. е. всех тех форм, диапазон размерности которых колеблется от визуально наблюдаемых в штучном образце до обнажений и групп обнажений. Именно с этими структурными формами как источником главной массы фактического материала геолог прежде всего сталкивается при любых полевых и камеральных исследованиях. Эффективное изучение их невозможно без ясного понимания принципов геометрического анализа, для выполнения которого нет более простого и более удобного средства, чем стереографические проекции.

Известно, что систематическое детальное изучение мелких структурных форм в хорошо изученных районах разных стран обеспечило современной структурной геологии место среди наиболее точных отраслей науки о Земле и революционизировало полевые геологические исследования сложнодислоцированных толщ.

Структурный анализ, базирующийся на методике, разработанной выдающимися русскими учеными Е. С. Федоровым и Г. В. Вульфom, должен привлечь внимание широкого круга наших геологов, стереосетка должна стать таким же неотъемлемым и обычным инструментом при полевых и камеральных работах, как горный компас и геологический молоток. Без этой методики решение многих вопросов затруднительно, а некоторых невозможно вообще.

Поскольку автор делал расчет в значительной степени на самостоятельное изучение приемов работы, материал зачастую изложен в предельно простой форме. В учебных целях даны детальные разъяснения хода решения задач, которые для сведущего в этих вопросах могут показаться излишними. Кроме того, в некоторых случаях использованы не бесспорные положения структурной геологии, вернее, интерпретация структурных форм, не вполне еще доказанная; таковы, например, задачи о расчете соотношений между сместителем разрывного нарушения и сопряженными с ним (опережающими) трещинами отрыва и скалывания. Эти задачи приведены только как пример возможного использования стереографической сетки в целях структурного анализа. Такое же замечание можно, вероятно, сделать и по некоторым другим задачам.

Подбирая материал, автор использовал перечисленные в списке литературы опубликованные работы, а также составил ряд новых задач и примеров. К работе приложены стандартные сетки Вульфа и Шмидта и более удобная для работы в полевых условиях стереографическая сетка уменьшенного диаметра.

Глава I

ТИПЫ АЗИМУТАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ

1. КРАТКИЕ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Среди различных типов проекций (конических, азимутальных, цилиндрических и др.) для целей структурной геологии наибольший интерес представляют азимутальные (или зенитальные) проекции. Они позволяют оценивать симметрию изображения и решать многие задачи сферической геометрии, часто встречающиеся в структурной геологии [Вистелиус А. Б., 1958].

На поверхности шара возможно бесчисленное множество систем сферических координатных линий, подобных географическим меридианам и параллелям глобуса, но различающихся положением полюса. Изображение этих линий на плоскости называется сеткой. В проекции одного и того же типа возможны сетки неодинакового вида — нормальные, поперечные, косые (рис. 1).

На азимутальной проекции полюс нормальной (или полярной) сетки изображается центральной точкой, параллели — концентрическими окружностями, а меридианы — радиусами; долготы на сетке равны долготам в натуре, на сфере (см. рис. 1, а). Полюс поперечной (или экваториальной) сетки удален на 90° от полюса нормальной сетки, а меридианы и параллели образуют систему, аналогичную таковой, географических полушарий (см. рис. 1, б). Полюс косой сетки удален от полюса нормальной сетки на расстояние, не равное ни нулю, ни 90° (см. рис. 1, в).

При изображении сферической поверхности на плоскости неизбежны искажения, так как шаровую поверхность нельзя развернуть на плоскости подобно цилин-

дрической или конической. Характер искажений зависит от особенностей выбранной проекции. В одних случаях могут сохраняться углы, но искажаться площади, в других наоборот, сохраняются площади, но искажаются углы, в третьих, в той или иной степени искажаются и углы и площади. Величина искажений различна в различных частях сетки.

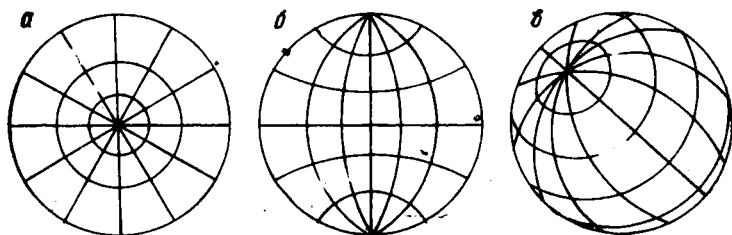


Рис. 1. Разновидности азимутальных сеток:
а — нормальная, или полярная; б — поперечная, или экваториальная; в — косая

Для характеристики искажений на сфере выделяют круг бесконечно малого радиуса и мысленно переносят его на проекцию (сетку). В общем случае этот круг изобразится в виде эллипса, который называется эллипсом искажений. Полуоси эллипса численно равны экстремальным (наибольшему и наименьшему) увеличению и уменьшению. Направления полуосей называются главными направлениями. В точках без искажений или с искажениями равной величины эллипс превращается в круг.

По характеру искажений различают равноугольные, равновеликие (равноплощадные или эквивалентные) и равнопромежуточные (произвольные) проекции. Перечисленные типы проекций, особенно два первых, чаще всего используются в структурной геологии.

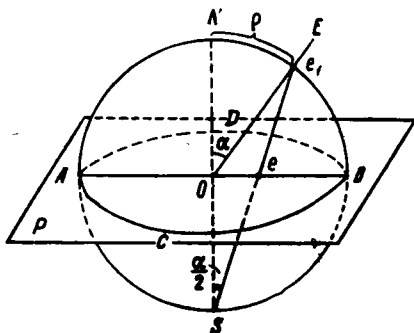
2. РАВНОУГОЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ

Равноугольная азимутальная проекция называется стереографической. Эта проекция является перспективной

вой шара на плоскость из точки поверхности шара, наиболее удаленной от этой плоскости.

Способ построения стереографической проекции показан на схеме (рис. 2), где P — картинная плоскость, проведенная через центр сферы, NS — ось проекции, S — точка зрения (в случае проектирования с верхней

Рис. 2. Способ построения стереографической (равноугольной) проекции



полусферы), круг $ABCD$ — проекция полусферы $NABCD$, e_1 — точка пересечения верхней полусферы с проектируемым лучом OE , e — проекция точки e_1 (линии OE), $\rho = \alpha$ — полярное расстояние точки e_1 . Так как угол $NSe_1 = \alpha : 2$, то расстояние точки e от центра равно $R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$. Пользуясь этой формулой, можно

построить как нормальную (полярную), так и поперечную (экваториальную) сетки.

Экваториальная сетка стереографической проекции была введена в кристаллографическую практику в 1897 г. русским ученым Г. В. Вульфом (1863—1925) и носит его имя. Стандартная сетка Вульфа (Приложение 1), имеющая радиус 10 см и цену деления 2° , получила широкое распространение во всем мире.

Чтобы построить сетку иного диаметра, можно использовать следующий графический способ [Попов Г. М. и Шафрановский И. И., 1964]. Вычерчиваем окружность заданного радиуса и проводим два взаимно перпендикулярных диаметра — горизонтальный и вертикальный (рис. 3). Делим внешний круг на равные части (на рисунке деления проведены через 30°). Прямые линии, соединяющие нижний (или верхний)

конец вертикального диаметра и точки внешнего круга, разделят горизонтальный диаметр на неравные части. Круговые дуги, проведенные через концы вертикального диаметра (полюсы сетки Вульфа) и точки на горизонтальном диаметре — $90, 60, 30, 0, 30, 60, 90^\circ$ — являются искомыми проекциями меридианов сетки Вульфа. Один из меридианов изображен на рис. 3.

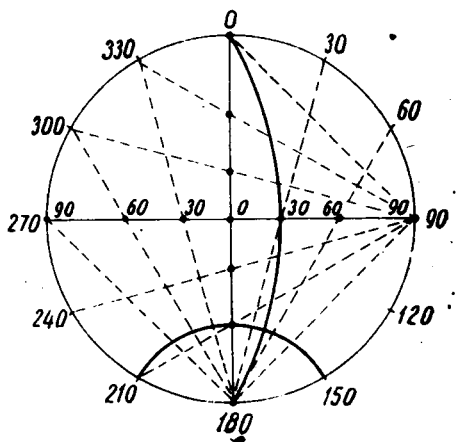


Рис. 3. Графическое построение экваториальной стереографической сетки

Аналогичным образом строим и проекции параллелей. Один из концов горизонтального диаметра соединяем прямыми с делениями на внешнем круге. В результате вертикальный диаметр разделится этими прямыми на неравные части. Круговые дуги, проведенные через найденные точки на вертикальном диаметре и соответственные точки на внешнем круге, являются искомыми стереографическими проекциями параллелей (одна из них выделена на рисунке).

Основные свойства стереографической проекции:

- 1) углы при проектировании не искажаются;
- 2) круги на сфере изображаются в виде кругов на проекции, т. е. эллипс искажений представлен кругом;
- 3) площади искажаются. Величина искажений иллюстрируется табл. 1.

Сетка Вульфа применяется в тех случаях, когда основное значение имеют угловые величины, а искажением площадей можно пренебречь.

Оценивая симметрию рисунков на сфере по их изображению на стереографической проекции, нельзя забывать особенностей данной сетки. Так, полоса, имею-

Таблица 1

олярные расстояния	0°	30°	60°	90°
лощадь круга	1,000	1,149	1,778	4,000

чая на сфере параллельные края, на проекции изобразится в виде полосы, заметно расширяющийся к краям сетки.

3. РАВНОПЛОЩАДНАЯ ПРОЕКЦИЯ

Равноплощадная (или равновеликая) проекция находит такое же широкое применение, как и стереографическая. Способ построения этой проекции показан на рис. 4. Верхняя полусфера $NABCD$ имеет своим основанием плоскость P , пересечение с которой представляет круг $ABCD$. Площадь этого круга является проекцией полусферы. Через точку N (верхний конец вертикального диаметра сферы) проводим линию, параллельную диаметру OB , лежащему в плоскости P . Из точки N откладываем отрезок NB_1 , равный хорде NB , соответствующей углу 90° . Через точки B_1 и B проводим прямую до пересечения ее с продолжением вертикального диаметра сферы. Точка пересечения K представляет собой точку зрения проекции. Отрезок Oe_1 наклонен к вертикальному диаметру сферы под углом α . Соединяем точку e_1 с точкой K (точкой зрения). Линия Ke_1 пересечет проекцию полусферы на плоскости P в точке e , отстоящей от центра сферы на отрезок $Oe (= a)$. Этот отрезок отражает положение линии, проходящей под углом α к вертикальному диаметру сферы, а точка e является проекцией точки e_1 . Расстояние точки e от центра определяется формулой $\alpha = \sqrt{2} \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$.

Пользуясь этой формулой, можно построить как нормальную (полярную), так и поперечную (экваториальную) равноплощадную сетку.

Стандартная равноплощадная экваториальная сетка носит название сетки Шмидта. Как и сетка Вульфа, она имеет радиус 10 см и цену деления 2° (см. приложение 2).

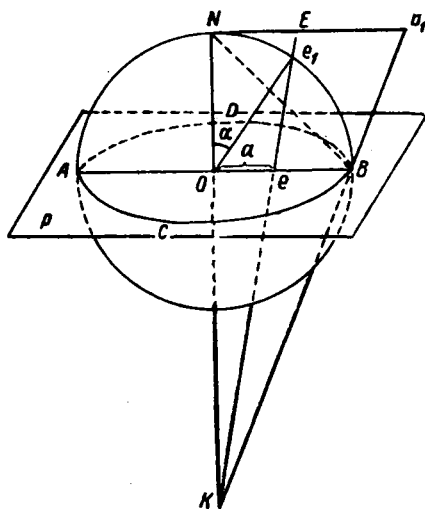


Рис. 4. Способ построения экваториальной (равноплощадной) проекции

Координатные линии равноплощадной сетки не являются круговыми дугами, поэтому построение этой сетки представляет более сложную задачу по сравнению с вычерчиванием сетки Вульфа.

Таблица 2

Полярные расстояния	0°	30°	60°	90°
Масштаб по m	1,000	0,996	0,886	0,707
Масштаб по n	1,000	1,035	1,141	1,414

Основные свойства равновеликой проекции:

- 1) площади на проекции равны площадям на сфере;
- 2) масштабы по главным направлениям сильно искажаются. На краях сетки в одном из главных направ-

лений происходит значительное увеличение масштаба, а в другом — сильное уменьшение.

Величина искажений иллюстрируется табл. 2.

Сетка Шмидта применяется в тех случаях, когда приходится сравнивать площади, а искажением угловых величин можно пренебречь. Оценивая по рисунку на проекции рисунок на сфере, необходимо учитывать искажение масштабов по главным направлениям эллипса искажений.

4. РАВНОПРОМЕЖУТОЧНАЯ ПРОЕКЦИЯ

В равнопромежуточной проекции построена сетка В. В. Каврайского, на которой в одном из главных направлений масштаб сохраняется, а в другом происходит значительное искажение. Величина искажений иллюстрируется табл. 3.

Таблица 3

олярные расстояния	0°	30°	60°	90°
асштаб по m	1,000	1,000	1,000	1,000
асштаб по n	1,000	1,047	1,202	1,571

Как показывает таблица, по меридианам к краю сетки происходит значительное растяжение. А. Б. Вистелиус отмечает, что наибольшая точность построений достигается на сетке Каврайского: «Равнопромежуточная проекция, одинаково искажающая как площади, так и направления, и вместе с тем не дающая ни для площадей, ни для направлений максимального искажения, благоприятна для передачи на проекцию общего изображения, занимающего поверхность полусферы. При этом характер конфигурации рисунка на проекции сохраняет достаточное сходство с его изображением на полусфере. Следует отметить равноценность равноугольной, равноплощадной и равнопромежуточной проекции по их способности выявлять симметрию рисунка на сфере» [Вистелиус А. Б., 1958].

В микроструктурном анализе и при изучении трещинной тектоники обычно применяется равноплощадная

сетка Шмидта, удовлетворяющая основным требованиям, предъявляемым к различного рода структурным диаграммам [Родыгин А. И., 1980]. Для решения рассматриваемых ниже структурно-геологических задач, основанных на угловых соотношениях плоскостных и линейных структурных элементов, наиболее подходящей, безусловно, является сетка Вульфа. Кроме достаточной точности и наглядности построений она удобна еще и в том отношении, что меридианы и параллели ее имеют простую форму дуг окружностей, а не сложных кривых, как на сетках Шмидта и Каврайского, и это значительно упрощает вычерчивание стереограмм.

Глава II

РАБОТА НА СЕТКЕ ВУЛЬФА И СЕТКЕ ШМИДТА

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Работа на сетке Вульфа и сетке Шмидта проводится без линейки и циркуля. Экваториальную сетку (рис. 5) наклеивают на тонкий картон (а), точно в центре прокалывают отверстие, в которое снизу вставляют штифт, изготовленный из обычной канцелярской булавки (в). Можно воспользоваться также и канцелярской кнопкой, но у нее штифт не круглый в сечении, а плоский, из-за чего может возникнуть некоторый эксцентриситет при вращении кальки, что нежелательно. Сверху на штифт накладывают листок кальки размером 22×22 см (с) и закрепляют его кусочком ученической резинки (d). Чтобы отверстие не разрабатывалось, в центр листка кальки наклеивают квадратик лейкопластыря или изоляционной ленты. Прежде чем приступить к работе, проверяют, нет ли значительного эксцентриситета. Для этого на кальке в какой-либо точке внешнего круга проекции ставят метку и, вращая кальку, наблюдают, не отклоняется ли метка от внешней окружности. Если отклонение имеется, надо отверстие для штифта заклеить и проколоть заново более точно.

Описанное приспособление легко сделать в любых (в том числе и в полевых) условиях. При аккуратной работе точность построений оказывается вполне удовлетворительной.

Все построения на кальке выполняют простым не слишком твердым карандашом. Вне круга сетки четкой риской на кальке отмечают северный конец среднего меридиана (северный полюс), от которого и отсчитывают азимуты.

Градуировка сетки может быть двоякой: от северного полюса по ходу часовой стрелки от 0 до 360° или от северного полюса против хода часовой стрелки (как на шкале горного компаса). В первом случае при откладывании азимутов калька остается в исходном положении (неподвижно), а отметка, отвечающая заданному

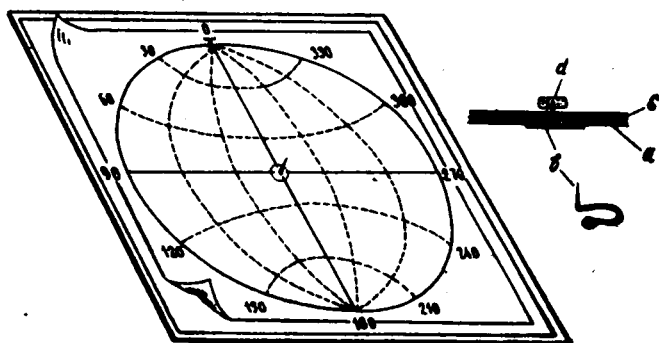


Рис. 5. Подготовка сетки к работе

азимуту, ставится против соответствующего деления сетки. Во втором случае вращением кальки помещают риску на соответствующее заданному азимуту деление сетки, а отметку ставят в точке северного полюса.

Проектирование можно проводить как с верхней, так и с нижней полусферы. В дальнейшем мы будем проектировать только с верхней полусферы. Проектируемый объект (линию, плоскость) мысленно помещают в центр сферы, продолжают до пересечения с верхней полусферой и по лучу зрения переносят на картинную плоскость (сетку).

Прямая линия проектируется на сетке в виде отрезка прямой. Например, проекцией линии Oe_1 на рис. 2 является отрезок Oe . Однако и точка e (проекция точки e_1) однозначно определяет пространственное положение линии, поэтому часто проекцию прямой линии удобнее изображать в виде точки.

Проекцией плоскости, проходящей через центр сферы, является дуга большого круга. Например, на рис. 6 плоскость Q пересекает верхнюю полусферу по линии $Ca_1b_1f_1D$; проекция ее на сетке $ABCD$ представлена дугой $CabfD$.

Во многих случаях удобнее проектировать не самую плоскость, а нормаль к плоскости, т. е. наносить не дугу большого круга, а точку. Эта точка (проекция нормали, или полюс плоскости) однозначно определяет пространственное положение плоскости.

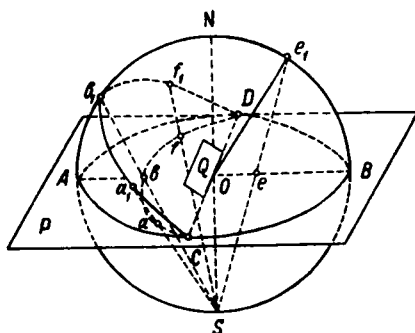


Рис. 6. Стереографическое проектирование плоскости Q в виде дуги большого круга (циклограммы) $CabfD$ и в виде проекции нормали (полюса) плоскости e

Умение уверенно наносить на сетку проекции линий и плоскостей по их элементам залегания (азимуту падения и углу падения) и, наоборот, снимать соответствующие координаты с сетки — условие, без которого невозможно решение других задач. Поэтому на основные ознакомительные задачи надо обратить серьезное внимание.

Во избежание путаницы необходимо уточнить несколько наиболее употребительных терминов, постоянно встречающихся при решении структурно-геологических задач.

Элементы залегания плоскостей (азимут простирания, азимут падения, угол падения) общеизвестны и в пояснениях не нуждаются. Что же касается ориентировки линий, то необходимого единообразия в терминологии нет. В дальнейшем будут применяться следующие термины:

1. Пространственное положение наклонного отрезка прямой определяется азимутом погружения

и углом погружения, замеряемыми горным компасом. Так, азимут погружения наклонной линии O_1B (рис. 7, а) определится углом $NOB = \rho$ между северным концом меридиана и горизонтальной проекцией линии O_1B , отсчитанным по ходу часовой стрелки. Угол погружения $B_1O_1B = \omega$ замеряется в вертикальной плоскости, проходящей через данную прямую, между последней и горизонтом.

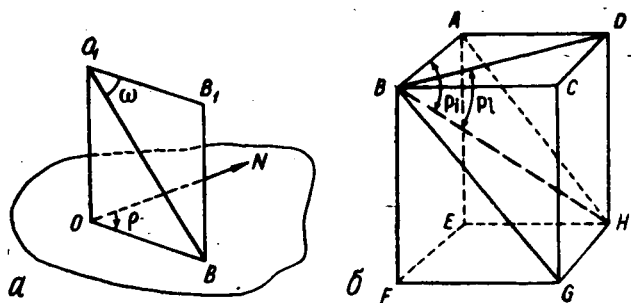


Рис. 7. Замеры координат линии:
а — азимут погружения (ρ) и угол погружения (ω);
б — погружение (Pl — plunge) и склонение (Pi — pitch) линии BH , лежащей в плоскости $ABGH$

2. Координаты линии, лежащей в плоскости, могут быть двойными. Как и в предыдущем случае, можно горным компасом замерить азимут погружения и угол погружения этой линии независимо от плоскости, в которой она лежит. Или горным компасом замерить азимут и угол падения плоскости, а транспортиром — угол склонения линии, т. е. угол между линией простирания плоскости и данной линией, направление которой не совпадает ни с линией простирания, ни с линией падения плоскости.

В зарубежной литературе угол погружения обозначается термином *plunge*, а угол склонения — *pitch* или *dip* (на рис. 7, б соответственно углы $Pl = DBH$ и $Pi = ABH$) [Биллингс М. П., 1949, рис. 113]. Путать эти углы ни в коем случае нельзя. Различие между ними подчеркивается во многих работах [Phillips F. C., 1954; Naman P. J., 1961; Хиллс Е. Ш., 1967, с. 140; Лахи Ф. Х., 1966, с. 262; Rickard M. J., 1971]. Странно,

что в недавно опубликованном в переводе на русский язык «Толковом словаре английских геологических терминов» (М., Мир, 1978, т. 2) термины *plunge* и *pitch* (*rake*) объяснены как синонимы. Этимологически, возможно, так оно и есть, но структурно-геологический смысл их различен. Угол P_i может меняться от 0 до 90° , а угол P_l — от 0° до величины угла падения плоскости $ABGH$ (рис. 7, в).

2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

Задача 1. Нанести на сетку горизонтальную прямую по заданному азимуту.

Поворотом кальки выводим риску на деление, отвечающее азимуту линии, и проводим прямую вдоль вертикального диаметра сетки.

Примечание. Здесь и дальше сетка должна быть градуирована против хода часовой стрелки.

Задача 2. Найти координаты (прямой и обратный азимуты) горизонтальной линии, нанесенной на сетку.

Совмещаем данную линию с вертикальным диаметром сетки. Риска кальки покажет отсчет прямого азимута, т. е. направление от нижнего к верхнему концу данной линии. Чтобы снять отсчет обратного азимута, надо кальку повернуть на 180° и по риску определить его значение.

Задача 3. Нанести на сетку проекцию прямой, имеющей погружение по азимуту 70° под углом 20° .

Поворотом кальки выводим риску на деление, отвечающее 70° , от южного полюса к центру по среднему меридиану отсчитываем 20° и ставим точку A (рис. 8). Отрезок AO есть искомая проекция. Точка A однозначно определяет пространственное положение прямой линии. Необходимо иметь в виду, что найденная точка изображает проекцию прямой «по восстанию», поскольку проектирование ведется с верхней полусферы.

Задача 4. Найти координаты (азимут и угол погружения) линии по ее проекции на сетке.

Поворотом кальки выводим точку (проекцию линии) на южную половину среднего меридиана, от южного полюса до точки отсчитываем угол погружения, а по риску — азимут погружения.

Задача 5. Нанести на сетку плоскость, имеющую азимут падения 60° и угол падения 45° , и ее полюс.

Способ 1. Выводим риску на деление 60° и в точке северного полюса ставим небольшую метку. Совмещаем эту метку с любым концом экватора. Из диамет-

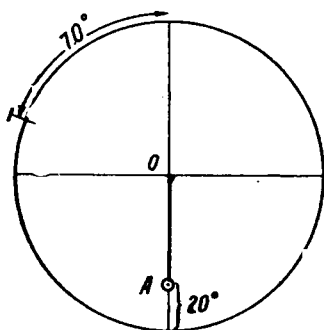


Рис. 8. Построение проекции прямой

рально противоположной точки по экватору к центру сетки отсчитываем угол падения (45°) и приводим дугу большого круга (меридиан). Этот меридиан является искомой проекцией (рис. 9).

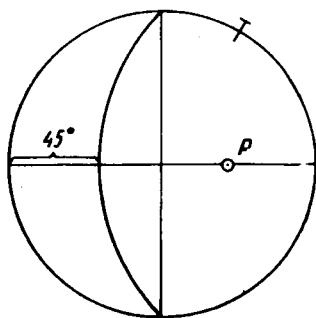


Рис. 9. Построение проекции плоскости в виде дуги большого круга (циклограммы) и полюса P

Не сдвигая кальки отсчитываем по экватору от найденного меридиана 90° и ставим точку P , которая и представляет собой полюс плоскости.

Способ 2. Вращением кальки ставим риску на деление, отвечающее азимуту падения плоскости, отсчитываем от южного полюса к центру сетки по среднему меридиану угол падения и ставим точку; выводим эту

точку на экватор и проводим через нее меридиан, который и представляет искомую проекцию плоскости.

Этот способ очень удобен, но при больших углах падения недостаточно точен.

Задача 6. Найти координаты плоскости (азимут падения и угол падения) по ее проекции на стереографической сетке.

Задача решается в обратном порядке по сравнению с задачей 5.

Задача 7. Нанести на сетку полюс плоскости, имеющий азимут падения 50° и угол падения 70° .

Вращением восковки совмещаем риску с делением 50° , от центра сетки к северному полюсу по среднему меридиану отсчитываем угол падения (70°) и ставим точку, которая и представляет искомый полюс плоскости.

Задача 8. По нанесенному на сетку полюсу найти азимут и угол падения плоскости.

Задача решается в обратном порядке по сравнению с задачей 7.

Задача 9. Измерить угловое расстояние между двумя точками A и B , нанесенными на сетку.

Точки A и B выводим на один меридиан и подсчитываем угол между ними (по меридиану).

Задача 10. Найти дугу большого круга, делящего пополам отрезок AB .

Вращением кальки концы дуги AB выводим на одну параллель и проводим меридиан, делящий отрезок AB пополам. Определяем координаты плоскости, отвечающей этой дуге.

Задача 11. Измерить данный сферический угол. Возможны два случая:

1) Вершина угла находится внутри сетки. Приводим вершину A на экватор и проводим меридиан, отстоящий от точки A на 90° . Отрезок меридиана $C'D'$, заключенный между сторонами AC и AD , равен искомому углу x (рис. 10).

2) Вершина угла располагается на внешнем круге проекции. Вращением кальки совмещаем вершину угла с одним из полюсов. Стороны $A'B'$ и $A'E'$ продолжаем до пересечения с экватором. Длина отрезка экватора (в градусах), заключенного между сторонами угла, равна искомому углу x^1 (рис. 10).

Задача 12. [Рыжов П. А., 1951]. По элементам залегания отрезков двух прямых построить плоскость, в которой лежат обе прямые и определить ее элементы залегания.

Наносим векторы, изображающие прямые (см. задачу 3). Концы векторов выводим на один меридиан и по этому меридиану проводим дугу большого круга, которая является проекцией искомой плоскости. Определяем ее азимут и угол падения (см. задачи 5 и 6).

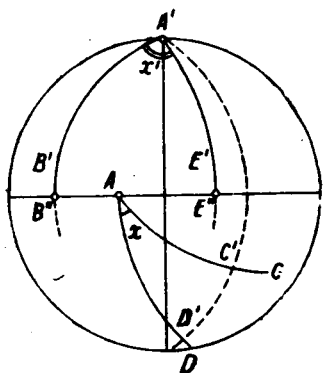


Рис. 10. Измерение сферического угла

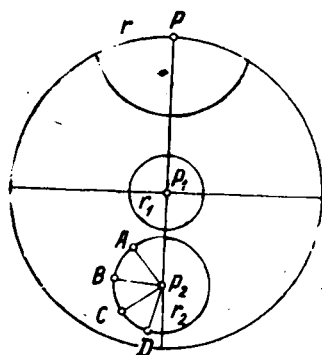


Рис. 11. Построение проекции малого круга

Задача 13. [Рыжов П. А., 1951]. Через линию пересечения двух плоскостей, заданных своими элементами залегания, провести биссекторную плоскость и определить элементы ее залегания.

Задача 14. Построить проекцию малого круга, очерченного вокруг точки P угловым радиусом r .

Возможны три случая (рис. 11):

1) Точка P лежит на внешнем круге проекции. Приводим точку P в полюс сетки. Параллель, находящаяся от полюса на расстоянии r , является искомой проекцией малого круга.

2) Точка P_1 совпадает с центром сетки. Вращая кальку, делаем отметки по экватору и центральному меридиану, отстоящие от центра сетки на r_1 градусов. Полученные точки соединяем плавной линией, которая и представляет искомую проекцию малого круга.

3) Точка P_2 лежит между внешним кругом и центром сетки. Точку P_2 вращением кальки приводим на одну из параллелей сетки и откладываем по меридиану, проходящему в этом положении через точку P_2 , вверх и вниз угол r_2 . Поворачиваем кальку так, чтобы точка P_2 совместилась со следующей параллелью, и повторяем отложение угла r_2 по меридиану. После набора достаточного числа точек соединяем их плавной линией, представляющей искомую проекцию малого круга. Можно использовать следующий прием. Сняв кальку со штифта, подобрать среди параллелей сетки одну, кривизна которой соответствует кривизне нашего круга, и по ней, эксцентрически вращая, очертить всю окружность.

Примечание. При построении проекции малого круга, не находящегося точно в центре сетки, необходимо иметь в виду, что сферический и геометрический центры его не совпадают. Точки P (случай 1) и P_2 (случай 3) представляют собой сферические центры. Все точки малого круга находятся от сферического центра на равных градусных расстояниях. Геометрический центр находится на некотором расстоянии от сферического, в чем легко можно убедиться с помощью циркуля. Доказательство соответствующей теоремы приведено Н. К. Разумовским (1927, с. 24—27). Нахождение геометрического центра рассмотрено в задаче 17.

Задача 15. Построить октант, т. е. сферический треугольник, у которого все углы и все стороны равны 90° ($1/8$ доля сферы).

Берем произвольную дугу большого круга и на ней точку A (рис. 12). Принимая A за полюс, рисуем экватор, т. е. проводим дугу большого круга (меридиан), отстоящую от точки A на 90° . Этот экватор пересечет первую дугу в точке B . Теперь точку B примем за полюс и к ней прочертим экватор, который, очевидно, пройдет через точку A и определит положение третьей вершины октанта C .

Задача 16. Решить данный сферический треугольник ABC , т. е. определить углы A , B , C и стороны a , b , c (рис. 13).

Сферические углы определяются одним из способов, приведенных в задаче 11. Величина дуг определяется, как в задаче 9.

Задача 17. Через три точки a , b , c , заданные в проекциях, провести окружность малого круга.

Найдем геометрический центр круга. Для этого, сняв кальку с штифта, помещаем точки a и b на один меридиан симметрично по отношению к экватору сетки и прочерчиваем линию симметрии (по экватору). То же самое делаем для точек b и c . Найдя центр малого

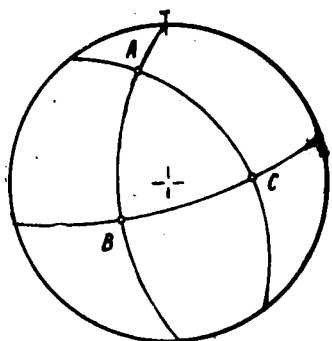


Рис. 12. Построение октанта (1/8 доли сферы)

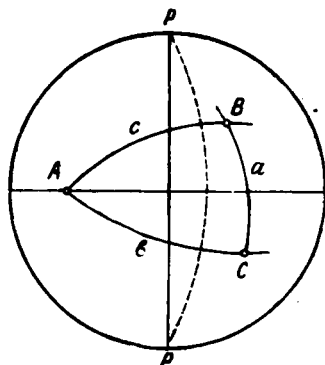


Рис. 13. Решение сферического треугольника

круга P , помещаем его в центр сетки и отсчитываем определяющий угол для радиуса. Вращая кальку делаем отметки на экваторе на расстоянии радиуса, которые затем соединяем плавной кривой.

Задача 18. Построить сферический треугольник по трем сторонам.

Случай 1. Даны только величины сторон (в градусах), а положение ни одной из сторон не задано. Наносим одну из сторон на внешнем круге сетки, например, сторону AB (рис. 14). Затем у точки A строим малый круг радиусом AC , а у точки B — малый круг радиусом BC (см. задачу 14, случай 1). Пересечение дуг AC и BC определит положение вершины C .

Случай 2. Положение одной из сторон задано внутри сетки. Можно поступить двояко:

1-е решение. Около точки A' описываем малый круг радиусом $A'C'$, а около точки B' — радиусом $B'C'$ (см. задачу 14, случай 3). В случае пересечения дуг получается два решения задачи, если дуги касаются — одно решение, если не пересеклись — решение невозможно.

2-е решение. Дугу $A'B'$ приводим на меридиан сетки. Точки A' и B' по тем параллелям, на которых они находятся, переносим на внешний круг на X градусов, в точки A и B . Способом, описанным в 1-м решении, находим точку C . Делаем обратный перенос точки C по той параллели, на которой она находится, на X градусов и получаем искомую вершину треугольника C' (рис. 14).

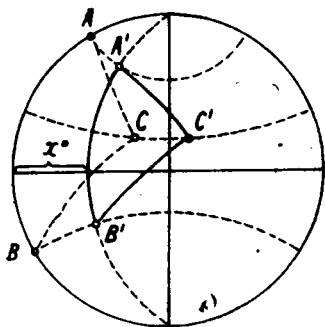


Рис. 14. Построение сферического треугольника по трем сторонам

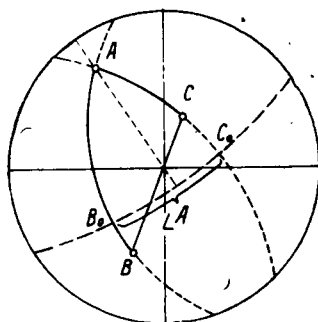


Рис. 15. Построение сферического треугольника по двум сторонам и углу между ними

Задача 19. Построить сферический треугольник по двум сторонам AB и AC и углу A между ними (рис. 15).

На дуге большого круга откладываем число градусов, равное одной из данных сторон, и получаем точки A и B .

Считая A за полюс, проводим нормальную дугу, на которой откладываем число градусов, заключающихся в данном угле A (дуга B_0C_0). Полученную точку C_0 соединяем с A меридианом, от точки A по этому меридиану откладываем вторую сторону и получаем третью вершину треугольника C .

Задача 20. Построить сферический треугольник по стороне AB и двум прилежащим углам A и B .

Для A и B строим нормальные дуги (как в предыдущей задаче) и от точек пересечения их с дугой AB откладываем в нужном направлении дуги, равные углам

A и *B*. Концы этих дуг соединяем с вершинами *A* и *B* меридианами, пересечение которых даст третью вершину *C*.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА I

1. Выбрав произвольные координаты (азимут и угол падения), нанести на сетку Вульфа:

- а) проекцию наклонной прямой — точка *A'*,
- б) полюс плоскости — точка *B'*,
- в) проекцию плоскости (дугу большого круга) — дуга *C—C₁*.

2. По нанесенной на сетку точке *D* найти азимут и угол погружения изображаемой ею наклонной прямой.

3. По нанесенному на сетку полюсу (точка *E*) найти азимут и угол падения плоскости.

4. Нанести на кальку две произвольные пересекающиеся плоскости (дуги большого круга) и определить образуемый ими двугранный угол. Нанести плоскость, делящую этот угол пополам, и определить ее координаты.

5. Найти сферический центр окружности малого круга, проходящей через три точки *a*, *b*, *c*, расположенные между центром и краем сетки на расстоянии 30—50° одна от другой.

Глава III

ПОВОРОТЫ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ НА СЕТКАХ ВУЛЬФА И ШМИДТА

1. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА

Решение ряда задач структурной геологии связано с необходимостью делать различного рода повороты структурных элементов. Поворот означает не что иное, как изменение пространственного положения системы отсчета, замена одной координатной системы какой-либо другой при условии, что взаимное положение этих систем известно.

Повороты осуществляются на экваториальных сетках — сетке Вульфа или сетке Шмидта.

Чтобы выполнить любой поворот, требуется знать три элемента:

- 1) ось поворота;
- 2) направление поворота;
- 3) угол поворота.

Необходимо четко различать два вида преобразования проекций: 1) повороты структурных элементов (плоскостных, линейных и их сочетаний) при одном и том же неизменном положении картинной плоскости; 2) повороты различных структурных диаграмм. В последнем случае пространственное положение изображенных на диаграмме структурных элементов не меняется, изменяется лишь положение картинной плоскости.

Различия между этими поворотами хорошо видны на рис. 16, где P — картинная плоскость (сетка Вульфа или Шмидта), сплошная стрелка — направление поворота; прерывистая стрелка — направление переноса опорных точек проекции; OO_1 — ось поворота. Рис. 16, а иллюстрирует поворот наклонной линии вправо на 40° из положения a_1 в положение a'_1 . На рис. 16, б, в, пока-

зан поворот картинной плоскости влево против хода часовой стрелки на 68° из положения P в положение P' . Пространственное положение структурного элемента AA_1 при этом не изменилось.

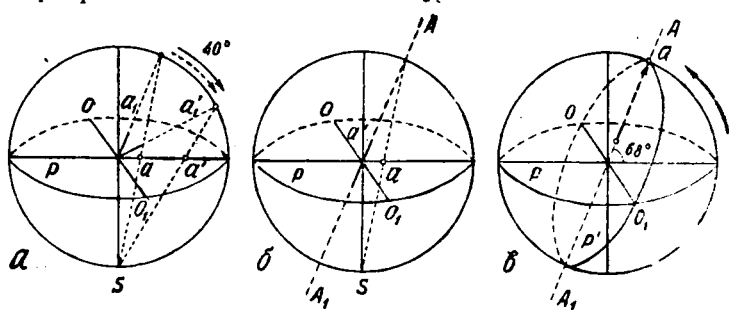


Рис. 16. Схема поворота структурных элементов при неизменном положении картинной плоскости (а) и поворота картинной плоскости P при неизменной ориентировке структурных элементов (б, в). Сплошная стрелка — направление поворота, прерывистая стрелка — направление переноса опорных точек проекции

При выполнении преобразований того и другого вида надо руководствоваться следующими правилами:

1. Ось поворота необходимо совместить с центральным меридианом сетки и все опорные точки проекции переместить по тем параллелям, на которых они оказались, на величину угла поворота.

2. В случае поворота структурных элементов направление переноса точек совпадает с направлением поворота.

3. В случае поворота диаграмм опорные точки переносятся навстречу направлению поворота.

4. Если при переносе точка доходит до внешней окружности сетки, то недостающий угол отсчитывается из диаметрально противоположной точки сетки в том же направлении.

5. Поворот производится на такой же сетке, какая использовалась при проектировании.

2. ПОВОРОТЫ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Задачи, связанные с поворотами структурных элементов, имеют большое практическое значение. Так,

при изучении складчатых комплексов возникает необходимость «снять» складчатую деформацию, т. е. откорректировать полевые замеры каких-либо структурных элементов за наклон пласта, определить ту ориентировку, которую они имели до складчатости. Изучаемые структурные элементы могут быть плоскостными или линейными, они могут лежать в плоскости напластования или составлять с нею любой угол.

Наглядным примером плоскостных структурных элементов, не лежащих в плоскости напластования, является косая слоистость, уплощение галек конгломератов и т. п. Примером линейных структурных элементов могут служить различные знаки на поверхности наслоения (знаки ряби, прибоя), удлиненные оси галек конгломератов, линейность, возникшая после первой фазы складчатости, но до проявления дополнительной складчатости т. п. Определение первичной ориентировки этих структурных элементов дает ценные сведения палеогеографического и палеотектонического характера.

Повороты необходимы для выяснения элементов залегания древних толщ в период накопления более молодых отложений, для изменения положения рисунка ориентировки на структурных диаграммах при выявлении симметрии узора тектонита по отношению к осям деформации, для корректировки данных палеомагнитных измерений и т. д.

Ниже в качестве примеров приведено несколько простейших задач. Более интересные в практическом отношении случаи поворотов структурных элементов рассмотрены в гл. V.

Задача 21. Наклонить пучок направлений a, b, c, d в одной плоскости на угол ϵ вправо.

Указанные направления дадут на сетке точки A, B, C, D (рис. 17). Для решения задачи надо все точки перенести в направлении наклона на угол ϵ по тем параллелям, на которых они находятся. Точки C и D при этом доходят до внешнего круга сетки, поэтому недостающий до ϵ угол отсчитываем из диаметрально противоположных точек в том же направлении.

Задача 22. Привести наклонную плоскость (азимут падения 60° , угол падения 50°) в горизонтальное положение (рис. 18).

Осью поворота является линия простираения плоскости, угол поворота равен углу падения, направление поворота определяется задачей.

Если плоскость изображена на проекции в виде дуги большого круга (циклограммы), то надо линию простираения плоскости (диаметр, соединяющий концы дуги)

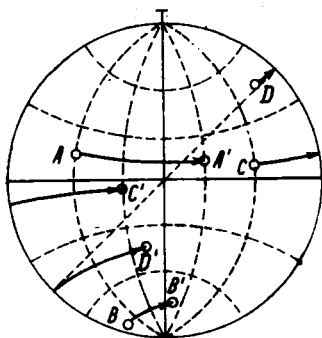


Рис. 17. Наклон пучка направлений вправо на один и тот же угол

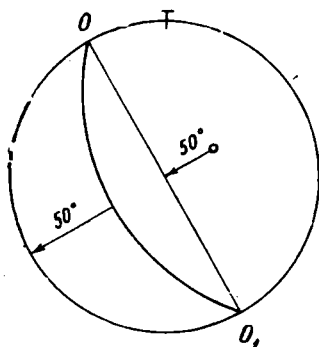


Рис. 18. Приведение наклонной плоскости OO_1 в горизонтальное положение

совместить с вертикальным диаметром сетки и переместить дугу в направлении от центра на величину угла падения. В результате дуга совпадает с внешней окружностью сетки.

Если плоскость спроектирована в виде полюса, то надо вращением кальки вывести этот полюс на экватор сетки (что равносильно совмещению линии простираения плоскости с вертикальным диаметром сетки) и переместить его по экватору в направлении к центру на величину угла падения. В результате полюс совпадает с центром сетки.

Задача 23. Привести наклонную плоскость (азимут падения 60° , угол падения 50°) в вертикальное положение.

Как и в предыдущей задаче, ось поворота — линия простираения плоскости, угол поворота равен дополнению до прямого угла к углу падения ($90^\circ - \alpha$, где α — угол падения), направление поворота ясно из условия задачи.

В результате поворота циклограмма плоскости превратится в диаметр сетки (совпадает с линией простирания плоскости), а полюс плоскости окажется на внешней окружности.

Задача 24. Привести опрокинутый пласт (азимут падения 60° , угол падения 50°) в горизонтальное положение.

Ось поворота — линия простирания пласта, угол поворота равен $180^\circ - \alpha$, где α — угол падения. Направление переноса циклограммы — сначала к центру сетки на угол $90^\circ - \alpha$ (чтобы снять опрокидывание и вывести пласт в вертикальное положение), затем от центра на 90° до совпадения циклограммы с внешней окружностью сетки.

Если плоскость нанесена в виде полюса, то последний сначала движется по экватору от центра к периферии сетки на угол $90^\circ - \alpha$, затем из противоположного конца экватора к центру на 90° .

3. ПОВОРОТЫ ДИАГРАММ, СОСТАВЛЕННЫХ В РАВНОПЛОЩАДНОЙ И РАВНОУГОЛЬНОЙ ПРОЕКЦИЯХ

В микроструктурном анализе и при изучении трещинной тектоники обычно составляются круговые диаграммы в изолиниях равной плотности, наглядно изображающие пространственное положение изученных структурных элементов. Эти диаграммы строятся на основе равноплощадной сетки Шмидта или (реже) равноугольной сетки Вульфа. Методика их построения изложена во многих учебных пособиях по структурной геологии, микроструктурному анализу, трещинной тектонике [Пэк А. В., 1939; Елисеев Н. А., 1953, 1957, 1967; Ажгирей Г. Д., 1956, 1966; Михайлов А. Е., 1956; Лукин Л. И., Чернышев В. Ф., Кушнарв И. П., 1965; Хиллс Е. Ш., 1967; Родыгин А. И., 1980].

Микроструктурные диаграммы в исходном виде имеют такую же ориентировку, как и шлифы, в результате изучения которых они построены. Ориентировка последних может быть какой угодно: горизонтальной, наклонной, вертикальной любого направления. При обобщении данных микроструктурного анализа все диаграммы по району исследования обычно требуется изобразить

в какой-то единой ориентировке, например, в горизонтальном положении при нанесении их на геологическую карту, план, схему или в вертикальном положении определенного направления при нанесении их на вертикальный геологический разрез и т. д. Для приведения диаграмм к единой ориентировке необходимо каждую из них повернуть из исходного положения в требуемое.

Диаграммы трещиноватости горных пород составляются, как известно, в горизонтальной плоскости, поскольку наклон трещин измеряется относительно горизонта. В таком виде они пригодны для нанесения на план или карту, но чтобы вынести их на геологический разрез, надо предварительно сделать соответствующий поворот.

Как уже отмечалось, при повороте диаграммы пространственное положение изображенных на ней структурных элементов не меняется, меняется лишь их расположение на диаграмме.

Повернуть диаграмму — это значит взглянуть на те же самые структурные элементы с другой точки зрения, изменить положение картинной плоскости. Поворот диаграммы подобен перемене точки зрения при взгляде на неподвижный мяч: один и тот же нанесенный на нем узор будет виден по-разному, хотя пространственное положение его остается прежним. Надо еще раз напомнить, что при повороте диаграммы из одного положения в другое опорные точки ее переносятся навстречу направлению поворота.

Встречаются следующие основные случаи поворота диаграмм [Лукин Л. И., Чернышев В. Ф., Кушнарев И. П., 1965].

1. Поворот вертикальных или наклонно ориентированных диаграмм в горизонтальное положение. Такой поворот необходим для нанесения диаграмм на геологическую карту или план. Осью поворота служит линия простирания плоскости, параллельно которой изготовлен шлиф для микроструктурного анализа. Угол поворота равен углу падения плоскости шлифа. Направление поворота определяется задачей привести диаграмму в горизонтальное положение, т. е. взглянуть на изображенные на ней структурные элементы сверху, как на геологическую карту или план.

Если плоскость шлифа (и соответственно диаграммы) отвечает «нависающей» поверхности, т. е. наблюдатель смотрит на нее снизу, из лежачего крыла, надо повернуть диаграмму на угол падения плоскости шлифа до горизонтального положения, затем повернуть ее на 180° вокруг вертикального диаметра и, наконец, на 180° вокруг центра сетки.

Практически это делается так:

а) выполнить поворот на величину угла падения плоскости шлифа;

б) повернуть кальку обратной стороной, скопировать линии «напросвет»;

в) повернуть диаграмму на 180° вокруг центра;

г) учесть ориентировку по странам света.

2. Поворот из наклонного в вертикальное положение при том же самом простирании. Ось поворота — линия простирания плоскости шлифа. Угол поворота равен $90^\circ - \alpha$, где α — угол падения плоскости диаграммы (шлифа).

3) Приведение вертикальных диаграмм в вертикальное положение другого простирания. Ось поворота — вертикальный диаметр диаграммы. Угол поворота равен разности азимутов простирания плоскостей, параллельных первоначальному и конечному положениям диаграмм. Такой поворот осуществляется в связи с необходимостью нанести диаграммы на вертикальный разрез.

4. Поворот из наклонного положения одного простирания в наклонное положение другого простирания. Этот случай является более общим в сравнении с предыдущими. Ось поворота и угол поворота определяются следующим способом:

а) наносим на кальку исходную и требуемую ориентировку плоскости диаграммы — APA_1 и BPB_1 соответственно (рис. 19). Линия пересечения этих плоскостей (OP) определит положение оси поворота;

б) выводим точку P на экватор и определяем величину сферического угла $APB = \varepsilon$. Если исходная и повернутая диаграммы своими лицевыми сторонами обращены в одну и ту же сторону, то угол поворота будет равен $\varepsilon = APB$ (рис. 19, а). Если же повернутая диаграмма сравнительно с исходной своей лицевой поверх-

ностью должна быть обращена в противоположную сторону, то угол поворота будет равен $180^\circ - \epsilon$ (рис. 19, б);

в) наносим ось поворота OP на исходную диаграмму, учитывая угол A_1OP между осью поворота и линией простираения исходной диаграммы;

г) переносим опорные точки исходной диаграммы в направлении, противоположном повороту, на угол поворота (ϵ или $180^\circ - \epsilon$);

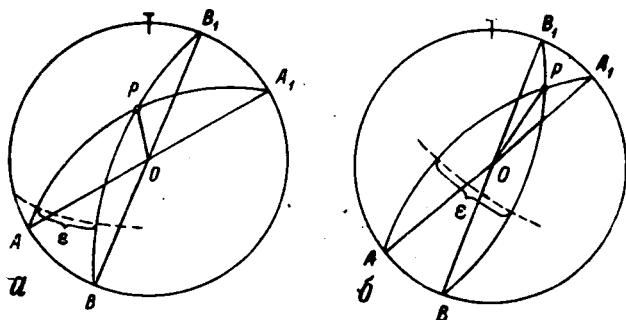


Рис. 19. Схема определения оси и угла поворота диаграммы: а — исходная и повернутая диаграммы лицевыми поверхностями обращены в одну сторону; б — исходная и повернутая диаграммы лицевыми поверхностями обращены в разные стороны

д) наносим на повернутую диаграмму линию простираения BB_1 , которая отстоит от оси поворота на угол B_1OP , измеряемый дугой B_1P ;

е) при окончательном оформлении диаграммы найденную линию простираения B_1B располагаем горизонтально.

Примечание. Если угол поворота превышает 90° , то удобнее выполнить перенос опорных точек диаграммы на угол, дополнительный к 180° , в направлении, противоположном требуемому. Затем полученную диаграмму повернуть на 180° вокруг диаметра, перпендикулярного к оси поворота, и скопировать «напросвет».

5. Поворот из наклонного положения одного простираения в вертикальное положение другого простираения. Этот поворот необходим при нанесении диаграмм на вертикальный разрез. Он представляет собой частный случай предыдущего.

6. Поворот из горизонтального положения в вертикальное бывает необходим для нанесения диаграмм на вертикальные геологические разрезы. Ось поворота — линия простирания плоскости разреза. Угол поворота 90° . Направление поворота: верх диаграммы относительно линии простирания разреза должен двигаться на зрителя. Направление переноса опорных точек — навстречу повороту, т. е. в сторону «верха» диаграммы.

7. Преобразование диаграмм, построенных в проекции с нижней полусферы, в диаграммы, построенные в проекции с верхней полусферы, и наоборот. Для перевода одной диаграммы в другую достаточно любую из них повернуть вокруг центра на 180° .

Повороты диаграмм из одного положения в другое при некотором навыке не представляют особых трудностей, но всегда требуют внимательного отношения. Так как изолинии на диаграмме трещиноватости или микроструктурной диаграмме обычно имеют сложную форму, то надо на каждой из них наметить характерные точки, занумеровать их и только потом приступать к переносу. Во избежание путаницы следует переносить изолинии одну за другой, а не все сразу.

Чтобы проверить правильность преобразования, рекомендуется снять с повернутой диаграммы координаты какого-либо простого структурного элемента (плоскостного или линейного) и сравнить их с координатами этого же элемента на исходной диаграмме. В случае правильного переноса никаких различий не должно быть.

В качестве иллюстрации методики ниже приведено решение двух задач, относящихся к наиболее общему виду преобразования диаграмм.

Задача 25. Поворот микроструктурной диаграммы. В результате микроструктурного изучения образца, взятого из лежачего бока разрывного нарушения непосредственно вблизи сместителя, получена диаграмма ориентировки оптических осей кварца (рис. 20, в). Ориентировка плоскости шлифа и диаграммы: азимут простирания 85° , угол падения 60° , ЮВ. Повернуть диаграмму параллельно плоскости дизъюнктивного на-

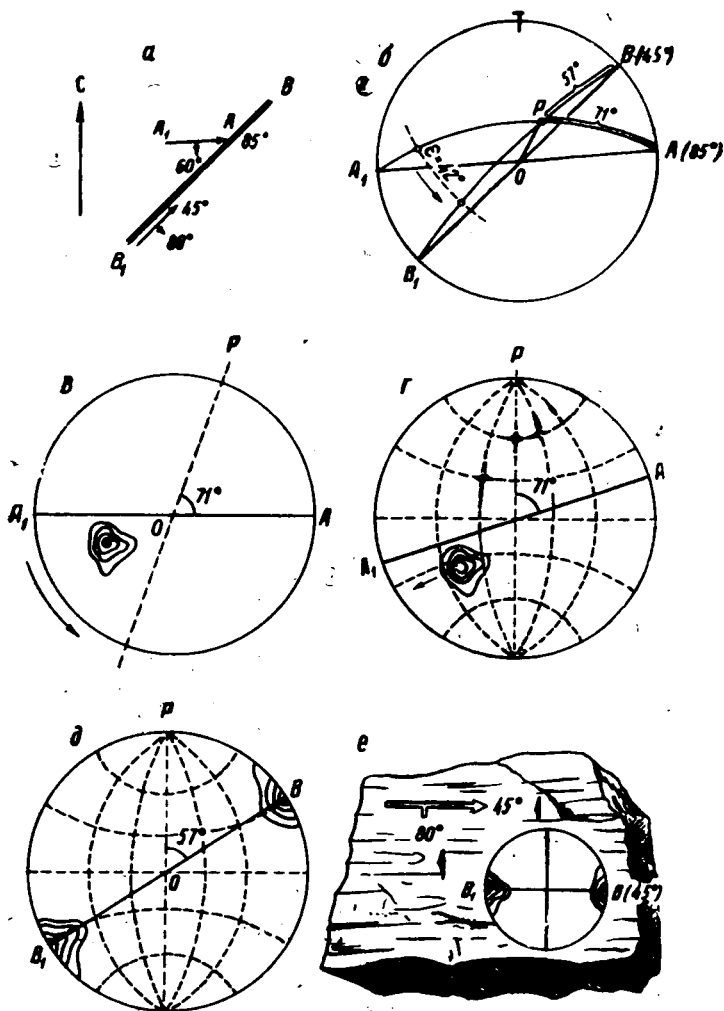


Рис. 20. Стадии поворота диаграммы из наклонного положения одного простирания в наклонное положение другого простирания. Лицевые стороны исходной и конечной диаграмм обращены на юго-восток

рушения, имеющего следующее залегание: азимут простираия 45° , угол падения 80° , ЮВ (рис. 20, а).

Наносим на кальку исходную ($АРА_1$) и требуемую ($ВРВ_1$) ориентировку плоскости диаграммы (рис. 20, б). Определяем ось поворота ($ОР$), угол поворота ($\epsilon=42^\circ$) и направление поворота (показано стрелкой на рис. 20, б).

Проводим на исходной диаграмме ось поворота $ОР$, которая с линией простираия $АА_1$ образует угол $АОР=71^\circ$ (рис. 20, б, в).

Совмещаем ось поворота с центральным меридианом сетки (рис. 20, г).

Переносим опорные точки диаграммы по тем параллелям, на которых они находятся, на 42° навстречу направлению поворота.

Определяем положение линии простираия повернутой диаграммы ($В_1В$), которая составляет с осью поворота угол $РОВ=57^\circ$ (рис. 20, б, д).

При окончательном оформлении ориентируем диаграмму так, чтобы линия простираия $В_1В$ располагалась горизонтально (рис. 20, е).

Полученная в результате поворота диаграмма наглядно показывает соотношение между макро- и микроструктурой, т. е. между плоскостью сместителя и особенностями микроориентировки зерен кварца, входящего в состав тектонита.

Задача 26. Поворот микроструктурной диаграммы. Микроструктурная диаграмма имеет ориентировку: азимут простираия 85° , угол падения 60° , ЮВ. Повернуть диаграмму параллельно сместителю разрывного нарушения, азимут простираия которого 32° , а угол падения 70° , СЗ (рис. 21, а).

Данная задача отличается от предыдущей тем, что повернутая диаграмма сравнительно с исходной должна быть обращена своей лицевой поверхностью в противоположную сторону: исходная обращена на ЮЮВ, а повернутая — на СЗ (рис. 21, б). В этом случае угол поворота равен $180^\circ - \epsilon$, т. е. $180^\circ - 71^\circ = 109^\circ$. В остальном поворот осуществляется так же, как и в предыдущей задаче. Надо только заметить, как будут располагаться концы линии простираия повернутой диаграммы ($В$ и $В_1$).

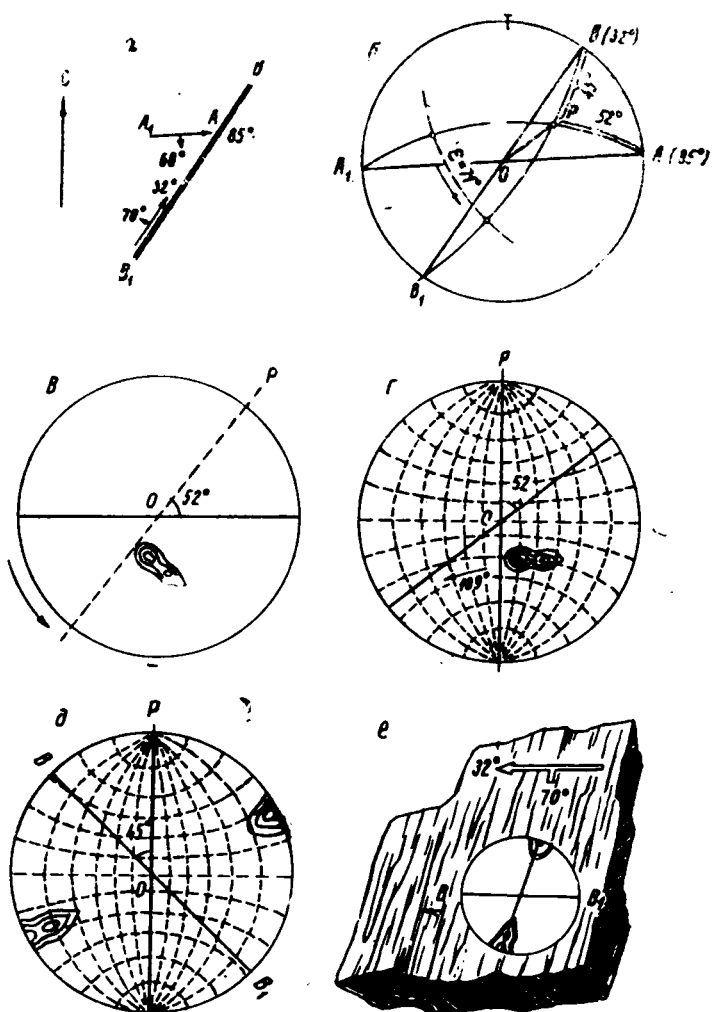


Рис. 21. Стадии поворота диаграммы из наклонного положения с юго-восточным падением в наклонное положение северо-западного падения

Все стадии поворота и конечное положение диаграммы показаны на рисунке (рис. 21).

Как сказано в примечании к пункту 4 данного раздела, задачу 26 можно решить и по-другому: за угол поворота принять угол $\varepsilon = 71^\circ$, перенос сделать не навстречу, а в направлении поворота, затем перевернуть восковку обратной стороной вокруг диаметра, перпендикулярного оси поворота, и скопировать диаграмму «напросвет». Результат должен быть точно таким же, как и в первом случае.

Глава IV

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАСТА

1. АНАЛИЗ ЗАМЕРОВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ОБНАЖЕНИЯХ И ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В полевых условиях обычно измеряются азимут падения и угол падения или азимут простирания, направление и угол падения плоскостных структурных элементов, азимут и угол погружения или склонение различных линейных направлений. По этим исходным данным легко определить ряд других геометрических элементов: ориентировку линии пересечения пласта с какой-либо плоскостью (например, с контактом жилы, дайки, с плоскостью разрывного нарушения и пр.), видимое падение по заданному направлению, направление с заданным видимым падением и др.

Большое практическое значение имеет способ определения элементов залегания пласта (контакта жилы, дайки и пр.) по их следу на двух ориентированных под углом одна к другой стенках горной выработки или естественного коренного выхода.

Все эти задачи быстро и легко решаются с помощью стереографической сетки Вульфа или сетки Каврайского.

Задача 27. [Ушаков И. Н., 1951]. *Определение линии скрещения двух плоскостей.* Даны две плоскости: азимуты падения φ_1 и φ_2 , углы падения α_1 и α_2 соответственно. Определить направление и угол погружения линии пересечения (скрещения) этих плоскостей.

Наносим на кальку обе плоскости в виде дуг большого круга. Вращением кальки выводим точку пересечения дуг A (рис. 22) на южную половину центрального меридиана и определяем координаты линии AO . При этом угол погружения линии AO отсчитывается от южного полюса до точки A , а направление (азимут) погружения определяется по риске.

Пример. Даны две плоскости: 1) азимут падения 325°, угол падения 62°; 2) азимут падения 290°, угол падения 36°.

Таблица 4

Упражнения к задаче 27

№ п/п	φ_1	α_1	φ_2	α_2	№ п/п	φ_1	α_1	φ_2	α_2
1	70	66	290	40	11	230	74	140	42
2	250	72	290	64	12	60	72	100	46
3	300	68	70	30	13	18	64	82	46
4	210	70	240	54	14	25	38	340	72
5	36	40	70	60	15	166	72	230	44
6	10	40	70	45	16	220	66	190	40
7	220	66	190	40	17	18	64	82	46
8	88	65	335	74	18	36	40	70	60
9	46	80	310	48	19	60	72	100	46
10	150	68	48	70	20	25	38	340	72

Таблица 5

Упражнения к задаче 28

№ п/п	φ	α	φ_1	№ п/п	φ	α	φ_1
1	220	65	150	11	18	66	265
2	30	75	330	12	18	66	278
3	180	48	120	13	318	50	30
4	190	40	250	14	328	50	10
5	70	85	360	15	318	50	260
6	320	48	355	16	190	40	250
7	20	75	90	17	318	50	215
8	18	66	88	18	318	52	34
9	28	72	104	19	336	76	48
10	28	66	88	20	304	62	29

Координаты линии пересечения этих плоскостей: азимут погружения 252°, угол погружения 30°.

Задача 28. [Рыжов П. А., 1951]. *Определение уклона пройденной по пласту горной выработки.* Дан пласт,

азимут которого φ , а угол падения α . Определить уклон горной выработки, пройденной по пласту в направлении φ_1 (рис. 23, табл. 5).

Наносим на кальку проекцию пласта (дугу большого круга). Поворотом кальки совмещаем риску с делением, отвечающим азимуту φ_1 . По центральному меридиану отсчитываем угол между дугой, изображающей

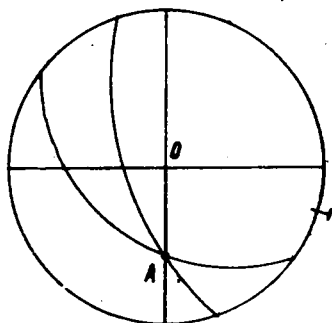


Рис. 22. Определение линии скрещения двух плоскостей

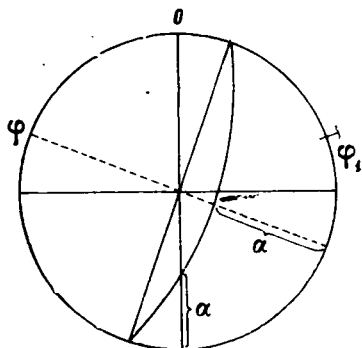


Рис. 23. Определение видимого падения по заданному направлению φ_1

пласт, и ближайшим полюсом сетки. Найденный угол будет характеризовать уклон (или восстание) пласта по заданному направлению φ_1 (или $\varphi_1 + 180^\circ$).

Задача 29. Определение направлений с заданным уклоном в плоскости пласта. Дан пласт, азимут падения которого φ , угол падения α . Определить, по каким направлениям пласт имеет уклон α_1 градусов.

Наносим на кальку дугу большого круга заданной ориентировки. Вращая кальку, замечаем точки этой дуги (их две), отстоящие от внешнего круга сетки на α_1 градусов. Выводим сначала одну, потом другую точку на южную половину среднего меридиана и по риске снимаем азимут искомых направлений.

Пример. Залегание пласта: азимут падения 120° , угол падения 68° . Определить, по каким направлениям пласт имеет уклон 45° . Ответ: по направлениям 53 и 187° .

Задача 30. Определение видимого падения пласта. Видимое падение — угол, который составляет струк-

турная поверхность, например плоскость напластования или разрывного нарушения, с горизонтальной плоскостью, измеренный в любом случайном вертикальном сечении, не перпендикулярном простиранию. Изменяется от почти нулевого до почти истинного угла падения в зависимости от того, насколько случайное сечение близко к направлению простирания или падения [Толковый словарь англ. геол. терминов, т. 1, 1977].

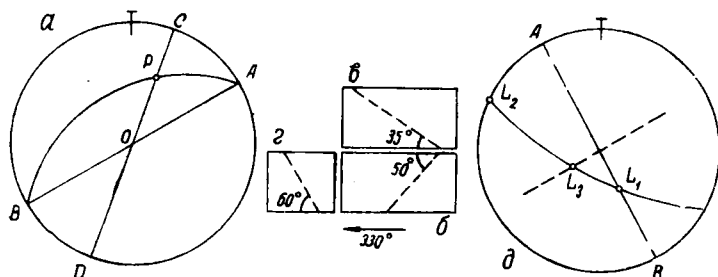


Рис. 24. Определение видимого и истинного углов падения структурных плоскостей:

а — построение линии склонения в плоскости пласта; *б—д* — определение залегания слонистости по ее следам на различных стенках подземной горной выработки (*б* — след слонистости (прерывистая линия) на боковой стенке, *в* — в кровле, *г* — на забое штольни); *д* — построение на сетке Вульфа (*AB* — проекция боковой стенки штольни; внешняя окружность диаграммы — проекция горизонтальной площадки в кровле; прерывистая линия — проекция забоя; *L* — проекция следов слонистости)

Эта задача встречается при построении геологических разрезов, ориентированных не под прямым углом к простиранию крыльев складок.

Пример. Даны координаты напластования: азимут падения 150° , угол падения 40° (APB на рис. 24). Определить видимое падение плоскости APB в вертикальной плоскости CPD , составляющей с простиранием плоскости APB угол 42° , определяемый дугой CA . Решение состоит в определении азимута погружения и угла погружения отрезка PO (см. задачу 4).

Задача 31. Построение линии склонения в плоскости пласта. Построить в плоскости APB (см. рис. 24) прямую, составляющую с линией простирания этой плос-

кости угол β (этот угол измеряется транспортиром в плоскости APB).

Угол β отсчитывается вдоль дуги APB в том же направлении, в каком он был измерен. Если угол измерялся против хода часовой стрелки, то он откладывается от точки A в направлении точки P , если по ходу часовой стрелки, то от точки B к точке P .

Задача 32. *Определение залегания плоскости слоистости по следам ее на двух вертикальных стенках обнажения или выработки.* Приведенный ниже способ имеет большое прикладное значение, но практически используется пока мало. Хорошо известно, что при изучении обнажений не всегда удается найти хорошо выраженную параллельную плоскостному элементу площадку, пригодную для замера элементов залегания. Очень часто видны только следы слоистости в разных частях обнажения, так что трудно бывает представить пространственное положение плоскости. На стереографической сетке эта задача решается просто.

Пример. Контакт жилы замерен в двух стенках коренного выхода. Обе стенки вертикальные. Первая простирается по азимуту 60° , вторая — по азимуту 310° . На первой стенке след контакта жилы погружается на СВ под углом 70° , на второй — на СЗ под углом 18° . Определить залегание контакта жилы (азимут и угол падения).

Вращением кальки совмещаем риску с отметкой 60° . При этом линия простираения первой стенки совместится с вертикальным диаметром сетки (самую линию можно не проводить). Если азимут простираения стенки измерялся в направлении погружения следа контакта, что и рекомендуется, то угол погружения контакта отсчитываем по центральному меридиану от южного полюса и ставим точку — проекцию следа контакта. Если же азимут простираения стенки замерен по восстанию следа контакта, как в примере 3, табл. 6, то угол погружения последнего отсчитывается от северного полюса.

Точно так же наносим проекцию следа контакта на второй стенке.

Поскольку оба следа (линии) лежат в одной плоскости (в плоскости контакта жилы), выводим точки, изображающие ту и другую линию, на один меридиан сетки и в соответствии с задачей 6 определяем координаты

плоскости, отвечающей этому меридиану (плоскости контакта). Для приведенных в задаче условий получаем: азимут падения 34° , угол падения 72° .

Таблица 6

Упражнения к задаче 32

№ п/п	Первая стенка обнажения		Вторая стенка обнажения	
	Азимут простираия	Наклон линии контакта	Азимут простираия	Наклон линии контакта
1	15	62, СВ	292	22, СВ
2	68	12, СВ	322	60, СЗ
3	332	44, ЮВ	40	12, ЮЗ
4	285	36, СЗ	52	горизонтальная
5	136	22, ЮВ	350	10, СЗ
6	208	38, СВ	315	71, ЮВ
7	345	52, СЗ	37	8, СВ
8	85	36, СВ	27	20, СВ
9	172	25, СЗ	54	15, СВ
10	180	44, Ю	76	4, СВ

В случае пологих углов падения плоскостей изложенный здесь способ имеет большое преимущество перед обычным прямым измерением элементов залегания как обеспечивающий более высокую точность.

Действительно, точность определения азимутов простираия и падения зависит не только от точности прибора, но и от величины угла падения измеряемой плоскости. Математически эта зависимость может быть выражена уравнением [Пронин А. В., 1949]:

$$\sin \Delta A = \frac{\sin \Delta X}{\sin \delta},$$

где ΔA — ошибка в определении простираия; ΔX — ошибки в измерении вертикальных и горизонтальных углов, принятые одинаковыми; δ — угол падения.

Таким образом, для вертикальных плоскостей ($\sin \delta = 1$) простираие определяется с точностью, допускаемой непосредственным измерением. По мере вылаживания плоскости ошибка в определении простираия возрастает, достигая в обе стороны четверти

окружности при падении, равном возможной ошибке измерения ($\Delta X \approx \delta$; $\sin \Delta A = 1$). Для более пологих плоскостей определить простирание при данной точности измерения невозможно ($\sin \Delta A > 1$), практически приходится подобные плоскости считать горизонтальными.

Заменяя непосредственное измерение пологозалегающих плоскостей замерах их следов на вертикальных или крутопадающих стенках обнажения или выработки, можно значительно повысить точность измерений и тем самым избежать нарастания ошибок по мере выполнения залеганий.

В тех случаях, когда в подземных горных выработках из-за магнитных помех горный компас непригоден, для определения координат структурной плоскости можно воспользоваться следующим приемом:

1. Ориентировку (азимут) горизонтальной подземной горной выработки определить по маркшейдерскому погоризонтному плану и нанести ее на сетку Вульфа.

2. Замерить транспортиром угол между линией простирания боковой стенки горной выработки и следом структурной плоскости (рис. 24, б). Такой же замер сделать как минимум еще на одной непараллельной стенке — в кровле (рис. 24, в), забое (рис. 24, г) или подошве выработки.

3. Нанести проекции этих следов на сетку Вульфа. Если замеры сделаны правильно, проекция каждого из следов структурной плоскости должна лечь на проекцию соответствующей стенки выработки.

4. Провести через проекции следов искомой плоскости дугу большого круга и определить ее координаты (азимут и угол падения).

Пример. В боковой стенке, кровле и забое штольни, пройденной по азимуту 330° , наблюдаются следы слоистости пород. На боковой стенке след слоистости погружается на СЗ под углом 50° . В кровле угол между направлением штольни и следом слоистости, измеренный на горизонтальной площадке, составляет 35° , что соответствует азимуту $330^\circ - 35^\circ = 295^\circ$. В забое след слоистости погружается по азимуту 60° под углом 60° .

Наносим на сетку направление штольни (AB на рис. 24, д) и след слоистости на боковой стенке L_1 . Го-

ризонгальная площадка в кровле изобразится в виде внешней окружности сетки, а проекция следа слоистости — в виде точки на ней (L_2).

Двух точек (L_1 и L_2) достаточно, чтобы определить залегание изучаемой структурной плоскости (в данном примере азимут падения 26° , угол падения 65°). Для контроля следует использовать и третий замер в забое выработки (точка L_3).

Задача 33. *Определение элементов залегания плоскости по ее следам на двух наклонных стенках обнажения.* Слоистость пород замерена в двух наклонных стенках коренного выхода. Первая стенка имеет азимут падения 60° , угол падения 40° ; линия слоистости на ней погружается на СВ под углом 30° . Вторая стенка имеет азимут падения 310° , угол падения 30° ; линия слоистости на ней погружается на запад под углом 25° . Определить залегание плоскости слоистости (азимут падения и угол падения).

Т а б л и ц а

Упражнения к задаче 33

№ п.п.	Первая стенка обнажения			Вторая стенка обнажения		
	Азимут падения	Угол падения	Наклон линии контакта	Азимут падения	Угол падения	Наклон линии контакта
1	49	34	8, ЮВ	316	70	60, зап.
2	324	40	20, СВ	226	60	60, ЮЗ
3	54	40	20, ЮВ	298	60	50, СЗ
4	30	60	18, ЮВ	281	42	21, ЮЗ
5	30	60	37, В	185	54	24, ЮЗ
6	92	44	20, ЮВ	5	70	25, СЗ
7	76	44	20, ЮВ	348	70	25, зап.
8	340	44	30, СВ	251	70	29, Ю
9	230	50	15, СЗ	134	30	25, В
10	110	70	14, ЮЗ	26	80	6, ЮВ

Наносим на кальку дуги больших кругов, отвечающих ориентировке стенок обнажения. На каждой из этих дуг проектируем след слоистости в виде точки, отстоящей от внешнего круга сетки на угол погружения линии

слоистости (в данном примере соответственно на 30 и 25°). Для этого вращением кальки находим такое положение, при котором дуга будет пересекать центральный меридиан на расстоянии угла наклона следа слоистости (отсчет вести от южного полюса), а риска находится в том квадранте, в который направлен наклон линии слоистости (согласно градуировке сетки).

Поскольку обе линии лежат в одной плоскости (в плоскости слоистости), выводим точки, отвечающие той и другой линии, на один меридиан сетки и определяем координаты плоскости, изображаемой этим меридианом, т. е. плоскости слоистости. В данном примере они равны: азимут падения 328°, угол падения 40°.

Примечание. Это решение задачи применимо для тех случаев, когда угол погружения линии, образованной пересечением слоистости и наклонной стенки обнажения, замерялся прикладыванием длинной стороны горного компаса к этой линии, а не путем мысленного проектирования ее на вертикальную плоскость, проходящую через линию простирания стенки обнажения. В первом случае угол наклона линии не может быть больше угла падения стенки, а при втором способе замера он может меняться от 0 до 90° в зависимости от ориентировки следа слоистости, наблюдаемого на стенке обнажения.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД ПО УДАЛЕННЫМ ВЫХОДАМ

Задача 34. [Phillips F. C., 1954]. *Определение координат линии, наклонной относительно горизонтальной плоскости.* Для определения пространственного положения наклонного отрезка прямой достаточно замерить азимут горизонтальной проекции этой прямой в направлении погружения и угол погружения, наблюдаемый в вертикальной плоскости, проходящей через данную прямую (см. рис. 7).

Эти координаты можно определить и в том случае, когда отрезок наклонной прямой удален от наблюдателя так, что нет возможности измерить указанные углы непосредственно. Для этого необходимо выполнить замеры видимого наклона линии из двух точек наблюдения, находящихся одна от другой на таком расстоянии, чтобы лучи зрения располагались под достаточно большим (не слишком острым, лучше всего под прямым) углом один к другому.

Пусть дан отрезок OB наклонной прямой (рис. 25, *а*). Из точки наблюдения T_1 он будет виден как отрезок O_1B , представляющий собой проекцию отрезка OB на плоскость $ABCD$, перпендикулярную лучу зрения. Находясь в точке T_1 , надо измерить азимут и угол падения воображаемой наклонной плоскости,

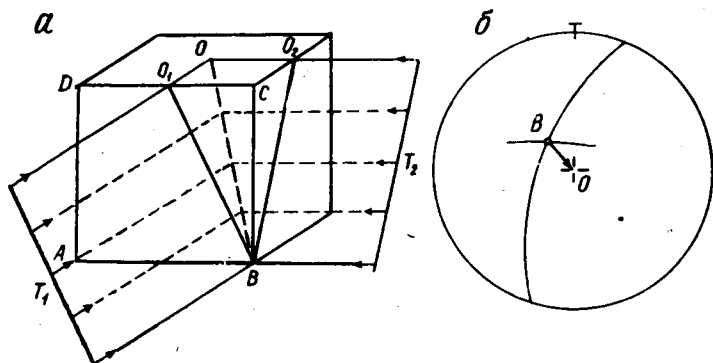


Рис. 25. Определение координат наклонной линии в удаленном выходе:

а — блок-диаграмма (T_1 и T_2 — две точки зрения); *б* — стереограмма двух воображаемых плоскостей OO_1T_1B и OO_2T_2B

в которой лежат отрезки OB и O_1B . Аналогично из точки T_2 измеряются азимут падения и величина угла падения второй воображаемой плоскости, в которой лежат отрезки OB и O_2B .

По найденным элементам залегания обе плоскости наносятся на сетку Вульфа в виде дуг большого круга (циклограмм), причем вторая дуга может быть нанесена лишь частично, только на пересечении с первой (рис. 25, *б*). Точка пересечения дуг определит выход линии скрещения этих плоскостей, т. е. линии OB , координаты которой снимаются с сетки обычным способом.

На рис. 25, *а* лучи зрения из пунктов T_1 и T_2 ориентированы ради простоты изображения под прямым

углом друг к другу, но этот угол может и отличаться от прямого, что не влияет на ход определения.

Изложенный способ может иметь широкое геологическое приложение, так как он позволяет определить ориентировку прямолинейного выхода горных пород, расположенного на склоне долины вдали от наблюдателя. Если выход расположен выше или ниже точки

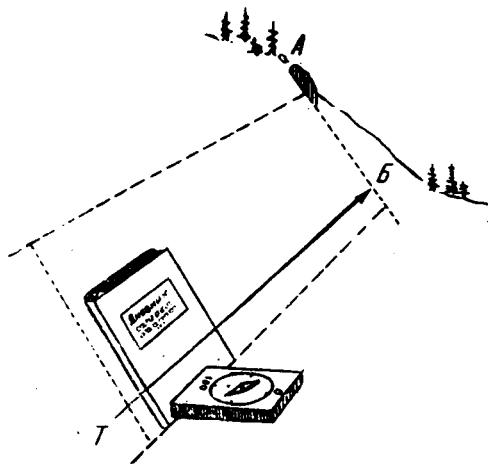


Рис. 26. Способ замера видимого падения удаленного линейного коренного выхода, расположенного на склоне долины

наблюдения, то при измерении азимута падения воображаемой вспомогательной плоскости, в которой лежит данный отрезок, визировать компасом надо в горизонтальном направлении TB на продолжение отрезка AB , как показано на рис. 26. Видимый из пункта T угол погружения линии AB замеряется клинометром компаса обычным способом.

Пример. Из первого пункта наблюдения отдаленный отрезок прямой имеет видимое погружение по азимуту 110° под углом 60° . Из второго пункта тот же отрезок имеет видимое падение 70° по азимуту 190° . Найти направление и угол погружения отрезка. Ответ: азимут погружения 136° , угол погружения 58° .

Задача 35. Определение элементов залегания пласта. Определение пространственного положения единичного выхода пород на удаленном склоне обычно не является самоцелью. Более интересные результаты получаются тогда, когда удастся замерить два (или более) выхода одного и того же пласта или однотипных пластов единой пачки пород, наблюдающихся на противоположных склонах долины или ущелья. Если по каким-либо признакам установлено, что пласт или пачка пластов имеют плоскую форму, т. е. не образуют между

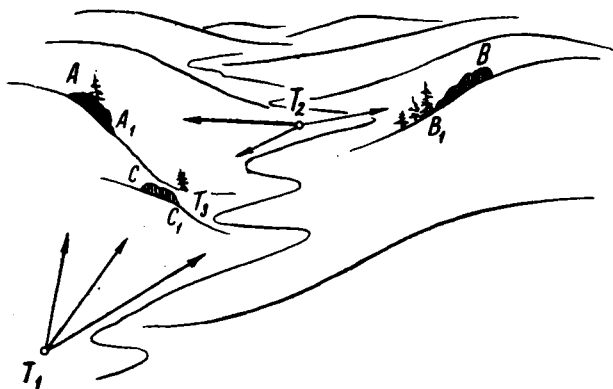


Рис. 27. Замер линейных выходов, расположенных на противоположных бортах долины, из двух точек наблюдения T_1 и T_2

этим выходами заметного изгиба, то, замерив из двух разных точек дна долины ориентировку прямолинейных выходов пород на обоих склонах, можно определить истинное залегание напластования.

Пример. Из пункта T_1 (рис. 27) выход пород AA_1 виден как отрезок прямой, погружающийся по азимуту 52° под углом 78° , а коренной выход BB_1 , находящийся на противоположном склоне,— по азимуту 318° под углом 77° .

Из пункта T_2 те же выходы AA_1 и BB_1 наблюдались как отрезки прямых, погружающиеся по азимутам 155° и 212° соответственно под одинаковым углом 49° .

Определить элементы залегания пород, если оба выхода лежат в одной плоскости.

Чтобы упростить запись, эти данные можно представить в виде таблицы (табл. 8). На сетку Вульфа наносим проекции вспомогательных плоскостей для выхода AA_1 при наблюдении из пунктов T_1 и T_2 . Линия пересечения этих плоскостей определит координаты выхода AA_1 (азимут погружения 130° , угол погружения 46°).

Т а б л и ц а

Точки наблюдения	№ выходов	Залегание вспомогательной плоскости		Примечание, характерные признаки выходов
		Азимут падения	Угол падения	

T_1	AA_1	52	78
	BB_1	318	77
T_2	AA_1	155	49
	BB_1	212	49

Точно так же определяем координаты выхода BB_1 : азимут погружения 242° , угол погружения 45° . Так как по условию оба выхода лежат в одной плоскости, выводим проекции их (точки A и B) на один меридиан и определяем координаты плоскости напластования: азимут падения 185° , угол падения 61° .

Задача 36. Оценка формы поверхности напластования. Две прямые, принадлежащие одной плоскости, однозначно определяют ориентировку этой плоскости. Но двух прямых, координаты которых известны, еще недостаточно, чтобы определить, лежат ли они в одной плоскости. Поэтому по замерам двух прямолинейных выходов из двух точек наблюдения невозможно решить, какую форму — плоскую или изогнутую — имеет поверхность напластования между этими выходами. Для решения этого вопроса надо сделать замеры не двух, а трех выходов из двух пунктов наблюдения. Если напластование имеет плоскую форму, то проекции выходов (три точки) можно вращением восковки совместить с каким-нибудь одним меридианом. Если же проекции выходов не удастся вывести ни на один из меридианов, т. е. полученные три точки образуют вершины сферического треугольника, то наблюдаемые выходы пород принадлежат изогнутой поверхности напластования.

Задача значительно упрощается, если два выхода расположены на склонах, а третий — в основании борта или на дне долины. В этом обнажении залегание пород может быть замерено непосредственно, как в точке С приводимого ниже примера.

Пример 1. Дано три выхода пород AA_1 , BB_1 и CC_1 . Два из них замерены из пунктов наблюдения T_1 и T_2 (см. рис. 27, табл. 9), в третьем залегание пород замерено непосредственно. Определить форму поверхности напластования и ее координаты.

Таблица

Точки наблюдения	№ выходов	Залегание вспомогательных плоскостей			Примечание
		Азимут простирания	Азимут падения	Угол падения	
T_1	AA_1	105		90	
	BB_2		222	48	
T_2	AA_1		334	80	
	BB_1		165	64	
T_3	CC_1		300	78	Залегание пород замерено непосредственно в обнажении

Решение:

AA_1 — азимут погружения 287° , угол погружения 76° ;

BB_1 — „ „ 222° , „ „ 48° ;

CC_1 — „ „ 300° , „ „ 78°

(CC_1 — залегание слоистости, замеренное непосредственно в обнажении).

Точки A и B практически точно ложатся на меридиан, изображающий напластование, замеренное в обн. CC_1 (рис. 28, а), следовательно, напластование между точками A и B имеет плоскую форму: азимут падения 297° , угол падения 76° .

Пример 2. Дано три выхода пород AA_1 , BB_1 и CC_1 , замеренных из двух пунктов наблюдения T_1 и T_2 (см. рис. 27, табл. 10). Определить форму поверхности напластования.

На сетке Вульфа определены следующие координаты выходов:

AA_1 — азимут погружения 116° , угол погружения 54° ;
 BB_1 — „ „ 264° , „ 65° ;
 CC_1 — „ „ 287° , „ 68° .

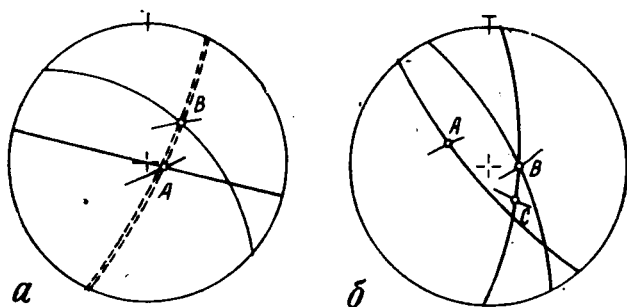


Рис. 28. Оценка формы поверхности напластования по замерам удаленных выходов:

a — напластование между точками A и B имеет плоскую форму; b — напластование между точками A и B имеет изогнутую форму, так как точки A, B, C невозможно совместить с каким-либо меридианом

Полученные точки A, B, C невозможно совместить с каким-либо меридианом сетки (рис. 28, b), следовательно, поверхность напластования между точками A и B изогнута, образует складку.

Таблица 10

Точки наблюдения	№ выходов	Залегание вспомогательных плоскостей			Примечание
		Азимут прости- рания	Азимут падения	Угол падения	
T_1	AA_1		50	73	
	BB_1		245	66	
	CC_1		274	68	
T_2	AA_1		160	61	
	BB_1		327	77	
	CC_1		335	74	

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД ПО ДАННЫМ БУРОВЫХ СКВАЖИН

Изучение скрытых структур с помощью бурения играет важную роль в структурной геологии. Перво-степенное значение имеет определение элементов залегания плоскостных, а также и линейных структурных элементов (слоистости, разного рода полосчатости, контактов жил, даек, интрузивов, сланцеватости, гнейсовидности, стебельчатости и т. п.), наблюдаемых в керне буровых скважин. С этой целью используется ориентированный керн, для получения которого разработан ряд специальных методик [Казанцев М. И., 1971].

Данные о залегании пород можно получить и по неориентированному керну, причем эта задача весьма актуальна, представляет большой практический интерес, так как в большинстве случаев при бурении получают именно неориентированный керн. Имеется несколько вариантов решения задачи.

Если среди пройденных скважиной пород выделяется характерный маркирующий горизонт (пласт, пачка и пр.) и если известны глубины, на которых этот горизонт подсечен тремя подходящим образом расположенными скважинами, то можно легко определить азимут и угол падения напластования, используя известную задачу о трех точках [Биллингс М. П., 1949, с. 411; Апродов В. А., 1952, с. 170].

Если же нет маркирующего пласта, то можно использовать ориентировку какого-либо структурного элемента (слоистости и т. п.) относительно оси керна, полученного из двух вертикальных [Bucher W. N., 1944, p. 199], двух или более наклонных [Phillips F. C., 1954] скважин или одной вертикальной скважины, из ствола которой дополнительно пробурена в произвольном направлении короткая вспомогательная скважина [Очеретко И. А., Трощенко В. В., 1971]. Во всех случаях необходимы данные инклинометрии того отрезка скважин, из которого получен керн. Задача решается с помощью стереографической сетки, иногда с дополнительными элементами ортогонального проектирования.

Задача 37. Интерпретация керна из непараллельных скважин. [Phillips F. C., 1954]. Дан керн из двух непа-

параллельных скважин, инклинометрия которых известна (одна из скважин может быть вертикальной).

В керне из первой скважины положение слоистости определяется углом HOP (рис. 29, а). OP есть нормаль к плоскости слоистости. Проводим плоскость через OH , OP и главную ось эллипса, образованного пересечением слоистости цилиндрической поверхностью керна. В этой плоскости $\angle HOP = \angle TOV$. Если измерить h_1 и h_2 — наибольшее и наименьшее расстояния эллиптического сечения от концевой поперечного сечения керна, то $\operatorname{tg} HOP = (h_1 - h_2) : d$, где d — диаметр керна.

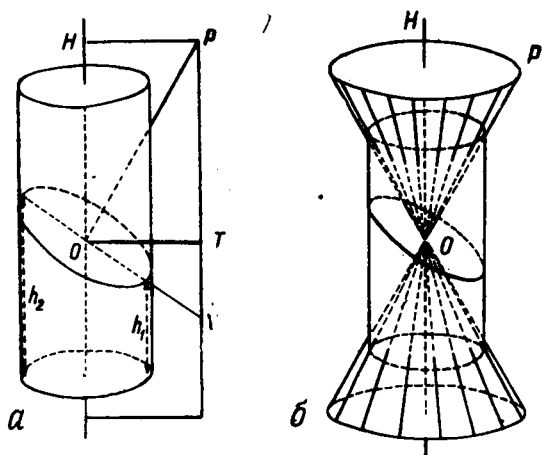


Рис. 29. Определение элементов залегания слоистости в керне:

а — схема пересечения керна слоистостью; б — двойной конус нормалей к поверхности слоистости при неизвестной ориентировке керна

Зная угол HOP , но не зная ориентировку керна, констатируем, что нормаль к плоскости слоистости должна лежать где-то на поверхности двойного конуса с осью OH и полууглом при вершине, равном HOP (рис. 29, б).

Если такое же построение сделать для второй скважины с осью OJ наклонной к OH , то вопрос сводится к определению ориентировки линии пересечения двух

конусов, т. е. к нахождению нормали к слоистости, общей для той и другой скважины.

Допустим, ось H первой скважины наклонена под углом 45° по азимуту 220° , а слоистость составляет с осью керна угол $\angle OHP = 30^\circ$. Ось J второй скважины погружается под углом 60° в направлении 110° , а $\angle JOP = 40^\circ$.

Наносим H и J на сетку (рис. 30, а) и проводим вокруг этих точек окружности радиусами 30 и 40° соответственно.

Последнюю операцию можно выполнить в соответствии с задачей 14 (случай 3), однако более быстрым оказывается прием, позволяющий перейти к случаю 1 той же задачи. Для этого точки H и J выводим на один меридиан и делаем поворот структурных элементов вокруг диаметра, соединяющего концы этого меридиана, до горизонтального положения осей керна H и J (рис. 30, б). При этом точки H и J перейдут в положение H' и J' .

Совмещаем сначала первую из этих точек, потом вторую с полюсом сетки и проводим окружности по параллелям, отстоящим от полюса соответственно на 30 и 40° . Получаем две точки пересечения этих окружностей P' и Q' (рис. 30, в). Выполняем обратный поворот вокруг той же оси и на тот же угол, что и в первый раз. Точки P' и Q' переместятся в положения P и Q (рис. 30, г).

Все показанные на рис. 30, а—д операции практически выполняются на одном листке восковки (рис. 30, е).

Точки P и Q представляют проекции нормалей к слоистости, общих для обеих скважин, т. е. в данном случае имеется два решения задачи: слоистость может иметь азимут падения 234° , угол падения 77° или азимут падения 174° , угол падения 43° .

Приведенный пример иллюстрирует только одну из нескольких возможных ситуаций. Число пересечений двух малых кругов зависит от углов конусов и наклона их осей. На рис. 31, а показаны два пересечения, рассмотренные выше, на рис. 31, б малые круги пересекаются в четырех точках, на рис. 31, в, г — в трех и двух точках благодаря тому, что малые круги соприкасаются. Если малые круги не пересекаются и не касаются, исходные данные неточны: или имеется ошибка в опреде-

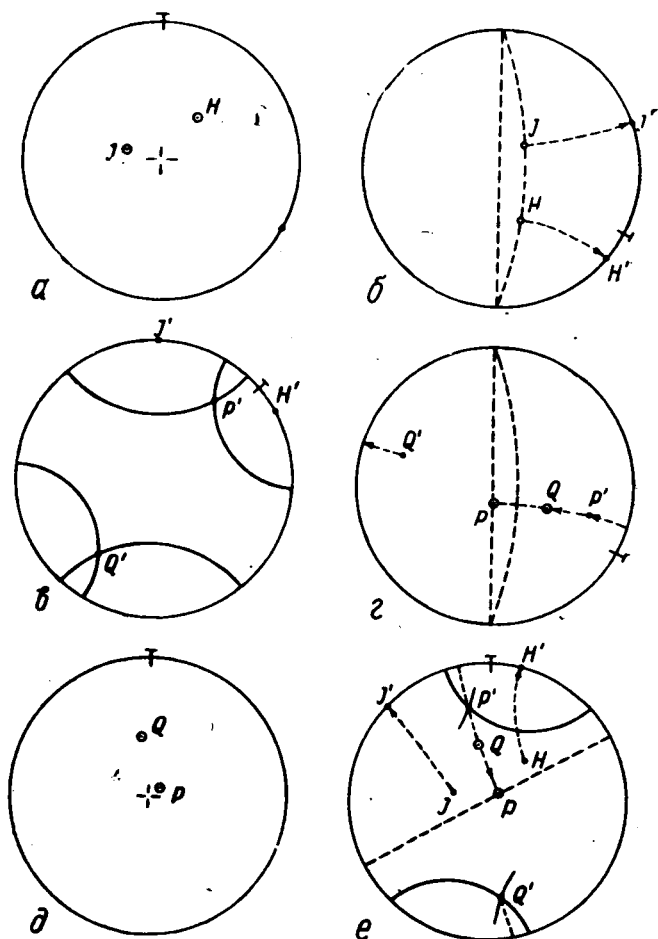


Рис. 30. Определение залегания слонности по керну из двух непараллельных скважин (см. задачу 37)

лении наклона скважин в точках, из которых взят керн, или изменилось залегание пород между двумя скважинами.

Выбор из двух или нескольких возможных решений иногда может быть сделан на основе общих соображений, таких, как знание общего направления региональных простираций.

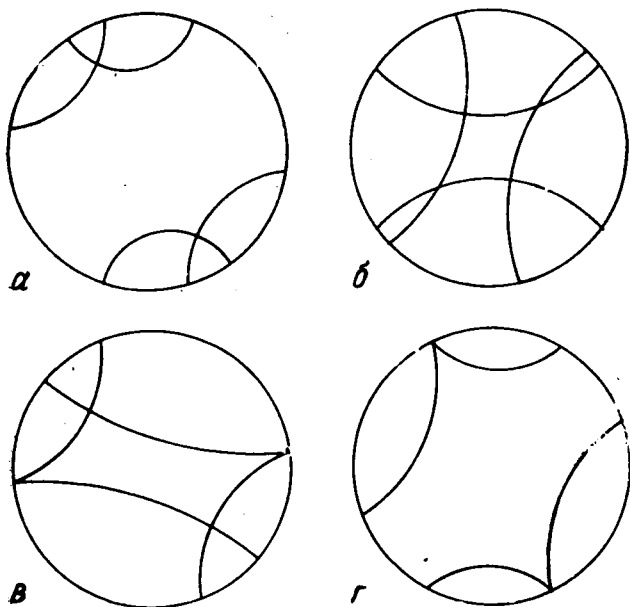


Рис. 31. Возможное число пересечений двух малых кругов при определении залегания пород по данным двух непараллельных скважин

Если имеются данные по третьей скважине L , то проекция ее наносится на сетку вместе с H и J , затем определяются угловые расстояния LP , LQ и т. д. Сравнение двух, трех или четырех значений этих угловых расстояний с углом LOP , измеренным в кернах третьей скважины, поможет выбрать правильное решение.

Данные по первым двум скважинам при всей их неоднозначности важны для определения направления третьей скважины.

Задача 38. Определение залегания пласта по данным двух вертикальных скважин [Bucher W. H., 1944, р. 199]. Опорный пласт подсечен двумя вертикальными скважинами A и B в точках A' и B' . Устье скважины B расположено в 500 м от устья скважины A по азимуту 216° . Скважина B встретила опорный пласт на 182 м глубже, чем скважина A , т. е. точка B' лежит на 182 м ниже точки A' .

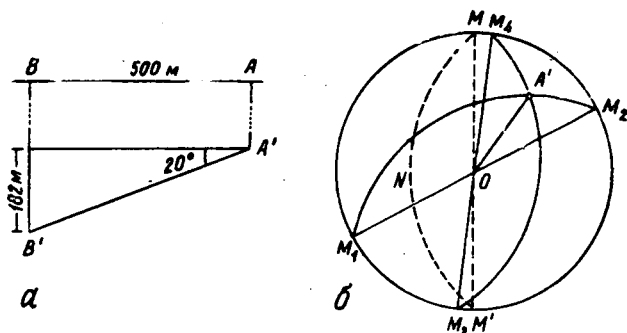


Рис. 32. Определение залегания пласта по данным двух вертикальных скважин:

a — разрез по линии скважин A и B ; отрезок AB — след плоскости напластования; b — стереограмма, изображающая два возможных положения поверхности напластования

В неориентированном керне из скв. A видно, что слоистость пород составляет с осью керна угол 50° . Найти элементы залегания опорного пласта при условии, что между точками A' и B' поверхность напластования имеет плоскую форму.

Задача решается в три приема.

1. Тригонометрически или графическим путем находим угол погружения линии $A'B'$, лежащей в плоскости напластования (20° , рис. 32, a).

2. Наносим на сетку Вульфа проекцию линии $A'B'$ ($A'O$ на рис. 32, b).

3. На втором листке восковки наносим проекцию плоскости, составляющей с вертикалью угол 50° , т. е. имеющей падение 40° в произвольном направлении (MNM' на рис. 32, b). Накладываем вторую восковку на первую и вращаем ее до прохождения дуги MNM'

через точку A' . Этому условию удовлетворяют два положения плоскости — $M_1A'M_2$ и $M_3A'M_4$.

Приведенный ради наглядности третий прием (п. 3) можно упростить и обойтись без второй восковки. Достаточно вращением первой восковки, на которую нанесена линия $A'O$, вывести точку A' сначала на один, затем на второй меридианы, отстоящие от края сетки на 40° , и провести циклограммы $M_1A'M_2$ и $M_3A'M_4$. Чтобы решить, какая из этих двух ориентировок отвечает залеганию пласта, необходимы дополнительные данные, как в предыдущей задаче.

Задача 39. Определение залегания пласта по данным вертикальной и наклонной скважин [Bucher W. H., 1944, р. 200]. Опорный пласт подсечен скважинами A и B в точках A' и B' . Взаимное расположение скважин и точек A' и B' такое же, как в предыдущей задаче. Сква. A вертикальная, а сква. B в точке B' имеет наклон (относительно горизонта) 35° по азимуту 260° . Слоистость пород составляет с осью керны из этой скважины угол 30° .

Найти залегание пласта при условии, что положение точки B' определено правильно и что глубины залегания опорного пласта в точках A' и B' известны.

1. Как в предыдущей задаче, определяем пространственную ориентировку линии $A'B'$ (азимут погружения 216° , угол погружения 20° ; см. рис. 32, а).

2. Наносим на восровку с помощью стереосетки:

а) проекцию отрезка $A'B'$, т. е. прямой, лежащей в плоскости напластования между точками A' и B' (АО на рис. 33, а);

б) проекцию оси скважины B в точке B' (ДО на рис. 33, а).

3. Зная ориентировку оси керны относительно горизонта в точке B' и ориентировку слоистости пород относительно оси керны в той же точке, можно определить величину угла падения слоистости. Для этого нужно выполнить поворот стереограммы (рис. 33, а) с таким расчетом, чтобы отрезок скважины в точке B' оказался вертикальным.

Осью поворота при этом является диаметр сетки, перпендикулярный отрезку DO , угол поворота равен 55° (дополнение до прямого к углу наклона скважины), направление поворота к центру сетки. В результате поворота точки A и D займут положения A' и D' (рис. 33, б).

4. Вращением восковки выводим точку A' сначала на один, затем на второй меридианы, отстоящие от центра сетки (от оси керна) на 30° . Получаем два возможных положения плоскости слонности — $M'A'M'$ (рис. 33, в) и $M''A'M''$ (рис. 33, г).

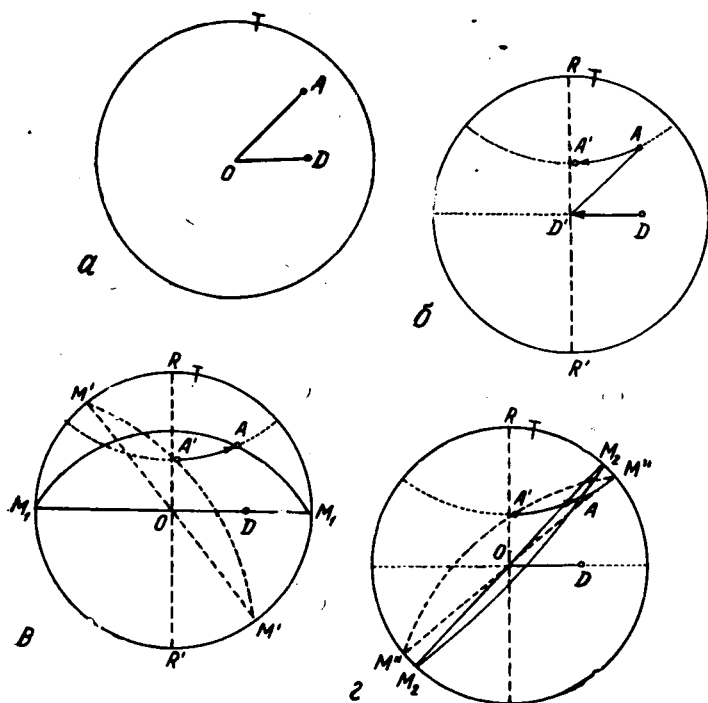


Рис. 33. Определение элементов залегания пласта по данным вертикальной и наклонной скважин

5. Делаем обратный поворот, т. е. возвращаем точки A' , D' в исходное положение. Дуги больших кругов $M'A'M'$ и $M''A'M''$ при этом переместятся в положения M_1AM_1 и M_2AM_2 (чтобы не затемнять чертежа, эти дуги показаны на разных диаграммах; рис. 33, в, г). Это и есть искомые большие круги, определяющие два возможных положения плоскости напластования.

Координаты их следующие: M_1AM_1 — азимут падения 170° , угол падения 30° ; M_2AM_2 — азимут падения 304° , угол падения 82° .

Для окончательного определения нужны дополнительные данные (см. задачу 37).

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВКИ ЛИНЕЙНОСТИ

Во многих случаях линейные текстуры горных пород могут быть замерены непосредственно в поле горным компасом. Линейность, лежащая в плоскости, может замеряться и компасом, и транспортиром. Линейность, образованная пересечением плоскостей, определяется на стереосетке как линия скращения этих плоскостей. Однако в некоторых типах пород этими способами замер линейности невозможен. Таковы, например, несланцеватые гнейсы, в которых минеральная линейность развита достаточно хорошо, но параллельные ей поверхности в обнажении могут отсутствовать.

Если линейность пород обусловлена цилиндрическими или призматическими доменами изометричного сечения, то она может быть замерена на трех или более непараллельных поверхностях выходов или на искусственных шлифованных срезах ориентированного образца [Lowe K. E., 1946; Phillips F. C., 1954; Turner F. J., Weiss L. E., 1963].

Задача 40. *Определение линейности по замерам на непараллельных сечениях.* Различно ориентированные сечения могут в совокупности дать верное представление о текстуре в трех измерениях, и стереографическая проекция незаменима при решении подобной задачи.

На рис. 34, а показан один из косых срезов (F — поверхность обнажения или образца), на котором сечение доменов имеет удлинение, параллельное ортогональной проекции L' домена L . Таким образом, на F наблюдаются статистически определяемые следы линейности.

Три поверхности F_1 , F_2 и F_3 и три следа линейности, соответственно T_1 , T_2 и T_3 , замеряются и наносятся на стереограмму (рис. 34, б). Каждая плоскость F изображается и в виде дуги большого круга (циклограммы), и в виде полюса (f_1 , f_2 и f_3). Затем через след линейно-

сти T_1 и полюс плоскости f_1 проводится дуга большого круга N_1 . Точно так же строятся две другие дуги (N_2 и N_3). Пересечение трех дуг N_1 , N_2 и N_3 в одной точке или (в общем случае) центр тяжести треугольника погружности определит искомые координаты линейности L .

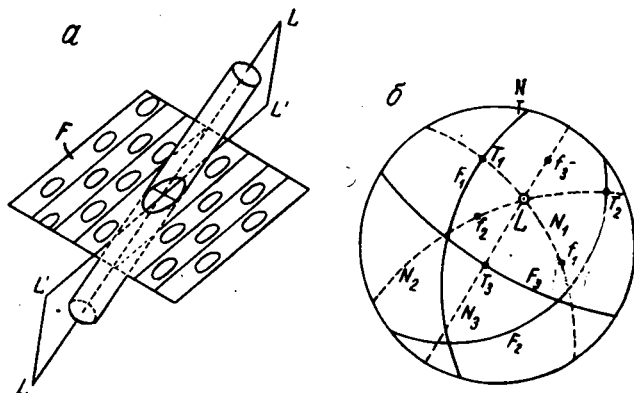


Рис. 34. Определение ориентировки линейности по замерам в нескольких непараллельных сечениях:

a — цилиндрические домены изометричного сечения в косом срезе дают видимую линейность в направлении L' ; b — графическое определение линейности L по замерам L' на трех непараллельных поверхностях образца или обнажения

Пример. Линейность, обусловленная призматическими, изометричными в поперечном сечении доменами, замерена в трех непараллельных стенках обнажения. Ориентировка этих стенок: азимуты падения 324, 352 и 116°, углы падения 78, 50 и 70° соответственно. Следы линейности на стенках имеют следующие координаты: азимуты погружения 32, 78 и 145°, углы погружения 54,4 и 68°. Определить координаты линейности. (Ответ: азимут погружения 126°, угол погружения 33°).

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 2

1. Структурная плоскость имеет по азимутам φ_1 и φ_2 видимые углы падения α_1 и α_2 . Определить угол погружения и угол склонения по направлению φ_3 (табл. 11).

Таблица 11

№ п/п	ψ_1	α_1	ψ_2	α_2	ψ_3
1	37	15	160	40	192
2	294	25	33	15	5
3	79	28	301	56	286
4	318	20	31	10	287
5	274	23	207	29	166

2. Наклонная скважина, имеющая азимут наклона γ и угол погружения ω , пересекает пласт, азимут падения которого φ и угол падения α . Определить, под каким углом к оси керн будет ориентирована слоистость пород (табл. 12).

Таблица 12

№ п/п	Координаты скважины		Координаты напластования		№ п/п	Координаты скважины		Координаты напластования	
	γ	ω	φ	α		γ	ω	φ	α
1	30	70	150	60	6	345	75	296	80
2	180	60	310	40	7	20	60	348	62
3	220	75	80	30	8	40	70	180	50
4	270	80	140	45	9	95	75	190	35
5	320	65	70	65	10	120	80	20	45

3. Рудный столб развит на пересечении кварцевой жилы и разрывного нарушения. Залегание кварцевой жилы: азимут падения 292° , угол падения 28° . Ориентировка разрывного нарушения: азимут простирания 80° , падение на юг под углом 65° . Определить азимут и угол погружения рудного столба и его склонение на плоскости жилы и плоскости сместителя [Phillips F. C., 1954].

4. Длинная сторона прямоугольной в сечении вертикальной шахты ориентирована по азимуту K° . В сечении с короткой стороной шахты пласт каменного угля падает в направлении φ_1 под углом M° . В сечении с длинной стороной шахты пласт падает в направлении φ_2 под

углом N° . Найти азимут и угол падения пласта каменного угля (табл. 13) [Разумовский Н. К., 1927].

5. В плоскости жилы, имеющей падение по азимуту 300° под углом 60° , выделяется рудный столб, склoneние которого 35° на ЮЗ. Определить направление и угол погружения рудного столба [Phillips F. C., 1954].

Таблица 13

№ п/п	K	M	φ_1	N	φ_2	№ п/п	K	M	φ_1	N	φ_2
1	42	20	ЮВ	48	ЮЗ	6	20	44	ЮВ	12	ЮЗ
2	70	16	СЗ	30	СВ	7	80	22	СЗ	36	СВ
3	300	10	ЮЗ	40	ЮВ	8	290	36	СВ	26	ЮВ
4	330	60	ЮЗ	20	СЗ	9	36	48	ЮВ	40	СВ
5	50	20	ЮВ	49	ЮЗ	10	80	12	ЮВ	30	СЗ

6. В районе с общим меридиональным простиранием погребенных складок получены следующие данные по двум наклонным скважинам A и B : наклон скважин относительно горизонта 50 и 34° , направление 210 и 130° , угол между нормалью к слоистости и осью керна 60 и 35° соответственно. Определить азимут простирания, направление и угол падения напластования [Phillips F. C., 1954].

7. Получены следующие данные по трем непараллельным скважинам, пересекающим на глубине слоистую серию: скв. A — наклон к горизонту 54° по азимуту 268° , угол между нормалью к слоистости и осью керна 42° ; скв. B — соответственно 46 , 140 и 60° ; скв. C — 50 , 332 и 82° . Определить простирание и падение напластования [Phillips F. C., 1954].

8. На сильно расчлененной местности маркирующий пласт моноклинально залегающей толщи наблюдался из двух точек дна долины в виде прямолинейных выходов на противоположных склонах. При наблюдении из первой точки видимое погружение линии выхода A составляет 78° по азимуту 52° , а выхода B — 77° по азимуту 318° . При наблюдении из второй точки установлено видимое погружение линии выхода A под углом 49° по азимуту 155° , а выхода B — под углом 49° по азимуту

212°. Определить: 1) истинные углы и азимуты погружения линейных выходов; 2) залегание напластования.

9. На шести различных поверхностях коренного выхода замерена видимая линейность следующей ориентировки (указаны азимут простирания, угол и направление падения поверхности обнажения, угол и направление погружения видимой линейности):

- 1) 146° , $\angle 20^\circ$, ЮЗ; $\angle 35^\circ$, СЗ;
- 2) 12° , $\angle 62^\circ$, В; $\angle 12^\circ$, Ю;
- 3) 87° , $\angle 40^\circ$, С; $\angle 38^\circ$, СЗ;
- 4) 97° , $\angle 65^\circ$, Ю; $\angle 17^\circ$, З;
- 5) 75° , $\angle 15^\circ$, С; $\angle 46^\circ$, СЗ;
- 6) 33° , $\angle 64^\circ$, ЮВ; линейность неясна.

Определить ориентировку линейной текстуры и пояснить результаты [Phillips F. C., 1954].

10. Две пересекающихся зоны разрывных нарушений имеют следующую ориентировку: 1) простирание 100° , угол падения 60° , С; 2) простирание 40° , угол падения 30° , ЮВ. Определить направление и наклон относительно горизонта скважины, которая должна подсесть линию скрещения зон под прямым углом. Устье скважины должно располагаться вдоль выхода на поверхность биссекторной плоскости между зонами [Phillips F. C., 1954].

11. Жила, простирающаяся в направлении СВ 25° и падающая на запад под углом 30° , пересекает другую жилу с простиранием СЗ 35° и падением 50° на ЮЗ. Начертить проекции пересечения: 1) на горизонтальной плоскости; 2) на вертикальной плоскости, простирающейся меридионально; 3) на плоскости жилы с простиранием СВ 25° и 4) на вертикальной плоскости, простирающейся параллельно направлению погружения пересечения; 5) в какой из этих проекций можно измерить погружение непосредственно? 6) каковы направление и величина погружения пересечения? [Биллингс М. П., 1949, с. 410].

Глава V

ИЗУЧЕНИЕ СКЛАДЧАТЫХ СТРУКТУР

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СКЛАДКИ

Первоочередная задача при изучении складок состоит в определении их морфологии. С этой целью в полевых условиях замеряют залегание поверхностей складки (S), т. е. азимуты простирания, направление и углы падения ее крыльев. Это наиболее распространенные и необходимые, но не единственные измерения; кроме поверхностей складки надо изучать разного рода линейность и обязательно определить два важнейших геометрических параметра — шарнир (B) и осевую плоскость складки.

Определение шарнира. В небольших складках с обнаженным перегибом (замком) шарнир может быть замерен непосредственно. Если замок не обнажен, то замеряют ориентировку поверхности складки в нескольких пунктах на разных крыльях или, что дает менее точные результаты, даже на одном крыле. Измеренные таким образом сегменты, которые на ограниченных участках могут быть приняты за касательные к поверхности складки плоскости, в идеальном случае пересекаются в шарнире складки или по линии параллельной шарниру (рис. 35, a). На рис. 35, b три сегмента поверхности цилиндрической складки S_1 , S_2 и S_3 изображены в виде трех циклограмм, которые на пересечении дают выход шарнира B . Полюса этих сегментов лежат на большом круге, называемом поясом складки. Пояс складки есть плоскость, перпендикулярная шарниру [Haman P. J., 1961; Turner F. J., Weiss L. E., 1963].

В реальной обстановке складки обычно отклоняются от точно цилиндрической формы, поэтому полюса каса-

тельных сегментов располагаются не строго на одной дуге, а образуют некоторый пояс. П. Гаман [Наман Р. J., 1961] отмечает, что складки амплитудой более 10 м должны анализироваться с помощью большого числа замеров, чтобы устранить возможное влия-

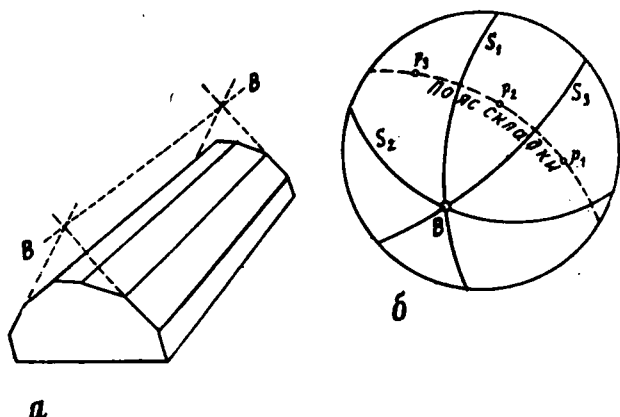


Рис. 35. Определение шарнира и пояса складки:
а — пересечение двух сегментов поверхности складки; б — определение пояса складки по трем сегментам ее поверхности

ние неоднородностей, обязанных перекрестной складчатости и другим причинам. При этом можно использовать два варианта обработки замеров:

1) нанести на сетку проекции плоских сегментов в виде дуг больших кругов (рис. 36, а); вынести на отдельный лист восковки точки пересечения дуг, учитывая, что число пересечений n дуг равно $n \cdot (n-1) : 2$, так что 25 сегментов, например, дадут 300 пересечений (рис. 36, б); составить диаграмму в изолиниях и определить центр тяжести максимума — выход шарнира (рис. 36, в);

2) вместо дуг на проекцию можно вынести полюса сегментов, которые расположатся в некотором поясе (рис. 36, г); построить диаграмму в изолиниях, определить положение пояса складки и выход шарнира В. Более практичным является второй способ.

Статистический подход позволяет не только найти генерализованное положение шарнира, но и оценить по

рассеиванию точек степень отклонения от идеально цилиндрической складчатости.

Стереограммы, подобные изображенным на рис. 36, показывают ориентировку шарнира, но не содержат сведения о том, является рассматриваемая структура антиклиналью или синклиналью, по ним нельзя

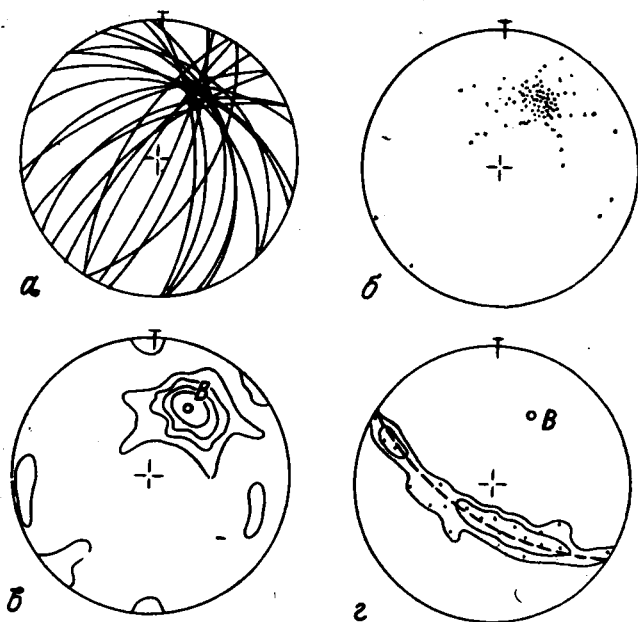


Рис. 36. Определение шарнира и пояса складки:
а — диаграмма поверхностей складки S ; б — диаграмма пересечений поверхностей S ; в — диаграмма в изолиниях пересечений поверхностей складки; центр тяжести максимума — шарнир складки (B); г — диаграмма полюсов S в изолиниях

судить, что анализировалось — одна складка или серия параллельных складок. Эти вопросы решаются геологическим картированием.

В нецилиндрических складках не может быть шарнира, общего для всех частей складки. При анализе таких структур выделяют минимальное число доменов, каждый из которых является гомогенным относительно

шарнира В, тем или иным способом определяют ориентировку частных шарниров, сопоставление которых позволяет судить о вариациях и закономерностях строения геологического тела в целом [Turner F. J., Weiss L. E., 1963].

Определение осевой плоскости. В складках ламинарного течения («скальвания») положение осевой плоскости может быть измерено непосредственно по кливажу осевой плоскости. В прямых симметричных складках осевая плоскость идентична биссекторной

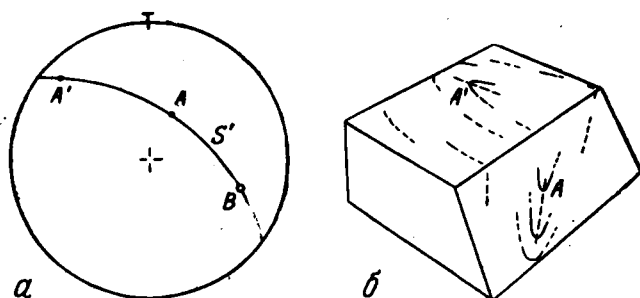


Рис. 37. Определение осевой плоскости складки:
а — ориентировка осевой плоскости определяется шарниром В и следом осевой плоскости А или А'; б — блок-диаграмма, изображающая два следа осевой плоскости А и А' в разных частях обнажения

плоскости, легко определяемой на сетке Вульфа по размерам крыльев. Одновременно определяется и угол складки.

Более общий случай состоит в косвенном определении. На сетку наносятся шарнир складки и след осевой плоскости А, наблюдаемый на любой плоской поверхности обнажения, ориентированной под достаточно большим углом к шарниру. Этот след измеряется как видимая линейность (направление и угол погружения). Залегание поверхности, на которой виден этот след, можно не замерять или замерить только для самоконтроля. Через точки В и А (рис. 37, а) проводится дуга большого круга, которая и определит ориентировку осевой плоскости.

Любые два следа осевой плоскости (A и A' , рис. 37, б) на непараллельных поверхностях обнажения также определяют положение осевой плоскости S' .

Задача 41. Определение элементов складки. Дано залегание крыльев складки: 1) азимут падения φ_1 , угол падения α_1 ; 2) азимут падения φ_2 , угол падения α_2 . Определить: 1 — ориентировку шарнира; 2 — угол, составляемый крыльями складки; 3 — ориентировку бисекторной плоскости; 4 — изобразить складку в виде антиклинали на блок-диаграмме и определить ее название, учитывая ориентировку крыльев, шарнира и осевой плоскости (табл. 14).

Таблица 14

Упражнения к задаче 41

№ п/п	φ_1	α_1	φ_2	α_2	№ п/п	φ_1	α_1	φ_2	α_2
1	255	55	177	30	6	340	90	310	90
2	60	40	240	20	7	240	12	270	5
3	200	50	20	50	8	220	40	160	30
4	30	40	30	70	9	250	65	280	40
5	50	70	10	30	10	170	50	140	46

2. «СНЯТИЕ» СТРУКТУРНОГО НЕСОГЛАСИЯ

Наглядным примером проявления двух складчатостей является структурное несогласие, при котором одна складчатая толща перекрывается второй, также складчатой серией слоев, т. е. поверхность несогласия залегает наклонно. Если требуется определить залегание нижней серии в период, когда верхняя толща лежала на ней горизонтально, надо выполнить поворот структурных элементов, «снять» складчатость верхней толщи.

Рассмотрим простейший случай, когда верхняя толща образует складку с горизонтальным шарниром. Осью поворота при этом будет линия простирания верхней толщи, угол поворота равен углу падения поверхности структурного несогласия, направление поворота определится задачей — привести верхнюю толщу в горизонтальное положение.

Задача 42. *Определение доскладчатого залегания древней толщи [Разумовский Н. К., 1927]. Толща А со структурным несогласием перекрывается свитой В. Залегание толщи А: азимут падения φ_1 , угол падения α_1 . Залегание свиты В: азимут падения φ_2 , угол падения α_2 . Определить залегание древней толщи во время отложения верхней свиты, т. е. до складчатости свиты В, образующей складку с горизонтальным шарниром.*

Т а б л и ц а 1

Упражнения к задаче 42

№ п/п	Толща А		Свита В		№ п/п	Толща А		Свита В	
	φ_1	α_1	φ_2	α_2		φ_1	α_1	φ_2	α_2
1	150	70	320	40	11	255	60	289	47
2	232	38	255	60	12	240	60	231	34
3	262	50	243	27	13	258	50	282	24
4	240	60	231	34	14	232	38	255	60
5	183	15	198	5	15	246	21	235	50
6	2	60	25	85	16	232	38	260	72
7	268	60	237	43	17	260	60	230	42
8	258	50	282	24	18	12	56	25	85
9	133	30	91	24	19	138	42	90	80
10	262	50	243	27	20	8	30	320	82

Наносим на восковку полюсы плоскостей А и В, отображающие залегание обеих свит. Совмещаем ось поворота (линию простираения свиты В) с центральным меридианом; для этого достаточно полюс плоскости В вывести на экватор сетки (в любую сторону от центра). При «снятии» складчатости (рис. 38) точка В будет двигаться к центру до совмещения с ним. В том же направлении и на тот же угол переместится и точка А (по той параллели, на которой она находится). Определяем координаты точки А', т. е. искомое залегание толщи А до складчатости свиты В.

Задача 43. *Определение элементов складки, существовавших до повторной складчатости [Phillips F. C., 1954]. Толща S со структурным несогласием перекрыта свитой U, падающей на восток под углом 22°. В толще S*

закартирована симметричная складка, крылья которой падают под углом 35° по азимутам 206 и 70° , а шарнир погружается на юго-восток под углом 15° . Определить ориентировку крыльев и шарнира складки до складчатости свиты U , образующей крыло складки с горизонтальным шарниром.

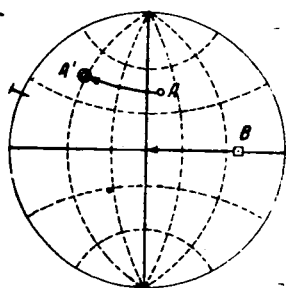


Рис. 38. Определение доскладчатого залегания древней толщи; A и B — полюса плоскостей напластования древней и более молодой толщ

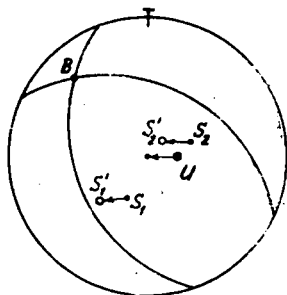


Рис. 39. «Снятие» структурного несогласия: U — полюс плоскости структурного несогласия; S_1 и S_2 — полюса крыльев складки, образовавшейся до формирования структурного несогласия; B — шарнир складки

Наносим на сетку полюса крыльев складки и полюс плоскости структурного несогласия (S_1 , S_2 , U на рис. 39). Совмещаем ось поворота — линию простирания плоскости несогласия — с вертикальным диаметром сетки, для чего полюс этой плоскости выводим на экватор сетки. Перемещаем точку U по экватору до центра сетки. При этом точки S_1 и S_2 займут положения S_1' и S_2' .

Так как в данном случае точки S_1' и S_2' оказались лежащими на одном диаметре сетки, то можно сделать вывод о том, что перед второй складчатостью шарнир складки был горизонтальным. Несимметричное расположение этих точек относительно центра сетки указывает на первоначальную асимметрию складки, крылья ее до формирования структурного несогласия падали по азимутам 45 и 226° под углами 16 и 49° соответственно. Симметрия складки в ее нынешнем положении является чисто случайным результатом повторной складчатости.

Если наложенная складка имеет погружающийся шарнир, то сначала надо снять это погружение, т. е. вывести шарнир в горизонтальное положение, и только потом снять складчатость. Примеры такой корректировки рассмотрены в следующем разделе.

3. КОРРЕКТИРОВКА ЗАМЕРОВ КОСОЙ СЛОИСТОСТИ ЗА НАКЛОН ПЛАСТА

При изучении косой слоистости в складчатых толщах могут встретиться следующие четыре случая:

- а) пласт и косая слоистость не опрокинуты;
- б) пласт не опрокинут, косая слоистость опрокинута;
- в) пласт опрокинут, косая слоистость не опрокинута;
- г) и пласт, и косая слоистость опрокинуты.

Чтобы получить представление о первоначальном залегании косой слоистости, необходимо сделанные в поле замеры ее откорректировать за наклон пласта, т. е. «снять» складчатую деформацию. Эту задачу можно решить с помощью сетки Вульфа [Вассоевич Н. Б. и Гроссгейм В. А., 1954].

Осью поворота в случае складок с горизонтальным шарниром является линия простираения дислоцированного пласта. Чтобы совместить ее со средним меридианом, достаточно полюс пласта вывести на экватор. Направление поворота определяется задачей — снять складчатую деформацию, т. е. привести пласт в исходное горизонтальное положение.

Определяя величину угла поворота, надо обязательно различать два случая: 1) пласт не опрокинут и 2) пласт опрокинут. Если пласт не опрокинут, угол поворота равен углу падения пласта. Если же пласт опрокинут, то угол поворота равен углу, дополнительному до прямого к углу падения плюс 90° , т. е.

$$90^\circ - \alpha + 90^\circ = 180^\circ - \alpha, \text{ где } \alpha - \text{угол падения.}$$

Понятно, что и направление поворота будет разным: при отсутствии опрокидывания полюс пласта переносится к центру сетки. Этим определяется направление переноса всех других точек. В случае опрокинутого залегания пласта полюс его сначала переносится к внешнему кругу сетки, а потом — из диаметрально противополож-

ной точки к центру. Каково залегание косо́й слоистости (опрокинутое или не опрокинутое), существенного значения не имеет, однако при полевых наблюдениях на это надо обращать внимание и делать в дневнике соответствующую запись.

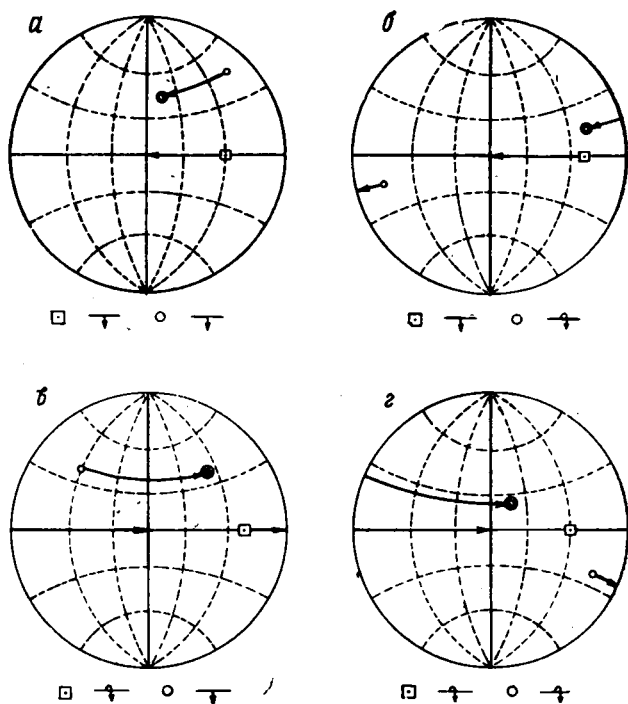


Рис. 40. Четыре случая корректировки косо́й слоистости за наклон пласта. Точка в квадратике — полюс плоскости напластования; точка в кружке — полевой замер косо́й слоистости; двойной кружок — положение полюса откорректированной косо́й слоистости. Наклонное и опрокинутое залегание показано обычными знаками под диаграммами

Четыре случая корректировки косо́й слоистости, отвечающие перечисленным выше соотношениям, показаны на рис. 40, на котором в квадратике показано залегание пласта (полюс), кружком — полевой замер косо́й слоистости, двойным кружком — откорректированное (первичное) залегание косо́й слоистости.

Упражнения к задаче 44

№ п/п	Залегание пласта		Залегание кривой слоистости	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут падения	Угол падения
1	240	60	231	34
2	2	60	25	85
3	38	58	45	88
4	133	30	91	24
5	183	15	198	5
6	233	55	262	32
7	233	70 опр.	211	43
8	245	68 опр.	215	52
9	235	65 опр.	210	41
10	244	68 опр.	235	66
11	72	85	71	75
12	220	60	280	51
13	234	70	228	42
14	250	70	266	45
15	225	50 опр.	230	19
16	222	88 опр.	244	70
17	245	70 опр.	258	39
18	244	66 опр.	266	37
19	245	70 опр.	65	83
20	35	80	20	49
21	355	35	304	45

Примечание. Здесь и в других таблицах пометкой «опр.» обозначено опрокинутое залегание.

В случае складок с погружающимся шарниром снятие складчатости должно проходить в две стадии: сначала надо выполнить поворот вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной шарниру, на угол погружения последнего, т. е. вывести шарнир в горизонтальное положение, затем снять наклон пласта поворотом вокруг линии простираения, откорректированной в результате первой операции.

Если складчатость снята простым поворотом вокруг неоткорректированной линии простираения пласта, это приведет к ошибке, величина которой меняется в зависимости от угла падения крыльев и угла погружения шарнира. Для крутых углов падения крыльев ошибка, возникающая при игнорировании погружения шарнира, может быть значительной, а для опрокинутых пластов — чрезвычайно большой [Ramsay J. G., 1961].

Задача 44. *Определение первичного залегания косої слоистости, замеренной в крыле складки с горизонтальным шарниром.* Откорректировать замеры косої слоистости за наклон пласта (табл. 16), учитывая нормальное и опрокинутое залегание пород. Обратить внимание на признак нормального и опрокинутого залегания косої слоистости, выявляющийся в процессе работы на сетке Вульфа.

При корректировке замеров рекомендуется полюсы пласта и косої слоистости постоянно обозначать одними и теми же знаками, например, такими, как на рис 40.

Задача 45. *Определение первичного залегания косої слоистости, замеренной в крыле складки с погружающимся шарниром.* Шарнир складки погружается по азимуту 348° под углом 50° . Пласт не опрокинут, азимут падения его 240° , угол падения 60° . Косая слоистость падает по азимуту 231° под углом 34° . Определить первичную ориентировку косої слоистости.

Как отмечено выше, задача решается в два приема: 1 — снятие погружения шарнира, 2 — снятие наклона пласта.

Ответ: азимут падения 100° , угол падения 27° .

4. КОРРЕКТИРОВКА ЗАМЕРОВ ЛИНЕЙНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗА НАКЛОН ПЛАСТА

Под линейностью горных пород понимается субпараллельное расположение вытянутых структурных элементов различного происхождения. Линейность может проявляться макро- и микроскопически, быть первичной (в осадочных и магматических породах) и вторичной (в любых типах пород, особенно в метаморфических). Первичная линейность осадочных пород бывает

обусловлена течением среды, в которой происходит осадкоотложение. Она может проявляться на поверхности напластования (волноприбойные знаки, водная и эоловая рябь течений, линии прибоя, струйчатые желобки, предпочтительно линейное расположение длинных осей обломков или органических остатков во время осадконакопления) или внутри породы, т. е. составлять с напластованием некоторый угол (удлинение галек конгломератов и пр.). Особенно разнообразна вторичная линейность, возникающая в результате тектонических деформаций горных пород и массового новообразования минералов.

Э. Клоос (1946) выделил 15 типов линейности, объясненных таким факторам, как течение в жидком и твердом состоянии, вращение (прокатка, развальцовка), пересечение плоскостей, ориентированный рост минералов и пр. Ф. Тернер и Л. Вейс (1963) для метаморфических тектонитов выделяют пять главных типов, обусловленных преимущественной ориентировкой удлиненных доменов, сложенных изометричными зернами, субпараллельным расположением призматических или удлиненно-таблитчатых зерен, пересечением плоскостей, мелкими складками *S*-поверхностей.

Деформационная линейность является признаком высшей степени упорядоченности строения горной породы. Порода с линейной текстурой более упорядочена, нежели порода, обладающая только плоско-параллельной текстурой. По типу симметрии первая относится к ромбической, а вторая — к моноклинной сингонии [Милеев В. С., 1976].

По ориентировке относительно нестрогатурных осей *a*, *b*, *c* линейность обычно подразделяется на *b*-линейность и *a*-линейность. Первая из них параллельна, вторая перпендикулярна шарнирам складок. Наиболее распространенной является *b*-линейность.

Наблюдения над линейностью имеют большое практическое значение. Систематическое изучение сингенетичной линейности осадочных пород дает ценный материал палеогеографического характера (о положении береговой линии бассейна осадконакопления, о направлении сноса обломочного материала и пр.). В случае горизонтального залегания пород замеры линейности этого типа используются непосредственно. Если же

свита собрана в складки, то необходима предварительная корректировка полевых замеров за наклон пласта. Аналогичной корректировке подвергаются данные палеомагнитных измерений, в результате чего удается установить первоначальное положение вектора остаточной намагниченности пород [Храмов А. Н., Шолпо Л. Е., 1967; Шолпо Л. Е., Яновский Б. М., 1968].

В последние 10—15 лет особенно большое внимание уделяется деформационной линейности. Этот структурный элемент — исключительно важный ориентир, используемый при расшифровке структурной эволюции сложнодислоцированных толщ. Деформационная линейность позволяет определить направление тектонического транспорта. Изучение ее необходимо для выявления стадийности и характера деформации в районах неоднократных складчатых движений. Так, например, если линейность располагается под острым углом к шарнирам складок, а тем более имеет изогнутую форму, можно быть уверенным, что она иного возраста, чем эти складки и образовалась на другом этапе деформации [Эз В. В., 1978].

Принципам геометрического анализа деформированной линейности в связи со складчатостью разного типа посвящен ряд работ [Горлов Н. В., 1967; Лазарев Ю. М., 1972; Казаков А. Н., 1976; Сыстра Ю. И., 1978; Флаасс А. С., 1978; Norman T. N. 1960; Ramsay J. G., 1960, 1961; Ross J. V., 1962; Ross J. V., Linn Mc. C., 1963; Houston R. S., Parker R. B., 1963; Turner F. J. Weiss L. E., 1963, и др.].

Целью данного раздела является изложение элементарных приемов корректировки линейности за наклон пласта в складках изгиба с горизонтальными и погружающимися шарнирами [Norman T. N., 1960; Симонова Г. Ф., Горлов Н. В., 1967].

При корректировке линейности необходимо иметь не только замеры пласта, в котором эта линейность наблюдалась, но еще и данные об ориентировке шарнира складки. В случае складок с горизонтальным шарниром осью поворота является линия простираения пласта, направление поворота определяется задачей снять складчатую деформацию, вернуть пласт в горизонтальное положение. Угол поворота при наклонном за-

легании пласта равен углу падения α , при опрокинутом — $180^\circ - \alpha$.

Если шарнир складки погружается, линия простирания пласта не может быть осью поворота. Ориентировка линейности, откорректированной поворотом вокруг линии простирания, будет в таком случае отличаться от первичной, и ошибка в определении будет зависеть от величины угла погружения шарнира и величины угла падения напластования. Как и при корректировке ко-сой слоистости, сначала надо снять погружение шарнира поворотом вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной оси складки, затем привести пласт в горизонтальное положение поворотом вокруг новой линии простирания, полученной с помощью предыдущей операции.

Как отмечалось в гл. II, координаты линейных структурных элементов могут быть двоякими: 1) горным компасом могут измеряться азимут погружения и угол погружения линейности независимо от плоскости, в которой эта линейность лежит (впрочем, плоскость все же следует замерять для контроля), или 2) горным компасом замеряются элементы залегания плоскости, а транспортиром—угол склонения линейности, т. е. угол между линией простирания плоскости и линейностью.

При средних значениях углов наклона линейности оба способа равноценны и должны давать одинаковые в пределах точности измерений результаты. Если же линейность погружается под большим углом, то более точные данные получаются при измерении транспортиром угла склонения, так как в подобных случаях определение азимута проходящей через линейность вертикальной плоскости определяется с большей ошибкой, чем угол склонения.

Задача 46. *Корректировка линейности, лежащей в плоскости напластования в наклонном крыле складки с горизонтальным шарниром* (табл. 17). Дана складка с горизонтальным шарниром. Крыло ее имеет азимут падения 60° , угол падения 70° . Азимут падения линейности, лежащей в плоскости напластования, 133° , угол погружения 40° . Определить доскладчатую ориентировку линейности.

Наносим на кальку проекцию пласта (дугу большого круга) и проекцию линейности. Точка линейности

должна лечь на дугу, отвечающую плоскости напластования (если этого не получилось, значит, замер элементов залегания пласта или линейности сделан неточно). Совмещаем линию простирания пласта (ось поворота) со средним меридианом и переносим точку

Таблица 17

Упражнения к задаче 46

№ п/п	Залегание пласта		Залегание линейности	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут погружения	Угол погружения
1	60	70	339	21
2	233	50	191	42
3	218	46	136	8
4	186	22	222	19
5	315	32	270	24
6	354	38	300	25
7	38	58	345	43
8	102	80	22	47
9	25	63	337	51
10	0	65	287	33
11	41	44	329	16
12	32	37	334	21

линейности по той параллели, на которой она находится, до внешнего круга сетки, т. е. на угол падения пласта. Определяем исправленный азимут направления линейности — прямой или обратный, в зависимости от конкретной задачи. Если линейность имеет векторный характер, необходимо не упускать из виду направление этого вектора. В приведенном примере исправленное направление линейности 288° — 188° (рис. 41).

Задача 47. *Корректировка линейности, лежащей в плоскости напластования в опрокинутом крыле складки с горизонтальным шарниром* (табл. 18). Дана складка с горизонтальным шарниром. Азимут падения опрокинутого крыла 154° , угол падения 66° . Азимут погружения векторной линейности, лежащей в плоскости напластования, 90° , угол погружения 45° . Определить доскладчатое направление линейности.

Упражнения к задаче 47

№ п/п	Залегание пласта		Залегание линейности	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут погружения	Угол погружения
1	322	68 опр.	31	42
2	78	72 опр.	57	47
3	328	40 опр.	268	24
4	346	56 опр.	279	29
5	323	65 опр.	253	35
6	322	82 опр.	248	50
7	337	58 опр.	49	27
8	58	60 опр.	107	48
9	117	77 опр.	184	—
10	146	60 опр.	—	46
11	214	68 опр.	281	—
12	82	73 опр.	—	51

Наносим на кальку проекцию пласта (дугу большого круга) и проекцию линейности, как в предыдущей задаче. Вращаем пласт вокруг оси поворота на

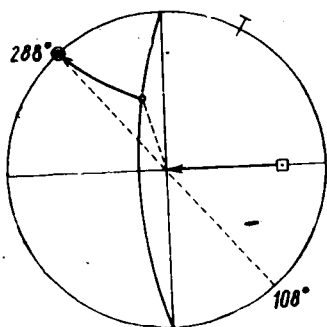


Рис. 41. Корректировка линейности при наклонном залегании пласта

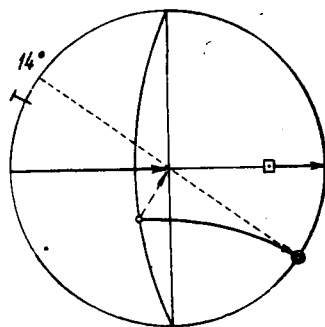


Рис. 42. Корректировка линейности при опрокинутом залегании пласта

угол $180^\circ - 66^\circ = 114^\circ$, т. е. до горизонтального положения. При этом точка линейности, пройдя 114° по той параллели, на которой она находится, окажется

на внешней окружности сетки. Учитывая векторный характер линейности, определяем прямой первичный азимут ее, равный 14° (рис. 42).

Задача 48. *Корректировка линейности, замеренной в наклонном (не опрокинутом) крыле складки с погружающимся шарниром.* На крыле складки, падающем по азимуту 220° под углом 80° , линейность погружается на юго-запад под углом 48° . Шарнир складки погружается по азимуту 282° под углом 70° . Определить доскладчатую ориентировку линейности.

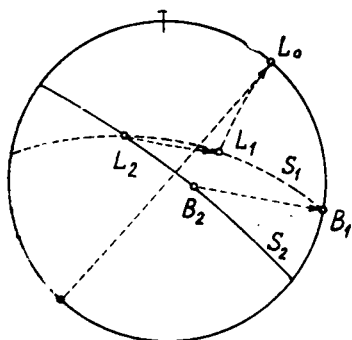


Рис. 43. Корректировка линейности (L_2), замеренной в наклонном крыле складки (S_2) с погружающимся шарниром (B_2)

Наносим на сетку дугу большого круга, отвечающую напластованию (S_2 на рис. 43), проекцию линейности L_2 и шарнира складки B_2 . Выводим точку B_2 на экватор, т. е. совмещаем ось поворота — горизонтальную линию, перпендикулярную шарниру складки, с вертикальным диаметром сетки. Снимаем погружение шарнира, т. е. выполняем поворот опорных точек проекции на 70° в направлении от центра сетки. При этом точки B_2 и L_2 займут положения B_1 и L_1 , а дуга большого круга S_2 переместится в положение S_1 . Дуга S_1 отображает ориентировку крыла складки после приведения шарнира последней в горизонтальное положение. Теперь нужно снять наклон крыла складки. Для этого совмещаем дугу S_1 с меридианом сетки и мысленно перемещаем ее до совпадения с внешней окружностью. Интересующая нас проекция линейности (точка L_1) также переместится до внешней окружности сетки и займет положение L_0 , которое и определит искомую первичную ориентировку линейности (в дан-

ном случае 43 и 223° , т. е. прямой и обратный азимуты горизонтальной линии, лежащей в плоскости напластования).

Задача 49. *Сопоставление линейности, замеренной в противоположных крыльях складки* [Phillips F. C., 1954]. На крыле антиклинали, падающем под углом 22° по азимуту 210° , линейность имеет склонение 50° на запад. На противоположном крыле, падающем под углом 40° по азимуту 353° , наблюдается почти горизонтальная линейность. Можно ли считать, что эта линейность уже существовала до складчатости? Какова ее первичная ориентировка?

Для решения задачи надо нанести циклограммы обоих крыльев складки и проекции линейности на них. Пересечение крыльев определит ориентировку шарнира (в данном случае шарнир погружается под углом 10° по азимуту 276°). Затем надо снять наклон шарнира и нанести новое положение крыльев и линейности, как в предыдущей задаче. Наконец, снять наклон этих крыльев и определить направление линейности на каждом из них.

Ответ: Первичное направление линейности на одном крыле $80-260^\circ$, на другом $72-252^\circ$. Близкое совпадение этих направлений позволяет предположить до складчатое происхождение линейности.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 3

1. Толща *A* со структурным несогласием перекрывается свитой *B*, образующей складку с горизонтальным шарниром.

Залегание толщи *A*: азимут падения φ_1 , угол падения α_1 .

Залегание свиты *B*: азимут падения φ_2 , угол падения α_2 .

Определить залегание более древней толщи во время отложения верхней свиты, т. е. когда пласты свиты *B* находились в горизонтальном положении (табл. 19).

2. В пласте песчаника (азимут падения φ_1 , угол падения α_1) замерена косая слоистость (азимут падения φ_2 , угол падения α_2). Найти первичное залегание косой слоистости (табл. 20).

3. В пласте конгломерата (азимут падения φ_1 , угол падения α_1) замерена ориентировка длинных осей галек азимут падения φ_2 , угол падения α_2). Найти первичное (доскладчатое) залегание длинных осей галек конгломерата (табл. 21).

Таблица 1

№ п/п	Толща А		Свита В		№ п/п	Толща А		Свита В	
	φ_1	α_1	φ_2	α_2		φ_1	α_1	φ_2	α_2
1	260	48	240	26	6	206	84	330	42
2	6	26	316	80	7	78	70	310	36
3	180	14	190	40	8	10	60	250	52
4	230	30	255	60	9	4	32	120	62
5	252	48	278	22	10	180	68	45	56

Таблица 2

№ п/п	Залегание пласта		Залегание косой слоистости	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут падения	Угол падения
1	133	30	91	24
2	183	15	198	5
3	233	55	262	32
4	224	60	236	30
5	227	52	262	19
6	233	70 опр.	211	43
7	245	70 опр.	215	52
8	222	88 опр.	244	70
9	238	86 опр.	254	61
10	235	65 опр.	210	41

4. Дано залегание пласта, образующего крыло складки с горизонтальным шарниром, и полевой замер линейности, не лежащей в плоскости напластования. Определить доскладчатую ориентировку линейности — азимут и угол погружения (табл. 22).

Таблица 2

№ п/п	Залегание пласта		Залегание длинных осей галек конгломерата	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут падения	Угол падения
1	60	70	134	40
2	65	57	208	55
3	38	58	45	31
4	224	62	236	30
5	268	60	237	43
6	238	86 опр.	254	61
7	222	88 опр.	244	70
8	225	50 опр.	230	19
9	233	68 опр.	229	34
10	235	65 опр.	210	41

Таблица 2

№ п/п	Залегание пласта		Залегание линейности	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут погружения	Угол погружения
1	156	70	128	45
2	230	46	188	19
3	184	70 опр.	139	30
4	244	66 опр.	334	60
5	222	50	168	18
6	124	70	154	46
7	146	54 опр.	63	50
8	340	70	268	37
9	78	75 опр.	321	68
10	311	79	234	49

5. Дано залегание пласта, ориентировка шарнира складки, в крыле которой находится пласт, и замер линейности пород. Откорректировать линейность за наклон пласта и шарнира складки (табл. 23).

6. На противоположных крыльях складки, закартированной ниже поверхности несогласия, падающей под углом 22° по азимуту 220° , сделаны следующие наблюдения: восточное крыло падает по азимуту 132° под углом 23° , западное — по азимуту 250° под углом 46° . Определить элементы складки древней толщи, существовавшие до наклона поверхности несогласия [Phillips F. C., 1954].

Таблица 23

№ п/п	Залегание пласта		Залегание шарнира		Залегание линейности	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут погружения	Угол погружения	Азимут погружения	Угол погружения
1	60	70	110	50	133	40
2	122	66	160	55	180	51
3	122	70	165	60	46	32
4	340	70 опр.	50	44	283	56
5	310	60 опр.	252	42	82	38
6	130	40	84	30	156	38
7	220	80	282	70	140	48
8	150	60	80	30	ЮВ	60
9	10	84	94	50	СЗ	80
10	130	84	60	74	СВ	25

Таблица 24

Направление	0°	25°	50°	90°	130°	170°	210°	240°	305°
-------------	-----------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Угол падения 70,С 23,СВ 5,ЮЗ 12,3 4,ЮВ 8,Ю 30,ЮЗ 54,ЮЗ 72,СЗ

7. Ниже поверхности несогласия, падающей по азимуту 290° под углом 40° , по радиальным направлениям сделаны следующие замеры углов и направлений падения древней толщи (табл. 24).

Определить первичную природу структуры до наклона поверхности несогласия.

Глава VI

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Азимутальные проекции (стереографическая и эквивалентная) представляют собой незаменимое средство при изучении трещинной тектоники. С помощью стереосетки можно быстро и с достаточной точностью решать многие задачи, относящиеся к данной проблеме: определять углы между конкретными трещинами или генерализованными трещинными системами, выявленными путем статистической обработки массовых замеров трещиноватости; определять пространственную ориентировку линий скрещения трещин; анализировать взаимоотношения между трещиноватостью, с одной стороны, и элементами складок, напластованием, разрывными нарушениями, контактами интрузивных массивов, жил, даек, рудных тел, элементами прототектоники жидкой фазы и т. п. — с другой.

Имеются хорошие примеры решения с помощью стереографических проекций вопросов о связи направлений трещин с элементами тектонических структур, определения сопряженных систем трещин. [Кнорринг Л. Д., 1968, 1969], о связи трещиноватости с различными периодами складчатых деформаций [Rutland R. W. R., Etheridge M. A., 1975]. Особый интерес представляет применение стереографических проекций при тектонофизических исследованиях, в частности, при восстановлении ориентировки осей напряжений [Гзовский М. В., 1954, 1975].

1. ПРИВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ ТРЕЩИН К ПОВЕРХНОСТИ НАПЛАСТОВАНИЯ

При обработке данных по трещинной тектонике иногда возникает необходимость выяснить ориентировку трещин относительно поверхности напластования. Задача сводится к приведению напластования в горизонтальное положение и соответствующему повороту всех остальных структурных элементов.

На кальку наносят полюса главных систем трещин и полюс пласта. Поворот производят точно так же, как при корректировке косой слоистости. Если домен, в пределах которого изучалась трещиноватость, находится в крыле складки с горизонтальным шарниром, то за ось поворота принимают линию простирания пласта, угол и направление поворота определяют с учетом наклонного или опрокинутого залегания пласта. Если же шарнир складки погружается, то сначала необходимо снять это погружение, т. е. привести шарнир в горизонтальное положение поворотом вокруг горизонтальной линии, перпендикулярной оси складки, а потом привести в горизонтальное положение пласт поворотом вокруг новой линии простирания его, получившейся в результате снятия погружения шарнира.

Приведение систем трещин к поверхности напластования производится ради решения двух задач: во-первых, для проверки гипотезы о возможном наличии среди изученных систем доскладчатой трещиноватости, на которую будет указывать совпадение приведенных ориентировок всех или некоторых систем трещин в противоположных крыльях складки; это позволит оценить долю доскладчатых трещин, выделить их из общей совокупности структур данного типа; во-вторых, для выявления соотношений между системами трещин и напластованием. В первом случае используются обычные географические координаты, во втором — условные координаты пласта.

Задача 50. *Определение доскладчатой ориентировки трещин в складке с горизонтальным шарниром.* В крыле складки с горизонтальным шарниром (азимут падения 320° , угол падения 70°) установлено три системы трещин: 1) азимут падения 230° , угол падения 60° ; 2) азимут падения 40° , угол падения 40° , и 3) азимут па-

дения 142° , угол падения 45° . Привести системы трещин к поверхности напластования, т. е. определить их гипотетическое доскладчатое положение.

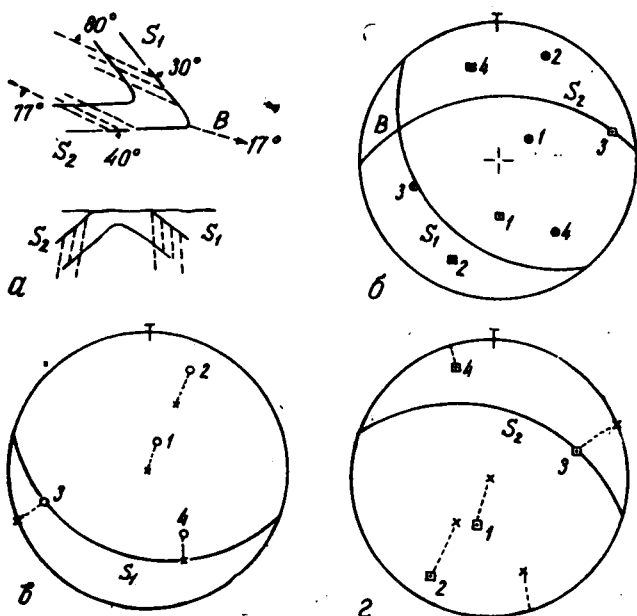


Рис. 44. Анализ трещиноватости пород в антиклинали с погружающимся шарниром:

a — схематический план (вверху) и разрез антиклинали с крыльями S_1 и S_2 ; прерывистая штриховка — кливаж осевой плоскости (2-я система трещин); B — шарнир складки, погружающийся на юго-восток под углом 17° ; б — стереограмма складки; кружками обозначены системы трещин крыла S_1 , квадратами — крыла S_2 ; в — стереограмма крыла S_1 ; кружки — полюсы трещин после снятия погружения шарнира, крестики — то же после приведения пласта в горизонтальное положение; г — стереограмма крыла S_2

Ответ: 1) азимут падения 202° , угол падения 80° ; 2) азимут падения 97° , угол падения 70° ; 3) азимут падения 320° , угол падения 65° .

Задача 51. Анализ трещин, развитых в противоположных крыльях антиклинали с погружающимся шар-

нром. В противоположных крыльях S_1 и S_2 антиклина́ли (рис. 44, а) установлено по четыре системы наиболее развитых трещин. Полевые замеры крыльев складки и координаты центров тяжести максимумов, отвечающих этим системам, приведены в табл. 25. Наносим на сетку полюса трещин первого и второго крыла разными знаками, а также дуги больших кругов, изображающие залегание крыльев складки (рис. 44, б). Пересечение дуг определило ориентировку шарнира В (азимут погружения 110° , угол погружения 17°). Для удобства дальнейшая работа проведена раздельно по каждому крылу складки. На рис. 44, в кружками обозначено положение полюсов трещин крыла S_1 после снятия погружения шарнира, а пунктиром и крестиками — траектории перемещения этих точек при снятии наклона крыла и их конечное положение. На рис. 44, г — то же для крыла S_2 . Промежуточные и конечные координаты структурных элементов приведены в табл. 25.

Таблица 25

Вид замера	Крылья складки	Залегание пород	Системы трещин			
			1	2	3	4
Полевые замеры	S_1	50/30	52/30	25/80	274/62	142/66
	S_2	177/40	178/41	207/77	77/81	344/70
Азимуты и углы падения после снятия погружения шарнира	S_1	18/25	19/24	22/78	251/75	149/53
	S_2	198/38	198/38	210/80	74/66	341/80
Азимуты и углы падения после снятия складчатости	S_1		Горизонтальная		23/53	157/70
	S_2		Горизонтальная		216/43	160/71
Азимуты простира- ния и углы па- дения после сня- тия складчато- сти	S_1				335/90	
	S_2				337/90	

Анализируя результаты корректировки, можно сделать вполне определенный вывод о доскладчатом залегании 3-й и 4-й систем трещин, поскольку по тому и другому крылу складки для каждой из этих систем

получены одинаковые координаты. По-видимому, вместе с послышной трещиноватостью эти системы обуславливали первичную параллелепипедальную отдельность пород.

Задача 52. Переход от географических координат к координатам пласта. Этот прием позволяет сопоставить ориентировку трещин, развитых на участках крыльев складки, имеющих самые различные элементы залегания [Очеретенко И. А., Трощенко В. В., 1978].

Хорошим примером исследований этого рода является работа Л. Д. Кноринга (1968), посвященная выявлению связи направлений трещин с элементами тектонических структур. Автором изучено 6 локальных поднятий, расположенных в геотектонических областях разного типа. Для проверки точки зрения о том, что трещины связаны с плоскостью напластования, было проанализировано 834 структурных диаграммы. Все они были переведены в систему координат пласта, ось X которой лежит в плоскости пласта и направлена по его падению, ось Y совпадает с линией простирания пласта и направлена вправо от положительного направления оси X , ось Z перпендикулярна поверхности напластования и направлена вверх [Кноринг Л. Д., 1968].

Такое преобразование позволило представить в наглядной форме огромный материал и показать, что все системы трещин, развитые на изученных локальных поднятиях, имеют жесткую пространственную связь с ориентировкой наслоения.

Переход от географических, координат к координатам пласта осуществляется просто. Все частные диаграммы, на которые нанесены полюса приведенных к напластованию трещин, надо скопировать на один лист восковки, предварительно совместив линию падения пласта, в котором замерялась трещиноватость, изображенная на каждой из этих диаграмм, с северным полюсом сетки. Таким образом, будут совмещены линии падения всех пластов, образовав ось X новой системы координат. По экватору диаграммы пройдет ось Y , совпадающая с простиранием пласта. В центре сетки будет выходить ось Z , перпендикулярная плоскости напластования.

В этой системе координат направления падения или простирания трещин отсчитываются от линии падения

пласта по ходу часовой стрелки подобно географическому азимуту, а двугранный угол между плоскостью пласта и данной плоскостью определит «угол падения» последней, но уже не относительно горизонтальной плоскости, как в географических координатах, а относительно напластования.

То же самое надо сделать со всеми другими диаграммами, составленными по другим выходам таких же по литологическому составу пород, залегание которых в различных точках может быть самым разнообразным. Скопированные на один лист, частные диаграммы составят одну обобщенную диаграмму в координатах пласта.

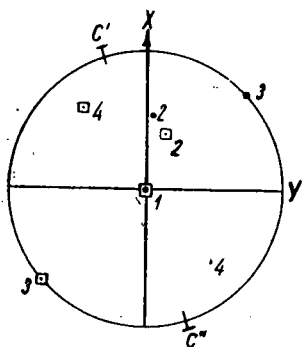


Рис. 45. Переход от географических координат к координатам пласта. Диаграмма построена сложением двух диаграмм (по данным табл. 25): одна для крыла складки S_1 (точки), вторая — для крыла S_2 (квадратики). Линии падения обоих крыльев совмещены с северной половиной центрального меридиана сетки (точка X). C' и C'' — риски «север» для частных диаграмм S_1 и S_2 соответственно

На рис. 45 показана диаграмма трещиноватости пород, изученных в противоположных крыльях антиклинали с погружающимся шарниром (см. задачу 51 и табл. 25). Системы трещин 3 и 4, которые в предыдущей задаче были определены как доскладчатые, на этой сводной диаграмме отчетливо выступают как диагональные относительно простирания и падения пласта. Система 2 имеет примерно такое же простирание, как пласт, и угол падения относительно пласта $45-55^\circ$. Эти трещины приблизительно параллельны осевой плоскости складки. Без перехода к координатам пласта сущность трещин оставалась бы менее ясной.

В упоминавшемся выше исследовании И. Д. Кноринг дал истолкование многим трещинным системам, выделив две системы трещин отрыва, одна из которых параллельна плоскости XZ , другая — плоскости YZ ;

две пары сопряженных систем трещин скалывания, перпендикулярных плоскости XY проходящих через ось Z и попарно симметрично расположенных относительно осей X и Y ; пару сопряженных систем трещин скалывания, перпендикулярных плоскости YZ , проходящих через ось Y , причем ось Z является биссектрисой угла между ними. Ясно, что без применения данной методики выяснить механический тип всех этих трещин было бы невозможно.

2. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОСЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ТРЕЩИНАМ

Графический способ реконструкции осей напряжений по сопряженным системам трещин предложен М. В. Гзовским (1954, 1975) и А. Е. Михайловым (1956). Ниже на конкретном примере приводится описание методики определения осей главных нормальных напряжений с использованием сетки Вульфа в обычной общепринятой ориентировке (М. В. Гзовским применялась иная ориентировка и иная градуировка сетки).

Задача 53. *Определение осей главных нормальных напряжений.* Дано три системы трещин: 1) азимут падения 135° , угол падения 45° ; 2) азимут падения 220° , угол падения 60° ; 3) азимут падения 10° , угол падения 20° . Зная положение квадранта сжатия и квадранта растяжения, определить ориентировку и наименование осей главных нормальных напряжений.

Наносим на кальку дуги больших кругов, отвечающие трем системам трещин (рис. 46, а). Точки пересечения проекций больших кругов соединяем с центром диаграммы. Концы дуг соединяем диаметрами (линиями простиранья) с таким расчетом, чтобы показать взаимное перекрытие плоскостей, проходящих через центр диаграммы (рис. 46, б). Для большей наглядности эти плоскости можно покрыть штриховкой (рис. 46, в).

Выбрав две плоскости, которые можно было бы считать взаимосвязанными сопряженными поверхностями скалывания (что устанавливается по данным полевых исследований), линию их пересечения будем назы-

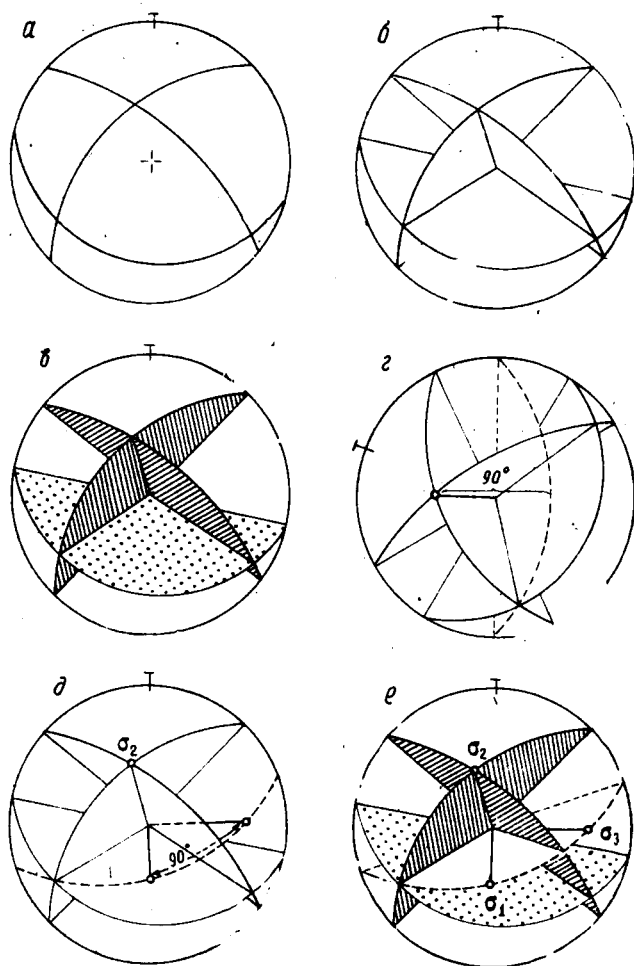


Рис. 46. Реконструкция осей главных нормальных напряжений по трещинам (по М. В. Гзовскому, с изменениями): *a–e* — стадии реконструкции

вать средней осью главных нормальных напряжений σ_2 .

Поворотом кальки выводим точку σ_2 на экватор и, отсчитав от нее (через центр сетки) 90° , проводим проекцию большого круга, который представляет плоскость, перпендикулярную к средней оси. В этой плоскости лежат остальные две оси напряжения (рис. 46, г). Определяем их положение, разделив пополам углы между рассматриваемыми двумя плоскостями скальвания (рис. 46, д).

Учитывая данные полевых наблюдений о направлении перемещения по этим плоскостям, (т. е. о квадранте сжатия и квадранте растяжения), устанавливаем, какая из осей является осью главных растягивающих нормальных напряжений (σ_1) и какая — главных сжимающих нормальных напряжений (σ_3). Определяем элементы залегания (азимут погружения и угол погружения) каждой оси (рис. 46, е).

В данном примере оси имеют следующую ориентировку: σ_1 — азимут погружения 3° , угол погружения 47° ; σ_2 — азимут погружения 162° , угол погружения 42° ; σ_3 — азимут погружения 273° , угол погружения 22° .

Приведенный графический метод позволяет установить наименование и ориентировку осей главных нормальных напряжений лишь в том случае, если сопряженность систем трещин, а также местоположение квадрантов сжатия и растяжения были установлены в поле с последующим графическим анализом данных полевых наблюдений.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ СИСТЕМ ТРЕЩИН

При выяснении вопроса о направлении движения блоков по трещинам, о сопряженности трещин Л. Д. Кноринг (1969) использовал данные по ориентировке борозд скольжения, которые затем обрабатывались на стереографической сетке.

Борозды скольжения замерялись двумя способами — компасом (азимут и угол погружения) и транспортиром (угол склонения).

Обработка проводилась исходя из следующих соображений. Две сопряженные трещины должны характеризоваться тем, что борозды на них будут перпендикуляр-

ны к линии их пересечения. Следовательно, чтобы найти систему, сопряженную с данной конкретной системой, необходимо из всего множества систем трещин, проходящих через линию, лежащую в плоскости рассматриваемой трещины и перпендикулярную к направлению борозд, выбрать ту, направление борозд которой перпендикулярно к линии пересечения этой системы с рассматриваемой.

Работа на сетке Вульфа складывается из следующих операций:

1. Наносим на сетку полюс и циклограмму трещины, на которой измерена ориентировка борозды скольжения.

2. Наносим проекцию борозды скольжения по замерам, выполненным двумя способами, и находим среднее положение этой проекции.

3. Через полюс трещины и проекцию борозды проводим дугу большого круга. Эта дуга будет представлять собой геометрическое место точек, являющихся полюсами трещин, могущих быть сопряженными с данной.

4. В результате проведения аналогичных построений для трещин, лежащих на полученной дуге, из всей их совокупности отбирается система, сопряженная с первоначальной [Кноринг Л. Д., 1969, с. 36].

Задача 54. *Выбрать сопряженную пару трещин из следующей таблицы полевых замеров (табл. 26).*

Т а б л и ц а

Системы трещин	Залегание трещин		Ориентировка штрихов скольжен			
	Азимут падения	Угол падения	Азимут погружения	Угол погружения	Угол скло-нения	На-пра-вен
1	308	32	357	25	49	ССЗ
2	300	68				
3	68	76				
4	210	20				
5	252	72	320	50		
6	75	65				
7	180	52	163	50		

1. Наносим на сетку Вульфа полюса всех систем трещин (рис. 47, а).

2. Выбираем систему трещин, на которой штрихи скольжения выражены наиболее отчетливо и потому замерены с наибольшей точностью. В данном случае

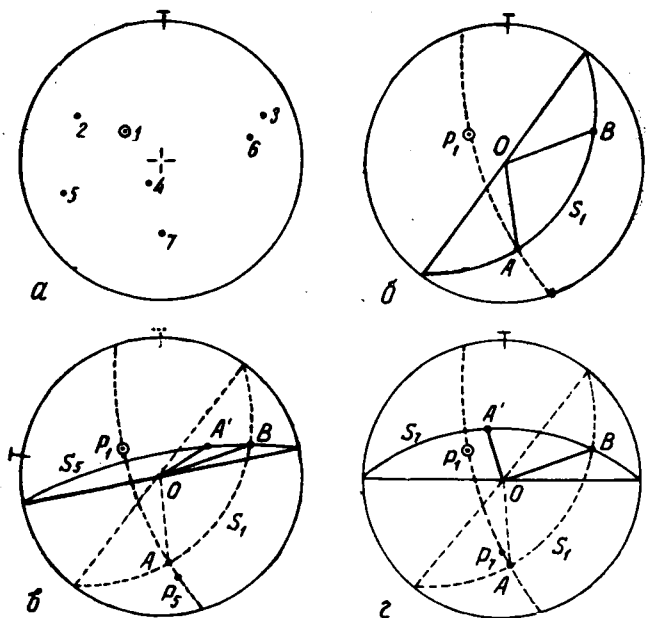


Рис. 47. Последовательность определения сопряженных систем трещин:

а — проекция полюсов семи систем трещин; б — стереограмма системы трещин S_1 ; OA — штрихи скольжения; OB — линия скрещения трещин S_1 с неизвестной сопряженной системой; пунктирная дуга — геометрическое место полюсов возможных сопряженных систем; в — стереограмма систем трещин S_1 и S_5 ; OA' — штрихи скольжения в плоскости S_5 ; г — стереограмма систем трещин S_1 и S_7 ; OA' — штрихи скольжения в сопряженной с S_1 плоскости S_7

это будет 1-я система. Наносим на сетку циклограмму и полюс 1-й системы (S_1), а также проекцию борозд скольжения, замеренных двумя способами (это построение надо сделать на другом листке восковки, рис. 47, б). В рассматриваемом примере оба замера

спроектировались в одну точку, попавшую, как и предполагается при точных замерах, на циклограмму S_1 . Отрезок OA есть проекция штрихов скольжения.

3. Отсчитываем по дуге S_1 от точки A 90° и ставим точку B . Отрезок OB есть линия скрещения данной и сопряженной с ней систем трещин.

4. Проводим дугу большого круга через точку A и полюс системы трещин S_1 (точку P_1 на рис. 47, б). Эта дуга есть геометрическое место полюсов плоскостей, сопряженных с системой S_1 .

5. Накладываем первую восковку (рис. 47, а) на вторую и, вращая ее, совмещаем с дугой AP_1 полюса всех систем трещин поочередно. Задача состоит в том, чтобы из всех этих систем выбрать сопряженную с первой. На трещинах 2-й, 3-й, 4-й и 6-й систем штрихи скольжения не отмечены, поэтому о них ничего сказать нельзя. Остается сделать выбор между 5-й и 7-й системами (S_5 , S_7).

6. Наносим на отдельный листок восковки циклограмму и полюс системы S_5 , накладываем ее на рис. 47, б, вращением верхней восковки выводим полюс на дугу AP_1 . При этом циклограмма пройдет через точку B , а проекция штрихов скольжения, замеренных в 5-й системе трещин, примет ориентировку OA' (рис. 47, в). Острый угол между линией скрещения OB и штрихами скольжения OA' свидетельствует о том, что система S_5 не может быть сопряженной с S_1 .

7. Выполняем такое же построение для системы S_7 (рис. 57, г). В данном случае штрихи скольжения OA' составляют с линией скрещения OB угол 90° , следовательно, системы S_1 и S_7 являются сопряженными. Линия их скрещения погружается по азимуту 254° под углом 20° .

Глава VII

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Существует ряд классификаций разрывных нарушений как морфологического, так и генетического характера [Бауман В. И., 1907; Соболевский П. К., 1925; 1932; Молчанов И. А., 1935, 1939; Усов М. А., 1940; Белицкий А. А., 1953; Гзовский М. В., 1954; Кушнарев И. П., 1960, 1977]. Поскольку в данном разделе под изучением дизъюнктивных нарушений имеются в виду только те задачи, которые могут быть решены с помощью сетки Вульфа, т. е. задачи геометрического характера, наиболее подходящей для наших целей является классификация, предложенная П. К. Соболевским (1932) и И. А. Молчановым (1935, 1939). Основным признаком, положенным в ее основу, является относительное истинное перемещение блоков пород в плоскости дизъюнктива.

На блок-диаграмме (рис. 48, а) вектор R представляет собой амплитуду перемещения точки O висячего бока разлома. Эта амплитуда может быть разложена на горизонтальную (λ) и вертикальную в плоскости сместителя (H_1) составляющие. Направление линии перемещения в плоскости сместителя характеризуется углом β между вектором R (штрихами, бороздами скольжения) и линией простирания сместителя, считая от последней до R против хода часовой стрелки.

Согласно этой классификации все разнообразие нарушений сводится к взбросам, сбросам, сдвигам и комбинациям последних с двумя первыми (рис. 48, а).

И. А. Молчанов различает положительные (угол β от 0 до 90° и от 270 до 360°) и отрицательные (угол β больше 90, но меньше 270°) сдвиги, взбросо-сдвиги и сбросо-сдвиги.

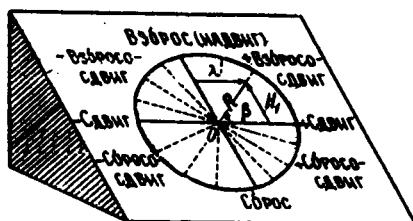


Рис. 48. Классификация разрывных нарушений (по И. А. Молчанову, 1935)

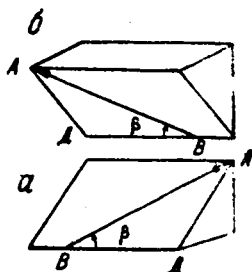


Рис. 49. Направление отсчета угла склонения штрихов скольжения в лежачем (а) и висячем (б) боках разрывного нарушения (по А. А. Белицкому, 1952).

При полевом изучении разрывных нарушений обычно определяются: 1) ориентировка плоскости сместителя; 2) ориентировка линии перемещения в плоскости сместителя; 3) амплитуда перемещения.

Наиболее трудной задачей, требующей тщательного изучения геологического строения прилегающих к разрывному нарушению участков, является определение амплитуды перемещения. Для решения ее необходимо наличие каких-либо характерных геологических элементов (маркирующих горизонтов, контактов интрузивов, даек, жил и т. д.), которые прослеживаются как в висячем, так и в лежачем боках. Эту задачу удастся решить не всегда.

Проще определяется ориентировка линии перемещения. Она может быть определена по штрихам и бороздам скольжения, мелкой волнистости поверхности разрыва, по оптической ориентировке минералов в тектонитах, возникших вследствие перемещений в плоскости разрыва, по ориентировке складок волочения в тектонических глинах трения, по смещению характерных точек висячего и лежачего блоков, по подво-

ротам пластов вблизи разрыва, по ориентировке оперяющих дизъюнктив трещин отрыва, трещин скалывания и мелких зон дробления [Кушнарев И. П., 1960].

Ценным структурным элементом являются штрихи и борозды скольжения. По ним удастся определить не только линию скольжения, но часто и направление скольжения блоков, разделенных дизъюнктивом [Усов М. А., 1940; Белицкий А. А., 1953]. Методика определения описана почти в каждом пособии по структурной геологии. Так, М. А. Усов (1940, с. 67) отмечает: «... если проводить ладонью по направлению штрихов и борозд, а также более грубых знаков раздавливания или выдергивания отдельных кусков породы, то в одном направлении поверхность сместителя кажется гладкой, а в другом направлении шероховатой. В направлении шероховатости и было относительное перемещение рассматриваемого бока сместителя или в обратном направлении — противоположного бока, ибо всякая борозда начинается с резкого и тонкого углубления, которое проводится острием того или иного объекта, в последующем раздавливаемого, с соответствующим выполаживанием и расширением такой метки».

Изучая штрихи скольжения, надо помнить, что они нередко характеризуют лишь самые последние подвижки по разлому, подновлявшемуся неоднократно. Кроме того, необходимо различать истинные и ложные штрихи скольжения [Елисеев Н. А., 1953], а также и то обстоятельство, что изложенное выше правило справедливо, по-видимому, не всегда. Лабораторными опытами на мраморах было установлено, что подвижки происходили в направлениях, обратных тем, которые предполагаются этим правилом [Paterson M. S., 1958; Tjia H. D., 1964]. Аналогичное отклонение от правила описано В. И. Громиным (1970), В. В. Ружичем и Г. В. Рязановым (1977), однако исчерпывающего объяснения этой аномалии, по существу, не дано.

При полевом изучении штрихов и борозд скольжения А. А. Белицкий рекомендует придерживаться следующего правила. Если наблюдатель находится в виссячем крыле разрывного нарушения (рис. 49, а), нужно измерить угол β справа налево, против хода часовой стрелки от линии простираня сместителя до

штриха. Если наблюдатель находится в лежащем крыле (рис. 49, б), то нужно замерять угол β слева направо, по ходу часовой стрелки. Придерживаясь этого правила, независимо от того, находится ли наблюдатель висячем или лежащем крыльях разрыва, он будет замерять один и тот же угол. Угол замеряется транспортом на поверхности сместителя в нескольких местах, затем берется его среднее значение [Белицкий А. А., 1953, с. 50].

Методические указания, относящиеся к анализу перемещений по разломам, имеются в ряде работ [Молчанов И. А., 1935, 1939; Белицкий А. А., 1953; Кушнарев И. П., 1960, 1977]. Рассматриваемые ниже геометрические построения наглядно показывают, какой эффект можно извлечь из элементарных полевых замеров, если применить стереографическую проекцию.

2. АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ВЗБРОСО-СДВИГА

Между элементами залегания линий скольжения (штрихов, борозд скольжения) и элементами залегания сместителя, а также их проекциями на горизонтальную и вертикальную плоскости существует четкая зависимость [Кушнарев И. П., 1960, с. 187].

Пусть на блок-диаграмме (рис. 50, а) $OCDE$ — плоскость нарушения; OD — линия скольжения. Угол α есть угол падения плоскости сместителя; β — угол между простираем разлома CD и линией скольжения OD ; угол γ — проекция угла β на горизонтальную плоскость; угол ω есть угол наклона линии скольжения OD к горизонту, угол ϕ есть проекция углов β и ω на вертикальную плоскость $ABCD$.

Если отрезок $OD = R_1$ есть, истинная амплитуда косого взбросо-сдвигового перемещения в плоскости сместителя, то $OF = \lambda$ есть сдвиговая составляющая; $OC = H_1$ — взбросовая составляющая, наклонная амплитуда взброса; $BC = H$ — вертикальная амплитуда взбросового перемещения, равная проекции H_1 на вертикальную плоскость, параллельную простираению

смещителя CD ; R и R_2 есть проекции R_1 на горизонтальную и вертикальную плоскости соответственно.

Векторные и угловые величины связаны между собой простыми тригонометрическими зависимостями

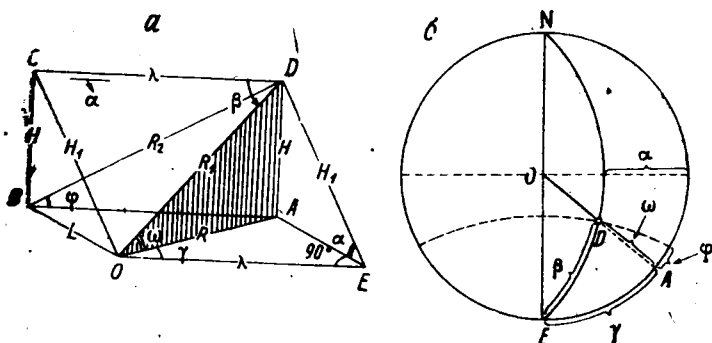


Рис. 50. Соотношения между различными элементами взбро-со-сдвига: а — блок-диаграмма; б — стереограмма

и могут быть определены с помощью следующих формул:

$$\sin \omega = \sin \alpha \cdot \sin \beta; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \alpha; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \sin \omega : \cos \beta; \quad (3)$$

$$\sin \gamma = \operatorname{tg} \omega : \operatorname{tg} \alpha; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \gamma; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha; \quad (6)$$

$$R = R_1 \cdot \cos \omega; \quad (7)$$

$$L = R \cdot \sin \gamma = H : \operatorname{tg} \alpha; \quad (8,9)$$

$$H = R \cdot \operatorname{tg} \omega = R_1 \cdot \sin \omega = L \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (10;11;12)$$

$$H_1 = H : \sin \alpha = \lambda \operatorname{tg} \beta. \quad (13;14)$$

Если нет необходимости производить точные расчеты, особенно когда исходные данные являются приближенными, все эти величины могут быть определены графически, путем ортогонального проектирования [Кушнарев И. П., 1960, с. 191]. Однако проще и быстрее угло-

вые величины определяются с помощью сетки Вульфа. Точность при этом оказывается вполне удовлетворительной.

Как показано на рис. 50, 6, зная залегание плоскости сместителя и один из замеренных в поле элементов залегания линии скольжения (азимут погружения, угол склонения β , угол ω или угол γ), все остальные углы легко определить на стереографической сетке.

Задача 55. Даны залегание сместителя (азимут падения и угол падения) и один из элементов залегания линии скольжения. Определить недостающие угловые величины (табл. 27).

Таблица 27

Упражнения к задаче 55

№ п/п	Залегание сместителя		Азимут падения линии скольжения	β	γ	ω	φ
	Азимут падения	Угол падения					
1	280	50	225				
2	65	48		30			
3	125	76			44		
4	224	62	297				
5	268	30	346				
6	330	56		42			
7	100	72			34		
8	140	68	47				

Задача 56. Определение соотношения между горизонтальной и вертикальной в плоскости сместителя составляющими разрывного нарушения. Дано залегание плоскости взбросо-сдвига — азимут падения 72° , угол падения 64° . Наклон штрихов скольжения к горизонту $\omega = 20^\circ$, ЮВ. Определить соотношение между горизонтальной и вертикальной (в плоскости сместителя) составляющими разрывного нарушения.

Наносим на кальку дугу большого круга, отвечающего ориентировке плоскости сместителя. По среднему меридиану от южного полюса до дуги большого круга (до сместителя) отсчитываем угол $\omega = AD = 20^\circ$.

(рис. 50, б) и наносим точку D (проекцию линии скольжения OD). При этом риска должна находиться в юго-восточном квадранте от 90 до 180°), поскольку по условию штрихи погружаются на юго-восток.

Совмещаем дугу CDE с меридианом сетки и определяем угол $\beta = 23^\circ$ между линией скольжения и простиранием сместителя.

Если в формуле

$$H_1 = \lambda \operatorname{tg} \beta \quad (14)$$

принять $\lambda = 1$, то $H_1 = \operatorname{tg} \beta$.

По таблице натуральных тригонометрических величин находим $\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} 23^\circ = 0,394 \approx 0,4$.

Таким образом, искомое соотношение между горизонтальной и вертикальной в плоскости сместителя составляющими $\lambda : H_1 = 1 : 0,4$.

3. ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПЛОСКОСТИ СМЕСТИТЕЛЯ

При изучении характера перемещений в плоскости разрывного нарушения большую помощь оказывает представление об эллипсоиде деформации. Ряд связанных с этим вопросом задач легко решается графически с помощью сетки Вульфа.

Следует подчеркнуть, что графическим построениям обязательно должны предшествовать тщательные полевые наблюдения. Непосредственно в поле надо изучать не только ориентировку и особенности строения сместителя, но и сопряженные с ним системы трещиноватости и зоны дробления [Усов М. А., 1940; Рыбалов Б. А., 1955; Чернышев В. Ф., 1955; Кушнарев И. П., 1977].

О характере перемещения блоков пород по разрывному нарушению иногда можно судить по ориентировке оперяющих его трещин и зон дробления, генетически и пространственно связанных с формированием нарушения. Оперяющие трещины делятся на трещины скалывания (к этой же группе относятся и зоны дробления) и трещины отрыва, которые могут быть развиты совместно или порознь. Нередко на одних участках разрывного нарушения развиты главным образом трещины отрыва, на других — преимущественно трещины скалывания [Чернышев В. Ф., 1955].

Острый угол, образованный трещинами *отрыва* (р) и плоскостью сместителя, указывает направление смещения того блока, в котором эти трещины находятся, а острый угол, образованный трещинами *скалывания* (ск) и плоскостью сместителя, указывает направление относительного перемещения смежного блока (рис. 51).

В случае сброса оперяющие трещины скалывания имеют пологое, а трещины отрыва более крутое падение, в случае взброса — наоборот (см. рис. 51).

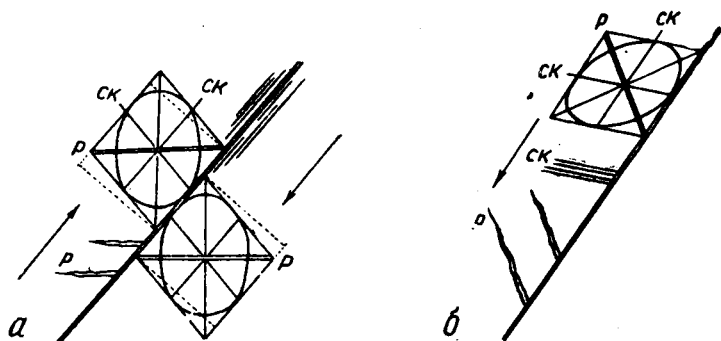


Рис. 51. Схематические разрезы, показывающие взаимоотношения между ориентировкой сместителя и оперяющими трещинами скалывания (ск) и отрыва (р) в случае взброса (а) и сброса (б)

Линии скольжения (штрихи, борозды) в плоскости сместителя располагаются перпендикулярно к следу пересечения (линии скрещения) плоскости сместителя с оперяющими трещинами скалывания и отрыва, возникшими во время перемещения по разрывному нарушению [Кушнарев И. П., 1960].

Отклонения от теоретической схемы, обнаруживаемые в результате полевых и лабораторных исследований, должны всегда привлекать внимание. Они обычно вызываются многостадийностью формирования разрывного нарушения: в одних случаях — с изменением плана деформации, в других — при том же самом общем плане, но с частными локальными отклонениями, обусловленными неравномерным перемещением соседних блоков одного и того же бока нарушения [Рыбаков Б. Л., 1955].

Задача 57. Определение линии скрещения сместителя с оперяющей трещиной и линии скольжения. Дано залегание разрывного нарушения (азимут падения 260° , угол падения 50°) и сопряженных с ним (оперяющих) трещин скалывания в породах висячего бока (азимут падения 280° , угол падения 30°). Определить: 1) ориентировку линии скрещения плоскости сместителя и трещин скалывания; 2) ориентировку линии скольжения в плоскости сместителя.

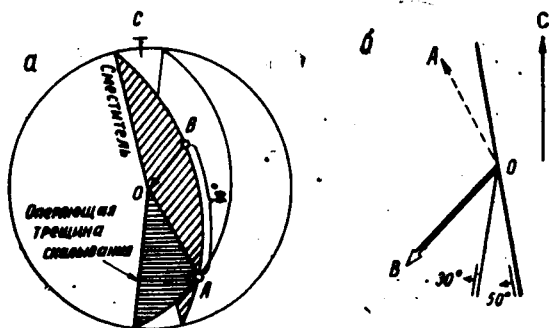


Рис. 52. Определение линии скрещения OA разрывного нарушения с оперяющими трещинами скалывания и линии скольжения BO : a — стереограмма (по И. П. Кушнареву, 1960); b — те же данные, изображенные в плане

Ориентировка линии скрещения дизъюнктива и трещин скалывания определяется в соответствии с задачей 27.

При решении второй половины задачи необходимо учесть то обстоятельство, что линия скольжения в плоскости сместителя располагается под прямым углом к линии пересечения (скрещения) сместителя и оперяющих трещин. Следовательно, от точки A (рис. 52, a), характеризующей положение линии скрещения AO , надо вдоль дуги большого круга, изображения 333° , угол погружения 19° ; линия скольжения жающей плоскость сместителя, отсчитать 90° и поставить точку B . Отрезок BO представляет искомую линию скольжения.

В данном примере линия AO имеет азимут погру-

BO — соответственно 223 и 44° . Перемещение блока, в котором замерены трещины скалывания, показано стрелкой, направленной навстречу острому углу и не перпендикулярно, а под острым углом к линии простирання сместителя, т. е. разрывное нарушение относится к типу сбросо-сдвига.

Те же самые данные в плане показаны на рис. 52, б, где жирная линия — оперяющая трещина скалывания; AO — линия скрещения разрывного нарушения и трещины скалывания, BO — линия скольжения в плоскости сместителя, перпендикулярная линии AO (угол AOB в плоскости сместителя равен 90°).

Задача 58. [Рыжов П. А., 1951]. По элементам залегания пласта P (азимут падения 30° , угол падения 50°) и сместителя Q (азимут падения 110° , угол падения 54°) определить:

а) угол φ восстания (наклона) линии пересечения плоскостей и азимут ее восстающего направления;

б) угол t , который плоскость Q образует с отвесной плоскостью, проходящей через линию пересечения (скрещения) пласта и сместителя;

в) угол α между плоскостями P и Q .

Задача 59. *Определение угла вращения в плоскости шарнирного сброса* [Bucher W. H., 1944, р. 207, 212]. На геологической карте (рис. 53, а) изображены пласты, пересеченные шарнирным сбросом. Залегание пород лежачего крыла: азимут падения 316° , угол падения 20° ; висячего крыла: азимут падения 285° , угол падения 16° . Залегание сместителя сброса: азимут падения 100° , угол падения 60° .

Определить угол вращения в плоскости шарнирного сброса, т. е. вокруг оси, перпендикулярной сместителю.

Решение задачи выполняется в несколько приемов:

1. Наносим на восковку (рис. 53, б) сместитель FF и залегание пород лежачего и висячего боков в виде циклограмм (LM и PQ).

2. Поворачиваем стереограмму вокруг линии простиранья сместителя FF так, чтобы плоскость сместителя заняла горизонтальное положение. При этом дуги больших кругов LM и PQ переместятся в положение $L'M'$ и $P'Q'$ (рис. 53, в).

3. Искомый угол вращения определяем по дуге $M'Q'$. В данном случае висячее крыло повернуто против хода часовой стрелки на угол 10° .

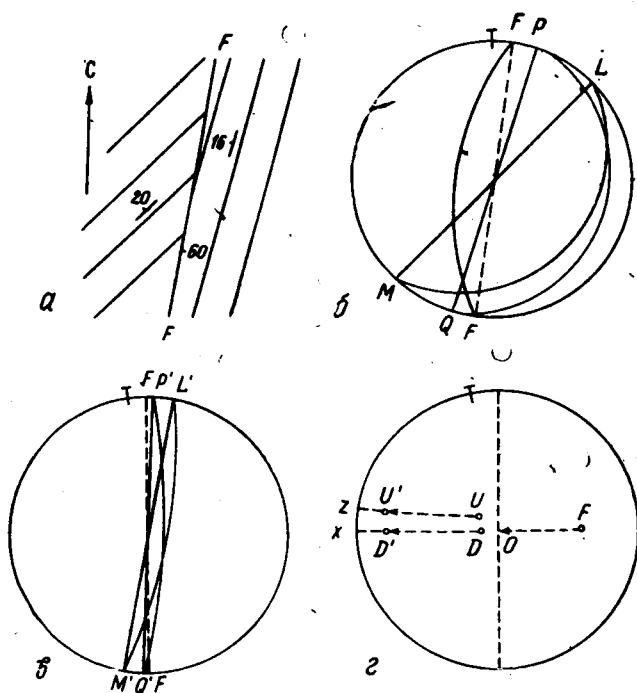


Рис. 53. Определение угла вращения в плоскости шарнирного сброса: а — схематическая геологическая карта; FF' — сброс; б, в — стереограммы, показывающие стадии решения задачи; г — то же на диаграмме полюсов

Изложенный способ определения приведен только ради наглядности. Практически целесообразно наносить не циклограммы, а полюса плоскостей. На рис. 53, г F — полюс плоскости сместителя; D и U — полюса плоскостей напластования висячего и лежащего боков соответственно. При повороте плоскости сместителя до горизонтального положения эти точки перемещаются в направлении стрелок. Угол шарнирного вращения измеряется дугой XZ .

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ВЕЛИЧИНЫ СМЕЩЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ РАЗРЫВНОГО НАРУШЕНИЯ

Рассмотренные выше примеры показывают, что азимутальные проекции позволяют быстро решать разнообразные задачи, связанные с угловыми соотношениями между плоскостными и линейными структурными элементами разрывных нарушений. Что же касается линейных размеров, то они определяются с помощью других приемов (ортогонального, аксонометрического и других видов проектирования). Нередко эти приемы весьма сложны, трудоемки и недостаточно практичны. Более удобный путь решения таких задач состоит в комбинированном использовании элементов ортогонального и стереографического проектирования. На стереосетке определяются угловые величины, а на простейших ортогональных проекциях, выполненных в приемлемом масштабе, — линейные размеры, как это показано в приводимых ниже примерах.

Задача 60. *Определение величины смещения пласта в плоскости разрывного нарушения (полной амплитуды сброса) [Buchner W. H., 1944, p. 197].* На геологической карте показано залегание пласта MM' , смещающего этот пласт сброса FF' , и горизонтальная проекция линии скольжения OS (рис. 54, а). Определить амплитуду смещения и координаты линии скольжения.

Наносим на сетку Вульфа проекцию пласта, сместителя и штрихов скольжения (MPM' , FPF' и SO соответственно, рис. 54, б).

Пространственное положение линии скольжения определяется углом погружения SS' , измеряемым в вертикальной плоскости $S'SO$, и азимутом погружения $NF'M'S'FMS''$ (измеряется горным компасом) или углом склонения $F'S = \rho$, измеряемым транспортиром в плоскости сместителя.

Направления линии смещения $S'O$ и линии скрещения PO переносим на карту в виде пунктирных линий $A'S$ и AS соответственно (рис. 54, в). Очевидно, что в плоскости сместителя смещение $A'S$ определяется тремя величинами: 1) горизонтальной составляющей (горизонтальным разобшением) AA' , которая берется непосредственно с карты; 2) углом склонения линии скольжения (ρ) и 3) углом склонения линии скрещения (α).

Углы ρ и α отсчитываются в плоскости сместителя от линии простирания последнего; на стереограмме они определяются дугами $F'S$ и FP соответственно (рис. 54, б).

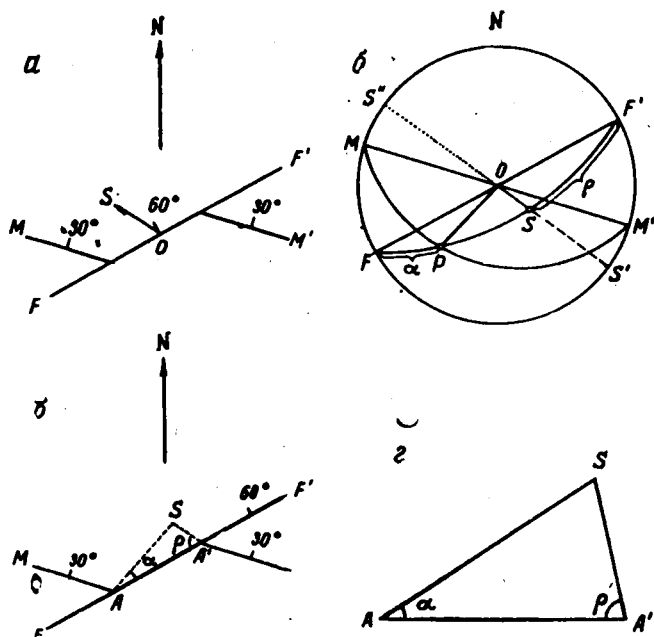


Рис. 54. Определение величины смещения пласта в плоскости сместителя: а — геологическая карта; FF' — сброс; б — стереограмма, с помощью которой определяются углы α и ρ ; в, г — вспомогательные ортогональные проекции

По величине разобращения AA' (в метрах) и углам ρ и α строим в произвольном масштабе, определяемом желательной степенью точности, треугольник $AA'S$ и измеряем его сторону $A'S$ (рис. 54, г). $A'S$ есть искомая величина смещения по сбросу в плоскости сместителя (полная амплитуда сброса).

Задача 61. *Определение направления и величины смещения в плоскости сброса (полной амплитуды сброса) по ориентировке двух пересекающихся жил [Bucher W. H., 1944, p. 198].* На карте показана ориен-

тировка двух пересекающихся жил и смещающего их сброса (рис. 55, а). Найти величину смещения в метрах (полную амплитуду сброса), направление линии смещения (азимут погружения), угол погружения ее, замеряемый в вертикальной плоскости, проходящей через линию смещения, и угол склонения последней, замеряемый в плоскости сброса.

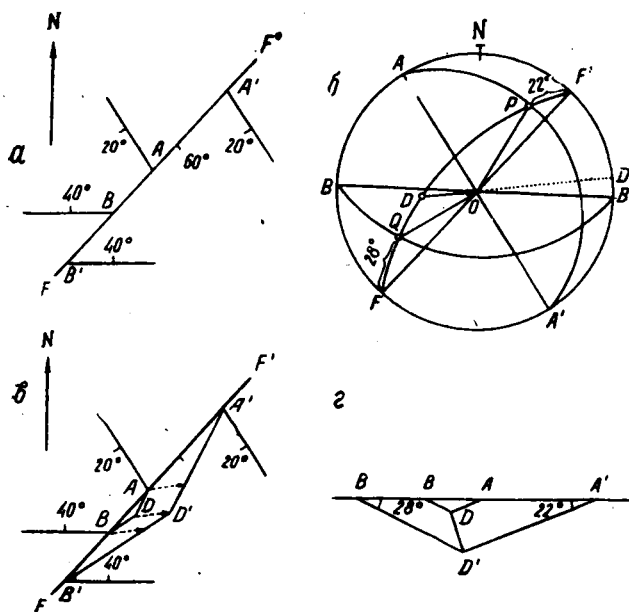


Рис. 55. Определение направления и величины смещения в плоскости сброса двух пересекающихся жил: а — схематическая геологическая карта: FF' — сброс; б — стереограмма для определения углов PF' и FQ ; в, г — вспомогательные ортогональные проекции

Наносим на сетку Вульфа проекцию плоскостей жил и сместителя — APA' , BQB' и $FQPF'$ соответственно (рис. 55, б). Получаем линии пересечения жил и сместителя OP и OQ . Выносим горизонтальные проекции линий пересечения OP и OQ на карту (AD и $A'D'$, BD и $B'D'$ на рис. 55, в). На рис. 55, в D есть точка пересечения двух жил на лежащем боку, а D' — на висячем боку сброса.

Так как точки D и D' первоначально совпадали, DD' есть горизонтальная проекция линии смещения (горизонтальная амплитуда или зияние сброса). На рис. 55, в определяем с помощью транспорта направление (азимут) линии смещения DD' , наносим эту линию на стереограмму (рис. 55, б, линия DO) и определяем ее координаты — азимут погружения, угол погружения и, если требуется, угол склонения (дуга FQD).

Длина линии смещения (полная амплитуда сброса) определяется угловым построением в ортогональной проекции, показанным на рис. 55, г в плоскости сместителя. Углы 28° и 22° получены на стереограмме рис. 55, б (FQ и PF' соответственно). Рис. 55, г построен в масштабе карты. DD'' есть искомая полная амплитуда сброса.

5. АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ РАЗРЫВНЫМ НАРУШЕНИЕМ И ОПЕРЯЮЩИМИ ТРЕЩИНАМИ

Угловые соотношения между плоскостью сместителя и направлением перемещения по нему, с одной стороны, и оперяющими трещинами отрыва и скалывания — с другой, могут меняться в зависимости от физико-механических свойств пересекаемых разрывным нарушением горных пород, а также условий и способа деформации. Физико-механические свойства горных пород определяются рядом факторов: составом пород, температурой и давлением (условиями глубинности), количеством и свойствами межпоровых растворов, характером предшествующих деформаций и т. д.

Механизм образования сопряженных с разрывным нарушением трещин отрыва и скалывания может быть объяснен исходя из представлений о деформации сдвига. Эти системы трещин закладываются после достижения горной породой предела упругости, но еще до развития пластической деформации.

Известно, что в горных породах упругое удлинение не превышает 1%. Наибольшая величина скашивания прямых углов при таких удлинениях не превышает 1° . Следовательно, эллипсод упругой составляющей де-

формации по форме почти не отличается от сферы [Гзовский М. В., 1975, с. 143].

Учитывая эти данные, можно при анализе угловых соотношений между разрывным нарушением и оперяющими трещинами, если отсутствуют признаки заметного участия пластической деформации, использовать очень удобную и простую модель ромба деформации, которая практически не будет отличаться от более точной модели параллелограмма деформации [Данилович В. Н., 1953].

Рассматриваемые ниже примеры геометрического анализа относятся только к инициальным, по существу, идеализированным трещинным системам в момент их заложения. Пластическая деформация, продолжающаяся после возникновения трещин, может достигать значительной величины, измеряемой десятками процентов. Отражающий ее эллипсоид будет обладать значительной удлиненностью. Оси эллипсоида пластической деформации могут отклоняться от положения осей эллипсоида упругой деформации на значительный угол, достигающий 20—25°. При этом модель ромба деформации становится непригодной. Методы геометрического анализа для таких случаев не разработаны.

Приводимые ниже приемы анализа могут оказаться полезными для выяснения степени отклонения ориентировки реальных оперяющих трещин от идеальной схемы. Этим путем, вероятно, можно получить дополнительную информацию, указывающую, хотя бы качественно, на интенсивность развития пластической деформации, протекавшей после заложения оперяющих трещинных систем и искажившей их первичную ориентировку.

Рассмотрим вариации угловых соотношений между сместителем разрывного нарушения и сопряженными с ним трещинами.

Пусть на разрезах (рис. 56) δ — угол между оперяющими трещинами отрыва (p) и плоскостью сместителя Q , а ε — угол между трещинами скалывания ($ск$) и плоскостью сместителя. Нетрудно заметить, как в случае сброса, так и в случае взброса

$$\delta = 90 - \varepsilon/2; \quad (15)$$

$$\varepsilon = 180 - 2\delta. \quad (16)$$

Далее, если $\epsilon \rightarrow 90^\circ$, то $\delta \rightarrow 45^\circ$; если $\epsilon \rightarrow 0^\circ$, то $\delta \rightarrow 90^\circ$, т. е. величина угла ϵ уменьшается при увеличении угла δ .

Иными словами, в ходе деформации, а также в зависимости от физико-механических свойств пород двугранный угол ϵ между плоскостью нарушения и оперяющей плоскостью скалывания может меняться от прямого до острого. При этом двугранный угол δ между плоскостью нарушения и трещинами отрыва стремится к 90° .

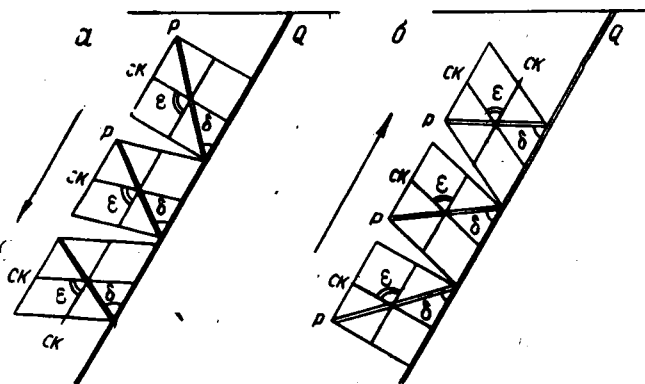


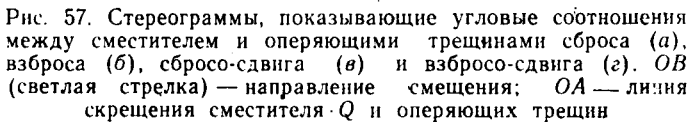
Рис. 56. Схема угловых соотношений между оперяющими трещинами скалывания (ск), отрыва (р) и сместителями сброса (а) и взброса (б)

Вершина острого угла δ указывает направление относительного перемещения того блока, в котором эти трещины находятся.

На стереографических проекциях (рис. 57) изображены четыре основных случая: а — сброс; б — взброс; в — сбросо-сдвиг; г — взбросо-сдвиг. На этих проекциях Q — плоскость сместителя; OB — направление смещения висячего крыла в плоскости Q ; OA (и AA) — линия скрещения плоскости Q и оперяющих трещин.

В случае сброса или взброса (рис. 57, а, б) линия смещения OB совпадает с линией падения (восстания) сместителя, а линия скрещения AA совпадает с линией простиранья сместителя, т. е. простиранье сместителя

120



В случае сбросо-сдвига и взбросо-сдвига (рис. 57, в, г) линия скрещения OA не совпадает с простираем сместителя, следовательно, с изменением направления и величины углов падения оперяющих трещин скалывания и отрыва меняется также их простираем. И в дан-

ном случае за начало отсчета углов δ и ϵ принята плоскость Q .

Учитывая изложенное, можно решать некоторые практические задачи, возникающие при изучении разрывных нарушений.

Задача 62. *Определение ориентировки сопряженных трещин скалывания.* При полевых исследованиях определено залегание взброса: азимут падения 290° , угол падения 60° . Штрихи скольжения ориентированы перпендикулярно линии простирания сместителя. Висячем крыле находится серия жил — минерализованных трещин отрыва (азимут падения 110° , угол падения 20°). Определить ориентировку сопряженных трещин скалывания.

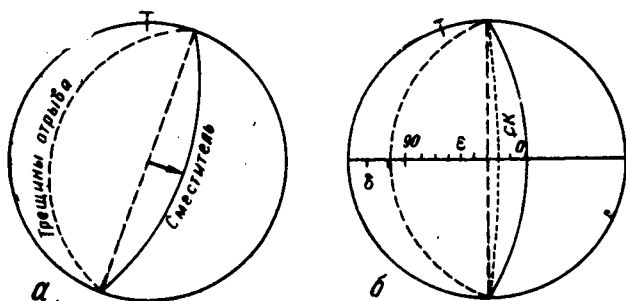


Рис. 58. Определение ориентировки трещин скалывания (ск) по ориентировке сместителя и трещины отрыва

Наносим на сетку плоскость взброса и плоскость трещин отрыва (рис. 58, а). Определяем двугранный угол между ними по шкале углов δ (угол $\delta = 80^\circ$). По формуле (16) определяем угол $\epsilon = 180^\circ - 160^\circ = 20^\circ$.

На шкале углов ϵ через точку, отвечающую углу 20° , проводим дугу большого круга и определяем ее координаты: азимут падения 290° , угол падения 80° (рис. 58, б).

Найденные координаты определяют положение искомым трещин скалывания. Если такие трещины в зоне разлома действительно наблюдаются, это будет служить дополнительным доказательством

в пользу того, что минерализованные трещины (жилы) являются трещинами отрыва, генетически связанными с данным разрывным нарушением. Надо иметь в виду, что трещины отрыва и трещины скалывания не всегда бывают развиты совместно и в равной степени [Чернышев В. Ф., 1955]. Нередко на участке, где хорошо

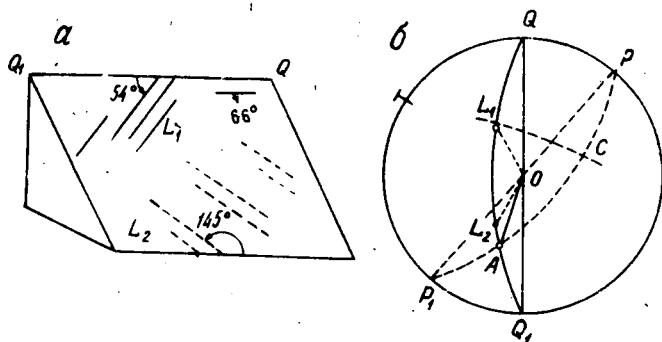


Рис. 59. Определение линии скольжения:
 QQ — сместитель; PP_1 — трещины отрыва; L_1 и L_2 — линейные знаки на поверхности сместителя

развиты трещины отрыва, трещины скалывания выражены слабо, и наоборот. Чтобы не пропустить их, надо исследовать все системы трещиноватости, развитые вблизи разрывного нарушения для сравнения их с системами трещиноватости, развитыми вдали и не связанными с формированием данного нарушения.

Задача 63. Определение линии скольжения. Дано залегание сместителя (азимут падения 150° , угол падения 66°), на поверхности которого в лежащем боку наблюдаются штрихи скольжения (угол склонения 54°) и примерно перпендикулярные им широкие пологие борозды (угол склонения 145°). Углы склонения замерены в соответствии с правилом, показанным на рис. 49 (рис. 59, а).

Определить направление, по которому происходили подвижки, обусловившие возникновение трещин отрыва, падающих по азимуту 10° под углом 58° .

Наносим на сетку (рис. 59, б) плоскость сместителя QQ_1 , оба направления линейности (штрихи L_1 и борозды L_2) и плоскость трещин отрыва PP_1 .

Угол между простиранием сместителя QQ_1 и штрихами отсчитывается против часовой стрелки (если наблюдатель находится, как в данном случае, в висячем боку), т. е. от Q к Q_1 . Местоположение точек L_1 и L_2 определяется дугами $QL_1 = 54^\circ$ и $QL_2 = 145^\circ$ (рис. 59, б).

От линии скрещения сместителя и трещин отрыва AO по дуге сместителя отсчитываем 90° и находим теоретическое положение линии скольжения, отвечающей данным трещинам отрыва (см. задачу 56). Найденная линия совпала (в пределах точности измерения) со штрихами L_1 , которые и представляют искомое направление смещения.

Условие задачи позволяет определить также и вектор перемещения. Проводим дугу, отстоящую от линии скрещения (от точки A) на 90° и по величине отрезка L_1C определяем двугранный угол δ между сместителем и трещинами отрыва. В данном случае, это — острый угол ($\delta = 68^\circ$). Его вершина указывает направление перемещения того блока, в котором располагаются трещины отрыва: висячий бок перемещался в направлении от точки L_1 к точке O , а лежащий — от точки O к точке L_1 . Нарушение представляет собой сбросо-сдвиг.

Способом, изложенным в задаче 55, можно оценить соотношение между горизонтальной (λ) и вертикальной в плоскости сместителя (H_1) составляющими. Если λ принята за единицу, то $H_1 = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} 54^\circ = 1,376 \approx 1,4$, т. е. $\lambda : H_1 = 1 : 1,4$, сбросовая составляющая примерно в полтора раза больше сдвиговой.

Задача 64. Определение вероятной ориентировки оперяющих трещин. Замерено залегание сместителя (азимут падения 290° , угол падения 50°) и штрихов скольжения. Угол склонения последних в лежащем боку разрывного нарушения равен 50° . Строение штрихов показывает, что висячий бок перемещался в юго-восточном направлении, т. е. нарушение является взбросо-сдвигом. В висячем крыле наблюдаются жилы — минерализованные трещины отрыва (азимут падения 180° , угол падения 42°).

Определить, являются ли данные трещины отрыва оперяющими относительно данного разлома и каково

вероятное залегание оперяющих трещин скалывания.

1. Наносим на кальку (рис. 60) плоскость сместителя Q , линию смещения OB и линию скрещения OA . Приняв точку A за полюс, проводим дугу большого круга, отстоящую от точки A на 90° , и намечаем на ней шкалы углов δ и ϵ (см. рис. 57, з). Наносим дугу, отвечающую залеганию трещин отрыва (двойная прерывистая линия). Эта дуга проходит через точку A , т. е.

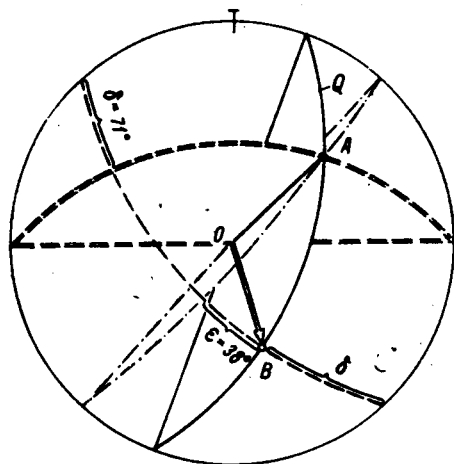


Рис. 60. Определение вероятной ориентировки оперяющих трещин, связанных с взбросо-сдвигом: Q — плоскость сместителя; светлая стрелка OB — линия скольжения; двойная прерывистая дуга — трещины отрыва висячего бока; штрих-пунктир — вероятная ориентировка трещин скалывания

трещина отрыва сопрягается с плоскостью нарушения по теоретически установленной линии скрещения OA . Вывод: трещины, выполненные жильным материалом, являются оперяющими по отношению к сместителю трещинами отрыва.

2. Определяем угол δ по соответствующей шкале ($\delta = 71^\circ$).

3. По формуле (16) находим угол $\epsilon = 180^\circ - 2\delta = 180^\circ - 142^\circ = 38^\circ$.

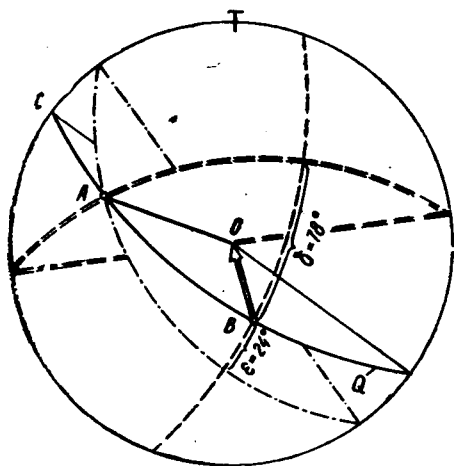
4. Через точку, отвечающую на шкале ϵ углу 38° , и точку A проводим дугу большого круга и определяем координаты соответствующей ей плоскости: азимут падения 313° , угол падения 82° . Найденные координаты определяют вероятное положение оперяющих трещин скалывания.

Задача 65. *Определение типа разрывного нарушения.* Дано залегание сместителя (азимут падения 35° ,

угол падения 62°) и наблюдаемых в висячем боку оперяющих трещин отрыва (азимут падения 172° , угол падения 50°).

Определить: 1) ориентировку линии скольжения; 2) двугранный угол между сместителем и трещинами отрыва (угол δ); 3) направление перемещения висячего бока (тип разрывного нарушения); 4) угол β между линией простиранния сместителя и линией скольжения; 5) ориентировку оперяющих трещин скалывания;

Рис. 61. Определение типа разрывного нарушения на основе анализа взаимоотношений сместителя и трещин отрыва. Обозначения как на рис. 60



6) соотношение между горизонтальной и вертикальной в плоскости сместителя составляющими нарушения.

Наносим на сетку Вульфа плоскость сместителя Q и плоскость трещин отрыва (двойная прерывистая линия, рис. 61). Отсчитываем по дуге сместителя от точки A 90° . Найденная точка B определит положение линии скольжения OB . Далее определяем:

1. Ориентировку линии скольжения: азимут погружения 342° , угол погружения относительно горизонтальной плоскости 48° (способ определения см. в задаче 56).

2. Приняв точку A за полюс, проводим дугу большого круга, отстоящую от точки A на 90° (тонкая прерывистая линия). Определяем двугранный угол между сместителем и трещинами отрыва ($\delta = 78^\circ$).

3. Направление перемещения всякого бока происходило в сторону вершины острого угла δ , т. е. от B к O ; нарушение представляет собой сбросо-сдвиг.

4. Угол β между линией простираения сместителя и линией скольжения отсчитываем по дуге CB ($\beta = 122^\circ$).

5. Определив угол $\epsilon = 180^\circ - 2\delta = 180^\circ - 156^\circ = 24^\circ$, находим на шкале углов ϵ отвечающую ему точку, выводим ее на один меридиан с точкой A и определяем координаты плоскости скалывания (азимут падения 55° , угол падения 42°).

6. Соотношение между горизонтальной и вертикальной в плоскости сместителя составляющими находим способом, рассмотренным в задаче 55.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 4

1. Дано залегание разрывного нарушения (азимут падения и угол падения) и ориентировка штрихов скольжения — азимут погружения и угол погружения (табл. 28). Определить:

Таблица 28

№ п/п	Залегание сместителя		Ориентировка линии скольжения	
	Азимут падения	Угол падения	Направление погружения	Угол погружения
1	320	42	СВ	22
2	334	72	СВ	45
3	334	72	ЮЗ	25
4	18	60	СЗ	46
5	250	76	ЮВ	23
6	210	68	ЮВ	52
7	32	48	СЗ	30
8	80	78	СВ	67
9	0	52	СЗ	43
10	140	76	ЮВ	40

1) азимут падения линии скольжения;

2) угол склонения линии скольжения (угол β);

3) угол γ (проекцию угла β на горизонтальную плоскость);

4) угол ϕ (проекцию угла β на вертикальную плоскость, параллельную линии простираания сместителя).

2. Дано залегание сместителя (азимут падения и угол падения) и наблюдаемых висячем боку оперяющих трещин скальвания (табл. 29). Определить:

1) ориентировку линии скольжения;

2) двугранный угол между сместителем и трещинами скальвания (угол ϵ);

3) тип разрывного нарушения (направление перемещения висячего бока);

4) угол β между линией простираания сместителя и линией скольжения (угол склонения линии скольжения);

5) ориентировку оперяющих трещин отрыва;

6) соотношение между горизонтальной и вертикальной в плоскости сместителя составляющими разрывного нарушения.

Таблица 29

№ п/п	Залегание сместителя		Залегание трещин скальвания	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут падения	Угол падения
1	304	70	336	80
2	72	66	62	50
3	50	58	26	30
4	60	80	29	30
5	226	76	196	40
6	30	76	0	34
7	162	64	318	72
8	56	75	210	60
9	226	67	194	33
10	30	68	177	70
11	45	82	262	60
12	225	78	2	82
13	195	75	64	64
14	30	62	354	80
15	358	42	153	86
16	212	66	202	80

3. Дано залегание сместителя разрывного нарушения и развитых в егоисячем боку оперяющих трещин отрыва (табл. 30).

Определить: 1) ориентировку линии скольжения; 2) двугранный угол между сместителем и трещинами отрыва (угол δ); 3) направление перемещенияисячего бока (тип разрывного нарушения); 4) угол склонения линии скольжения; 5) возможную ориентировку оперяющих трещин скальвания; 6) соотношение между горизонтальной и вертикальной в плоскости сместителя составляющими нарушения.

Т а б л и ц а 30

№ п/п	Залегание сместителя		Залегание трещин отрыва	
	Азимут падения	Угол падения	Азимут падения	Угол падения
1	320	68	90	69
2	110	72	179	66
3	210	52	337	67
4	280	58	341	49
5	26	72	105	63
6	162	52	288	67
7	158	58	220	49
8	315	40	182	89
9	220	60	51	49
10	38	80	198	49

4. Пачка осадочных пород, имеющая широтное простиранье и наклонное залегание, пересечена разрывным нарушением, падающим по азимуту 210° под углом 30° . Штрихи скольжения на поверхности сместителя имеют склонение на ЮЗ под углом 80° . Каково залегание слоистости осадочных пород, если пласт конгломерата пересекается разломом без горизонтального смещения? (Ответ: 38° на юг. Так как пласт не смещен в горизонтальной плоскости, движение по разлому должно быть параллельным линии пересечения сместителя со слоистостью).

Заклучение

Азимутальные проекции позволяют решать разнообразные задачи структурной геологии как в полевых, так и в лабораторных условиях. Основное назначение их состоит в определении угловых соотношений между плоскостными и линейными структурными элементами. В сочетании с приемами ортогонального проектирования можно определять также и некоторые линейные параметры геологических структур, например, амплитуду перемещения по разрывным нарушениям и пр. (см. задачи 60, 61).

Одной из наиболее распространенных практических задач, постоянно встречающихся при геологической съемке любого масштаба, является определение залегания плоскостных элементов (слонистости, сланцеватости, полосчатости пород, контактов геологических тел и т. п.). Хорошо известно, как трудно порой найти подходящий для замера горным компасом участок в обнажении или выработке с хорошо видимым плоскостным элементом. Чаще всего в разных точках обнажения видны только следы этой плоскости, а не сама плоскость. Стереографическая сетка позволяет легко определить по этим следам залегание плоскости. Кроме того, эта методика незаменима при пологих углах падения измеряемых плоскостей как обеспечивающая более высокую точность по сравнению с прямым замером азимута простирання и угла падения плоскостного элемента. Такими же практически важными являются способы определения залегания пород по неориентированному керну буровых скважин.

Перспективен геометрический анализ взаимоотношений между разрывными нарушениями и сопровождающими их системами трещин. Ряд задач на эту тему предлагается здесь впервые. Конечно, без учета разнообразных геологических особенностей разрывного нарушения и прилегающих к нему участков вполне строгие в геометрическом отношении построения могут оказаться недостаточными для характеристики нарушения, однако было бы ошибкой приуменьшать значение геометрического анализа, который представляет собой необходимую составную часть изучения подобных структурных форм. Для обоснованных генетических выводов надо по возможности полнее изучить наряду с другими сторонами и геометрические параметры нарушения, определить соотношения между различными элементами его, установить характер перемещений в плоскости сместителя и т. д. Такое изучение особенно важно для выявления многостадийности формирования нарушений. Приведенные в данной работе примеры показывают, что решение подобных задач становится возможным даже в полевых условиях только благодаря применению стереографической сетки.

Азимутальные проекции (стереографическая и эквивалентная) служат незаменимым средством определения геометрических элементов складок (шарниров, осевых плоскостей, угла складки и пр.), а также стилиа складчатости сложнодислоцированных комплексов.

Большое практическое значение имеют приемы «снятия» складчатости, корректировки замеров косо́й слоистости и линейности за наклон пласта, что позволяет получить дополнительные данные о палеогеографической обстановке формирования осадочных толщ и о структурной эволюции сложно дислоцированных пород. В данной работе изложены только самые простые примеры «снятия» складчатости, относящиеся к доменам, которые можно рассматривать как планарные (с плоской осевой поверхностью) цилиндрические складки изгиба. Методика геометрического анализа более сложной перекрестной складчатости «скалывания», или ламинарного течения [Казаков А. Н., Миллер Ю. В., Дук В. Л., Харитонов А. Л., 1977] как более сложная и не вполне разработанная здесь не рассматривалась.

При изучении трещиноватости горных пород давно уже применяются азимутальные проекции, позволяющие наглядно в виде диаграмм в изолиниях представить главные системы трещин и приуроченность к ним различных жил, даек и пр. Рассмотренные выше примеры расширяют использование данных по трещинной тектонике в целях тектонофизического анализа складчатости [Гзовский М. В., 1975].

В структурной геологии нет, по-видимому, таких вопросов, к которым невозможно было бы с успехом применить данную методику. Значение ее будет возрастать по мере детализации структурных исследований, о чем свидетельствует увеличивающееся в последние годы число публикаций, в которых она используется практически.

Цель данной работы состоит в том, чтобы на конкретных примерах пояснить практическое применение и показать возможности использования азимутальных проекций в структурной геологии.

Усвоив основные приемы работы, читатель сможет самостоятельно решать и другие задачи, которые могут встретиться в геологической практике.

Литература

- Ажгирей Г. Д. Структурная геология. — М.: Изд-во МГУ, 1966. — 347 с.
- Апродов В. А. Геологическое картирование. — М.: Госгеолиздат, 1952. — 370 с.
- Бауман В. И. К вопросу о сбросах, сдвигах и других смещениях жил и пластов. — Записки Горн. ин-та, Спб., 1907, т. 1, вып. 1.
- Белицкий А. А. Классификация тектонических разрывов и геометрические методы их изучения. — М.: Госгеолтехиздат, 1953. — 68 с.
- Биллингс М. П. Структурная геология. — М.: ИЛ, 1949. — 431 с.
- Вассоевич Н. Б., Гроссгейм В. А. Техника редукции по сетке Вульфа на примере определения первичного наклона косых слоев (Приложение 42). — В кн.: Спутник полевого геолога-нефтяника. Л., 1954, т. 2, с. 494—497.
- Вистелиус А. Б. Структурные диаграммы. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1958. — 158 с.
- Гзовский М. В. Тектонические поля напряжений. — Изв. АН СССР. Сер. геофизич., 1954, № 5, с. 390—410.
- Гзовский М. В. Основные вопросы классификации тектонических разрывов. — Сов. геология, 1954, сб. 41, с. 131—169.
- Гзовский М. В. Основы тектонофизики. — М.: Наука, 1975. — 532 с.
- Горлов Н. В. Структура беломорид (Северо-Западное Беломорье). — Л.: Наука, 1967. — 109 с.
- Громин В. И. Малые структурные формы и палеореологические реконструкции (на примере Восточного Забайкалья). — М.: Наука, 1970. — 144 с.
- Данилович В. Н. Основы теории деформации геологических тел. — Иркутское кн. изд-во, 1953. — 101 с.
- Елисеев Н. А. Структурная петрология. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. — 309 с.
- Елисеев Н. А. Составление диаграмм по структурному и микроструктурному анализу. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1957. — 27 с.

Елисеев Н. А. Основы структурной петрологии. — Л.: Наука, 1967. — 257 с.

Забродин А. С. Указания по решению шахтно-геологических задач с помощью азимутальных сеток. — Л.: Наука, 1973. — 152 с.

Казачков А. Н. Деформации и наложенная складчатость в метаморфических комплексах. — Л.: Наука, 1976. — 238 с.

Казанцев М. И. Кернометрия. Алма-Ата, Изд-во Казахстан, 1971. — 185 с.

Клоос Э. Линейность. — В кн.: Вопросы структурной геологии. М., 1958, с. 7—95.

Кноринг Л. Д. О связи направлений трещин с элементами тектонических структур. — В кн.: Вопросы математической геологии. Л., Наука, 1968, с. 45—67.

Кноринг Л. Д. Математические методы при изучении механизма образования тектонической трещиноватости. — Л.: Недра, 1969. — 86 с.

Кушнарев И. П. Определение направлений и амплитуд перемещений по разрывам. — В кн.: Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1960, с. 171—227.

Кушнарев И. П. Методы изучения разрывных нарушений. — М.: Недра, 1977. — 245 с.

Лазарев Ю. И. О геометрическом анализе деформаций в районах наложенной складчатости. — В кн.: Метод. указания по геол. съемке масштаба 1 : 50 000. Вып. 4. Геол. съемка в областях развития метаморфических образований. Л., Недра, 1972, с. 166—180.

Лахи Ф. Х. Полевая геология. Т. 1 и 2 М., Мир, 1966.

Лукин Л. И., Чернышев В. Ф., Кушнарев И. П. Микро-структурный анализ. — М.: Наука, 1965. — 122 с.

Милеев В. С. Кинематические условия формирования глубинной складчатости и тектоника протерозойского Майтубинского антиклинория. — В кн.: Геология и тектоника докембрия Центральной Казахстана. Материалы по геол. Центральн. Казахстана. М., Изд-во МГУ, 1976, т. 11, с. 179—365.

Михайлов А. Е. Полевые методы изучения трещин в горных породах. — М.: Госгеолтехиздат, 1956. — 132 с.

Молчанов И. А. Геометрический анализ поступательных дизъюнктивов. — Маркшейдерский сборник. Томск, Изд-во Зап.-Сиб. геол. треста, 1935, т. 2, с. 38—69.

Молчанов И. А. Геометрический метод исследования дизъюнктивов и его применение для поисков смещенной части месторождения. — Изв. Томского индустр. ин-та, 1939, т. 60, вып. 1, с. 139—181.

Очеретенко И. А., Трощенко В. В. Геометрический способ определения азимутов и углов падения пластов угля по керну скважин. — В кн.: Геология и разведка угольных месторожд. М., 1971, с. 176—180.

Очеретенко И. А., Трощенко В. В. Стереографические проекции в структурной геологии. — Л.: Недра, 1978. — 135 с.

Попов Г. М., Шафрановский И. И. Кристаллография. — М.: Высш. школа, 1964. — 370 с.

Пронин А. В. Статистическая обработка в стереографической проекции ориентированных величин. — Советская геология, 1949, № 37, с. 41—50.

Пэк А. В. Трещинная тектоника и структурный анализ.—М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1939. — 149 с.

Разумовский Н. К. Стереографические проекции. Теория и практика. — Л.: Кубуч, 1927. — 94 с.

Разумовский Н. К. Стереографические проекции.—Л.: Изд-во Ленингр. горн. ин-та, 1932. — 48 с.

Родыгин А. И. Применение азимутальных проекций в структурной геологии. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1973. — 80 с.

Родыгин А. И. Структурные диаграммы. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1980. — 76 с.

Розенфельд Б. А., Сергеева Н. Д. Стереографическая проекция. — М.: Наука, 1973. — 46 с.

Ружич В. В., Рязанов Г. В. О зеркалах скольжения и механизме их образования. — В кн.: Механизм формирования тектонич. структур Восточной Сибири. Новосибирск, Наука, 1977, с. 105—108.

Рухин Л. Б. Основы литологии. — Л.—М.: Гостоптехиздат, 1953. — 671 с.

Рыбалов Б. Л. О применимости эллипсоида деформации при изучении структур рудных полей и месторождений. — Труды ИГН АН СССР, вып. 162. Сер. рудных месторожд., 1955, (17), с. 137—145.

Рыжов П. А. Проекция, применяемые в геолого-маркшейдерском деле. — М.: Углетехиздат, 1951. — 168 с.

Рыжов П. А. Геометрия недр. — М.: Гостоптехиздат, 1952. — 604 с.

Рыжов П. А., Букринский В. А. Геометрия недр. — М.: Углетехиздат, 1958. — 323 с.

Симонова Г. Ф., Горлов Н. В. К методике анализа деформированной линейности. — В кн.: Деформации и структуры докембрийских толщ. Л., Наука, 1967, с. 53—73.

Соболевский П. К. О смещениях. — Труды I Общесибирск. маркшейдерского съезда. Томск, 1925, с. 158—167.

Соболевский П. К. Современная горная геометрия. — Социалистич. реконстр. и наука, 1932, № 7, с. 42—78.

Сыстра Ю. И. Поведение линейных структурных элементов при неоднократной наложенной складчатости. — В кн.: Принципы и методы изучения структурной эволюции метаморфич. комплексов. Л., Наука, 1978, с. 117—130.

Толковый словарь английских геологических терминов. Перевод с англ. М., Мир, 1977, т. 1; 1978, т. 2; 1979, т. 3.

Усов М. А. Структурная геометрия. — М.—Л.: 1940. — 135 с.

Ушаков И. Н. Горная геометрия. — М.—Л.: Углетехиздат, 1961. — 455 с.

Федоров Е. С. Курс кристаллографии. Спб., 1901. — 438 с.

Ферсман А. Е. Письменная структура пегматитов и причины ее возникновения (Доклад на засед. Физико-математич. отделения 22 апреля 1915 года). — Избр. труды. Т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1952, с. 37—50.

Флаасс А. С. Геометрические принципы выделения этапов деформации в сложнорасчлененных комплексах. — В кн.: Принципы и методы изуч. структурной эволюции метаморфич. комплексов. Л., Наука, 1978, с. 98—111.

Флаасс А. С. Геометрия конической складки. — В кн.: Принципы и методы изуч. структурной эволюции метаморфич. комплексов. Л., Наука, 1978, с. 112—117.

Хиллс Е. Ш. Элементы структурной геологии. — М.: Недра, 1967. — 477 с.

Хромов А. Н., Шолпо Л. Е. Палеомагнетизм. Принципы, методы и геологические приложения палеомагнитологии. — Л.: Недра, 1967. — 251 с.

Чернышев В. Ф. О закономерностях в положении оперяющих трещин скалывания и разрыва. — Труды ИГН АН СССР, вып. 162. Сер. рудных месторожд., 1955, (17), с. 146—150.

Шолпо Л. Е., Яновский Б. М. Исследование остаточной намагниченности горных пород. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. — 78.

Эз В. В. Структурная геология метаморфических комплексов. — М.: Недра, 1978. — 190 с.

Bucher Walter H. The mechanical interpretation of joints. Jour. Geol., vol. XXVIII, 1920, pp. 716—718.

Bucher W. H. The stereographic projection, a handy tool for the practical geologist. Jour. Geol., vol. 52, 1944, pp. 191—212.

Fischer D. J. Problem of two tilts and the stereogr. projection. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., vol. 22, 1938, pp. 1261—1271.

Fischer D. J. Drillhole problems in the stereogr. projection. Econ. Geol., vol. 36, 1941, pp. 551—560.

Fischer D. J. Mesuring linear structures on steep dipping surfaces. Amer. Miner., vol. 28, 1943, pp. 204—208.

Hamann P. J. Manual of stereographic projection. — West Canadian Research Publications, Calgary, 1961, pp. 1—67.

Houston R. S., Parker R. B. Structural analysis of a folded quartzite, Medicine Row Mountains, Wyoming. — Geol. Soc. America Bull., vol. 74, 1963, pp. 197—201.

Lowe K. E. A graphic solution for certain problems of linear structure. — Amer. Miner., vol. 31, 1946, p. 427.

Norman T. N. Asimuths of primary linear structures in folded strata. — Geol. Mag., vol. 97, No. 4, 1960.

Paterson M. S. Experimental deformation and faulting in Wombeyan marble. — Bull. Geol. Soc. America, vol. 69, No. 4, 1958, pp. 465—467.

Phillips F. C. Stereographic projection in structural geology. E. Arnold, London, 1954.

Ramsay J. G. The deformation of early linear structures in areas of repeated folding. — Jour. Geol., vol. 68, No. 1, 1960, pp. 75—93.

Ramsay J. G. The effects of folding on the reorientation of sedimentary structures. — Jour. Geol., vol. 69, No. 1, 1961, pp. 84—100.

Rickard M. J. A classification diagram for fold orientation. — Geol. Mag., vol. 108, No. 1, 1971, pp. 23—26.

Ross John V. The folding of angular unconformable sequence. — Jour. Geol., vol. 70, No. 3, 1962, pp. 294—308.

Ross John V. and Linn Mc. C. Concentric folding of cover and basement at Basler Lake, N. W. T., Canada. — Jour. Geol., vol. 71, No. 5, 1963, pp. 644—653.

Rutland R. W. R., Etheridge M. A. Two high grade schistositys at Broken Hill and their relation to major and minor structures. — Jour. Geol. Soc. Austral., vol. 22, No. 3, 1975, pp. 259—274.

Seitz O. Das Wulff'sche Netz als Hilfsmittel bei tektonischen Untersuchungen. — Berg-und Hüttenmännische Zeitschr. «Glückauf», No. 19, 1924.

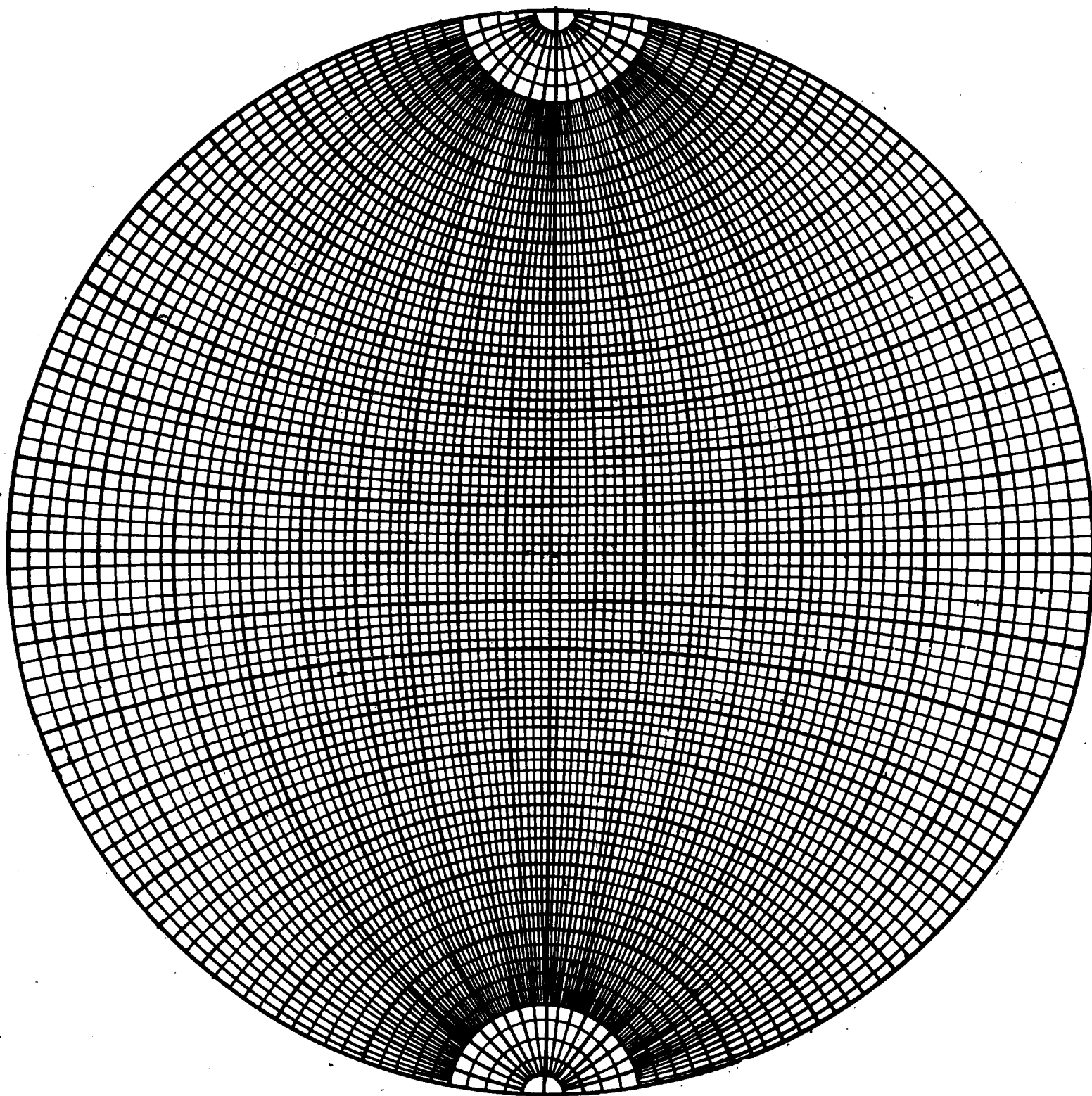
Tjia H. D. Slickensides and fault movements. — Bull. Geol. Soc. America, vol. 75, No. 7, 1964, pp. 683—686.

Turner F. J. Mineralogical and structural evolution of the metamorphic rocks. New York, 1948.

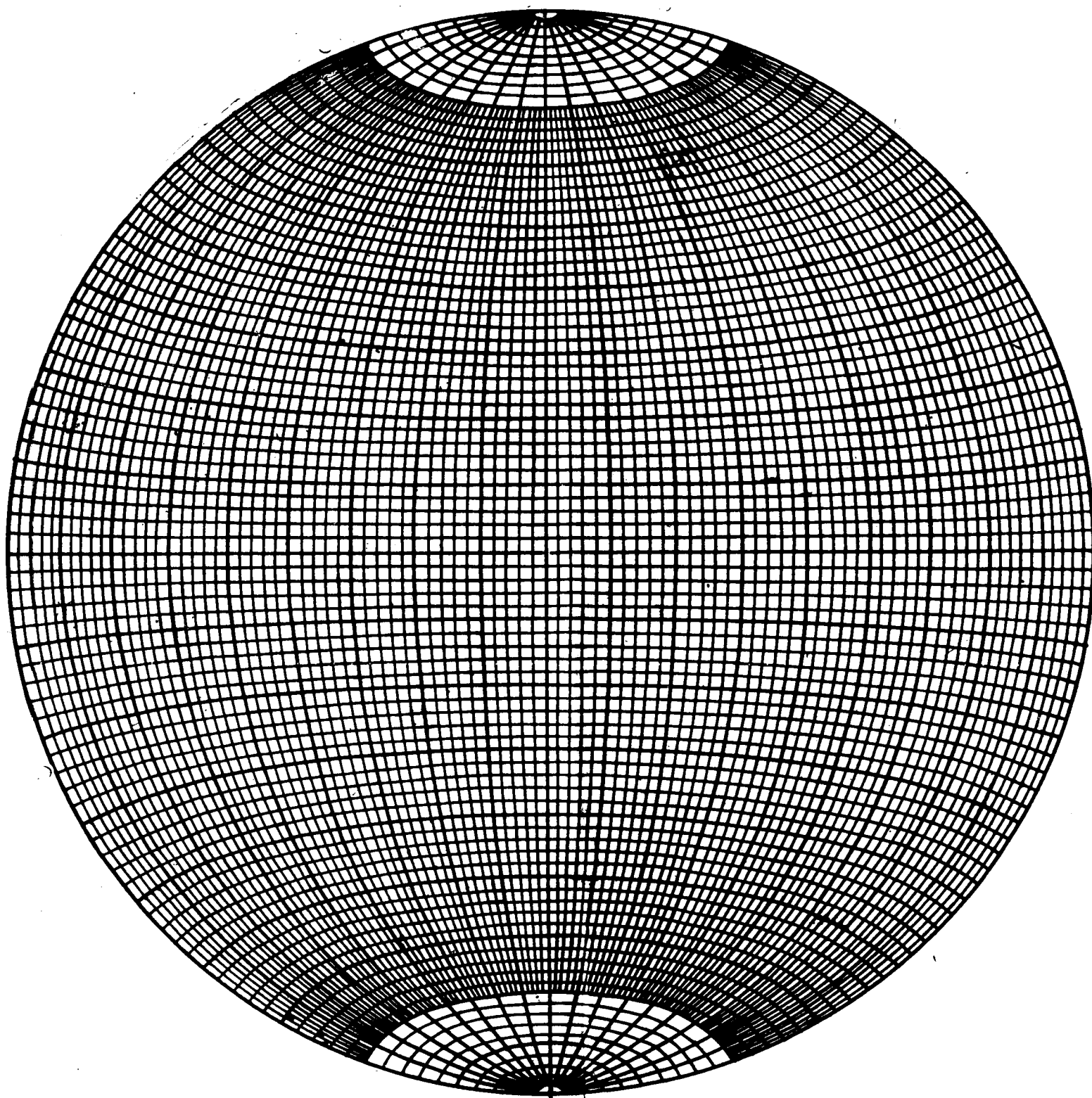
Turner F. J., Weiss L. E. Structural analysis of metamorphic tectonites. New York, McGraw Hill, 1963, 545 p.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

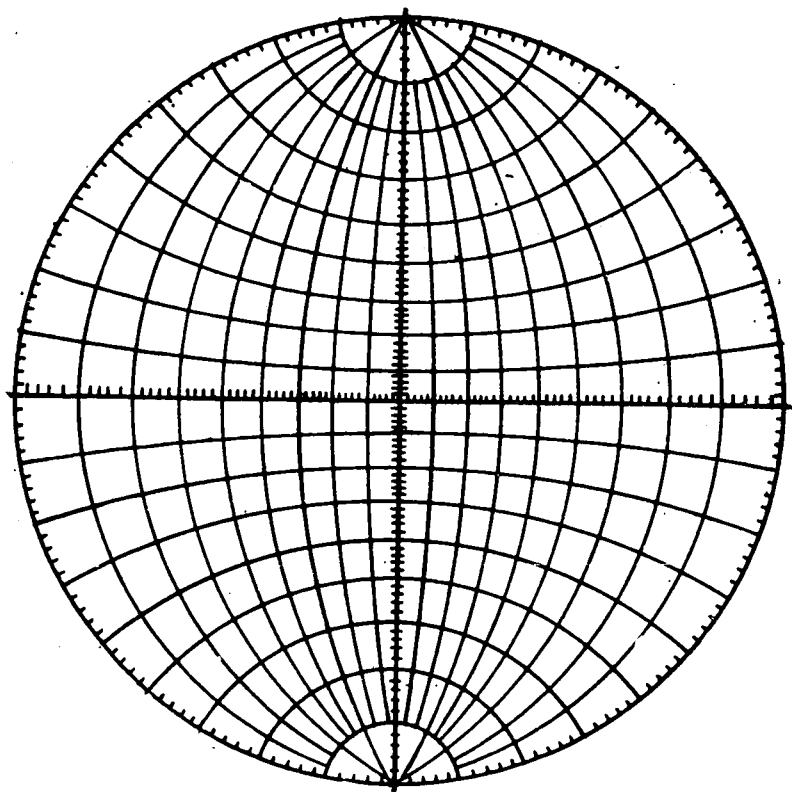
Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
22	7 св.	приводим	приводим
31	17 св.	т. п.	и т. п.
35	20 св.	3)	3.
52	на рис. 26	Б	В
62	19 св.	отрезок АВ	отрезок А'В'
69	10 св.	СЗ 35°	СЗ 325°
82	20 св.	складки и	складки, и
95	15 св.	географических.	географических
111	Строку 5 списку перенести в конец страницы		



Стереографическая сетка Вульфа



Равноплощадная сетка Шмидта



Стереографическая сетка

Александр Иванович РОДЫГИН

АЗИМУТАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ В СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Редактор К. Г. Шилько
Технический редактор Р. М. Подгорбунская
Корректор Т. В. Худякова

ИБ778. Сдано в набор 4/V-81 г. Подписано к печати 17/IX-81 г.
КЗ02156. Формат 60×84¹/₁₆; бумага типографская № 3. Гарнитура
литературная. Высокая печать. П. л. 8,75+3 вкладки; уч.-изд. л. 6,6;
усл. п. л. 8,1.

Тираж 1000.

Заказ 5568.

Цена 1 р.

Издательство ТГУ. 634010. Томск, пр. Ленина, 36.
Томск, Изд-во «Красное знамя», ул. Советская, 47.

Цена 1 руб.

1-456169

Томский госуниверситет 1878



Научная библиотека 00758667