

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Геолого-географический факультет

**Б. А. Черников,
В. Т. Щиров**

СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Практическое руководство

Часть I

Ростов-на-Дону

Издательство Южного федерального университета
2009

УДК 551.1(075.8)

ББК 26.324я73

Ч 49

Учебное пособие подготовлено в рамках выполнения
внутреннего гранта ЮФУ № К-07-Т-136/88 от 01.10.2007 г.

Рецензент:

доктор геолого-минералогических наук *Закруткин В. Е.*,
кафедра геохимии и прикладной экологии ЮФУ

Черников Б. А., Щилов В. Т.

Ч 49

Структурная геология: практическое руководство: в 2 ч.
Ч. I / Б. А. Черников, В. Т. Щилов. – Ростов н/Д: Изд-во
ЮФУ, 2009. – 168 с.

ISBN 978-5-9275-0548-7

Учебное пособие составлено в соответствии с федеральным государственным стандартом и программой курса «Структурная геология и геологическое картирование» для студентов направления «Геология». Оно рассчитано на студентов, изучающих структурную геологию. Материал изложен и проиллюстрирован так, чтобы курс был доступен для самостоятельного изучения. Выполнение предлагаемых лабораторных работ дает возможность освоить методику структурного анализа территорий по геологической карте.

Кроме студентов работа рекомендуется в качестве методического пособия широкому кругу геологов, сталкивающихся с практическими задачами структурной геологии.

ISBN 978-5-9275-0548-7

УДК 551.1(075.8)

ББК 26.324я73

© Черников Б. А., 2009

© Щилов В. Т., 2009

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1. ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ | 7 |
| 1.1. Определение мощности горизонтально залегающих слоев | 9 |
| 1.2. Стратиграфическая колонка | 10 |
| 1.3. Построение геологических разрезов | 11 |
| 1.4. Построение геологической карты с горизонтальным залеганием слоев | 15 |
| <i>Контрольные вопросы и задания</i> | 16 |
| 2. МОНОКЛИНАЛЬНОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ | 18 |
| 2.1. Определение элементов залегания по трем точкам выхода слоя на дневную поверхность | 20 |
| 2.2. Определение элементов залегания слоя по скважинам | 22 |
| 2.3. Определение элементов залегания слоя по видимым падениям в двух косых разрезах | 23 |
| 2.4. Определение элементов залегания слоя на геологической карте с помощью заложения | 25 |
| 2.5. Определение мощностей при наклонном залегании слоев | 28 |
| 2.6. Построение на карте выхода наклонного слоя на дневную поверхность | 31 |
| 2.7. Определение глубины залегания слоя в заданной точке на карте | 34 |
| 2.8. Структурные этажи в моноклинально залегающих толщах | 35 |
| 2.9. Построение геологического разреза | 37 |
| <i>Контрольные вопросы и задания</i> | 41 |
| 3. КОЛЕНЧАТЫЕ ИЗГИБЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И МОНОКЛИНАЛЬНЫХ СЛОИСТЫХ ТОЛЩАХ | 43 |
| <i>Контрольные вопросы и задания</i> | 45 |

| | |
|---|-----|
| 4. СКЛАДЧАТОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ | 46 |
| 4.1. Элементы складки | 46 |
| 4.2. Классификация складок | 48 |
| 4.3. Изучение складчатых форм на картах | 50 |
| 4.4. Построение геологических разрезов | 53 |
| 4.5. Изображение складок на картах | 56 |
| 4.6. Построение структурных карт | 57 |
| 4.6.1. Построение структурных карт по геологическим разрезам | 61 |
| 4.6.2. Построение структурных карт по обнажениям, горным выработкам и скважинам | 63 |
| 4.6.3. Построение структурных карт методом схождения <i>Контрольные вопросы и задания</i> | 73 |
| 5. РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ | 77 |
| 5.1. Элементы разрывных нарушений и их классификация | 77 |
| 5.2. Сбросы | 79 |
| 5.3. Взбросы | 80 |
| 5.4. Надвиги | 88 |
| 5.5. Покровы (шарьяжи) | 90 |
| 5.6. Раздвиги | 91 |
| 5.7. Сдвиги | 91 |
| 5.8. Построение разрезов с разрывными смещениями <i>Контрольные вопросы и задания</i> | 94 |
| 6. РАЗРЫВЫ БЕЗ СМЕЩЕНИЯ (ТРЕЩИНЫ) | 96 |
| 6.1. Общая характеристика и классификация трещин | 96 |
| 6.2. Кливаж | 99 |
| 6.3. Планетарная трещиноватость | 101 |
| 6.4. Методы полевого изучения и графическое изображение трещин | 102 |
| <i>Контрольные вопросы и задания</i> | 105 |
| СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ ПО СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ КАРТИРОВАНИЮ | 106 |
| ЛИТЕРАТУРА | 163 |

ВВЕДЕНИЕ

«Крупный раздел геологии геотектоника состоит из нескольких разделов, которые часто рассматриваются как самостоятельные дисциплины. Первая из них – морфологическая геотектоника, чаще называемая структурной геологией... Она включает выделение основных типов тектонических дислокаций мелкого и среднего масштаба размером до десятков – первых сотен километров, таких как антиклинали и синклинали, сбросы и флексуры, грабены и горсты, антиклинории и синклинории и т. п. ... По существующей в нашей стране практике структурная геология преподается вместе с геологическим картированием» [13].

Настоящее пособие призвано помочь студентам в освоении курса «Структурная геология и геологическое картирование» – одной из базовых дисциплин при подготовке геологов широкого профиля.

На современном этапе развития геологии, особенно структурной и полевой, связанных с изучением разнообразных тектонических форм залегания горных пород в полевых условиях и изображением этих форм на горизонтальных (карты) и вертикальных (разрезы) проекциях, от геолога-исследователя требуется все больше и больше знаний не только в области геологии, но и в других смежных областях науки, в том числе в компьютерных технологиях. Широкое внедрение в последние годы в практику геологических работ ГИС-технологий значительно облегчает процесс составления различной геологической графики. Однако сами по себе, без участия квалифицированного специалиста-геолога, хорошо разбирающегося в методах структурной геологии, они не в состоянии обеспечить проведение грамотного структурного анализа выявленных в процессе полевых исследований деформаций горных пород различного генезиса, а также пространственно-временных связей структур.

Геологические карты, профильные разрезы, структурные карты, карты изопахит, литолого-фациальные карты и разрезы и др. являются основными исходными материалами, без которых не-

мыслимы прогнозирование, промышленное освоение и разработка любого месторождения полезного ископаемого. Выдающийся исследователь рудных месторождений академик С. С. Смирнов говорил, что прикладная геология (т. е. геология, непосредственно выявляющая полезные ископаемые) – это структурная геология.

Предлагаемое пособие представляет собой практическое руководство для студентов и геологов, изучающих структурную геологию. В нем изложены методы и приемы решения задач по структурной и полевой геологии. При его составлении учитывался многолетний опыт авторов в преподавании соответствующей дисциплины на геолого-географическом факультете РГУ (ныне ЮФУ).

Из-за малого объема работы мы ограничились рассмотрением и анализом структурных форм в осадочных горных породах. Оправдывается это, с одной стороны, тем, что именно в осадочных толщах тектонические структурные формы лучше всего проявляются, с другой – тем, что изучение взаимоотношений осадочных толщ, условий их залегания и дислоцированности дает представление о структурных особенностях изучаемого участка земной коры и структурных этажах. С осадочными породами связана и значительная часть месторождений полезных ископаемых.

Вторая часть руководства представляет собой сборник задач и упражнений, составленный авторами для лабораторных занятий по курсу, а также для самостоятельной работы студентов. Задания сопровождаются краткими методическими указаниями по их выполнению.

1. ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ

Горизонтальное залегание слоев характеризуется одинаковыми или приблизительно одинаковыми абсолютными высотами кровли или подошвы слоя на значительном протяжении. Следует заметить, что в строго горизонтальном положении слои находятся редко, так что понятие «горизонтальное залегание» зачастую является условным. В полевых условиях практически горизонтальными считают слои с углом наклона в доли градуса, поскольку такие отклонения не улавливаются горным компасом. Чтобы уловить подобные наклоны, в поле инструментально определяют в нескольких точках высотные отметки кровли или подошвы слоя. Углы наклона слоя в таких случаях выражают в метрах превышения на километр расстояния.

На геологической карте незначительные отклонения слоев от горизонтального залегания практически не сказываются, поэтому линии выходов их на дневную поверхность будут совпадать с горизонталями топографической карты, на которую нанесена геологическая обстановка, или располагаться параллельно им (рис. 1). На картах без горизонталей рельефа о горизонтальном залегании слоев судят по сопряженности границ геологических горизонтов с очертаниями основных элементов рельефа.

Так как при горизонтальном залегании осадочной толщи каждый нижележащий слой является более древним, чем перекрывающий, то при расчлененном рельефе самые молодые породы слагают водоразделы, а более древние выходят на дневную поверхность в руслах балок и речек. При выровненном рельефе один и тот же слой может выходить на обширных пространствах земной поверхности.

На аэрофотоснимках при расчлененном рельефе горизонтальные слои дают сложный прихотливый рисунок, повторяющий формы рельефа.

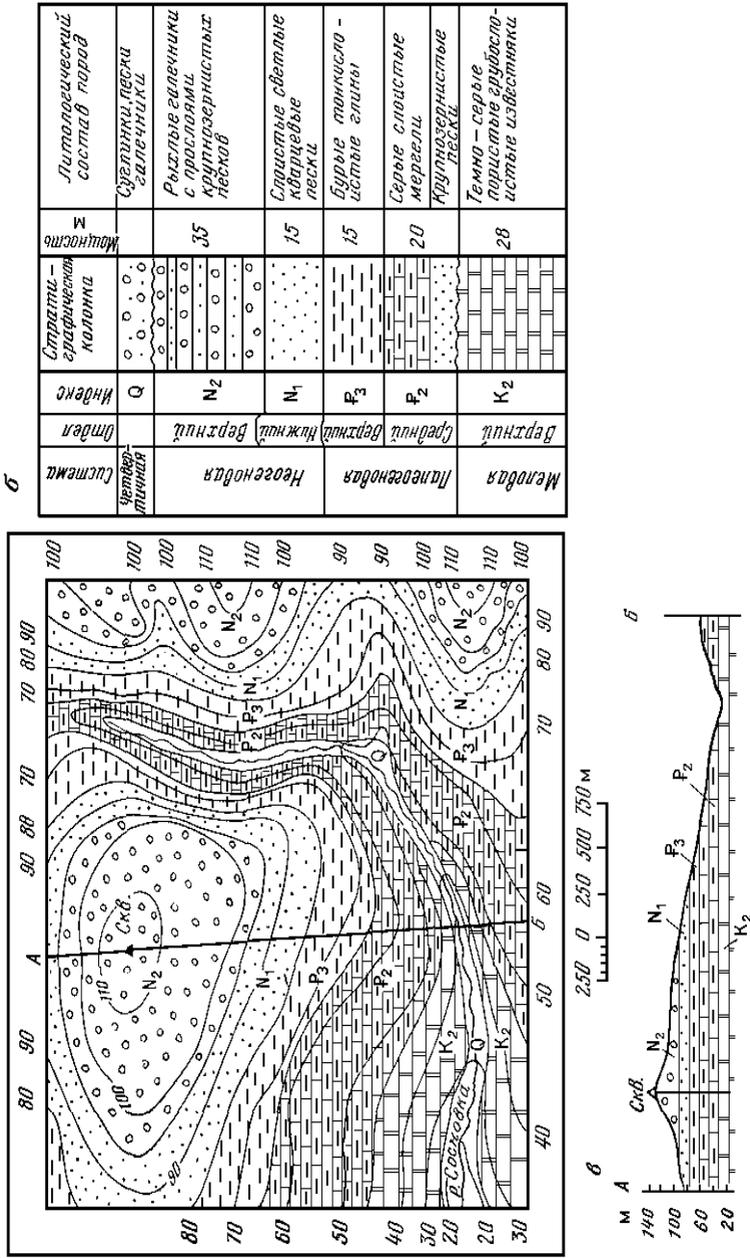


Рис. 1. Пример геологической карты с горизонтальным залеганием пород: а – геологическая карта; б – стратиграфическая колонка; в – геологический разрез

1.1. Определение мощности горизонтально залегающих слоев

Геологи имеют дело с истинной и видимой мощностью пластов. Истинной называют мощность, замеренную по кратчайшему расстоянию между кровлей и подошвой слоя (по взаимному перпендикуляру). Видимая мощность – это расстояние между кровлей и подошвой слоя, замеренное по склону.

В поле истинная мощность горизонтального слоя может быть измерена рулеткой по вертикали от кровли к подошве. Если это невозможно сделать, измеряют ширину выхода слоя по рельефу (видимую мощность) – m и угол наклона рельефа – β (рис. 2). Истинную мощность M определяют по формуле

$$M = m \cdot \sin \beta.$$

Скважина

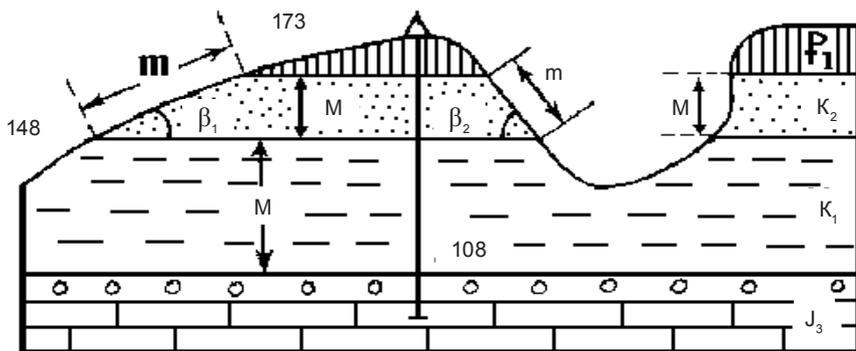


Рис. 2. Определение мощности горизонтального слоя – истинной (M) и видимой (m). Мощность пласта $K_2 = M = m \cdot \sin \beta$, или $173 - 148 = 25$ м. Мощность пласта $K_1 = M$, или по отметкам в буровой скважине: $148 - 108 = 40$ м

Часты случаи, когда кровля и подошва слоя наблюдаются в разных обнажениях и замерить непосредственно истинную или видимую мощность нельзя, тогда приходится предварительно устанавливать отметки кровли и подошвы в обнажениях с помощью нивелира и определять мощность как разность отметок кровли и подошвы (рис. 2).

На геологической карте с горизонтальным залеганием слоев (например, рис. 1) истинная мощность определяется как разность отметок кровли и подошвы слоя. Отметка кровли или подошвы берется с карты. Если линия выхода кровли или подошвы совпадает с горизонталью, ее абсолютная высота равна отметке горизонтали. В противном случае высота определяется простой интерполяцией между горизонталями, в пространстве между которыми заключена линия кровли или подошвы.

1.2. Стратиграфическая колонка

Установив порядок залегания и мощности слоев, составляют нормальную стратиграфическую колонку, на которой показывают последовательность залегания слоев, их возраст, мощность и дают краткую литологическую характеристику. Масштаб колонки выбирают в зависимости от мощности и количества слоев, слагающих район, он, как правило, более крупный, чем масштаб геологической карты. Обычно колонки строятся по максимальным мощностям отложений того или иного стратиграфического подразделения. Если из-за большой мощности одного или двух стратиграфических подразделений длина колонки резко увеличивается, то в таких случаях делаются пропуски («разрывы») внутри этих интервалов разреза. Эти «разрывы» изображаются двойной волнистой тонкой линией с промежутком 2 мм.

Согласно стандартной форме, в центре стратиграфической колонки располагается литологическая колонка, на которой породы разреза обычно показываются штриховыми условными знаками. В колонке должны быть показаны все породы разреза, как выходящие на дневную поверхность, так и вскрытые буровыми скважинами или другими горными выработками. Согласно границе между стратиграфическими подразделениями показываются прямыми линиями, при параллельном несогласии – волнистыми, а при угловом несогласии – волнисто-угловатыми. Если волнистая линия переходит в ровную, то это означает, что в районе имеются местные (локальные) несогласия. При неясных взаимоотношениях стратиграфических подразделений (например, из-за разрывных нарушений) граница между ними показывается двумя параллельными волнистыми линиями с пробелом между ними в 4 мм.

Левее литологической колонки в более узких графах указывают стратиграфические подразделения отложений – системы, отделы и

ярусы, их возрастные индексы. В графах, расположенных правее литологической колонки, указывают мощность стратиграфических подразделений, указывают названия местных подразделений (серий, свит и подсвит) и дают краткую характеристику литологического состава пород, приводят перечень важнейших органических остатков (фауны и флоры).

Стратиграфическая колонка является важным вспомогательным графическим материалом при чтении геологической карты.

Образец оформления стратиграфической колонки показан на рис. 1, б.

1.3. Построение геологических разрезов

Геологические карты, как правило, сопровождаются геологическими разрезами, которые помещают внизу, под южной рамкой карты. Геологический разрез – это изображение залегающих в районе геологических образований на условной вертикальной плоскости. Разрез позволяет наглядно представить геологическое строение района на глубине.

Геологические разрезы составляются по прямым линиям или, в случае необходимости (при разной ориентировке структур), по ломаной линии, в направлениях, которые дают наиболее полное представление о залегании пород, слагающих изображенную на карте территорию. При горизонтальном залегании пород направление линии разреза не имеет существенного значения. Однако желательно, чтобы она пересекла самые высокие и самые низкие точки рельефа. Именно в этом случае на разрезе будут наиболее полно представлены слои, слагающие район, – от самых древних до наиболее молодых.

Длина разреза должна строго соответствовать длине линии разреза на карте, причем линию разреза проводят от рамки до рамки, не обрывая внутри карты. Концы линии разреза на карте должны быть обозначены разными приписными буквами русского или латинского алфавита.

Над боковыми линиями, ограничивающими разрез, ставятся прописные буквы, указывающие на положение линии разреза на карте.

При ориентировании и обозначении концов разреза нужно придерживаться следующего правила. Если линия разреза на карте ориентирована в меридиональном направлении или отклонена к востоку от меридиана вплоть до широтного расположения ее, то

слева должен быть южный (юго-западный), справа – северный (северо-восточный) конец разреза. В остальных случаях слева должен быть западный (северо-западный) конец разреза, справа – восточный (юго-восточный).

На боковых, ограничивающих разрез, линиях должна быть нанесена шкала вертикального масштаба. Цифровые значения вертикального масштаба даются в абсолютных высотах. Цена деления обычно соответствует сечению горизонталей рельефа на карте. Подписывать можно не каждое деление масштаба, с тем чтобы цифры хорошо читались (например, через 5 или 10 мм).

Геологический разрез выполняется в условных обозначениях карты (штриховые или цветковые условные знаки).

Название (одной строкой) и числовой масштаб разреза помещаются над разрезом, в средней его части (симметрично концам разреза). Вертикальный масштаб обычно принимается равным горизонтальному, и поэтому масштаб разреза пишется одной строкой:

Геологический разрез по линии А–В Масштаб 1:20000

Только для разрезов через горизонтально залегающие толщи допускается увеличение (не более чем в 20 раз) вертикального масштаба относительно горизонтального и надпись делается в две строки следующим образом:

**Масштаб: горизонтальный 1:5000
 вертикальный 1:1000**

Вертикальный масштаб при этом подбирают так, чтобы слой с минимальной мощностью на карте в вертикальном масштабе был изображен полосой не менее 1 мм. Слишком большое увеличение вертикального масштаба не желательно из-за сильного искажения в этом случае рельефа.

Под разрезом никаких надписей не делается.

Имеющиеся на карте реки, озера, вершины гор (с собственными названиями или без них), через которые проходит разрез, обязательно подписывают на разрезе. Надпись делается рядом с вертикальной стрелкой (т. е. вертикально), указывающей их положение на топографическом профиле разреза.

Готовые геологические разрезы раскрашиваются и индексируются в полном соответствии с геологической картой. При этом не следует злоупотреблять плотностью тонов раскраски, что является

характерной ошибкой студентов. Интенсивность раскраски должна быть такой, чтобы сквозь цвета легко просматривались индексы и хорошо были видны границы пластов.

При использовании на разрезах штриховых (краповых) условных обозначений ориентировка линий штриховки относительно кровли и подошвы при наклонном залегании слоев должна оставаться такой же, как и в рамках таблицы условных знаков относительно их верхней и нижней сторон. Например, при вертикальной ориентировке штрихов в таблице условных знаков для какого-либо пласта на разрезе эти штрихи должны располагаться перпендикулярно кровле и подошве этого слоя при любом его залегании.

Геологический разрез строят на отдельном листе миллиметровой бумаги.

Сначала по линии разреза строится топографический профиль в выбранном вертикальном масштабе. Можно порекомендовать следующую последовательность работы.

Прикладывают к линии разреза на карте лист миллиметровой бумаги ровно обрезанной нижней стороной. По краю листа намечают точки пересечения линии разреза и горизонталей поверхности рельефа, подписывают их высотные отметки (по завершении построения разреза эти отметки стирают).

Из этих точек восстанавливают перпендикуляры определенной высоты, равной отметкам точек в соответствии с вертикальным графическим масштабом на боковых линиях разреза. Концы перпендикуляров соединяют плавной кривой линией и получают топографический профиль по линии разреза (рис. 3, б).

Следует подчеркнуть, что от точности построения профиля во многом зависит правильность составления геологического разреза.

На построенный топографический профиль переносят с карты точки пересечения линии разреза с границами пластов. Из полученных точек на профиле сплошными линиями проводят геологические границы, положение которых зависит от условий залегания горных пород.

В рассматриваемом случае (при горизонтальном залегании пород) прямыми линиями соединяют точки, принадлежащие кровле или подошве одного и того же слоя. Эти точки должны находиться на одной горизонтальной прямой (рис. 3, в). Если какая-либо точка выходит за пределы прямой, что приводит к нарушению горизонтального залегания пород, следует проверить, правильно ли она перенесена на профиль, а также правильность построения самого профиля.

Полученные на разрезе горизонтальные полосы пластов раскрашиваются или покрываются штриховыми знаками в полном соответствии с условными обозначениями карт.

Глубина разреза ниже поверхности земли определяется конкретными данными о мощностях пород, не обнажающихся на поверхности, но вскрытых скважинами или горными выработками.

Масштаб 1:5000

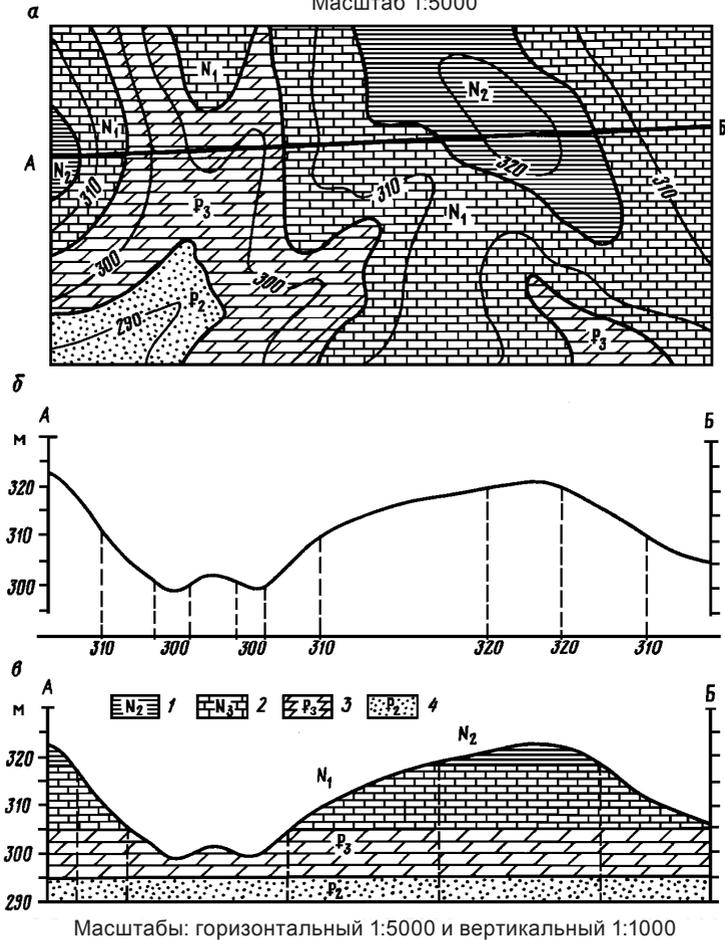


Рис. 3. Построение геологического разреза по карте с горизонтальным залеганием пластов (по В. Н. Куликову и А. Е. Михайлову, 1991): *а* – геологическая карта; *б* – топографический профиль; *в* – геологический разрез; 1 – глины; 2 – известняки; 3 – мергели; 4 – песчаники

1.4. Построение геологической карты с горизонтальным залеганием слоев

При построении геологической карты горизонтально залегающих толщ необходимо помнить основной признак горизонтальной структуры, изображенной на карте с горизонталями рельефа: все геологические границы располагаются в соответствии с рисунком изогипс рельефа на определенных высотных отметках. Иначе говоря, они либо совпадают с горизонталями рельефа, либо располагаются между ними, протягиваясь параллельно изогипсам.

Исходя из этого, чтобы построить геологическую карту участка с горизонтальным залеганием пород, достаточно знать последовательность залегания слоев и абсолютные отметки границ (кровли и подошвы) каждого слоя или же иметь абсолютную отметку одной из границ горизонтальных слоев и их мощности. В последнем случае отметки границ остальных слоев находят, используя значения их мощностей. К отметке подошвы последовательно прибавляют мощность вышележащих пластов или вычитают из отметки кровли мощность нижележащих отложений.

Для построения карты на топографическую основу наносят абсолютные отметки границ слоев, используя для этого горизонтали рельефа. Например, при совпадении линии подошвы какого-либо слоя с горизонталью последняя будет представлять собой на всей площади карты выход подошвы слоя на дневную поверхность. Если линия подошвы не совпадает с горизонталью, она проводится как промежуточная горизонталь путем интерполяции. Поскольку подошва каждого слоя является кровлей нижележащего слоя, то между проведенными двумя соседними линиями подошвы заключен выход пласта. На карте он обозначается штриховкой или цветом, а также индексом в соответствии с возрастом слоя (рис. 4).

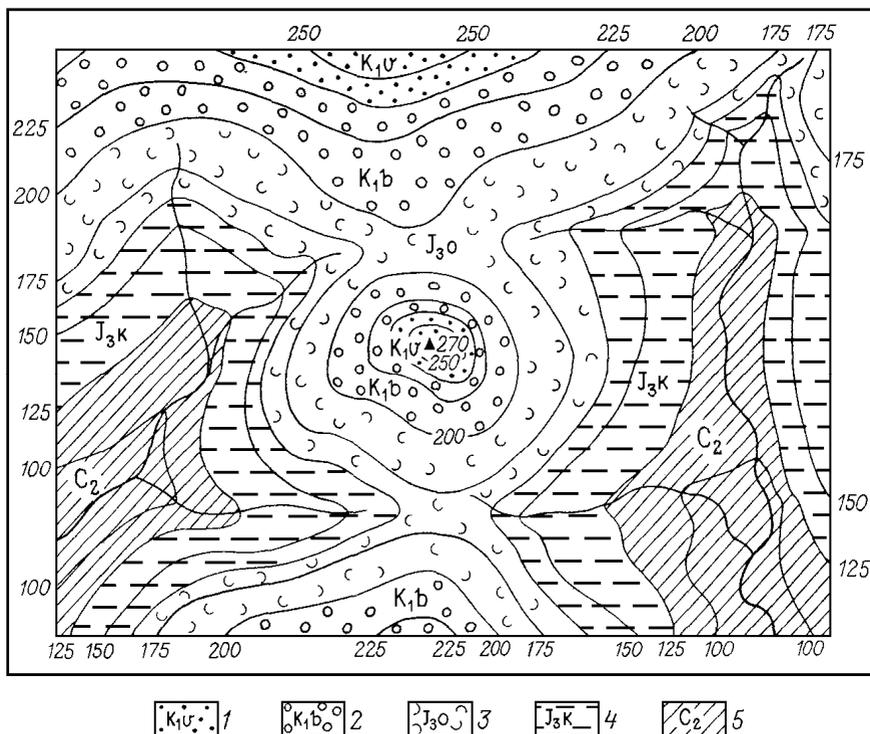


Рис. 4. Геологическая карта с горизонтальным залеганием слоев:
 1 – валанжинский ярус нижнего мела, пески; 2 – берриасский ярус нижнего мела, конгломераты; 3 – оксфордский ярус верхней юры, глины; 4 – келловейский ярус верхней юры, мергели; 5 – средний отдел каменноугольной системы, известняки

Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте основной признак горизонтального залегания слоев (пластов).
2. Как определить истинную мощность горизонтально залегающего слоя в поле и на геологической карте?
3. Стратиграфическая колонка. Что на ней отражено и как она оформляется?
4. Для чего служит геологический разрез? Правила его построения и оформления.

5. Как строится геологическая карта участка с горизонтальным залеганием слоев?

6. На учебной бланковой карте 1н или 5 выполните задания, представленные в лабораторной работе 2.

2. МОНОКЛИНАЛЬНОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ

Моноклиналиное, или наклонное, залегание пород характеризуется однообразным и одинаковым наклоном слоев в одну и ту же сторону. В этом случае каждый слой можно рассматривать как наклонную плиту, положение которой в пространстве определяется направлением и углом наклона, т. е. элементами залегания слоя.

В поле элементы залегания наклонного слоя измеряются горным компасом. Для этого к ровной площадке, выбранной на поверхности слоя, прикладывается длинной стороной компас и по уровню выводится в горизонтальное положение. Полученная линия будет линией простирания слоя, а ее азимут – азимутом простирания слоя. Линия, проведенная в плоскости слоя перпендикулярно к линии простирания, является линией падения слоя, а направление по падению ее проекции на горизонтальную плоскость – азимутом падения слоя. Для его замера компас прикладывается короткой стороной к линии простирания так, чтобы север на лимбе компаса был направлен в сторону падения. Северный конец стрелки укажет азимут падения слоя (рис. 5).

Угол α между линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость является углом падения слоя. Он определяется по клинометру компаса, для чего последний устанавливается ребром длинной стороны вдоль линии падения.

Для определения положения слоя в пространстве достаточно знать азимут его падения и угол падения. Поэтому замер элементов залегания можно упростить. На ровной площадке в плоскости слоя определяем угол падения. Для этого компас устанавливаем длинной стороной по падению слоя так, чтобы клинометр показывал максимальный угол. Карандашом прочерчиваем линию падения и измеряем ее азимут.

Необходимо помнить, что линия простирания является следом пересечения плоскости слоя любой горизонтальной плоскостью и имеет два взаимно противоположных направления, поэтому азимут простирания выражается двумя значениями, отличающимися друг от друга на 180° . Слой может быть наклонен только в одну сторону и азимут падения может иметь только одно значение,

т. е. линия падения является векторной линией. Поскольку линии падения и простирания взаимно перпендикулярны, то, прибавляя или вычитая 90° из азимута падения, можно вычислить азимут простирания. Обратную операцию проделывать не рекомендуется, так как вместо направления падения слоя легко ошибочно получить направление его восстания.

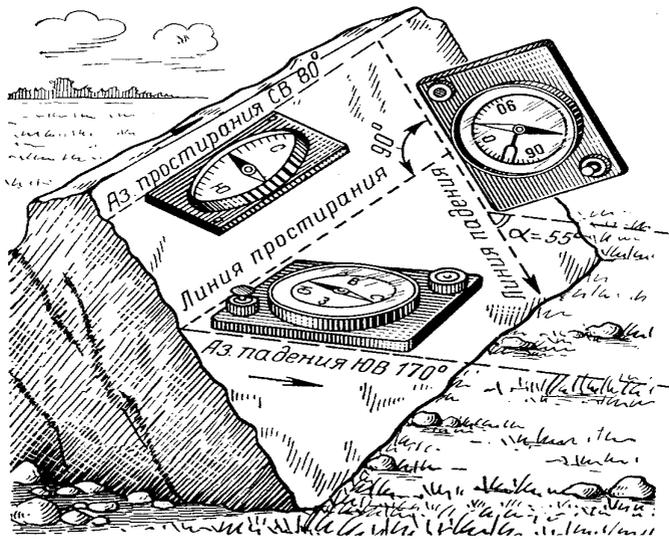


Рис. 5. Измерение элементов залегания наклонного слоя горным компасом в обнажении

Замеренные компасом азимуты являются магнитными. Чтобы перенести их на карту, необходимо ввести поправку на магнитное отклонение. При восточном склонении поправка прибавляется к магнитному азимуту, при западном – вычитается. На компасах последних моделей на обратной стороне имеется винт, с помощью которого можно компенсировать магнитное склонение, после чего не требуется каждый раз вводить поправки в замеры на склонение. Величина поправки на магнитное склонение всегда указывается на нижней кромке листа топографической карты.

Для определения элементов залегания слоя на геологической карте существует несколько способов. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

2.1. Определение элементов залегания по трем точкам выхода слоя на дневную поверхность

Для этой цели необходимо знать высоты точек выхода пласта на поверхность. Высоты определяют инструментально в поле или по карте с помощью горизонталей рельефа (рис. 6).

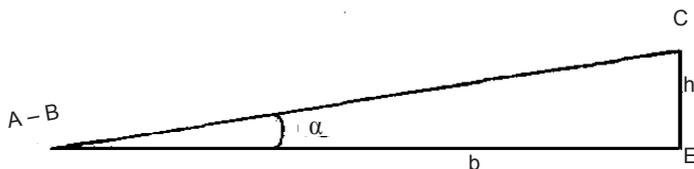


Рис. 6. Определение элементов залегания пласта по трем точкам выхода его на поверхность

В примере, изображенном на рис. 6, на карте масштаба 1:10000 с горизонталями рельефа нанесены три точки выхода на поверхность кровли пласта известняков (А, В, С). Две точки (А и В) лежат на горизонтали 100 м, а третья (С) – на горизонтали 140 м. Требуется определить элементы залегания пласта.

Соединяем точки А и В прямой линией, которая и будет линией простирания, поскольку она соединяет две точки кровли пласта с одинаковыми отметками, т. е. является горизонтальной линией в плоскости кровли. Замеряя ее азимут транспортиром, получаем ЮВ 105° или СЗ 285°. Из точки С, находящейся на более высокой отметке рельефа, опускаем перпендикуляр СО на линию простирания, который будет линией падения. Для замера азимута падения через точку С проводим линию север – юг. К этой линии прикладываем транспортир так, чтобы его центр совместился с точкой С, а нулевой градус совпал с северным концом линии С–Ю. Пересечение линии падения СО с градусной сеткой транспорта покажет величину азимута падения слоя. Как видно на рис. 6, азимут падения выражается значением ЮЗ 195°.

Азимут падения слоя по карте можно измерить также с помощью компаса. Предварительно карта ориентируется относительно стран света. Затем компас прикладывается длинной стороной к линии падения. Север на лимбе должен быть направлен в сторону падения. Северный конец стрелки компаса укажет величину азимута падения. В этом случае необходимо учитывать поправку на магнитное склонение.

Чтобы определить угол падения слоя, нужно знать превышение точки С над линией А–В (точкой О). В данном случае оно равно 40 м. Превышение в масштабе карты откладывают на линии СЕ. В треугольнике А–В СЕ угол α будет углом падения слоя. Подобный треугольник можно построить в стороне от чертежа в произвольном масштабе (рис. 6). Горизонтальное проложение между точками С и О (линией А–В) является заложением пласта b , а превышение между этими точками – сечением пласта h . Угол падения пласта α можно определить путем расчета, пользуясь формулой

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b}.$$

2.2. Определение элементов залегания слоя по скважинам

Для определения элементов залегания слоя по данным перебуривших его скважин необходимо иметь данные о глубине его залегания как минимум в трех скважинах. Чтобы определить абсолютные отметки поверхности пласта (кровли или подошвы) в скважинах, кроме глубины пересечения этой поверхности необходимо знать отметку устья скважины, т. е. точки земной поверхности, с которой началось бурение скважины. Тогда абсолютная отметка поверхности пласта определяется вычитанием из абсолютной высоты устья скважины значения глубины от устья до поверхности пласта.

Допустим, что три скважины вскрыли пласт угля на различной глубине. В скважине 1, с абсолютной высотой устья 490 м, кровля пласта встречена на глубине 350 м. В скважине 2, имеющей абсолютную высоту устья 530 м, кровля того же пласта встречена на глубине 340 м, и в скважине 3, с высотой устья 520 м, кровля пласта угля встречена на глубине 410 м. Положение скважин нанесено на топографическую карту масштаба 1:5000 (рис. 7). Вычислим абсолютные отметки кровли пласта в каждой из скважин. Соответственно получаем: для скважины 1: $490 - 350 = 140$ м; для скважины 2: $530 - 340 = 190$ м; для скважины 3: $520 - 410 = 110$ м. Полученные цифры подписываем на карте у соответствующих скважин.

Скважины с максимальной и минимальной высотными отметками кровли пласта (скважины 2 и 3) соединяют прямой линией (рис. 7). Если на линии, соединяющей скважины 2 и 3, путем пропорционального ее деления, найти точку с отметкой, равной высоте пласта в скважине 1, и соединить точку скважины 1 с полученной точкой, получим линию простирания пласта, так как эта линия горизонтальна и лежит на поверхности пласта. Перпендикуляр, опущенный из точки Б (скважина 2 с максимальной отметкой) к линии простирания, будет указывать направление падения пласта. Слой падает в сторону точки А, как точки с меньшей отметкой. Линия БА будет представлять собой проекцию линии падения на горизонтальную плоскость, т. е. на карту.

Выполнив эти построения, легко измерить транспортиром азимут линии простирания (α) и падения (β).

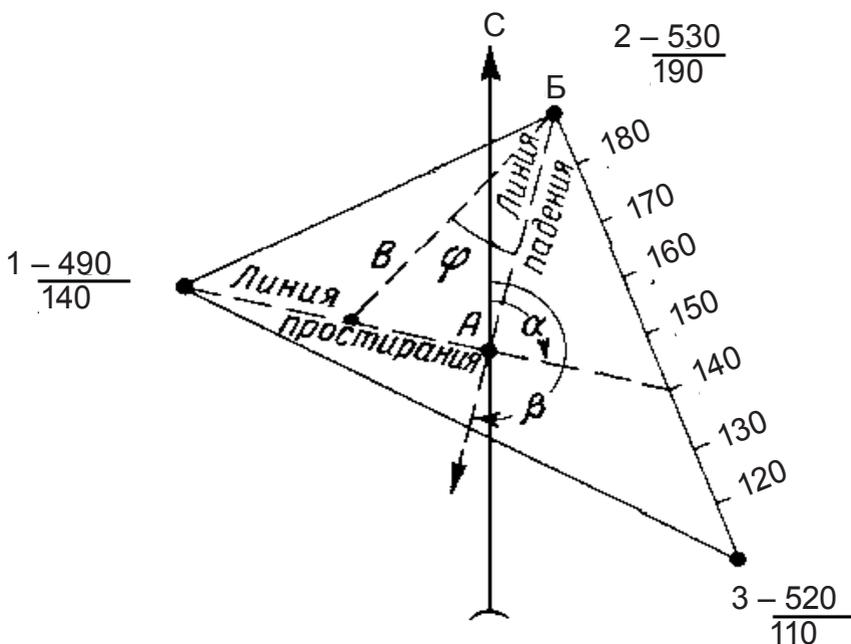


Рис. 7. Определение элементов залегания по трем вертикальным скважинам (объяснение в тексте)

Для определения угла падения необходимо найти угол между линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость (карту). Для этого откладываем вдоль линии простирания от точки А отрезок, равный в масштабе карты превышению точки В над точкой А (на рис. 6 отрезок АВ). Искомый угол падения (φ) будет равен углу АВВ. Замеряем его транспортиром.

2.3. Определение элементов залегания слоя по видимым падениям в двух косых разрезах

Применяется этот способ, когда в обнажениях или в горных выработках невозможно непосредственно измерить истинные элементы залегания слоя. В этом случае измеряются элементы залегания, видимые в плоскости обнажения или на стенках выработки, косо расположенных к истинному падению. Этот способ можно исполь-

зовать также при наличии ориентированных зарисовок обнажений и выработок.

На рис. 8, а изображен шурф, стенки которого косо пересекают слой. Для каждой стенки имеются измеренные в поле или по зарисовкам видимый угол падения и видимый азимут падения слоя.

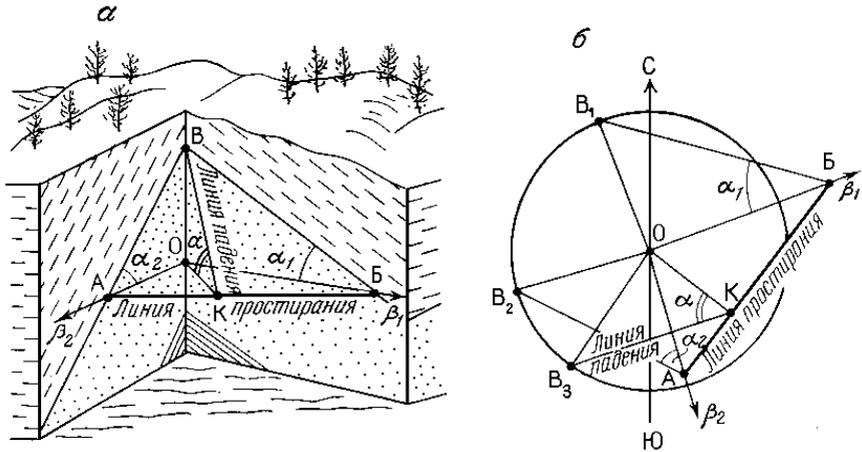


Рис. 8. Определение элементов залегания слоя по двум видимым падениям

Чтобы определить истинные элементы залегания, на листе бумаги проводят линию север – юг (рис. 8, б). На линии С–Ю из произвольно выбранной точки О откладывают азимуты видимого падения слоя в правой и левой стенке шурфа (ОБ и ОА). К прямым ОБ и ОА из точки О восстанавливают произвольной длины, но равные перпендикуляры $OB_1 = OB_2$. Для видимых углов падения α_1 и α_2 определяют дополнительные к 90° углы и строят их соответственно в точках B_1 и B_2 . Продолжая стороны углов до пересечения с направлениями β_1 и β_2 (точки Б и А), получают треугольники OB_1B и OB_2A , которые отражают элементы залегания слоя в стенках шурфа. Горизонтальная плоскость АОБ (рис. 8, а) пересекает слой по линии простирания АБ, поэтому линия АБ на рис. 7, б будет линией простирания. Перпендикуляр ОК, опущенный из точки О на линию простирания, является линией падения. Восстановив перпендикуляр $OB_3 = OB_2 = OB_1$ из точки О к отрезку ОК и соединив точку B_3 с точкой К, получают треугольник OKB_3 с углом OKB_3 , равным истинному углу падения слоя α .

Геометрический смысл произведенных построений легко понять из рис. 8, а.

2.4. Определение элементов залегания слоя на геологической карте с помощью заложения

Это сравнительно широко применяемый метод определения элементов залегания слоев на картах.

Для этой цели находим на карте две точки пересечения линии выхода кровли или подошвы слоя на дневную поверхность с одной и той же горизонталью рельефа (точки А и Б на рис. 9). Через эти точки проводим прямую линию, которая будет линией простирания пласта, так как она горизонтальна и лежит на поверхности пласта. Одновременно эта линия будет являться стратоизогипсой пласта с отметкой 90 м, поскольку высота этой линии равна отметкам точек А и Б. Далее находим две новые точки пересечения линии выхода поверхности пласта со следующей выше- или ниже-лежащей горизонталью рельефа (В и Г на рис. 9), которые соединяем прямой линией и получаем, таким образом, новую линию простирания (стратоизогипсу) с высотой, равной отметке точек В и Г, т. е. 80 м.

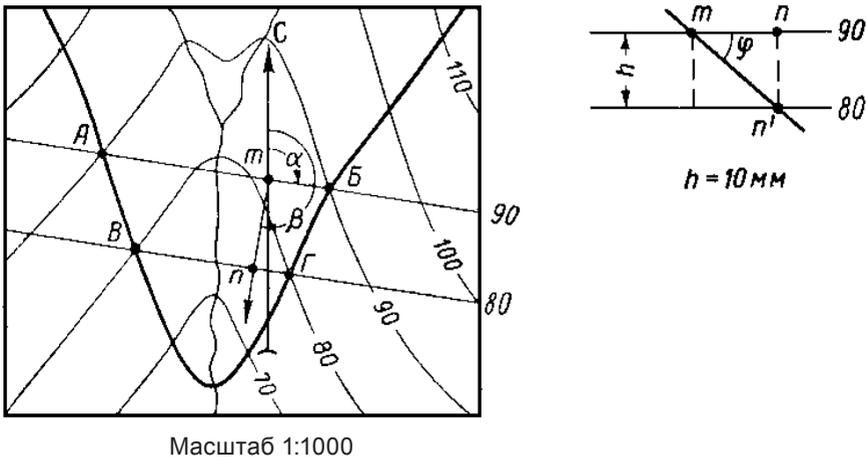


Рис. 9. Определение элементов залегания по линии выхода пласта на поверхность с помощью заложения (объяснение в тексте)

Перпендикулярно к линии простирания с большей отметкой строится линия падения (линия mn), которая будет направлена от линии простирания с большей отметкой к линии простирания с меньшей отметкой. Проведя через точку m линию С–Ю, с помощью транспортира замеряем азимуты простирания (α) и падения (β).

Угол падения находится с помощью заложения следующим образом. Проводим две параллельные горизонтальные линии, расстояние между которыми соответствует значению сечения горизонталей рельефа (изогипс) в масштабе карты. Величина отрезка mn , соединяющего две соседние стратоизогипсы на карте, т. е. являющегося заложением пласта, переносится на верхнюю из параллельных линий. Затем точка n , лежащая на стратоизогипсе с более высокой отметкой, проектируется на нижнюю горизонтальную линию в точку n_1 . Точки m и n_1 соединяем прямой линией, которая будет изображать собой пласт в вертикальном поперечном сечении. С помощью транспортира замеряем угол между этой линией и горизонтальной. Это будет искомый угол падения ϕ .

Чтобы научиться бегло читать геологическую карту, нужно уметь по конфигурации выхода слоя на дневную поверхность определять направления его простирания и падения, а также примерный угол наклона пород.

На картах, изображающих выровненный рельеф, или на мелкомасштабных картах, на которых влияние рельефа не сказывается в силу мелкого масштаба, выходы слоев независимо от величины углов падения представляют собой прямые или близкие к ним линии. Иначе обстоит дело на крупномасштабных картах, изображающих пересеченный рельеф.

Пересеченный рельеф на конфигурацию выхода вертикального пласта не оказывает никакого влияния, выход пласта будет ограничен прямыми линиями.

На рис. 10 видно, что линии выхода наклонного слоя при неровном рельефе образуют изгибы различной формы, зависящей как от угла падения слоя, так и от формы рельефа.

Изгибы линии выхода слоя на поверхность в плане (на карте) в зависимости от рельефа могут быть острыми, узкими, длинными, зубцеобразными, короткими, широкими, трапециевидными и др. Форма изгибов линий выходов слоев значительно изменяется и в зависимости от угла их падения. При крутом падении изгибы линии выхода слоя будут образовывать тупые и широкие углы, при пологом залегании линия выхода слоя будет образовывать более узкие, длинные углы.

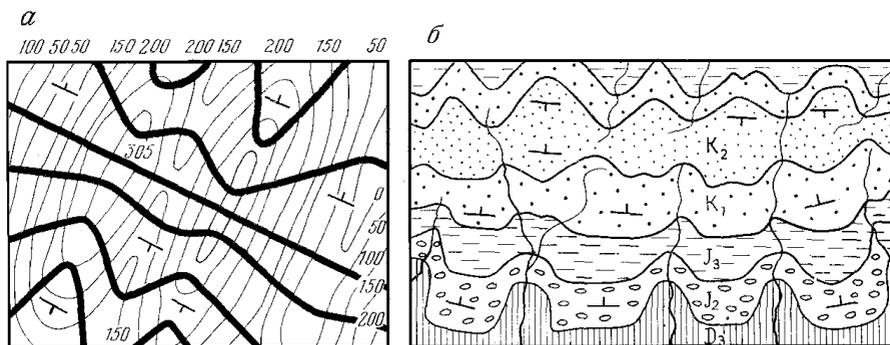


Рис. 10. Различные формы пластовых треугольников в плане, зависящие от угла падения пластов (а) и форм рельефа (б).
По В. Н. Павлинову, 1979

Но в обоих случаях вершины этих углов в понижениях рельефа (в долинах рек, оврагах, балках и т. п.) будут направлены в сторону падения пластов, а на водоразделах – в сторону восстания. Подобные углы обычно называют пластовыми треугольниками.

Коротко вышеизложенные закономерности можно сформулировать так:

1. Слой падает в ту сторону, куда указывает угол, образуемый его выходом в понижениях рельефа (в долинах рек или в балках).
2. Чем острее угол, образующийся при изгибании выхода слоя, тем положе он падает. Чем ближе линия выхода слоя к прямой линии, тем круче он наклонен.

При падении слоя по склону положе рельефа это правило неприменимо. В этом случае изгибы линий выхода слоев будут обращены вершинами пластовых треугольников в сторону падения на водоразделах и в сторону восстания в разделяющих их понижениях. Конфигурация линий выходов слоев будет приближаться к очертаниям горизонталей рельефа. Часто в подобных случаях на водоразделах могут образовываться «останцы» частично размытых слоев овальной формы в плане.

2.5. Определение мощностей при наклонном залегании слоев

При наклонном залегании слоя для определения его истинной мощности M в поле (на местности) необходимо знать видимую, горизонтальную или вертикальную мощность, а также углы падения слоя и наклона рельефа. Все эти параметры легко измерить в поле горным компасом и рулеткой. При этом может возникнуть несколько вариантов (рис. 11).

1. Слой и рельеф наклонены в одну сторону, но пласт имеет более крутой угол наклона ($\alpha > \beta$).

Истинная мощность определяется по формуле

$$M = m \cdot \sin (\alpha - \beta).$$

2. Слой и рельеф наклонены в одну и ту же сторону, но наклон рельефа круче, чем угол падения пласта ($\beta > \alpha$). В этом случае для расчета истинной мощности слоя используется формула

$$M = m \cdot \sin (\beta - \alpha).$$

3. Рельеф и пласт наклонены в разные стороны.

$$M = m \cdot \sin (\alpha + \beta).$$

4. Пласт обнажается в вертикальной стенке горной выработки или пересечен вертикальной скважиной. Видимая мощность (m) в данном случае является вертикальной мощностью. Истинная мощность определяется по формуле

$$M = m \cdot \cos \alpha.$$

5. Слой, обнажающийся на склоне, залегает вертикально.

$$M = \frac{m}{\cos \beta}.$$

6. На горизонтальной поверхности рельефа обнажается наклонно залегающий пласт. В этом случае видимая мощность является горизонтальной мощностью пласта. Истинная мощность определяется по формуле

$$M = m \cdot \sin \alpha.$$

Все эти расчетные формулы употребляются в том случае, если видимая мощность измерена вкрест простирания пласта. Когда по каким-либо причинам эта величина замеряется в косом сечении, используют формулу П. М. Леонтовского:

$$M = m \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta),$$

где γ – угол между линией простирания и направлением косого сечения (т. е. направлением измерения видимой мощности); m – видимая мощность слоя по косому сечению.

При наклоне рельефа и слоя в одну сторону между членами в скобках ставится знак минус, в разные стороны – плюс.

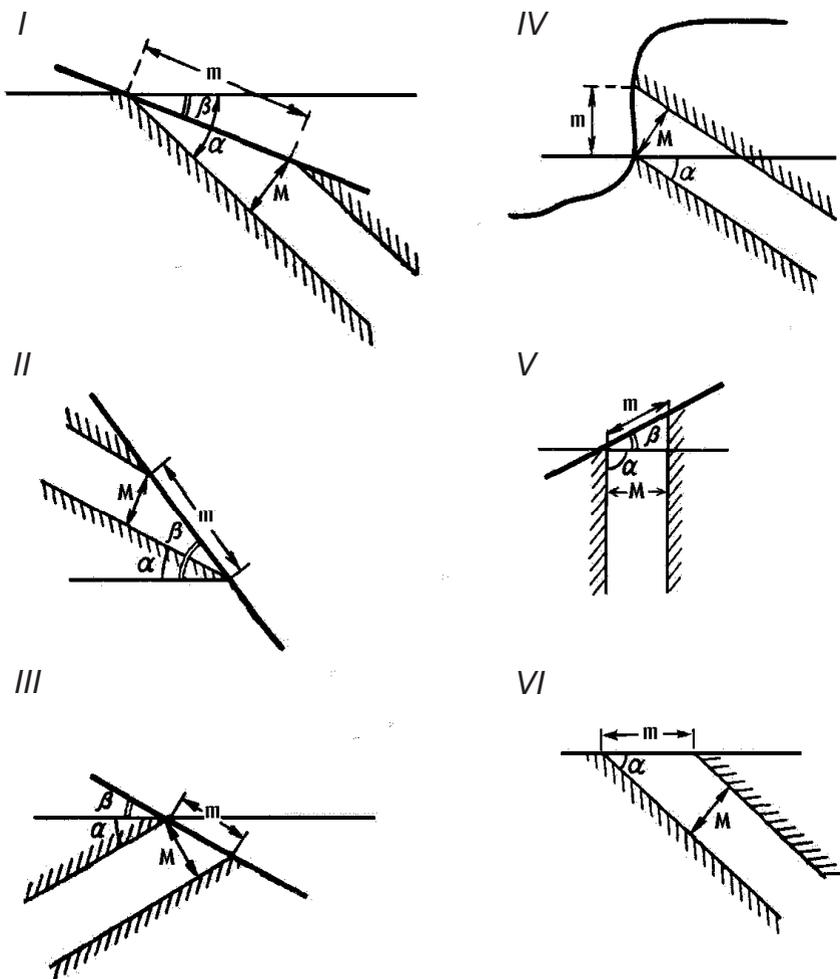


Рис. 11. Различные случаи определения истинной мощности наклонных слоев в сечениях, перпендикулярных простиранию слоя.

По Г. Н. Сафирову, 1974

На картах крупного масштаба истинную мощность слоя удобно определять графическим путем. Рассмотрим пример, изображенный на рис. 12.

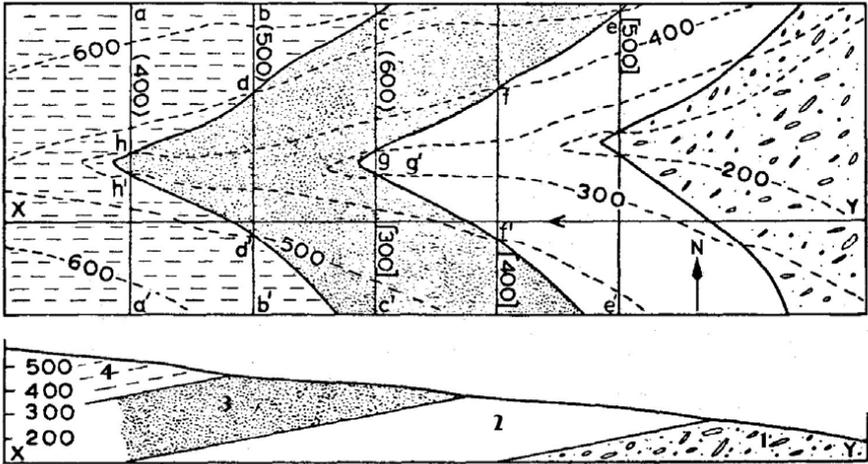


Рис. 12. Определение истинной мощности пласта на карте

Слои 1–4 падают на запад. Возможно определение мощностей пластов 2 и 3. Это можно сделать, определив сначала на карте вертикальную или горизонтальную мощность пласта, а затем использовать приведенные выше формулы для расчета истинной мощности. Через точки пересечения кровли и подошвы слоев 2 и 3 с одними и теми же изогипсами рельефа проводим стратоизогипсы (линии простираения).

Для определения вертикальной мощности пласта необходимо найти на карте такую линию, которая одновременно была бы стратоизогипсой для подошвы и кровли этого пласта, но с разными отметками. По разности отметок и определяется вертикальная мощность. Так, например, стратоизогипса с отметкой 300 м для подошвы пласта 3 (линия $g - g^1$ на рис. 12) проектируется по вертикали, т. е. совпадает на карте со стратоизогипсой 600 м для кровли этого пласта (линия $c - c^1$). Таким образом, вертикальная мощность пласта будет равна $600 - 300 = 300$ м.

Чтобы найти истинную мощность, необходимо это значение умножить на $\cos \alpha$ (где α – угол падения пласта).

Для того чтобы найти горизонтальную мощность этого пласта, необходимо замерить расстояние между стратоизогипсами для

подошвы и кровли с одинаковыми отметками. Так, для пласта 3 на рис. 12 это будут стратоизогипсы $f - f^1$ с отметкой 400 м для подошвы и $h - h^1$ с той же отметкой для кровли. Расстояние между ними, замеренное по перпендикуляру линейкой и переведенное в масштаб карты, и даст значение горизонтальной мощности этого пласта. Для определения истинной мощности необходимо умножить это значение на $\sin \alpha$.

2.6. Построение на карте выхода наклонного слоя на дневную поверхность

Как было показано выше, для решения различных задач удобно пользоваться линиями простираения слоя, проведенными через определенные расстояния, чаще всего равные величине сечения рельефа горизонталями. Такие линии называются стратоизогипсами.

Чтобы вынести стратоизогипсы слоя на карту, необходимо соединить точки пересечения одной и той же горизонтали рельефа с одной и той же плоскостью слоя (подошвой или кровлей). Стратоизогипса, в сущности, является линией простираения пласта и показывает положение слоя на уровне отметки взятой горизонтали (изогипсы рельефа). Продолжив проведение стратоизогипс по падению и восстанию слоя, получим картину, рисующую поведение слоя на глубине и даже над рельефом, т. е. положение размытой части слоя. Проекция на горизонтальную плоскость расстояния между соседними стратоизогипсами, называемая заложением пласта, зависит от угла падения слоя. Чем круче наклонен слой, тем меньше заложение, и наоборот.

Величину заложения можно определить следующим способом (рис. 13, II). На листе миллиметровой бумаги проводят ряд горизонтальных линий, расстояние между которыми равно расстоянию между стратоизогипсами по высоте (сечению стратоизогипс) в масштабе карты. Затем строят прямую MN, которая изображает слой, падающий под углом α . Горизонтальные линии пересекают прямую MN на ряд отрезков, проекции которых на горизонтальную плоскость представляют собой заложение.

Для большей точности величину заложения определяют как среднее от суммы проекций, т. е.

$$b = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_n}{n} .$$

Заложение также можно вычислить по формуле $b = \text{ctg } \alpha \cdot h$, где h – сечение стратоизогипс; α – угол падения слоя.

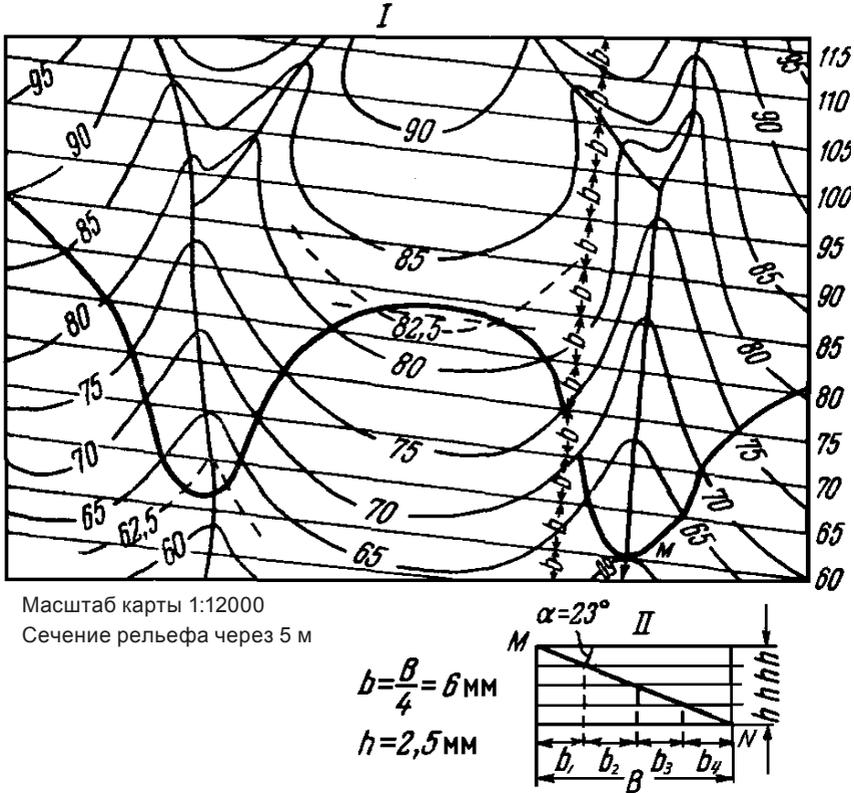


Рис. 13. Построение выхода наклонного пласта на поверхность с помощью заложения. По Г. Н. Сапфинову, 1974

С помощью метода стратоизогипс по элементам залегания можно построить на карте с изолиниями рельефа выход слоя на дневную поверхность.

Для этого необходимо знать выход поверхности напластования (подшвы или кровли) наклонно залегающего пласта хотя бы в одной точке, где замерены элементы его залегания.

Графические построения для решения этой задачи представлены на рис. 13, I.

В точке М на карте зафиксирован выход на поверхность кровли пласта. Слой имеет следующие элементы залегания. Азимут паде-

ния $184 \angle 23$. По известному азимуту простирания ($184^\circ + 90^\circ = 274^\circ$) проводят линию простирания кровли слоя в точке М, которая является одновременно стратоизогипсой с отметкой +60 м.

Затем одним из изложенных выше способов определяют заложение (рис. 13, II). Используя величину заложения b , от стратоизогипсы +60 м по падению и восстанию слоя проводят равноудаленные стратоизогипсы, параллельные начальной стратоизогипсе. Отметки стратоизогипс по падению слоя будут уменьшаться, а по восстанию увеличиваться на величину, равную разнице по высоте между горизонталями рельефа (сечению рельефа), т. е. на 10 м.

Находят точки пересечения одновысотных горизонталей рельефа и стратоизогипс. Это будут точки выхода кровли слоя на дневную поверхность. Все точки соединяют плавной линией так, чтобы между точками она нигде больше не пересекала стратоизогипс и горизонталей. Эта изгибающаяся линия представляет собой выход кровли слоя на дневную поверхность. Для уточнения конфигурации выхода кровли на вершине водораздела или в тальвеге балки проводят дополнительные промежуточные стратоизогипсы (на рисунке показаны пунктиром) и получают дополнительные точки слоя.

Чтобы построить выход всего слоя, необходимо теперь построить выход его подошвы. Отметки стратоизогипс подошвы будут отличаться от отметок стратоизогипс кровли на величину вертикальной мощности. В рассматриваемом примере при вертикальной мощности слоя 10 м стратоизогипса подошвы в точке М будет иметь отметку +50 м ($60 \text{ м} - 10 \text{ м}$), все остальные стратоизогипсы будут, соответственно, меньше на 10 м.

Находят точки пересечения стратоизогипс для подошвы с одновысотными горизонталями рельефа. Через эти точки проводят линию выхода подошвы слоя на дневную поверхность.

Пространство между линиями кровли и подошвы на карте слабо раскрашивают любым цветом, чтобы выделить найденный выход пласта.

Подобным образом можно построить выходы серии наклонных слоев и получить геологическую карту.

2.7. Определение глубины залегания слоя в заданной точке на карте

С помощью стратоизогипс и заложения легко определить глубину залегания слоя в любой заданной точке на карте с горизонталями рельефа. Можно сформулировать эту задачу и как определение глубины проектной вертикальной скважины до того или иного наклонного пласта в заданной точке на карте.

Для решения этой задачи необходимо найти абсолютную отметку пласта (его кровли) в этой скважине и сравнить ее с отметкой устья скважины. Вычитая из отметки устья скважины отметку кровли пласта, получают искомую глубину вертикальной скважины до кровли пласта.

Отметка устья скважины в заданной точке на поверхности легко определяется по изолиниям рельефа на карте. Для того чтобы определить отметку кровли пласта в заданной точке, проводят, зная заложение, стратоизогипсы кровли в направлении падения пласта до тех пор, пока одна из них не пройдет через заданную точку. Отметка этой стратоизогипсы и будет определять абсолютную высоту кровли пласта в точке пересечения ее скважиной.

Если заданная точка окажется между стратоизогипсами, необходимо путем интерполяции найти такую промежуточную стратоизогипсу, которая совместится с этой точкой.

Так, например, точка А находится между стратоизогипсами кровли с отметками 150 и 100 м (рис. 14). Разделив расстояние между этими стратоизогипсами на 5 равных частей, проведем промежуточные стратоизогипсы с отметками 140, 130, 120, 110 м. Через точку А на карте проходит дополнительная стратоизогипса 130 м. Следовательно, отметка кровли пласта в точке А равна 130 м. Если точка А окажется между дополнительными стратоизогипсами с величиной сечения 10 м, то нужно будет провести в этом интервале еще ряд дополнительных стратоизогипс с меньшим сечением, например, 5 или 2 м.

Можно упростить решение этой задачи – опустить перпендикуляр из заданной точки на ближайшую стратоизогипсу кровли пласта и, не проводя стратоизогипс, откладывать на нем последовательно величину заложения и, если потребуется, – его пропорциональные доли до совмещения одного из отрезков с заданной точкой.

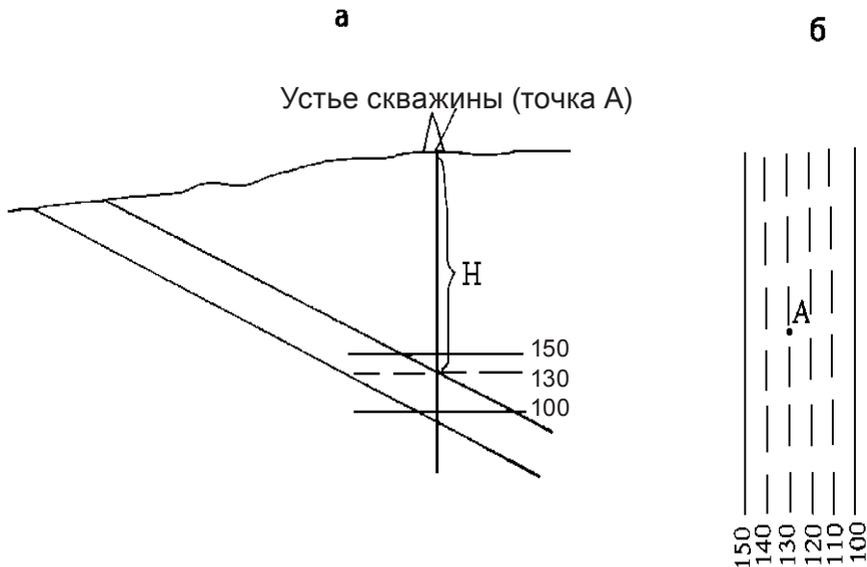


Рис. 14. Схема, иллюстрирующая определение глубины до кровли наклонного пласта в заданной точке по скважине: а – разрез; б – план

2.8. Структурные этажи в моноклинально залегающих толщах

В некоторых районах в разрезе можно наблюдать несколько моноклинальных толщ, образующих самостоятельные структурные этажи, залегающие друг на друге с явным угловым несогласием. Чтобы выделить структурные этажи, нужно помнить, что слои древнего (нижнего) комплекса срезаются поверхностью несогласия обычно под углом, тогда как слои вышележащего яруса более или менее параллельны поверхности несогласия и ее элементы залегания совпадают с элементами пород верхнего структурного этажа.

На рис. 15 слои 5, 6, 7, 8, 9, составляющие нижний – древний структурный этаж, перекрываются более молодым структурным этажом (слои 1, 2, 3, 4). Поверхность несогласия между ними легко опознается по срезанию ею границ подстилающих более древних пластов. На карте видно, что поверхность несогласия имеет такие же элементы залегания, как и вышележащие слои.

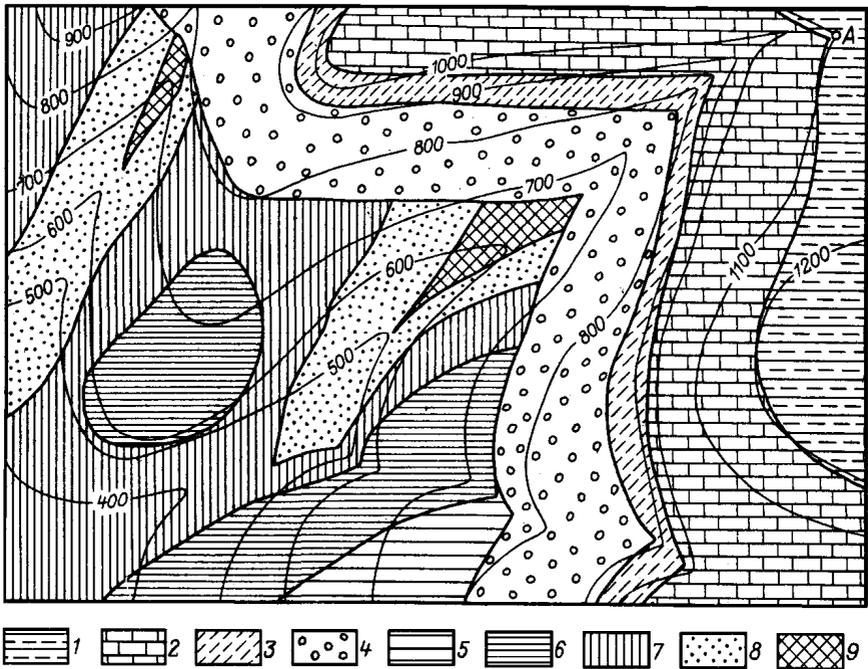


Рис. 15. Карта выходов двух структурных этажей (силурийского и юрского).

Юрские отложения: 1 – песчаные глины; 2 – известняки;

3 – мергели; 4 – конгломераты. Силурийские отложения: 5 – глины;

6 – глинистые сланцы; 7 – известняки; 8 – песчаники; 9 – кремнистые сланцы

При поисках полезных ископаемых важно правильно определить выход слоев нижнего структурного этажа на поверхность несогласия на участках, перекрытых породами вышележащего этажа. При горизонтальном залегании пород верхнего этажа поверхность несогласия также будет горизонтальна и направление

выходов слоев нижнего этажа на поверхности несогласия совпадает с их простираем.

При наклонном залегании пород верхнего этажа выходы слоев нижнего этажа на поверхность несогласия (которая тоже будет наклонной) будут отличаться от их простираем, и тем больше, чем больше будет наклон поверхности несогласия. Чтобы определить направление выхода какого-либо слоя нижнего этажа под поверхностью несогласия на карте, находят точки пересечения его контактов с поверхностью несогласия (ее линией выхода на карте) и соединяют их прямыми линиями. Эти линии при их продолжении под поверхностью несогласия и будут являться кровлей и подошвой слоя, выходящими на поверхность несогласия.

2.9. Построение геологического разреза

Построение геологического разреза через участки с наклонным залеганием пород имеет свои особенности.

Линия разреза должна ориентироваться вкрест простираем пород, т. е. под прямым углом к линии простираем. В этом случае на разрезе слои изображаются с истинными углами падения, определенными на геологической карте. Если имеется несколько структурных этажей, то линию разреза проводят так, чтобы показать характер залегания слоев в каждом структурном этаже. Часто в таких случаях строят два–три разреза по разным направлениям. Иногда с этой целью проводят ломаную линию разреза, изменяя ее простираем так, чтобы в каждом секторе она была ориентирована вкрест простираем пород соответствующего этажа.

Вертикальный масштаб не рекомендуется увеличивать относительно горизонтального, поскольку это приведет к искажению структуры (углы падения пластов будут увеличены).

На отдельном листе бумаги (рекомендуется пользоваться миллиметровой бумагой) вдоль линии разреза строят топографический профиль. На профиль выносят границы стратиграфических подразделений, пересекаемые линией разреза. Для большей точности разреза эти границы следует переносить циркулем-измерителем каждый раз от одной начальной точки или с помощью полоски бумаги, на которую границы предварительно перенесены с линии разреза. В последнем случае необходимо следить, чтобы конечные точки разреза совпадали с такими же точками на полоске бумаги.

Одновременно на профиль выносятся все углы падения в точках пересечения границ слоев с линией разреза либо удаленные от линии разреза по простиранию не более чем на два сантиметра (независимо от масштаба карты). При падении слоев под одним углом или близким к нему на всей площади карты построение геологического разреза сводится к проведению из точек пересечения границ пластов с линией разреза параллельных контактов под известным углом падения.

Однако при построении разрезов через районы с наклонным залеганием слоев линия разреза иногда оказывается ориентированной не вкрест простирания слоев, а под некоторым углом к линии падения. Такой разрез называют в геологической практике «косым». На нем углы падения пластов будут отличаться от истинных, которые показывают на разрезах, ориентированных вкрест простирания слоев. Эти «видимые» углы падения всегда меньше истинных, и тем меньше, чем ближе ориентировка линии разреза приближается к простиранию моноклиальной толщи, т. е. они будут иметь промежуточное значение между 0° и истинным углом падения. На разрезах, направление которых параллельно простиранию слоев, последние будут изображаться лежащими горизонтально.

Определить величину видимых углов наклона в заданном косом разрезе можно либо по номограмме (пример такой номограммы приведен в учебном пособии А. Е. Михайлова на с. 463), либо, более точно, путем расчета по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \gamma,$$

где α_1 – видимый угол наклона пласта на разрезе; α – истинный угол падения; γ – азимутальный угол между линией разреза и линией падения.

Вывод этой формулы становится ясен из рис. 16, на котором изображена наклонная поверхность пласта, рассеченная нормальным (вкрест простирания) и косым разрезом (соответственно плоскости АВО и АСО).

Правильность построения разреза проверяется путем измерения на нем мощностей наклонных пластов (с учетом масштаба карты). Несовпадение истинной или вертикальной мощности слоев на разрезе с вычисленной по карте показывает, что допущена ошибка в построении топографического профиля или не введена поправка в угол падения при косом пересечении слоев.

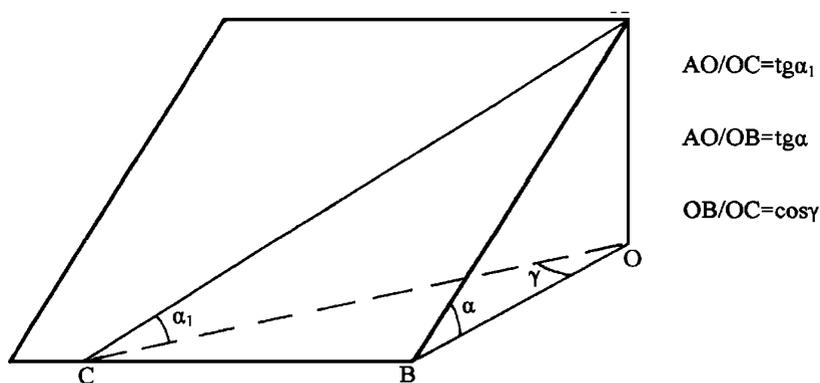


Рис. 16. Нормальное и косое сечение наклонной плоскости пласта

При построении разреза через несогласно залегающие разновозрастные комплексы пород перенос геологических данных на топографический профиль при построении разреза начинается с изображения на нем следа поверхности несогласия. Тем самым разрез как бы разбивается на две части, в пределах которых построение проводится независимо друг от друга.

При этом важно обратить внимание на следующий признак поверхности углового несогласия, позволяющий отличать ее от поверхности разрывного смещения, — поверхность углового несогласия параллельна (как на разрезе, так и в плане) границам вышележащих более молодых слоев и срезает под определенным углом нижележащие более древние слои. В случае же тектонического контакта слои с двух сторон подходят под приблизительно одинаковым углом к поверхности смещения (рис. 15, 17).

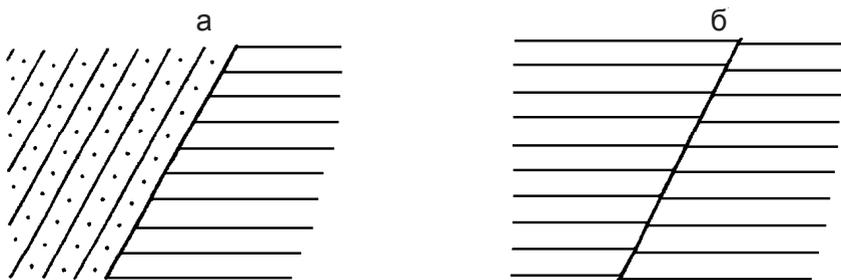


Рис. 17. Изображение на карте поверхности углового несогласия (а) и поверхности разрывного смещения (б)

При параллельном несогласии линия несогласия на карте располагается в общем параллельно границам пластов двух контактирующих несогласных осадочных толщ и выявляется обычно лишь по резкому различию в возрасте этих толщ.

В природе чрезвычайно редко встречаются идеальные моноклинали, занимающие обширные пространства. Обычно на фоне общего моноклиналиного залегания пород отмечаются более или менее заметные изгибы слоев. При волнистой поверхности моноклинали, обусловленной сравнительно небольшим изменением углов падения или азимутов простирания, геологические разрезы строят методом радиусов.

Для этого к вынесенным на профиль углам падения в точках контактов слоев проводятся перпендикуляры, делящие весь разрез на секторы (рис. 18). Соседние перпендикуляры продолжают до их взаимного пересечения. Пересекаться перпендикуляры могут как выше поверхности топографического профиля, так и ниже его. Из точек пересечений, как из центров окружностей, в каждом секторе проводят дуги в пределах двух смежных перпендикуляров с радиусами, равными расстоянию от точки пересечения до соответствующей границе пластов. Слои при этом сохраняют параллельность напластования и одинаковую мощность на глубине. Построенный разрез отличается плавным изменением углов падения слоев.

При резких изменениях углов падения наклонной толщи геологический разрез целесообразнее строить методом биссектрис (см. рис. 23, б). Как при методе радиусов, восстанавливаются перпендикуляры к границам слоев на профиле, проведенным под соответствующими углами падения. Углы, образованные соседними перпендикулярами, делятся пополам биссектрисами. На каждом участке разреза, заключенного между соседними биссектрисами, проводят границы слоев параллельно границам, вынесенным на профиль. После биссектрисы все границы искривляют так, чтобы их продолжение было параллельно следующему пласту (линии его падения). В результате получают ломаные границы слоев. Места перегибов слоев затем несколько закругляют. Там, где смежные перпендикуляры не пересекаются, линии падения (и границы пластов) проводят параллельно друг другу.

Геологические разрезы, построенные методом радиусов и биссектрис, достаточно точны при условии, что слои залегают согласно и имеют постоянную мощность.

Нормальная стратиграфическая колонка моноклиналиной толщи строится после установления порядка залегания слоев и определения их истинной мощности. К ней предъявляются такие же требования, как и к колонкам, построенным для площадей с горизонтальным залеганием пород.

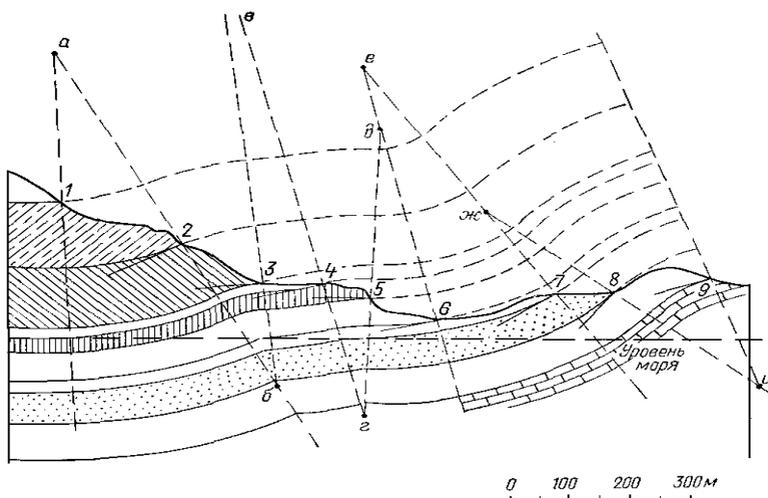


Рис. 18. Построение геологического разреза при наличии слоев с различными углами падения (а, б, в – точки пересечения смежных вспомогательных линий – перпендикуляров). По Н. И. Буялову, 1956

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое моноклинальное залегание слоев? Признаки наклонного залегания слоев.
2. Элементы залегания наклонного слоя. Как в поле замерить элементы залегания наклонного слоя?
3. Определение элементов залегания наклонного слоя на карте по трем разрозненным точкам выхода его на дневную поверхность. Проиллюстрируйте на схеме.
4. Определение элементов залегания наклонного слоя по скважинам. Проведите построения на учебной бланковой карте б.
5. Определение элементов залегания наклонного слоя по видимым падениям в двух косых разрезах. Выполните одно из заданий лабораторной работы 4.
6. Как выглядят выходы наклонного слоя на геологической карте? Как по выходам слоев на карте определить направление их падения и приблизительный угол наклона? Приведите примеры на учебных геологических картах.
7. Как определить элементы залегания слоя на геологической карте с помощью метода стратоизогипс? Дайте определения понятий «стратоизогипсы», «заложение пласта».

8. Видимая и истинная мощность наклонного слоя. Как на карте определяются вертикальная, горизонтальная и истинная мощности наклонно залегающего слоя?

9. Как построить на карте выход на дневную поверхность наклонного слоя по известным элементам его залегания и вертикальной мощности? Выполните одно из заданий лабораторной работы 6.

10. Как с помощью метода стратоизогипс на геологической карте можно определить глубину залегания слоя в заданной точке. Сделайте построения на бланковой карте 6а.

11. Сформулируйте основные правила построения геологического разреза через участки с наклонным залеганием слоев. Постройте разрез для одной из карт лабораторной работы 7.

3. КОЛЕНЧАТЫЕ ИЗГИБЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И МОНОКЛИНАЛЬНЫХ СЛОИСТЫХ ТОЛЩАХ

В слоистых толщах с горизонтальным или наклонным залеганием довольно часто встречаются простейшие коленчатой формы изгибы слоев, среди которых различают флексуры, структурные террасы и носы.

Флексурами называют такие коленчатые изгибы, когда на фоне общего горизонтального залегания отмечаются участки наклонного залегания слоев (рис. 19, I) или на фоне общего моноклиналичного залегания имеются участки более крутого наклона (рис. 19, II).

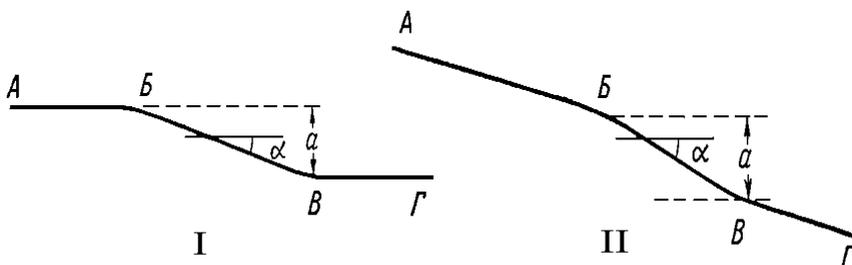


Рис. 19. Схема строения флексур

У флексур в вертикальных разрезах выделяются следующие элементы (рис. 19): верхнее (поднятое) крыло (AB), нижнее (опущенное) крыло (BГ), смыкающее (соединительное) крыло (BB'), угол наклона смыкающего крыла (α), вертикальная амплитуда смыкающего крыла (a).

В толщах с наклонным залеганием слоев флексуры могут быть согласными и несогласными. В согласных флексурах все три крыла наклонены в одну сторону, в несогласных флексурах верхнее и нижнее крылья наклонены в одну сторону, а смыкающее крыло – в противоположную (рис. 20).

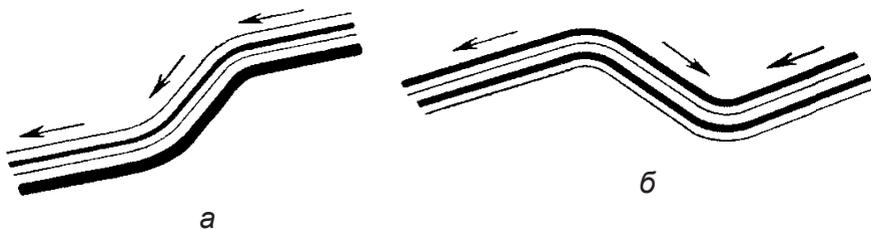


Рис. 20. Согласно (а) и несогласная (б) флексуры

При коленообразном изгибе наклонных слоев в горизонтальной плоскости, вкрест общего простирания осадочных или метаморфических пород, образуются флексуры, получившие название горизонтальных именно потому, что они хорошо выражены на горизонтальных срезах.

Флексуры имеют различные формы и размеры и распространены чрезвычайно широко, главным образом на платформах в осадочном чехле. Здесь они при незначительных наклонах крыльев прослеживаются в длину на десятки километров, а вертикальная амплитуда их смыкающих крыльев составляет десятки и сотни метров. В складчатых областях флексуры образуются на крыльях складок, имея меньшую протяженность и значительно более крутые углы наклона их крыльев. В складчатых областях обычны и горизонтальные флексуры.

Коленообразный изгиб, в котором поднятое и опущенное крылья имеют моноклиналиное залегание слоев, а смыкающее крыло характеризуется субгоризонтальным залеганием, называется структурной террасой. Подобная структура, у которой горизонтальная площадка на фоне общего моноклиналиного залегания имеет в плане треугольную форму (вершиной в сторону падения слоев), называется структурным носом.

Флексуры могут формироваться как на фоне процессов осадконакопления (конседиментационные флексуры), так и после накопления осадков (постседиментационные флексуры). Конседиментационные флексуры характеризуются резким различием мощностей разновозрастных отложений на их крыльях. Максимальные мощности отмечаются на опущенных крыльях, а минимальные – на поднятых. У постседиментационных флексур мощности разновозрастных отложений на всех крыльях одинаковы.

На глубине смыкающие крылья флексур нередко осложняются разрывами, что говорит о том, что их формирование может быть связано с дифференцированными движениями блоков фундамента.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается различие флексур и структурных террас как структурных форм?
2. Классификация флексур. Изобразите на схеме различные типы флексур.
3. Выполните задание лабораторной работы 8 на бланковой карте 5н.

4. СКЛАДЧАТОЕ ЗАЛЕГАНИЕ СЛОЕВ

Деформация первоначально горизонтально залегающих горных пород часто приводит к многократным перегибам слоев. Такое залегание называется складчатым. Один волнообразный изгиб слоя представляет собой складку.

Среди складок различают две основных разновидности – антиклинальные и синклинали. Антиклинальными складками (**антиклиналями**) называются складки, в центральных частях которых располагаются более древние породы, чем в краевых частях (по периферии). Синклинали (**синклинали**) в центральных частях сложены более молодыми породами по сравнению с краевыми частями.

4.1. Элементы складки

В складке различают ряд элементов: крылья, замок, ядро, угол при вершине складки, осевая поверхность, шарнир, ось (рис. 21).

Под замком складки понимается место перегиба одного крыла в другое. Части складок, расположенные по обе стороны от замка, называются крыльями. При характеристике пород, слагающих центральные части складок, используют термин «ядро». Двугранный угол, образованный пересечением крыльев, называется углом складки. Шарниром называется линия, соединяющая точки максимального изгиба слоя в складке. Шарниров можно провести столько, сколько слоев образуют складку. Часто под шарниром складки понимают шарнир самого молодого слоя, изогнутого в складку.

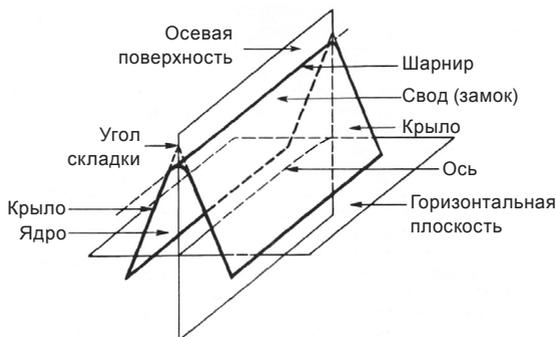


Рис. 21. Элементы складки

Поверхность, проходящая через шарниры всех слоев, образующих складку, называется осевой поверхностью. В частном случае она может быть плоской и тогда называется осевой плоскостью. Иногда осевую поверхность определяют как делящую пополам угол между крыльями складки.

Осью складки (осевой линией) называется линия пересечения осевой поверхности горизонтальной плоскостью. Осевая линия характеризует ориентировку складки в плане. Ее положение, как горизонтальной линии, определяется азимутом ее простирания. Изгибы оси могут происходить только в горизонтальной плоскости.

Нужно четко представлять себе различие между понятиями **ось складки** и **шарнир складки**. В отличие от оси шарнир характеризует складку в продольном вертикальном сечении (точнее – вдоль ее осевой поверхности). Он редко бывает горизонтальным, наклоняясь к горизонту под разными углами, вплоть до вертикального положения. Его положение в пространстве определяется азимутом погружения (азимутом проекции на горизонтальную плоскость) и углом погружения (углом между шарниром и его проекцией на горизонтальную плоскость).

По простиранию шарнир может то погружаться, то воздыматься, образуя продольные волны. Эти изгибы являются отражением поперечных перегибов складки. В таких случаях говорят об ундуляции шарнира.

При анализе геологических карт со складчатыми структурами для определения направления погружения шарнира следует сравнить возраст слоев в месте их пересечения осевой линией складки. Шарнир всегда погружается в сторону выхода более молодых пород (в направлении к более молодым слоям).

Помимо рассмотренных элементов в антиклинальных складках вводятся понятия о гребне и гребневидной поверхности. Дело в том, что шарнир как место максимального изгиба слоев не всегда является самым высоким местом в складке. Это справедливо лишь для симметричных (прямых) складок.

Поэтому специально был введен термин **гребень складки**, который обозначает линию, соединяющую самые высокие точки складки. **Гребневая поверхность** – это поверхность, проходящая через гребни всех слоев, слагающих складку. Знание этих элементов складок имеет особое практическое значение при поисково-разведочных работах на нефть и газ, поскольку их скопления сосредотачиваются именно в наиболее высоких частях складок.

4.2. Классификация складок

Морфологическая классификация складок учитывает различия в форме складок, как в плане, так и в вертикальном разрезе.

При разделении складок в поперечном вертикальном сечении учитываются следующие классификационные признаки: а) соотношение между крыльями складок; б) положение (наклон) осевой поверхности; в) форма замка.

По соотношению между крыльями складок выделяются:

1) **простые** складки с падением крыльев в разные стороны относительно осевой поверхности (рис. 22, 1);

2) **изоклиналильные** складки с параллельным расположением крыльев; причем при вертикальном положении крыльев (и осевой поверхности) изоклиналильные складки являются симметричными (рис. 22, 2), при наклонных крыльях – опрокинутыми (рис. 22, 3);

3) **веерообразные** складки, которые характеризуются веерообразным изгибом слоев (рис. 22, 4); ядра некоторых веерообразных складок оказываются пережатыми, т. е. отделенными от остальных их частей.

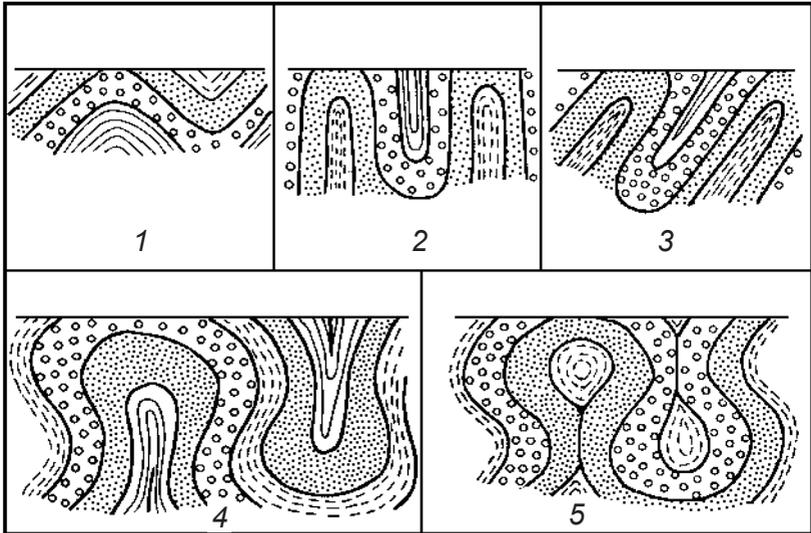


Рис. 22. Классификация складок в разрезе по соотношению крыльев:
1 – простые; 2 – изоклиналильные симметричные; 3 – изоклиналильные опрокинутые; 4 – веерообразные; 5 – веерообразные с пережатым ядром.

По А. Е. Михайлову, 1984

По положению в пространстве осевой поверхности и крыльев различают (рис. 23): 1) прямые (нормальные, симметричные) складки с вертикальной осевой поверхностью (рис. 23, *a*); 2) наклонные (косые) складки с наклонной поверхностью, при этом крылья падают в разные стороны под разными углами (рис. 23, *б*); 3) опрокинутые складки с наклонной поверхностью и крыльями, падающими в одну сторону (рис. 23, *в*); 4) лежачие складки с горизонтальной осевой поверхностью (рис. 23, *г*), 5) перевернутые складки с изогнутой осевой поверхностью, при этом замок находится ниже горизонтальной плоскости (рис. 23, *д*).

По форме замка различают складки с острыми замками (угол складки меньше 90°), с тупыми замками (угол складки больше 90°), с округлыми замками (рис. 22, 4, 5) и коробчатые складки, с плоскими замками и крутыми крыльями.

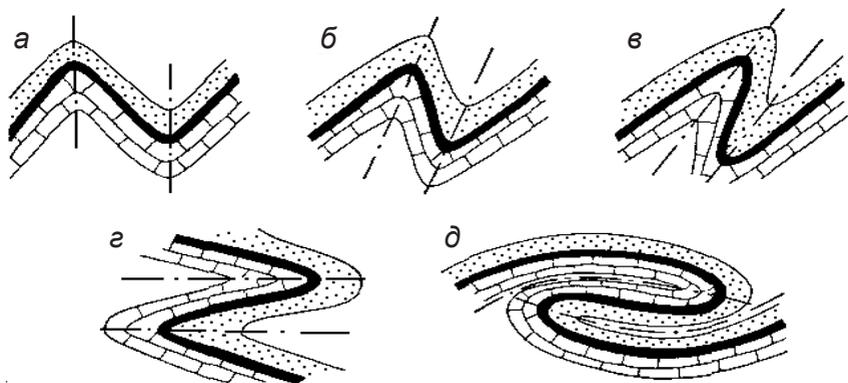


Рис. 23. Классификация складок в разрезе по наклону осевой поверхности: *a* – симметричные складки; *б* – наклонные складки; *в* – опрокинутые складки; *г* – лежачие складки; *д* – перевернутые (ныряющие) складки

В поле и на геологических картах при определении антиклинальных и синклиналичных структур чаще всего используют геометрический признак: у антиклинали крылья падают в стороны от замка, у синклинали – к замку. Однако в случае опрокинутых, перевернутых, веерообразных и т. д. складок, используя направление падения крыльев, можно прийти к неправильному истолкованию структуры. Поэтому, как указывалось выше, основным признаком, по которому определяют антиклинальные и синклиналичные складки, должен быть стратиграфический: в ядре антиклинали

породы древнее, чем на крыльях, а в ядре синклинали моложе. Во всех случаях необходимо анализировать взаимоотношение рельефа и слоев, слагающих крылья складок, тогда можно прийти к правильному заключению о характере залегания слоев. Без такого анализа легко допустить ошибку и принять горизонтальное или слабонаклонное залегание за складчатое.

Важным морфологическим признаком является также форма складки в плане. Она зависит от соотношения длины и ширины складки. За длину берется расстояние вдоль оси складки между смежными перегибами шарнира. Ширина складки равна расстоянию между осевыми линиями двух соседних антиклиналей или синклиналей. За высоту принимают расстояние по вертикали между замками антиклинали и смежной с ней синклинали, измеренное по одному и тому же слою.

Складки, у которых длина во много раз больше ширины, называются линейными. При соотношении ширины и длины от 1:1 до 1:5 складки относятся к брахиморфному типу. Различают брахиантиклинали и брахисинклинали. Изометричные в плане антиклинальные складки называются куполами, а изометричные синклинали – чашевидными. Разновидность складок, близких к брахисинклиналям, но с плоским дном и относительно крутыми бортами, принято называть мульдами.

Нередко куполовидные складки прорываются пластичными породами ядра. Возникают ядра протыкания, при этом они могут выходить на дневную поверхность или прорывать только часть вылежащих слоев. Такие складки называются диапировыми.

4.3. Изучение складчатых форм на картах

Элементы залегания крыльев складок определяются теми же способами, что и при моноклиальном залегании пород. На крупномасштабных картах для этой цели удобнее всего использовать стратоизогипсы и заложение, которые дают также дополнительную информацию о типе складки и ее положении в пространстве.

Стратоизогипсы на крыльях складки проводят для одного и того же слоя. Если стратоизогипсы на противоположных крыльях параллельны между собой, складка имеет горизонтальный шарнир. Равные заложения на крыльях указывают на то, что крылья наклонены под одним углом и, следовательно, складка является нормальной (симметричной). По величине заложения можно опре-

делить, является замок острым или тупым. У складок с округлым замком величина заложения к осевой линии увеличивается.

Изменение величины заложения на одном из крыльев складки свидетельствует о ее асимметрии, т. е. о наклонном положении осевой поверхности. Пологое крыло всегда будет иметь большую величину заложения по сравнению с крутым крылом. Осевая поверхность при этом будет наклонена в сторону пологого крыла, ось и шарнир останутся параллельными стратоизогипсам.

При наклонном положении шарнира стратоизогипсы не параллельны и сходятся в направлении погружения шарнира у антиклиналей и в сторону воздымания шарнира у синклиналей, т. е. на карте – в сторону омоложения пород. Там, где шарнир погружается или воздымается, слои на карте огибают осевую линию, переходя на другое крыло. Участки антиклинальных складок, где шарнир погружается, носят название периклинального замыкания. Слои на таких участках наклонены в стороны от ядра складки. В синклинальных складках слои, огибая ось складки, наклонены к ее ядру. Здесь шарниры наклонены в сторону ядра. Такие части синклинальной складки называются центриклинальным замыканием.

По характеру замыкания складки в плане можно составить некоторое представление о ее форме на глубине. Например, центриклинальное замыкание, имеющее широкий округлый контур, соответствует складке с широким округлым замком в поперечном сечении. Наоборот, остроугольное замыкание в плане соответствует складке с острым замком в разрезе.

На мелкомасштабных геологических картах или картах с очень выположенным рельефом, когда рельеф на рисовку выходов пластов практически не влияет, оси складок проводят обычно через их замыкания, а при отсутствии замыканий (складки с горизонтальным шарниром) они проводятся через ядра складок. При этом в асимметричных складках учитывается положение осевой поверхности, т. е. оси проводятся ближе к тому крылу, которое падает круче.

Ундуляция шарнира (волнообразные его изгибы в вертикальном разрезе) при неизменном простирании оси складки приводит к тому, что простирание слоев на крыльях непрерывно меняется вплоть до замыкания отдельных слоев на карте. Это находит свое отражение также в изменении элементов залегания крыльев складки и изменении ширины ядра в плане.

Однако следует иметь в виду, что такие замыкания могут быть вызваны не ундуляцией шарнира складки, а неровностями рельефа

(наличием поперечных речных долин или балок) при горизонтальном положении шарнира, т. е. ее линейной форме в плане. Поэтому о положении шарнира при расчлененном рельефе и относительно крупном масштабе карты нужно судить по поведению стратоизогипс на крыльях складки или по ориентировке значков элементов залегания. При горизонтальном положении шарнира простирания пород в противоположных крыльях складки будут параллельны друг другу и оси складки.

На крупномасштабных картах влияние рельефа на выходы слоев в крыльях наклонных и опрокинутых складок проявляется особенно сильно. Поэтому положение осевой линии уточняется построением поперечных геологических разрезов с вынесением на них следа осевой поверхности.

В других случаях для более точного проведения осевых линий на карте необходимо сделать несложные дополнительные построения.

По определению ось складки – это линия пересечения осевой поверхности горизонтальной плоскостью. При этом осевая поверхность может быть определена как поверхность, делящая пополам угол складки (биссектриса угла складки).

На этом и основаны геометрические построения для нахождения осей складок.

Определение положения осевых линий у симметричных складок – довольно простая задача. Ось складки в этом случае располагается на середине расстояния между равновысотными стратоизогипсами одной и той же поверхности, выходящей на противоположных крыльях.

Для определения положения оси наклонной складки производят следующие геометрические построения (рис. 24). Прежде всего проводят на карте равновысотные стратоизогипсы для одной и той же поверхности на крыльях складки. Соединяют их перпендикулярной линией. Тем самым как бы задается горизонтальная плоскость, пересекающая крылья складки на определенной высоте.

На концах перпендикуляра АВ строят углы падения соответствующих крыльев (α_1 и α_2). Продолжают стороны углов до взаимного пересечения. Полученный угол АСВ является, в сущности, углом складки. Делят его пополам и биссектрису (осевую поверхность) продолжают до пересечения с перпендикуляром АВ. Через точку пересечения биссектрисы с перпендикуляром (точка О) проводят линию, параллельную стратоизогипсам на крыльях. Эта линия и будет осевой линией складки.

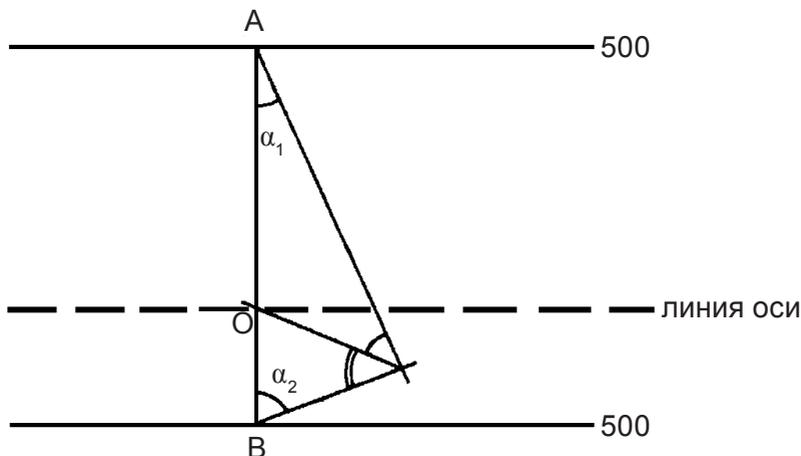


Рис. 24. Нахождение осевой линии наклонной складки

На геологических картах мелкого масштаба шарнир и осевая линия складки пространственно совпадают. Чтобы показать ундуляцию шарнира, на осевой линии условными знаками (стрелками) обозначают места и направление его погружения, при этом оси антиклинальных складок показываются сплошными линиями, а синклинальных – пунктиром.

4.4. Построение геологических разрезов

Построение геологических разрезов через участки со складчатым залеганием пород имеет некоторые особенности.

Во-первых, линия разреза на карте выбирается таким образом, чтобы она была ориентирована вкrest простираения осей складок. При вынужденной ориентировке разреза под углом к простираению пород, слагающих крылья складки, в значения углов их падения вводятся соответствующие поправки.

Во-вторых, вертикальный масштаб должен соответствовать горизонтальному (масштабу карты). В противном случае изменение углов наклона крыльев приведет к искажению морфологии складок.

Выбрав линию разреза, строят топографический профиль, отражающий поверхность рельефа по линии разреза. Затем на топографический профиль сносят точки пересечения линии разреза с

границами пластов на карте. Из этих точек под известными углами падения проводят линии границ слоев на крыльях.

Обычно построение разреза начинают с участков, где достаточно данных об углах падения. На участках, где отсутствуют углы падения, их определяют по формуле, используя истинную мощность и определенную предварительно на карте с помощью стратоизогипс вертикальную (или горизонтальную) мощность.

Эту же задачу легко решить графически на топографическом профиле. Для чего из точки выхода кровли на профиле в сторону подошвы циркулем проводят дугу с радиусом, равным истинной мощности слоя. Из точки выхода подошвы к дуге проводят касательную, которая представляет собой подошву слоя. Проведя из точки кровли прямую, параллельную подошве, получают линию кровли, проведенную под истинным углом падения. Угол падения измеряют транспортиром.

При неизменных углах падения слоев на крыльях складок (т. е. если они представляют собой моноклинальные участки) границы слоев на смежных крыльях проводят прямыми линиями. Границы одних и тех же слоев продолжают до взаимного пересечения и в замковой части складки (в зоне пересечения) границы слоев рисуют скругленными. При этом форма замка складки в разрезе рисуется по аналогии с формой ее замыкания на карте. Так, при плавном изгибе слоев на карте в зоне ее замыкания таким же плавным (округлым) должен быть и замок складки на разрезе. Резкие замыкания в плане дают основание изображать на разрезе острые замки складок.

При необходимости более точного изображения формы замка (для установления глубины погружения шарнира по линии разреза) прибегают к дополнительным построениям. Наиболее простым является способ построения дополнительного разреза вдоль оси складки, на котором, учитывая угол погружения шарнира, находят глубину погружения замка складки по линии основного разреза, ориентированного вкрест простирания оси складки.

В большинстве случаев на разрезах изображают концентрические складки, т. е. складки с одинаковыми мощностями на крыльях и в замках. Поэтому следует обращать внимание на выдержанность мощностей слоев и следить за тем, чтобы изменение мощностей слоев на разрезах не произошло за счет неверно продолженных на глубину углов падения контактовых поверхностей.

При изменении углов падения слоев на крыльях складки геологический разрез строят методом радиусов (рис. 25, а), так же как

разрез через участки с локальными изгибами пластов на фоне их общего наклонного залегания (см. рис. 18). При резких изменениях углов падения на крыльях складок прибегают к методу биссектрис (рис. 25, б).

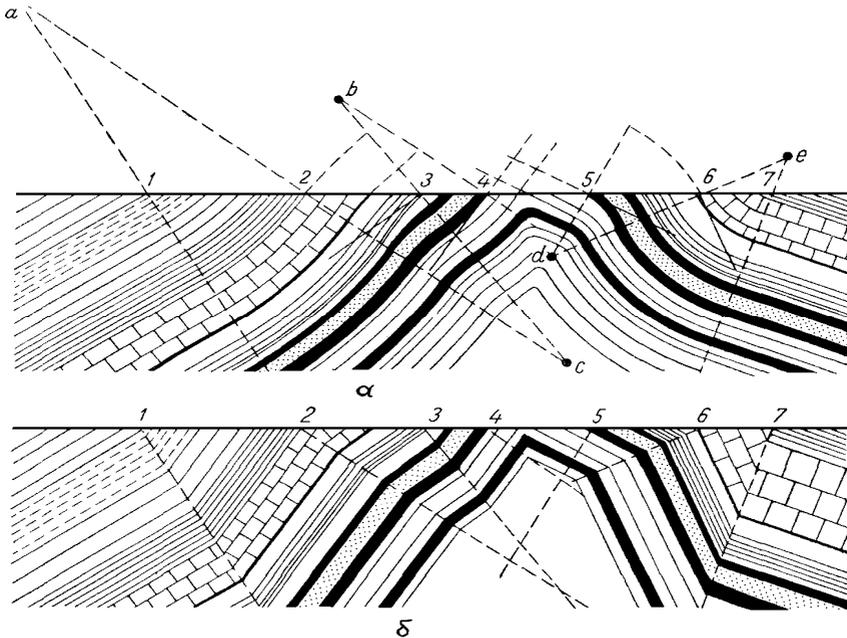


Рис. 25. Построение геологического разреза методом радиусов (а) и методом биссектрис (б). По В. Н. Веберу, 1934

На построенном разрезе обычно изображают следы осевых поверхностей складок. Эти линии проводят через замковые перегибы всех слоев, составляющих складку, или как биссектрису угла складки. Точно построить след осевой поверхности на глубину можно только с использованием данных буровых работ.

При полной характеристике морфологии складки необходимо определить ее форму в плане (линейная, брахиморфная или изометричная), указать ее тип по соотношению крыльев (простая, изоклиальная или веерообразная), по положению осевой поверхности (симметричная, наклонная, опрокинутая, лежащая, перевернутая), по форме замка (острый замок, тупой, округлый и т. д.),

указать положение шарнира (горизонтальный, наклонный, ундулирующий). При наклонном шарнире необходимо указать направление его погружения.

4.5. Изображение складок на картах

Складчатые структуры могут изображаться как на обычных геологических картах, так и на специальных, так называемых структурных.

Изображение складок на геологических картах достигается нанесением на них границ стратиграфических подразделений. Именно конфигурация этих границ выявляет и очерчивает складчатые структуры различной формы (рис. 26). В качестве дополнительной информации служат условные знаки элементов залегания слоев, слагающих складку. Достоверность и детальность расшифровки морфологических особенностей складчатых структур обеспечиваются при этом дробностью стратиграфического расчленения разреза и, по возможности, небольшими мощностями выделенных стратиграфических подразделений.

В однородных по составу мощных толщах пород затруднительно достичь необходимой расчлененности стратиграфического разреза, а выделяемые подразделения имеют слишком большую мощность. В результате выходы одних и тех же подразделений занимают значительные участки карты. При этом отдельные складчатые структуры не найдут своего отражения на карте, что приведет к ошибочной интерпретации структурных форм района.

В таких случаях для изображения складчатых структур прибегают к выделению внутри мощных стратиграфических комплексов маркирующих горизонтов, их прослеживанию на местности и изображению специальными условными знаками на картах.

Под маркирующими горизонтами понимаются слои горных пород, обладающих какими-либо признаками, позволяющими легко опознавать их в поле среди окружающих пород. Это могут быть их специфический литологический состав, цвет, присутствие определенных окаменелостей или конкреций, структурно-текстурные особенности и т. п. Кроме того, эти слои должны иметь выдержанную и, желательно, небольшую мощность, а также широкое площадное распространение. В качестве таких горизонтов могут служить, например, слои известняков среди песчано-глинистых пород, пласты угля, слои конгломератов, доломитов, гипсов, слои с включениями фосфоритов и т. д. В вулканогенных толщах пре-

красными маркирующими горизонтами могут служить пепловые горизонты (горизонты тефры).

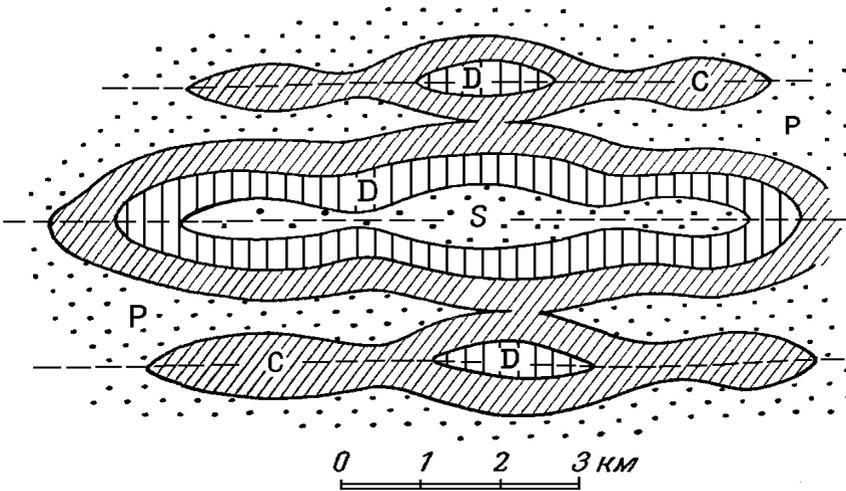


Рис. 26. Изображение на карте симметричных антиклинальных складок с ундулирующими шарнирами. Индексами обозначены геологические системы: S – силурийская; D – девонская; C – каменноугольная; P – пермская

Желательно выделение в разрезе нескольких маркирующих горизонтов, что обеспечит необходимую детальность выявления складок различных размеров.

Наиболее точным методом изображения складчатых структур, особенно при глубинном картировании, когда геологическая карта поверхности не отражает формы залегания пород на глубине, является метод построения структурных карт.

4.6. Построение структурных карт

Структурными называются карты, на которых с помощью строизогипс изображается гипсометрическое положение каких-либо опорных поверхностей. В качестве последних могут служить кровля или подошва пластов горных пород, маркирующие горизонты, поверхности несогласия, контакты интрузивных тел, сместители

тектонических нарушений и т. д. В отличие от обычных геологических карт поверхностного распространения разновозрастных пород структурные карты дают наиболее точное изображение подземного рельефа геологических структур.

Структурные карты относятся к картам специального назначения и предназначены для детализации геологического строения района или конкретного геологического объекта, широко используются при картировании платформенных областей, а также при глубинном геологическом картировании. Эти карты являются основным картографическим материалом при изучении месторождений пластовых полезных ископаемых – нефти, газа, угля, осадочных железных руд и т. д., а также при гидрогеологических работах. Особенно велика их роль при разведке глубоких нефтеносных или газоносных горизонтов, а также тел слепых месторождений рудных полезных ископаемых.

Как уже было указано выше, положение картируемой опорной поверхности отображается на структурных картах при помощи стратоизогипс (точнее, их проекций на горизонтальную плоскость). Стратоизогипсы (от латинского «стратум» – слой, «изос» – равный, «гипсос» – высота) – линии, соединяющие точки поверхности пласта (или какой-либо другой структурной поверхности) с одинаковыми высотными отметками. Иначе говоря, это линии пересечения опорной поверхности горизонтальными равноудаленными плоскостями. В сущности, они являются линиями простираения поверхности пласта, проведенными через равные интервалы высот, т. е. с определенным сечением.

Высотные отметки опорного горизонта обычно принято отсчитывать относительно уровня моря, при этом стратоизогипсы, расположенные выше уровня моря, отмечаются со знаком плюс, а ниже уровня моря – со знаком минус.

Опорными (маркирующими) горизонтами называются выдержанные по площади и по мощности, фациально (т. е. по составу, внешнему облику, фауне и флоре и другим признакам) строго однородные слои, легко отличающиеся от покрывающих и подстилающих горных пород. Они-то и используются для сопоставления геологических разрезов при полевых геолого-съёмочных работах и для оконтуривания тектонических структур при структурно-геологической съёмке.

С помощью системы стратоизогипс можно наглядно и точно изобразить самые разнообразные структурные формы – монокли-

наль, флексуры, складки и т. д., а также сочетания этих структур. Причем изображение структурных форм в стратоизогипсах аналогично изображению различных форм рельефа на топографических картах с помощью изогипс земной поверхности, проведенных также с определенным сечением.

Моноклинално залегающий пласт на структурной карте будет подобен наклонной местности на топографической карте, т. е. будет изображаться в виде параллельных линейно вытянутых равноудаленных друг от друга стратоизогипс. Направление стратоизогипс будет соответствовать простиранию пласта.

Линия падения на структурной карте устанавливается по нормали к стратоизогипсам, направление падения определяется по направлению снижения отметок стратоизогипс.

При одном и том же сечении расстояние между стратоизогипсами в плане будет свидетельствовать о крутизне угла падения пласта. Чем более сближены стратоизогипсы, тем больше угол падения пласта (аналогично тому, как на топографической карте сгущение изогипс рельефа указывает на увеличение крутизны склона местности).

Угол падения пласта на структурной карте легко определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b},$$

где α – угол падения пласта; h – разность отметок (сечение) между двумя или крайними из нескольких стратоизогипс, в пределах которых определяется угол падения пласта; b – заложение, т. е. расстояние в плане (на карте) между этими стратоизогипсами, измеренное по нормали к стратоизогипсам.

Флексуры, так же как и участки более крутого склона местности, на структурной карте выглядят участками резкого сближения стратоизогипс на фоне их сравнительно одинакового заложения и параллельности. Структурная терраса изобразится стратоизогипсами в виде продольной площадки, где стратоизогипсы значительно раздвигаются; структурный нос – в виде ровной площадки, несколько вытянутой в поперечном направлении, т. е. стратоизогипсы испытывают в этом случае изгиб, перпендикулярный их общему простиранию (рис. 27).

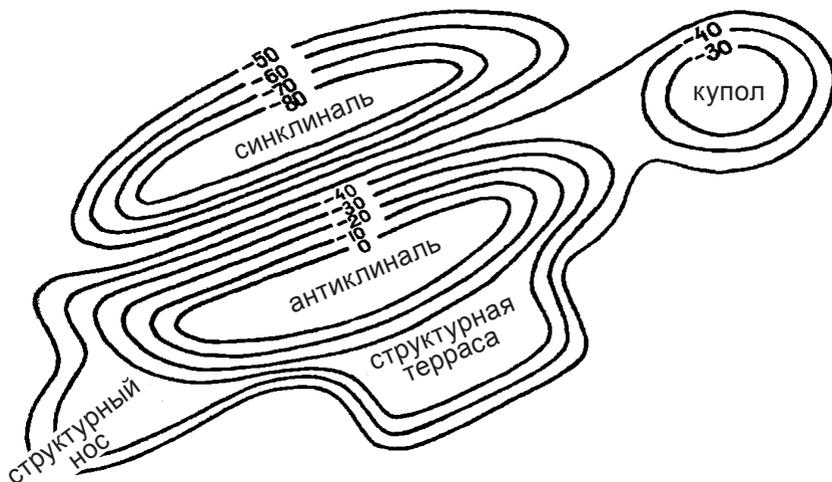


Рис. 27. Изображение различных структурных форм на структурной карте

Антиклинальные складки на структурных картах подобны хребтам на топографических картах в изогипсах, а синклинальные – вытянутым впадинам. Куполовидная структура уподобляется холму в горизонталях рельефа (рис. 27).

Структурные карты очень близки к топографическим и по технике их построения. При этом применяются обычные приемы построения изолиний. И в том и другом случае на первом этапе задача сводится к нахождению точек с известными высотными отметками. Только на структурных картах в отличие от топографических опорные точки несут информацию не об абсолютной высоте поверхности земли, а об абсолютной отметке того или иного маркирующего горизонта, для которого строится карта. Причем чем больше таких точек, тем точнее будет структурная карта.

Затем соседние точки соединяются прямыми отрезками. На них интерполяцией намечают точки с промежуточными высотными отметками, соответствующими выбранному сечению изогипс. Точки с равными высотными отметками, соединяются плавными линиями (стратоизогипсами). Такова принципиальная схема построения структурной карты.

Существующие разные способы построения структурных карт различаются, в сущности, лишь разными способами нахождения высотных отметок картируемой поверхности.

4.6.1. Построение структурных карт по геологическим разрезам

Наиболее простым, сугубо графическим способом, не требующим проведения дополнительных геологических работ, является построение структурной карты по геологическим разрезам. Для их составления используется уже имеющаяся детальная геологическая карта изучаемого района.

Количество необходимых для построения карты разрезов определяется размерами площади и сложностью ее геологического строения. Наибольшее их число потребуется при картировании мелких структур сложной морфологии.

Разрезы обычно ориентируются вкрест простирания картируемой структуры. Однако для большей точности построения карты рекомендуется составить вспомогательный продольный разрез, желательно по оси структуры (разрез IV на рис. 28).

Все разрезы делают на глубину до картируемой опорной поверхности (маркирующего горизонта). Требуется максимальная точность изображения геологических структур на разрезах. Так, для более точного определения положения замков складок используют данные об угле погружения шарниров.

На готовые геологические разрезы наносят горизонтальные параллельные линии с интервалом между ними, соответствующим заданному сечению стратоизогипс (рис. 28). Точки пересечения этих линий с маркирующим горизонтом сносят на горизонтальную линию основания разреза, а затем при помощи циркуля-измерителя – на соответствующую линию разреза на карте. Рядом с точками на карте проставляют соответствующие высотные отметки. Более удобно делать эту разность на листе кальки, наложенном на карту (на нем же и строят затем саму структурную карту). В результате вся карта (калька) покрывается точками с известными высотными отметками опорного горизонта. Соединяя плавными линиями точки с одинаковыми значениями высот, получают структурную карту с заданным сечением стратоизогипс опорной поверхности.

В практике геологического картирования структурные карты составляются в процессе специальной структурной (структурно-геологической) съемки. Наибольшее применение структурная съемка находит при картировании структур платформенного чехла или поверхности фундамента. В последнем случае основным источником данных по высотным отметкам маркирующих поверхностей являются материалы буровых скважин.

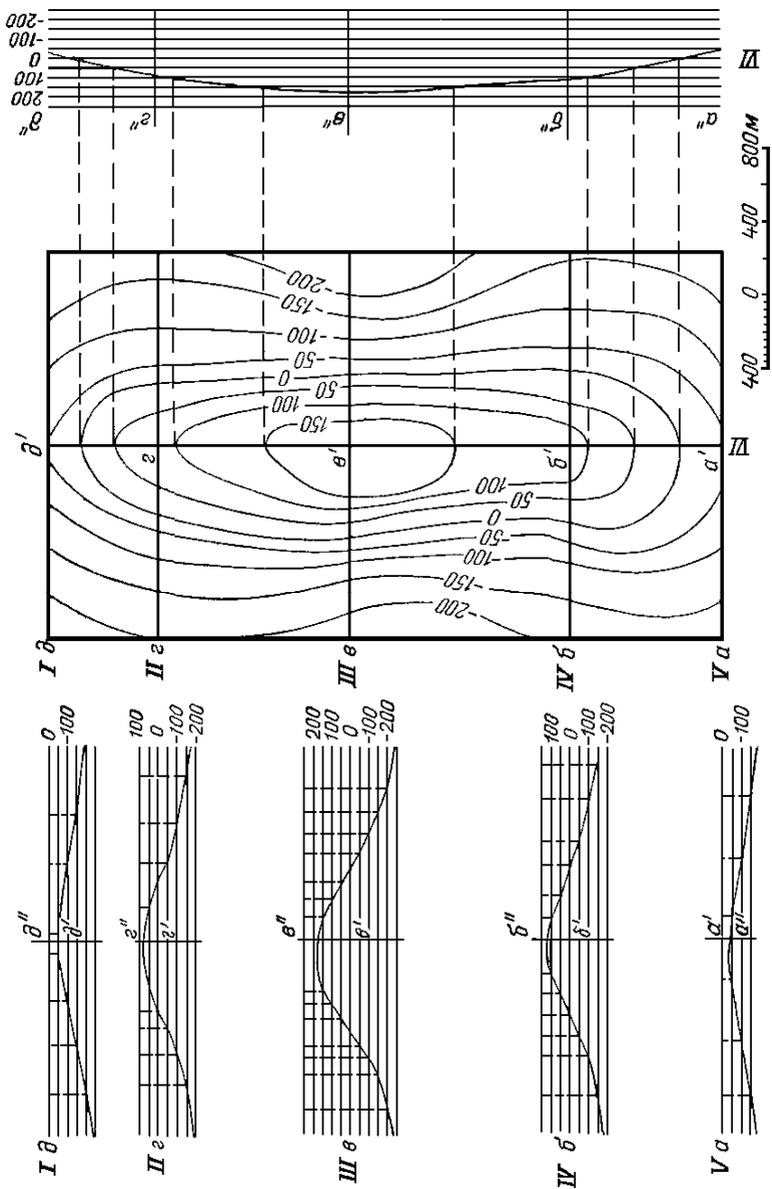


Рис. 28. Построение структурной карты по геологическим разрезам. По Н. И. Буялову, 1956

В зависимости от особенностей геологического строения и рельефа картируемой территории методика проведения структурной съемки может быть разной. Некоторые виды ее рассмотрены ниже.

4.6.2. Построение структурных карт по обнажениям, горным выработкам и скважинам

Структурные карты маркирующих горизонтов, рудных тел, зон разрывных нарушений и прочих участков сложного геологического строения являются конечным результатом специальных геологических структурных съемок. Съемки, как правило, крупномасштабные. Выбор методики работ зависит от геологического строения изучаемого объекта. Если маркирующие горизонты, рудные тела и пласты, сместители разрывных нарушений выходят на дневную поверхность и их можно наблюдать в обнажениях, структурная карта строится по обнажениям. Главными требованиями в этом случае являются точная привязка обнажения, на местности и определение абсолютной отметки обнажения, а в крупных обнажениях – отметки кровли или подошвы пласта или контакта рудного тела. Достигается это топографической привязкой обнажений на местности и выносом этих точек на карту. Абсолютные отметки точек наблюдения определяются нивелированием.

Для крупномасштабных карт (от 1:25000 до 1:5000 и более) действуют требования кондиционности, т. е. на 1 см² или 1 дм² карты должно быть определенное количество точек наблюдения. При такой густоте наблюдений на карте неточность привязки и определения абсолютных отметок всего на метры приводит к искажению структуры. Кроме того, нужно иметь в виду, что структурная карта не единственный результат структурной съемки. Во время съемки изучаются и получают графическое выражение, в том числе на геологических и структурных картах, все виды трещиноватости, полосчатости, фациальных переходов, шлиров и пр., что требует точнейшей привязки.

Значительно облегчат задачу привязки точек наблюдения с помощью системы спутникового позиционирования. Существующие в настоящее время спутниковые приборы позиционирования пока не удовлетворяют требованиям детального структурного картирования. В августе 2008 г. принято Постановление Правительства РФ, которое обязывает соответствующие федеральные органы оснастить аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или

ГЛОНАСС/GPS технические средства, в том числе приборы и оборудование, применяемое при проведении геодезических работ. Точность позиционирования возрастет до 1 м. Поэтапное оснащение аппаратурой спутниковой навигации технических средств, находящихся в эксплуатации, начнется с 2010 г. Но основным препятствием является отсутствие цифровых топографических карт. Специальная, тематическая структурная съемка производится, как правило, в крупном масштабе на небольшой площади. Отсюда следует, что едва ли возможно в ближайшее время создать необходимое количество цифровых топографических карт крупного масштаба; в любом случае, необходимо проводить локальную топографическую съемку с последующей оцифровкой топоосновы.

Структурная съемка по обнажениям применяется обычно при достаточно хорошей обнаженности пород, открытой или слабо залесенной местности, сравнительно хорошей выдержанности разреза, имеющего маркирующие горизонты.

Съемка ведется прослеживанием выбранных опорных пластов от одного обнажения к другому. Высотные отметки маркирующих горизонтов в обнажениях вычисляются с максимальной точностью топографами или по показаниям высокоточных барометров-анероидов и тут же надписываются на карте рядом с вынесенными на нее точками обнажений.

Съемка может проводиться по одному или нескольким маркирующим горизонтам. Наиболее точные результаты получаются в том случае, когда всю съемку можно провести по одному горизонту, представленному во всех обнажениях. В других случаях для построения структурной карты необходимо произвести в некоторых обнажениях пересчеты высотных отметок всех пластов, зная их положение в разрезе, на один пласт (опорную поверхность), по которому решено строить карту.

Для этого на топографический планшет выносятся обнажения всех пластов, слагающих разрез. Причем в обнажениях опорного горизонта его высотные отметки определяются непосредственно в поле. В других обнажениях они находятся вычислением по замерам углов падения пластов и по измеренным расстояниям между обнажениями.

Пусть точка А (рис. 29) изображает выход на поверхность опорного горизонта (пласта) с высотой над уровнем моря H_a и углом падения α . Выше по склону, в сторону падения пластов, имеется обнажение другого горизонта В с тем же углом падения. Тогда высотная отметка опорного горизонта А в точке В (на карте) определится по формуле

$$H_{a1} = H_a - L \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где H_a – высотная отметка основного горизонта в точке А; L – горизонтальное проложение расстояния между точками А и В (замеряется на карте); α – угол падения пластов.

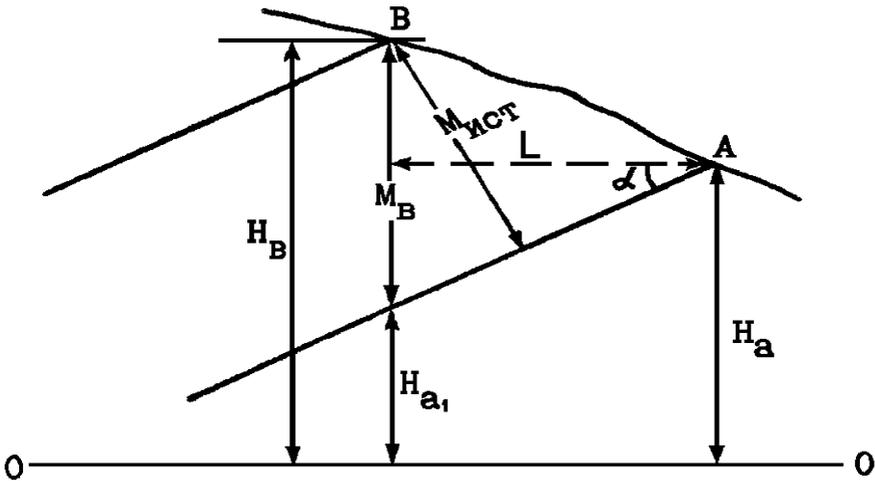


Рис. 29. Определение абсолютной отметки основного опорного горизонта в точке В

Как видно из вышеприведенной формулы, точность определения высотных отметок опорного горизонта при этом методе зависит прежде всего от расстояний между обнажениями. Чтобы избежать существенных погрешностей, интервал между пунктами замера элементов залегания не должен превышать 500 м.

При различных углах падения в соседних обнажениях угол α в расчетах берется равным условно среднеарифметическому между двумя замерами, что также приводит к появлению некоторой ошибки в определении высотных отметок.

Если высота точки выхода верхнего горизонта В также известна, можно воспользоваться другим способом определения высотной отметки основного опорного горизонта в этой точке. Для этого нужно знать глубину его залегания, т. е. расстояние по вертикали, отделяющее основной горизонт от вышележащего на месте выхода последнего (см. рис. 29). А оно представляет собой вертикальную мощность пластов (или пласта), разделяющих эти два горизонта, и может быть определено из истинной их мощности по формуле

$$M_B = \frac{M_{\text{ист}}}{\cos \alpha}.$$

Тогда высотная отметка основного опорного горизонта А в точке В на карте будет равна

$$H_{a1} = H_B - M_B$$

или

$$H_{a1} = H_B - \frac{M_{ист}}{\cos \alpha},$$

где $M_{ист}$ – истинная мощность разделяющей горизонты толщи; H_B – высотная отметка точки В выхода верхнего горизонта; α – угол падения пластов.

После пересчета всех высот на основной маркирующий горизонт абсолютные отметки последнего надписываются на карте около соответствующих точек и можно приступать к составлению структурной карты. Структурная карта строится непосредственно в поле с учетом выбранного сечения стратоизогипс.

Иногда в процессе проведения вышеописанных съемок применяются горные выработки. Они позволяют получать дополнительные точки, когда из-за неравномерной обнаженности пород расстояния между обнажениями оказываются слишком большими. В массовом количестве горные выработки при проведении структурной съемки применяют в условиях слабой обнаженности пород. Здесь они являются основным способом нахождения высотных отметок выбранного опорного горизонта в нужном для построения карты количестве точек наблюдения.

При мощности наносов не более 3 м применяются канавы и шурфы, при большей мощности прибегают к бурению так называемых структурных скважин.

В настоящее время метод построения структурной карты по материалам бурения скважин является наиболее распространенным. В частности, он очень широко используется при съемке на платформах для выявления структур чехла.

Структурные карты широко используются также при подземных эксплуатационных работах, когда продуктивные пласты или рудные тела обрабатываются эксплуатационными выработками: шахтами, штольнями. На обрабатываемых участках отметки кровли-подошвы пласта или контакты рудного тела непрерывно выносятся на погоризонтные планы, и строятся структурные карты одним из описанных ниже методов. По этим точнейшим картам

анализируется структура пласта или рудного тела с целью прогноза его дальнейшего поведения. Неточности и небрежности в построении таких структурных карт приводят к тому, что запроектированные штольни и скважины могут не вскрыть рудное тело или залежь.

Кроме обрабатываемых участков структурная карта строится и для всего рудного поля. Для этого используются все материалы поисково-разведочных скважин и штолен, вскрывших рудные тела. Естественно, эта структурная карта менее точна, поэтому она может строиться и в более мелком масштабе, чем эксплуатационная.

Метод построения структурных карт по данным горных выработок и скважин заслуживает поэтому более подробного рассмотрения.

Прежде всего на карту с изображением рельефа в горизонталях наносят все пункты, в которых можно вычислить абсолютные отметки выбранного опорного горизонта. При построении карты по данным буровых скважин из буровых журналов выписывают высотные отметки устьев скважин (их можно снять и с карты) и глубину до опорной поверхности. Вычитая из значения абсолютной высоты устья скважины величину глубины опорного горизонта, получают абсолютную отметку картируемой поверхности, которая может иметь положительное или отрицательное значение.

Все вычисленные отметки проставляются около точек на карте или наложенной на нее кальке. Абсолютная отметка опорной поверхности проставляется как знаменатель дроби, в которой числителем является номер скважины, например:

$$\frac{3}{260}.$$

Следует заметить, что при наклонном бурении, а также искривлении скважин на глубине необходимо вносить соответствующие поправки на смещение точки пересечения скважиной опорной поверхности по отношению к устью скважины, а также на изменение абсолютной отметки опорной поверхности.

Помимо данных по скважинам можно воспользоваться, если они имеются, пунктами выхода опорного горизонта на дневную поверхность по долинам рек, в оврагах, искусственных поверхностных горных выработках (карьерах, траншеях и т. д.). В них также определяются абсолютные отметки картируемой поверхности, которые выносятся на карту. На геологических картах подобные

точки высотных отметок находят в местах пересечения линии выхода опорного горизонта с изогипсами рельефа.

Иногда для вычисления высот опорных горизонтов могут быть использованы геофизические данные (каротажные диаграммы, кривые электрозондирования при профильных исследованиях, геоэлектрические разрезы и другие имеющиеся у геологов материалы, которые способствуют более надежному выделению и прослеживанию маркирующих горизонтов).

После выноса всех точек с вычисленными отметками маркирующего слоя на карту путем их качественного анализа выясняют общий характер глубинной структуры. При этом приблизительно намечают общее простирание в пределах моноклиналей, положение осевых частей поднятий и прогибов, направление наклона слоев на их крыльях. Для выяснения формы общей структуры необходимо использовать также имеющиеся в распоряжении геологов геофизические карты в изолиниях, составленные для глубинных горизонтов тем или иным методом (карты изоом, сейсмические структурные карты в изонормальных, карты аномалий силы тяжести и др.).

Затем, с целью проведения интерполяций, все имеющиеся на карте точки с высотными отметками соединяют прямыми непрерывными линиями, из которых образуется сеть треугольников. Желательно, чтобы интерполяционная сеть распределялась равномерно по всей площади картируемого района.

Поскольку возможны различные варианты соединения точек, в некоторых учебных пособиях [8, 9] рекомендуется строить обязательно равносторонние треугольники. На это обстоятельство почему-то обращается особое внимание, хотя выполнение этого чисто формального требования может привести в некоторых случаях к ошибкам.

Правильнее будет соблюдать следующую рекомендацию: получающиеся вспомогательные треугольники должны иметь две стороны, близкие к линии падения картируемой поверхности, а третью – к ее простиранию. Кстати сказать, совсем не обязательно стараться соединять все без исключения точки с единственной целью получения сети треугольников. Чтобы не исказить структуры, нужно придерживаться следующего основного правила: нельзя соединять прямой точки с целью интерполяции, если между ними могут находиться отметки ниже или выше, чем у соединяемых точек. Иначе говоря, эти прямые не должны пересекать осевые линии прогибов и поднятий картируемой поверхности, если они

намечаются, т. е. они не должны соединять точки, лежащие на разных крыльях складчатой структуры.

Предполагая, что наклон слоев между каждой парой структурных точек постоянен, на отрезках, их соединяющих, проводят интерполяцию высотных отметок и проставляют точки с промежуточными значениями высот, задавшись определенным сечением стратоизогипс.

Правильный выбор величины сечения между стратоизогипсами при построении структурных карт имеет существенное значение. В общем случае она определяется масштабом карты, количеством и расположением точек определения высотных отметок опорного горизонта, общим характером тектоники района. Так, чем мельче масштаб карты, тем больше должна быть величина сечения стратоизогипс. Сечение стратоизогипс выбирается таким образом, чтобы они позволяли отразить основные особенности в изменении пространственного положения опорной поверхности. Поэтому сечение должно быть меньше, чем амплитуда и площадные размеры структурных форм, которые необходимо изобразить на структурной карте.

Опыт построения структурных карт показывает, что для этих целей в пределах картируемого участка достаточно иметь от 5 до 10 изолиний. Меньшее их количество не может обеспечить надежное выявление всех существенных черт структуры, а большее, не повышая значительно детальности и точности карты, лишь затрудняет восприятие тектонических форм и создает дополнительные технические трудности. Таким образом, для выбора величины сечения стратоизогипс надо сначала найти в пределах участка максимальную и минимальную отметки картируемой поверхности. Их разницу необходимо разделить на число в интервале от 5 до 10. Из серии результатов округлением до величины, кратной 5 или 10 м, выбирают наиболее приемлемое сечение.

Интерполяцию высотных отметок можно производить по-разному. Прежде всего, это так называемый планиметрический способ, основанный на элементарном геометрическом приеме. Допустим, в соседних скважинах 14 и 16 (рис. 30) абсолютные отметки опорной поверхности составляют соответственно 196 и 248 м. Разница между отметками равна 52 м. Если принятое сечение стратоизогипс составляет 10 м, то между скважинами 14 и 16 должны располагаться пять стратоизогипс с отметками 200, 210, 220, 230, 240 м. Требуется, следовательно, на линии, соединяющей скважины 14 и 16, найти точки, через которые пройдут указанные стратоизогипсы.

прямых, проведенных на одинаковом друг от друга расстоянии, например через 1 мм.

Палетку накладывают на разбиваемую линию так, чтобы одну из крайних точек с отметкой пересекала нулевая: линия палетки. Затем, не смещая нулевую линию с этой точки, вращают палетку до тех пор, пока с соседней точкой не совпадет линия палетки, имеющая цифровое обозначение, равное разности высот между этими точками. Линиями палетки отрезок между точками будет разделен пропорционально этой разности высот. Точки, соответствующие стратоизогипсам в принятом сечении, находят на отрезке простым отсчетом от исходной точки нужного количества интервалов.

Например, пусть мы имеем точки 2 и 3 с отметками 100 и 20 м (рис. 31). Необходимо путем пропорционального деления найти на отрезке между ними серию точек со значениями, отвечающими сечению стратоизогипс в 10 м. Палетка накладывается так, чтобы линия с отметкой 20 прошла через точку 3, а затем ее вращением совмещаем точку 2 с линией палетки 100, соответствующей высотной отметке этой точки. Тогда отрезок, соединяющий точки 3 и 2, линиями палетки будет разделен на 8 частей, т. е. мы получаем точки с абсолютными высотами опорной поверхности 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 м.

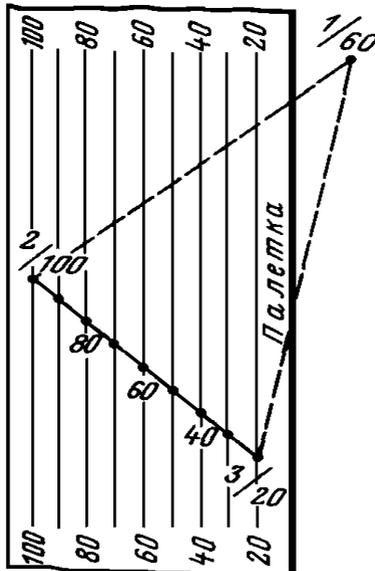


Рис. 31. Интерполяция между точками высотных отметок с помощью палетки

Можно, наконец, положение точек, через которые проходят стратоизогипсы с нужным сечением, определить путем вычислений. Для примера рассмотрим интерполяцию отрезка между скважинами 14 и 18 на рис. 28. Расстояние между ними, измеренное на карте, равно 42 мм. Превышение составляет 28 м (224 м – –196 м). На 1 м превышения приходится, следовательно, $42:28 = 1,5$ мм. Стратоизогипса 200 м пересечет линию 14–18 в точке на расстоянии $1,5 \text{ мм} \times 4 = 6 \text{ мм}$ от скважины 14. Горизонталы кратные 10 (200, 210, 220) будут разделены интервалами в 15 мм. Расстояние между скважиной 18 (отметка 224 м) и точкой с отметкой 220 м будет равно $1,5 \text{ мм} \times 4 = 6 \text{ мм}$.

Преимущество этого метода, основанного на вычислении, заключается в том, что при его применении карта не загромождается вспомогательными построениями, как это имеет место при первом методе.

Найденные интерполяцией точки с высотными отметками, кратными принятому сечению, соединяют плавными, без резких перегибов, линиями и получают, таким образом, стратоизогипсы структурной карты. Проведение стратоизогипс целесообразно начинать с участков наибольших или наименьших абсолютных отметок. При этом должен выдерживаться принцип параллельности стратоизогипс и подобия фигур, ими вычерчиваемых. Если при протягивании стратоизогипс получаются не согласованные с общим простираемостью структур мысообразные или заливообразные формы, то следует проверить правильность интерполяций другими вариантами соединения точек высотных отметок.

Стратоизогипсы картируемой поверхности подписываются в соответствии с их высотами (они могут быть положительными и отрицательными). Для обозначения направления наклона структурной поверхности на изогипсах иногда показывают штрихи, направленные в сторону снижения высот. Для облегчения счета стратоизогипсы, кратные большим величинам (например, кратные 100 при сечении через 20 м или кратные 50 при сечении через 10 м), рекомендуется проводить более толстыми линиями.

В случае, если на структурной карте выделяется участок, где размыт опорный горизонт, изобразить это на карте можно двумя способами. Во-первых, в пределах такого участка размытая часть разреза восстанавливается путем наращивания соответствующих отложений (зная их мощность на соседних участках) и вычисления их абсолютных отметок. Далее, между полученными этим путем отметками производится интерполяция и проводятся так

называемые воздушные стратоизогипсы, которые обычно выделяют пунктиром.

В другом случае, если для наращивания разреза мало данных, на карте очерчивается и заштриховывается (закрашивается) район, где размыт опорный горизонт, и стратоизогипсы доводятся только до контура размыва.

При построении структурных карт стратиграфических поверхностей обязательно должна учитываться возможность их расчленения разрывными нарушениями. В этих случаях интерполяция между точками замеров, находящимися в разных блоках, недопустима. Стратоизогипсы строятся отдельно для каждого тектонического блока и прерываются в точках их пересечения с разрывными нарушениями.

4.6.3. Построение структурных карт методом схождения

В практике структурной съемки иногда возникает необходимость построить структурную карту глубоко залегающего опорного горизонта, вскрытого лишь небольшим числом скважин, при наличии детальной структурной карты одного из верхних горизонтов, построенной по данным большого числа скважин меньшей глубины (такая необходимость часто возникает в нефтяной геологии при наличии в разрезе нескольких нефтеносных пластов).

Задача упрощается, если мощность разделяющей эти горизонты толщи на всей картируемой площади остается неизменной, т. е. сами горизонты параллельны. Структурная карта нижнего горизонта по конфигурации стратоизогипс будет тогда сходна с картой верхнего горизонта. При, в общем, пологих залеганиях пластов (вертикальное расстояние между опорными поверхностями будет близко к истинной мощности промежуточной толщи) для получения структурной карты нижнего горизонта достаточно лишь переменить отметки стратоизогипс на величину вертикальной мощности промежуточной толщи, но не их очертания.

Более сложная ситуация возникает при изменчивости мощности толщи, заключенной между верхним и нижним опорными горизонтами. В этом случае применяют особую методику построений с использованием так называемых карт схождения.

Карта схождения – это карта, показывающая закономерности изменения мощности толщи, разделяющей два опорных горизонта.

Тем самым она отображает расхождение и схождение в вертикальном сечении этих поверхностей (отсюда и название карты).

Карта схождений строится в изохорах – линиях одинаковых вертикальных мощностей. Техника построения карты изохор принципиально не отличается от техники построения обычной структурной карты в стратоизогипсах. Вместо высотных отметок для каждой точки (скважины) надо определить вертикальное расстояние между двумя опорными поверхностями (пластами).

Для построения карты необходимы как минимум три такие точки, не лежащие на одной прямой. Естественно, чем больше будет точек с данными, тем точнее будет карта схождений.

Точки на карте с данными о мощности промежуточной толщи соединяются прямыми линиями. На них, путем пропорционального деления, находят дополнительные точки со значениями вертикальной мощности через интервалы, соответствующие принятому сечению стратоизогипс верхнего опорного горизонта. В данном случае точки для интерполяции соединяются вне зависимости от их положения в складчатой структуре.

Все точки с одинаковыми значениями мощности промежуточной толщи соединяют прямыми или изогнутыми линиями в зависимости от количества скважин, пересекших нижний опорный горизонт.

Для построения структурной карты нижнего опорного горизонта карту схождений (выполняется обычно на кальке) накладывают на структурную карту верхнего опорного горизонта, точно совмещая их рамки. На линиях изохор проставляют точки пересечения изохор со стратоизогипсами структурной карты верхнего опорного горизонта. В этих точках определяются высотные отметки нижнего горизонта. Для этого нужно из отметки стратоизогипсы вычесть значение пересекающей ее изохоры.

Проставив полученные цифры у точек пересечения стратоизогипс и изохор, получаем основу для составления структурной карты нижнего опорного горизонта. Для этого точки с одинаковыми отметками соединяем плавно изгибающимися линиями, которые и будут стратоизогипсами верхнего опорного горизонта.

При проведении стратоизогипс на структурной карте верхнего горизонта необходимо соблюдать следующее требование: эти линии между точками с известными высотными отметками нижнего горизонта не должны пересекать ни изохор, ни стратоизогипс верхнего горизонта.

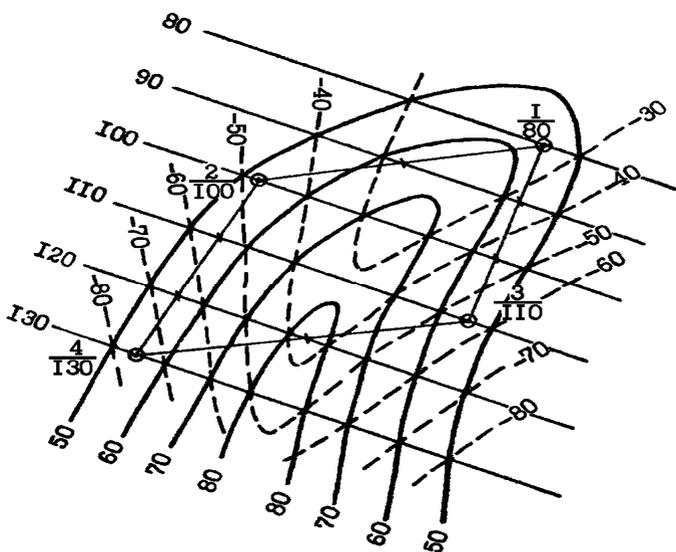


Рис. 32. Построение структурной карты нижнего опорного горизонта с помощью карты схождения (утолщенные линии – стратоизогипсы верхнего опорного горизонта; тонкие прямые параллельные линии – изохоры; пунктирные линии – стратоизогипсы нижнего горизонта)

На рис. 32 для примера представлена структурная карта периклиналильного окончания антиклинальной складки, составленная для верхнего опорного горизонта, вскрытого 24 вертикальными скважинами (не показаны на рисунке). Подстилающий горизонт вскрыт лишь в четырех глубоких скважинах. Расстояние до нижнего опорного горизонта в них меняется от 80 до 130 м. Карта изохор составляется путем интерполяции между этими скважинами, в данном случае без учета их расположения относительно осевых линий складок.

На пересечениях стратоизогипс верхнего опорного горизонта и изохор получаем точки, глубина залегания нижнего горизонта в которых будет определяться как разность отметок стратоизогипсы и изохоры. Так, на месте пересечения стратоизогипсы 50 м с изохорой 80 м отметка нижнего горизонта будет минус 30 м и т. д.

Таким образом, в результате использования карты изохор представляется возможность получить для нижнего горизонта значительное количество отметок, т. е. построить более детальную

структурную карту, чем если бы это пришлось делать по данным лишь четырех скважин, вскрывших нижний горизонт.

Соединив плавно изгибающимися линиями точки с одинаковыми отметками, получаем структурную карту нижнего опорного горизонта. Как видно, на ней вырисовывается несколько иная складчатая структура,

В заключение следует подчеркнуть, что для более правильного изображения морфологии структур стратоизогипсами построение структурных карт необходимо рассматривать как обобщение всего имеющегося геологического материала, а не как чисто геометрическую задачу. К таким материалам относятся геологическая карта, стратиграфические разрезы, геофизические карты и др.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите и покажите на схеме элементы складки.
2. Чем принципиально отличаются понятия «ось складки» и «шарнир складки»?
3. Изобразите на схеме морфологические типы складок по наклону осевой поверхности.
4. Что понимается под ундуляцией шарнира складки?
5. Какие построения проводятся на карте при нахождении осевой линии складки? Проведите их на учебной бланковой карте 24н или 22н.
6. Произведите кинематическую классификацию складок.
7. Основные методические приемы построения разрезов через складчатые структуры.
8. Что такое структурная карта? Какие структурные формы можно изобразить с помощью структурной карты?
9. Построение структурной карты по геологическим разрезам.
10. Проведите построение структурной карты по данным буровых скважин с использованием бланковой карты 34н и разрезов буровых скважин (лист 34б).
11. Построение структурной карты методом схождения.

5. РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ

Тектонические нарушения, сопровождаемые перемещением разорванных частей геологических тел относительно друг друга, называются разрывными нарушениями. Разрывные смещения широко распространены, прослеживаются почти повсеместно и характеризуются большим разнообразием форм.

5.1. Элементы разрывных нарушений и их классификация

Основным элементом всякого разрывного нарушения является трещина, по которой происходит перемещение разорванных массивов пород. Она называется сместителем. Положение сместителя в пространстве определяется элементами залегания (азимутом падения и углом падения). Участки горных пород, смещенные по сместителю, образуют крылья (блоки) разрывного нарушения.

По взаимному вертикальному перемещению крыльев по сместителю различают поднятое и опущенное крылья, а по их положению над или под наклонным сместителем – висячее или лежащее крылья.

Направление смещения в плоскости сместителя может быть любым, а сама поверхность сместителя – как ровной, так и волнистой (В на рис. 33). При перемещении крыльев по неровной поверхности сместителя вдоль сместителя нередко возникают полости, которые могут быть заполнены жильными минералами (кальцитом, кварцем и т. д.). Соприкасающиеся выступы при этом разрушаются и сглаживаются, поверхности сместителя становятся гладкими. Такие поверхности называются зеркалами скольжения.

При значительных перемещениях блоков в зоне сместителя образуется тектоническая брекчия трения, состоящая из сцементированных раздробленных и перетертых обломков боковых пород.

Пересечение сместителя с поверхностью земли называется линией сместителя. Очертания линии смещения наклонных разрывных нарушений, как и наклонных слоев, зависят от рельефа и угла падения сместителя. Поэтому изгибы линии смещения в понижениях рельефа и на водоразделах можно использовать для определения направления падения разрывного смещения, как у

При классификации разрывных нарушений учитывается ориентировка поверхности сместителя и направление относительного перемещения блоков. В соответствии с этими классификационными признаками в геологической практике принято выделять шесть основных типов разрывных нарушений: сбросы, сдвиги, раздвиги и группу взбросов, в которую входят собственно взбросы, надвиги и покровы (шарьяжи).

5.2. Сбросы

Сбросами называют разрывные нарушения, у которых поверхность сместителя наклонена в сторону опущенного блока или имеет вертикальное положение.

У сбросов поднятое крыло является лежачим, а опущенное – висячим (рис. 33). По углу наклона сместителя (α на рис. 33) выделяются: пологие сбросы, с углом наклона сместителя до 30° ; крутые – с углом наклона сместителя от 30 до 85° и вертикальные – с углом наклона сместителя от 85 до 90° . По отношению к простиранию нарушенных пород или линейных складчатых структур различают продольные, поперечные и диагональные сбросы. У изометричных в плане складок, в частности в сводах диапировых структур, часто встречаются радиально и концентрически расположенные сбросы.

По соотношению наклонов сместителя и нарушенных пород выделяются согласные и несогласные сбросы. У согласных сбросов нарушенные породы и сместитель сброса наклонены в одну сторону. У несогласных сбросов – в разные стороны.

У сбросов могут быть замерены следующие амплитуды (см. рис. 33): истинная амплитуда смещения ($a_1 - b_1$), вертикальная амплитуда ($a_1 - b_2$), горизонтальная амплитуда ($b_1 - b_2$), стратиграфическая амплитуда ($a_4 - b_1$) – расстояние по нормали между одноименными смещенными поверхностями пласта, вертикальный отход ($b_1 - a_2$) – расстояние по вертикали между одноименными смещенными поверхностями, горизонтальный отход ($b_1 - a_3$) – расстояние по горизонтали между смещенными одноименными поверхностями пласта. Все эти амплитуды замеряются в плоскости, ориентированной вкрест простирания сместителя.

5.3. Взбросы

Взбросы представляют собой нарушения с крутым сместителем ($50-85^\circ$), который наклонен в сторону поднятого блока. Структуры с вертикальной поверхностью перемещения блоков геологи условно называют вертикальными сбросами, т. е. вертикальных взбросов не существует.

Образуются взбросы, как правило, в результате деформации сжатия, и их сместители представляют собой поверхности скалывания.

У взбросовых нарушений различают следующие элементы (рис. 34): опущенное или лежащее крыло (А), поднятое или висячее крыло (Б), сместитель (В), угол наклона сместителя (α), истинная амплитуда ($a_1 - b_1$), вертикальная амплитуда ($a_1 - b_2$), горизонтальная амплитуда ($b_1 - b_2$), стратиграфическая амплитуда ($a_1 - b_4$), вертикальный отход ($a_1 - b_3$), горизонтальный отход ($b_1 - a_2$).

Особое внимание привлекает горизонтальная амплитуда, которая у взбросов дает величину перекрытия (сдвоения) разорванного пласта, в отличие от сбросов, у которых эта амплитуда определяет величину зияния (расхождения) разорванных частей пласта. Таким образом, при пересечении нарушения вертикальной скважиной в случае сброса наблюдается сокращенный разрез с выпадением части слоев, в случае взброса наблюдается повторение части разреза.

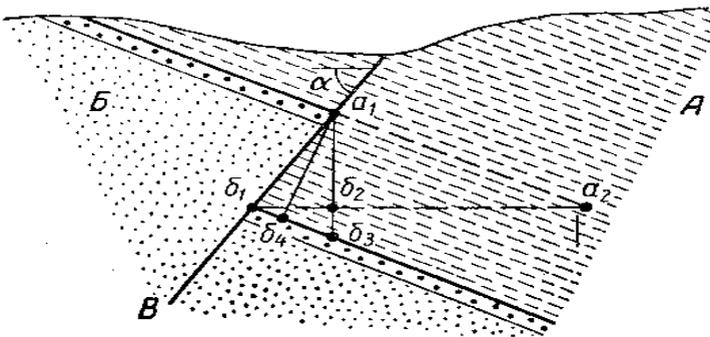


Рис. 34. Элементы взброса

Взбросы так же, как и сбросы, различаются по ряду признаков, причем классификация взбросов почти совпадает с классификацией сбросов. Взбросы, как и сбросы, бывают продольные, попереч-

ные и диагональные по отношению к простиранию нарушенных пород (рис. 35). По соотношению наклонов сместителя и нарушенных пород различают согласные и несогласные взбросы (рис. 36).

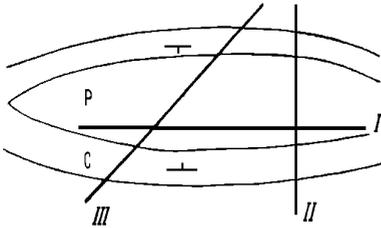


Рис. 35. Разрывные нарушения, пересекающие складку (план): I – продольное, II – поперечное, III – диагональное

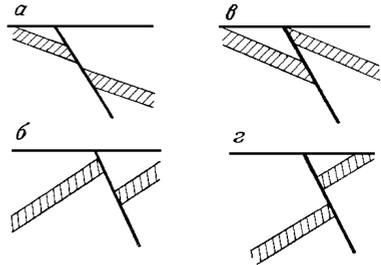


Рис. 36. Сбросы (а – согласный, б – несогласный); взбросы (в – согласный, г – несогласный)

Среди сбросовых нарушений встречаются так называемые шарнирные сбросы, точнее говоря, сбросо-взбросы. У таких сбросов происходит не поступательное движение блоков (как у всех прочих сбросов), а вращательное – вокруг воображаемой оси, перпендикулярной к простиранию сместителя (рис. 37). Амплитуды смещения при этом меняются по простиранию нарушения, и с одной стороны оси один и тот же блок поднят, а с другой опущен относительно смежного блока. Таким образом, по обе стороны шарнира оказываются сброс и взброс.

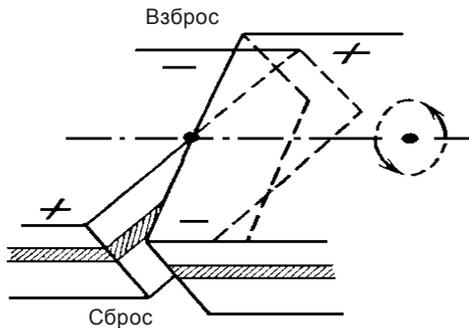


Рис. 37. Блок-диаграмма шарнирного сброса. Стрелки указывают направление вращения восточного блока

На карте шарнирные нарушения обнаруживаются по переходу вдоль сместителя сброса во взброс или наоборот, а также по уменьшению амплитуды смещения по мере приближения к оси вращения.

Как было указано выше, положение сместителя в пространстве можно установить на карте по очертаниям линии сместителя и ее взаимоотношениям с неровностями рельефа с использованием пластовых фигур (рис. 38).

На картах с изолиниями рельефа элементы залегания сместителя можно определить, используя стратоизогипсы и заложение, как это делается в случае наклонного пласта.

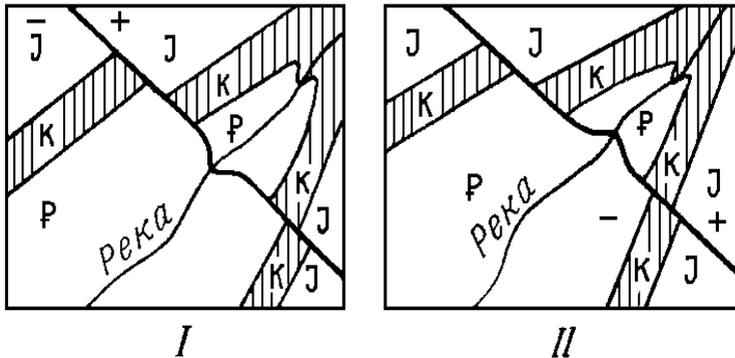


Рис. 38. Определение типа разрывного нарушения по направлению изгиба линии сместителя в понижениях рельефа и по относительному возрасту пород на крыльях нарушения:
I – сброс, II – взброс

Поднятое и опущенное крылья разрывного нарушения на карте определяют по возрасту пород, находящихся в тектоническом контакте по обе стороны от сместителя. В поднятом блоке у контакта выходят более древние породы, чем породы по другую сторону линии разрыва (рис. 38, I, II).

При поперечных или диагональных сбросах и взбросах, пересекающих складки, определить на карте поднятое или опущенное крыло можно, сравнивая ширину ядра складки по обе стороны от линии сместителя. В поднятом крыле ширина ядра антиклинали увеличивается, а синклиальной складки – уменьшается по сравнению с опущенным блоком (рис. 38, 39).

В случаях смещения моноклинально залегающих пород для определения поднятых и опущенных блоков можно воспользоваться «правилом пяти П», согласно которому поднятый пласт перемеща-

ется по падению (пять слов, начинающихся на букву «п»). Действительно, при денудации поднятого блока на его поверхности наклонный пласт будет обнажаться в стороне от своего продолжения на опущенном крыле. Создается впечатление, что пласт сдвинут по линии разрыва в направлении своего падения, хотя перемещение блоков происходило в вертикальной, а не горизонтальной плоскости.

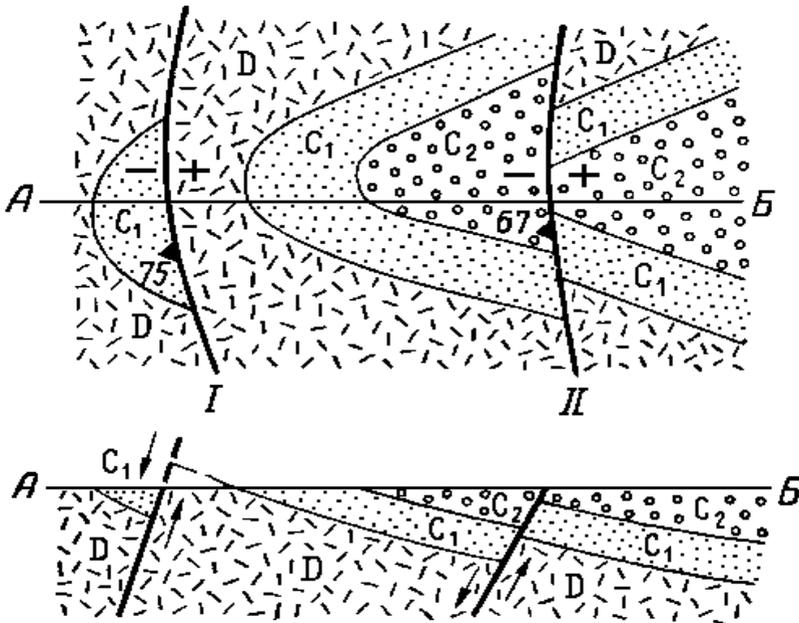


Рис. 39. Определение поднятого и опущенного крыльев сброса по возрасту контактирующих по сместителю пород и по изменению ширины ядра синклиальной складки

Некоторые трудности вызывает построение на карте осевых линий складок в смещенных по разрывам блоках. Дело в том, что поперечные и диагональные сбросы и взбросы при пересечении асимметричных складок с наклонной осевой поверхностью вызывают смещение их осевых линий на карте по обе стороны от сместителя. У антиклиналей на поднятом блоке ось смещается в сторону пологого крыла, а на опущенном блоке – в сторону крутого крыла. У синклинальных складок смещение оси происходит в сторону крутого крыла на поднятом блоке и в сторону пологого крыла на

опущенном блоке. Смещение будет тем больше, чем больше наклонена осевая поверхность.

У симметричных (нормальных) складок при сбросах и взбросах смещения осевых линий на карте не происходит, так как у них осевые поверхности вертикальные.

Величину смещения осевой линии можно определить путем построения вспомогательных разрезов на каждом крыле нарушения.

Рассмотрим пример построения осей антиклинальной наклонной складки, разбитой поперечным вертикальным сбросом. Восточный блок поднят на 200 м (вертикальный отход). Для этого можно воспользоваться дополнительными геометрическими построениями, пример которых приведен на рис. 40.

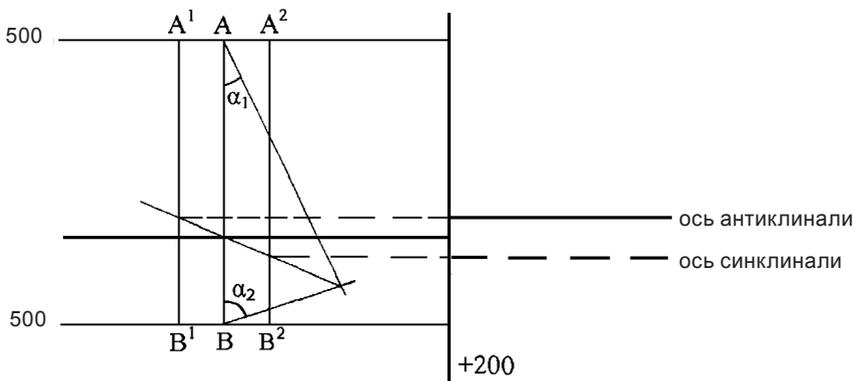


Рис. 40. Построение осевых линий наклонной складки в смещенных по сбросу блоках

Прежде всего строят ось складки в западном блоке обычным способом (см. рис. 24).

Для нахождения оси в восточном поднятом блоке параллельно уже проведенному перпендикуляру АВ между равновысотными строатозогипсами проводят второй перпендикуляр А'В' на расстоянии, равном в масштабе карты величине вертикальной амплитуды (отходу) сброса. Например, при масштабе карты 1:25000 это расстояние будет равно 8 мм.

Причем этот отрезок в данном случае нужно откладывать в сторону от замка антиклинали (влево на рис. 40), поскольку в правом (восточном) блоке при подъеме антиклинальной складки и одновременном сохранении уровня горизонтального среза замок от него будет удаляться.

Через точку пересечения уже проведенной биссектрисы угла складки (осевой поверхности) с новым перпендикуляром параллельно стратоизогипсам проводят ось складки в восточном блоке. Как видно, она будет смещена влево (к пологому крылу складки) по отношению к оси в западном блоке.

Если это синклиналиная складка с теми же углами падения крыльев и той же амплитудой смещения, то второй перпендикуляр между стратоизогипсами нужно откладывать ближе к замку (A^2B^2), т. е. вправо, поскольку при подъеме синклинали и сохранившемся положении горизонтальной плоскости среза последняя будет срезать складку на более низком уровне, т. е. ближе к замку синклинали.

Величина смещения осей может быть также определена и по формуле

$$H = A \cdot \operatorname{ctg} \alpha,$$

где H – величина смещения оси; A – амплитуда сброса или взброса (вертикальный отход); α – угол наклона (падения) осевой поверхности.

В случае диагональных нарушений следует вводить поправку в угол падения осевой поверхности на косое сечение (видимый угол будет в этом случае меньше).

Определение амплитуды смещения сбросов или взбросов на картах мелкого масштаба является довольно сложной задачей. Если по сбросу или взбросу произошло смещение так, что совпали контакты двух или более пластов, вертикальная амплитуда будет равна вертикальной мощности пластов, заключенных между этими контактами.

На картах любых масштабов амплитуду можно определить путем построения геологического разреза. Для этого разрез должен быть построен очень точно. Разрез строится вкрест простирания нарушения так, чтобы на обоих крыльях смещения был представлен один и тот же слой. В случае косога направления разреза обязательно вводится соответствующая поправка в углы падения.

При горизонтальном залегании пород на геологической карте с горизонталями рельефа амплитуда сброса легко может быть определена по разности отметок одной и той же поверхности слоя по обе стороны линии сброса.

Вертикальное смещение (вертикальный отход) разрывных нарушений в наклонно залегающих слоях на крупномасштабных картах можно определить с высокой точностью при помощи стратоизогипс.

Для этого на карте (рис. 41, а) проводятся стратоизогипсы кровли или подошвы какого-либо пласта, выходящего на обоих крыльях, и продолжаютя за сброс, на соседнее крыло до пересечения с кровлей или подошвой того же слоя.

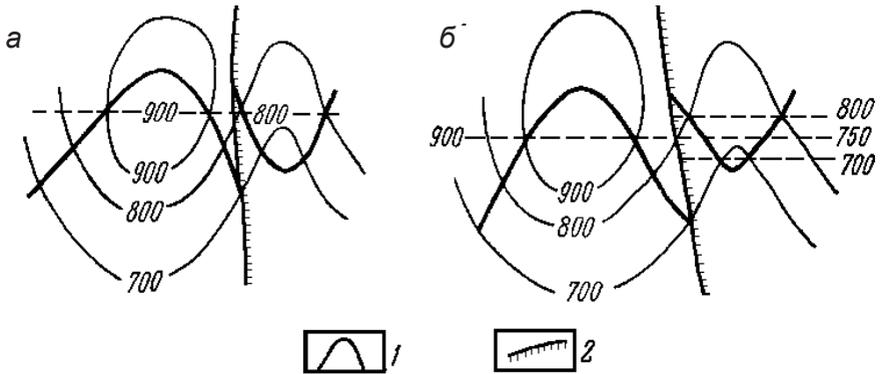


Рис. 41. Определение амплитуды (вертикального отхода) сброса с помощью стратоизогипс: 1 – пласт; 2 – линия сброса на карте

На рис. 41, а хорошо видно, что при продолжении через нарушение стратоизогипсы пласта с отметкой 900 м в западном блоке она совпала со стратоизогипсой того же пласта с отметкой 800 м в восточном блоке. Разность отметок на крыльях дает величину вертикального смещения в 100 м (900 м – 800 м).

Довольно часто при продолжении стратоизогипсы на другое крыло она не совпадает с одной из стратоизогипс того же пласта, а располагается между ними. В этом случае путем простой интерполяции расстояния между стратоизогипсами (заложения) находят высотную отметку промежуточной стратоизогипсы. На рис. 39, б стратоизогипса пласта 900 м при ее продолжении через нарушение оказывается между стратоизогипсами того же пласта с отметками 700 м и 800 м. Путем интерполяции заложения между этими стратоизогипсами установлено, что ее отметка в восточном блоке составляет 750 м, значит, вертикальный отход равен $900 - 750 = 150$ м.

Разрывные нарушения редко встречаются изолированно, и часто сбросы и взбросы группируются в комплексы, с образованием ступенчатых сбросов и взбросов, а также грабенов и горстов.

Ступенчатые формы сбросов или взбросов характеризуются субпараллельным расположением сместителей, по которым блоки смещаются в одном направлении с возрастающей амплитудой.

Грабенами называются линейно вытянутые структуры, центральные опущенные блоки которых ограничены сбросами или взбросами (рис. 42). Центральные части грабенов на поверхности сложены породами, более молодыми, чем породы, обнажающиеся в приподнятых краевых частях. Нередко центральный блок грабенов бывает ограничен с каждой стороны не одним разрывом, а несколькими ступенчатыми разрывами (сбросами или взбросами). Такие грабены называют ступенчатыми.

Амплитуды смещения по разрывным нарушениям, ограничивающим грабены, могут достигать нескольких сотен метров, а протяженность по простиранию может исчисляться многими десятками и даже сотнями километров.

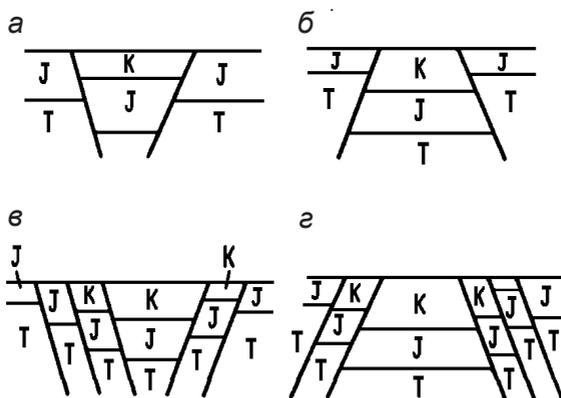


Рис. 42. Разновидности грабенов в разрезах: а – простой рифтовый, образованный двумя сбросами; б – простой рамповый, образованный двумя взбросами; в – ступенчатый рифтовый, образованный ступенчатыми сбросами; г – ступенчатый рамповый, образованный ступенчатыми взбросами

Горсты – линейно вытянутые структуры, образованные сбросами или взбросами, центральные части которых относительно приподняты и на поверхности сложены более древними породами, чем породы краевых частей (рис. 43).

Различают простые и ступенчатые грабены и горсты. Простые формы образуются двумя сбросами или взбросами; центральные блоки ступенчатых грабенов и горстов ограничиваются несколькими разрывными смещениями ступенчатого типа.

Грабены и горсты, образованные сбросами, формируются при деформациях растяжения и часто называются рифтовыми. Грабе-

ны и горсты, образованные взбросовыми нарушениями, обязаны своим формированием деформациям сжатия в земной коре и называются рамповыми.

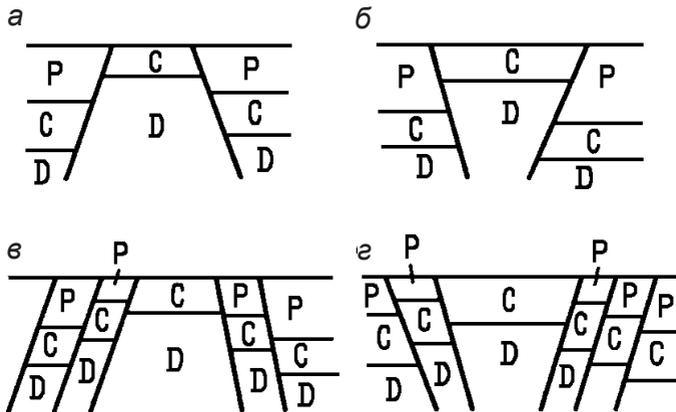


Рис. 43. Разновидности горстов в разрезах: *а* – простой рифтовый, образованный двумя сбросами; *б* – простой рамповый, образованный двумя взбросами; *в* – ступенчатый рифтовый, образованный ступенчатыми сбросами; *г* – ступенчатый рамповый, образованный ступенчатыми взбросами

Рифтовые грабены с вертикальными и крутопадающими сбросами широко развиты на платформах и древних щитах, иногда образуя очень протяженные структуры (сотни и тысячи километров).

5.4. Надвиги

Надвигами обычно называют нарушения взбросового типа с более пологим (обычно до 50°) сместителем, образующиеся одновременно со складчатостью при общих условиях сжатия. Надвиги развиты преимущественно там, где складки сильно сжаты или опрокинуты. В складках, сложенных относительно однородными по составу породами, сместители надвигов обычно приурочены к замкам и ориентированы параллельно осевой поверхности. В неоднородных толщах пород они чаще всего формируются в опрокинутых крыльях на границах между пластичными и хрупкими породами.

Однако и в этих случаях надвиги сохраняют общую параллельность осевым поверхностям складок.

В морфологическом отношении надвиг имеет те же элементы, что и взброс: сместитель, угол его наклона, висячее (надвинутое) и лежащее крылья. В отличие от взбросов, горизонтальная амплитуда у надвигов больше вертикальной (рис. 44). Амплитуды надвигов обычно измеряются несколькими десятками или сотнями метров. Определение вертикальной амплитуды у крутопадающих надвигов (угол наклона сместителя больше 30°) может быть произведено тем же методом, который используется для взбросов.

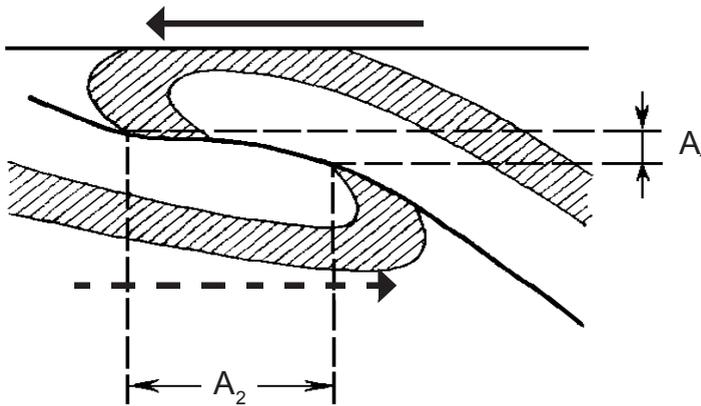


Рис. 44. Схематическое изображение надвига в разрезе.

Стрелки указывают направления движения блоков,
 A_1 – вертикальная и A_2 – горизонтальная амплитуды надвига

Если активным элементом надвига является лежащий (поднадвиговый) блок при относительной неподвижности висячего блока, иногда говорят о поддвигах.

В плане надвиги обнаруживают пространственную связь со складчатыми структурами, сместители их параллельны осям складок, т. е. они в подавляющем большинстве являются продольными. На геологической карте от остальных разрывных нарушений надвиги отличаются резко изогнутой по рельефу линией смещения, что объясняется пологим залеганием сместителя.

В складчатых комплексах, опрокинутых в одну сторону, часто развиваются чешуйчатые надвиги – системы параллельных или почти параллельных надвигов, перемещавшихся в одном направлении, придавая общей структуре чешуйчатое строение.

5.5. Покровы (шарьяжи)

Следующей, третьей, разновидностью разрывных нарушений, входящей в группу взбросов, являются покровы. Тектоническими покровами называются крупные надвиги, характеризующиеся значительными перемещениями (десятки и сотни километров) по полого-волнистым и субгоризонтальным поверхностям. Покровы, как правило, развиваются в областях со сложным складчатым строением.

Тектонические покровы обладают особыми элементами строения, которых нет у взбросов и надвигов. Главным элементом покровов является поверхность, по которой произошел разрыв и надвигание одного комплекса пород на другой. Этот полого-волнистый сместитель покрова называется поверхностью волочения. Пересечение поверхности волочения с поверхностью земного рельефа образует линию тектонического покрова.

Перемещенные массы висячего крыла называются аллохтоном, а оставшееся на месте лежащее крыло – автохтоном. Обычно породы автохтона моложе пород аллохтона. В аллохтонной части покрова различают переднюю лобовую часть (фронт покрова), тело, или панцирь, покрова и тыловую часть – «корни» покрова. Под последними понимается то место, где породы аллохтона залегают тектонически нормально и откуда они начинали свое перемещение.

Складчатые комплексы, вовлеченные в покровы обычно испытывают усложнения: среди них появляются наклонные, опрокинутые, лежачие и даже ныряющие складки, широко развиваются надвиги, разбивающие аллохтон на отдельные чешуи (рис. 45).



Рис. 45. Строение покрова: I – автохтон; II – аллохтон; а – а' – поверхность волочения; б – надвиги

Фронтальная часть и тело покрова могут быть частично разрушены процессами эрозии до поверхности волочения и ниже. В последнем случае на дневной поверхности могут обнажиться породы автохтона. Такие участки автохтона среди общего поля развития пород аллохтона называются тектоническими окнами (рис. 45). В результате эрозионного размыва отдельные участки аллохтона могут быть изолированы от его тела. В таких случаях говорят об останцах покрова или тектонических останцах (рис. 45).

5.6. Раздвиги

К раздвигам относят разрывы, у которых крылья перемещаются перпендикулярно поверхности отрыва. Это, в сущности, является результатом расхождения стенок трещины, ее раскрытия. Образуются раздвиги при растягивающих усилиях, действующих перпендикулярно поверхности отрыва, что, кстати, возможно и в процессе изгиба слоев.

Понятие «раздвиг» в значительной мере условное, так как количественный критерий (ширина отхода) для разграничения раздвигов и трещин не установлен. Условно нижний предел амплитуды для отнесения структуры к раздвигам принимается равным 10 см. Обычные амплитуды раздвигов не выходят за пределы долей метра или нескольких метров. В некоторых случаях она достигает десятков и даже сотен метров.

Открытые раздвиги, имеющие чаще всего небольшие амплитуды, встречаются редко. Это обычно молодые раздвиги, образовавшиеся на поверхности земли при сильных землетрясениях. Почти всегда полости раздвигов заполнены минеральными образованиями или магматическими горными породами с образованием жил и даек. При этом отход блоков пород в таких раздвигих может происходить и от поперечного давления растворов или магматического расплава.

5.7. Сдвиги

Сдвиги представляют собой разрывные нарушения, смещение по которым происходит по простирацию сместителя в горизонтальном направлении. Образуются сдвиги преимущественно при действии на горные породы пары тангенциальных (противоположно направленных) сил.

В сдвигах, как в сбросах и взбросах, различаются следующие элементы: сместитель, угол наклона сместителя, крылья (блоки) и амплитуда смещения (может быть замерена горизонтальная амплитуда, а у диагональных сдвигов в моноклинальных слоях – и стратиграфическая). Линия сдвига также представляет собой след от пересечения сместителя с рельефом местности и поэтому при наклонном его положении может иметь различную конфигурацию в плане. Вертикальные сместители сдвигов имеют прямое линейное протяжение на ровной поверхности.

По углу наклона сместителя сдвиги делятся на горизонтальные – угол наклона от 0 до 10°, пологие – угол наклона от 10 до 45°, крутые – угол наклона от 45 до 85° и вертикальные – с углом наклона сместителя от 85 до 90°. Преобладают вертикальные и крутые сдвиги.

По отношению к простиранию нарушенных пород и линейных складок выделяются продольные, поперечные и диагональные сдвиги.

В сдвиговых структурах различают правые и левые формы. Различаются они следующим образом: если смотреть на сдвиг в направлении, перпендикулярном линии сдвига, то в правом сдвиге крыло за сместителем смещается вправо. У левых сдвигов при тех же условиях смещение происходит влево.

Отличить сдвиги от сбросов и взбросов на карте нередко очень сложно, особенно в моноклинально залегающих толщах. Наиболее четко различие между ними проявляется при пересечении нарушением простых складчатых структур или вертикально залегающих тел (жил, даек).

У сдвигов, в отличие от сбросов или взбросов, крылья складки перемещаются в одну сторону, и при возвращении крыльев в положение, существовавшее до возникновения разрыва, концы оборванных структур сходятся, и структура восстанавливается как целая. Кроме того, осевая линия при сдвиге, в отличие от сброса, перемещается вместе с крыльями. В сбросах и взбросах геологическое строение крыльев на поверхности резко отличается, ширина ядра разорванной складки меняется (в поднятом блоке у антиклинали увеличивается, а у синклинали складки уменьшается), и перемещение крыльев по сместителю не может восстановить форму структуры, существовавшей до разрыва (рис. 46).

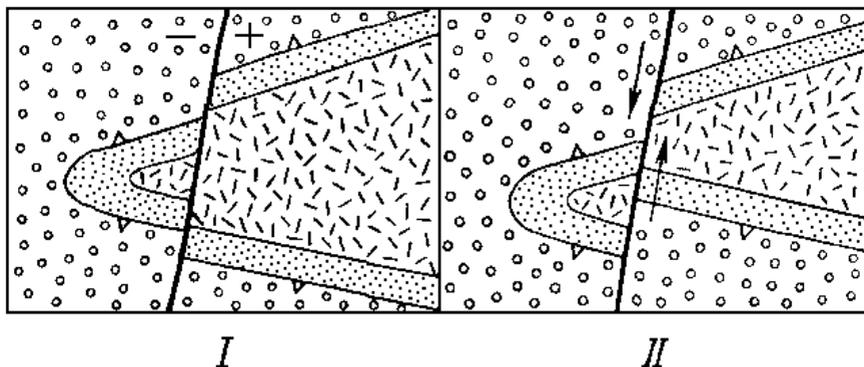


Рис. 46. Схемы, иллюстрирующие различие в плане между сбросом (I) и сдвигом (II)

При пересечении вертикальных жил или даек сдвигом в плане наблюдается взаимное перемещение их фрагментов на крыльях. У сбросов или взбросов такого смещения не наблюдается, и вертикально залегающие тела сохраняют свое простирание.

Очень часто крылья разрывов смещаются по сместителю не строго в вертикальном или горизонтальном направлении, а косо по отношению к горизонту, т. е. имеют как горизонтальную, так и вертикальную составляющие. В связи с этим дополнительно выделяют так называемые комбинированные разрывные нарушения: сдвиго-сбросы, взбросо-сдвиги и т. д. (всего шесть разновидностей). Второе слово в их названии указывает на преобладающее направление смещения.

Возраст тектонических нарушений определяется относительно нарушенных пород или секущих их нарушений другой генерации.

Для определения относительного возраста разрывного смещения можно воспользоваться следующим правилом: нарушение моложе самых молодых пород, затронутых нарушением, и древнее самых древних слоев, несогласно перекрывающих нарушение. Если нарушенные породы дислоцированы (залегают моноклинально или смяты в складки), то необходимо предварительно определить возраст дислокаций. Нарушение в этом случае будет моложе возраста дислокаций.

При пересечении двух нарушений более древним является то, которое смещается по сместителю второго нарушения. При пересечении вертикальных сбросов определить их относительный воз-

раст невозможно, поскольку смещения вертикальных поверхностей сместителей в таком случае на карте не наблюдается. Только относительно более молодые сдвиги могут вызвать смещение вертикальных сбросов.

5.8. Построение разрезов с разрывными смещениями

Геологический разрез через участки с развитием разрывных нарушений строят так же, как и через участки с наклонным и складчатым залеганием слоев.

Линию разреза по возможности ориентируют вкрест простирающихся сместителей разрывных нарушений, а вертикальный масштаб сохраняют равным горизонтальному, с тем чтобы не исказить истинные углы падения наклонных сместителей.

После построения топографического профиля по линии разреза на него в первую очередь наносят сместители разрывов в соответствии с их пространственным положением. Если разрез косой по отношению к падению сместителей, необходимо ввести поправки в углы падения. Если направление наклона сместителя неизвестно, ее проводят условно вертикально. Сместители надвигов обычно располагают субпараллельно осевым поверхностям складок. Разрывные нарушения обозначаются линиями черного или красного цвета.

Затем строятся геологические разрезы участков между линиями разрывов. При изображении границ слоев по обе стороны разрывного смещения следует соблюдать соотношения между ними в соответствии с направлением перемещения блоков, т. е. в поднятом блоке разорванные границы слоев (в том числе и смятых в складку), подходя к разрыву, должны быть выше, чем в противоположном крыле.

Более сложные соотношения возникают при построении разрезов с покровными структурами. В этом случае сама поверхность разрыва (поверхность волочения) волниста, изогнута в пологие складки. Поэтому сначала на разрезе проводятся построения для изображения антиклинальных и синклинальных изгибов поверхности волочения так, как это делается при изображении изогнутых в складку слоев. После нанесения на разрез волнистой поверхности разрыва изображается строение блоков (автохтона и аллохтона) выше и ниже поверхности волочения.

Правильность построения разреза проверяется путем сравнения полученных на разрезе амплитуд смещения с величинами амплитуд, определенными предварительно на карте графическими построениями.

Чтобы вынести на разрез разрывное нарушение, перекрытое верхним структурным этажом, линию вертикального сброса нужно продолжить до пересечения с линией разреза; нарушения с наклонными сместителями при горизонтальной поверхности несогласия от точки перекрытия продолжают по его простиранию до пересечения с линией разреза. При наклонной поверхности несогласия нужно предварительно ввести поправку в простирание сместителя.

Контрольные вопросы и задания

1. Классификация разрывных смещений по морфологическим признакам и кинематическим условиям.
2. Комбинированные и групповые разрывные смещения.
3. Специфические элементы строения покровных структур.
4. Как на геологических картах можно отличить сдвиги от сбросов и взбросов?
5. Каковы принципы определения возраста разрывных нарушений?
6. Изобразите на схемах разновидности амплитуд сбросовых и взбросовых нарушений.
7. Проведите построения для определения вертикального и горизонтального отходов разрывного смещения на учебной бланковой карте 17н.
8. Структурный парагенезис надвиговых смещений.

6. РАЗРЫВЫ БЕЗ СМЕЩЕНИЯ (ТРЕЩИНЫ)

6.1. Общая характеристика и классификация трещин

Трещинами называются разрывы в горных породах без перемещения или с очень незначительным перемещением расчлененных блоков. Они чрезвычайно широко распространены в горных породах. Практически нет участка земной коры без трещин. Совокупность трещин на том или ином участке земной коры называют трещиноватостью.

Группируясь в системы, часто строго ориентированные в пространстве, трещины рассекают породы на блоки, вызывая образование отдельности горных пород.

Форма и величина отдельности могут сильно варьировать и зависят от числа систем трещин, от направления трещин в системе (или системах), от частоты трещин и мощности слоев. Наиболее обычный тип отдельности во всех трех группах горных пород – параллелепипедальная отдельность.

Подобно наклонно залегающим слоям и разрывам со смещением, трещины характеризуются элементами залегания – простиранием, падением и углом падения.

Трещины различаются по целому ряду признаков. По степени раскрытия выделяют трещины скрытые (невидимые простым глазом), закрытые (хорошо заметные, но с плотно прижатыми стенками) и открытые (обладающие некоторой полостью).

По размерам различают малые, или внутрислойные, трещины, они не выходят за пределы одного слоя, и большие (сквозные) – секущие серию слоев; длина и глубина трещин колеблется в широких пределах – от нескольких сантиметров до сотен и тысяч метров. Наиболее распространены трещины протяженностью в метры и десятки метров.

По форме различают прямые и изогнутые трещины, а также трещины изломанные (зигзагообразные). По характеру поверхности бывают трещины с гладкими, неровными или зазубренными краями.

По геометрическому признаку (по отношению к пересекаемым трещинами слоистым или сланцеватым породам), так же как у разрывов со смещением, они могут быть продольными, поперечными и диагональными (косыми). Кроме того, рассматриваются еще согласные трещины, поверхности которых параллельны плоскостям слоистости или сланцеватости.

В складчатых линейных структурах трещины также разделяют на продольные, поперечные и диагональные относительно осей складок. В изометричных складках различают трещины радиальные и концентрические.

По происхождению для трещин разработано несколько классификаций. Согласно классификации А. Е. Михайлова, трещины подразделяются на две большие группы – нетектонические и тектонические.

Нетектонические трещины, образовавшиеся вне связи с тектоническими движениями в земной коре, разделяются на первичные и вторичные трещины.

Первичные трещины (в большинстве случаев их называют еще трещинами отдельности) образуются при формировании магматических и осадочных пород. В магматических породах в результате действия сил сжатия – растяжения при застывании и охлаждении интрузивных тел или лав возникают первично-магматические трещины, рассекающие породы на отдельности нередко правильной геометрической формы. В осадочных породах, в процессе преобразования их из осадка (при усыхании, уплотнении, изменении объема и температуры в результате физико-химических превращений), развиваются разновидности диагенетических трещин: трещины усыхания, первичной отдельности и др. Диагенетические трещины невелики по размерам и обычно не выходят за пределы отдельных слоев или пачки слоев.

Вторичные нетектонические трещины бывают разных типов.

Трещины выветривания образуются при физическом выветривании горных пород, т. е. в результате неравномерного расширения и сжатия слагающих породу минералов (разные коэффициенты линейного расширения) при колебаниях внешней температуры и механического давления замерзающей в микротрещинах воды. Они развиваются в верхней зоне земной коры – зоне выветривания – и рассекают породу на глыбы и мелкие угловатые обломки, форма и величина которых зависят от состава, текстуры и структуры пород.

Трещины оползней, обвалов и провалов, т. е. неотектонических дислокаций, образуются при оседании или скольжении масс

горных пород в телах оползней. Размеры таких трещин в общем небольшие.

Трещины расширения пород при разгрузке проявляются в случае нарушения равновесия гравитационной нагрузки в выемках рельефа (вдоль склонов рек, оврагов), а также в бортах крупных открытых горных выработок. Породы испытывают одностороннее давление, в результате чего происходит растрескивание и образуются так называемые трещины бортового отхода (отпора) и отслаивания.

Трещины оползней, обвалов, провалов и расширения пород при разгрузке часто объединяются под общим названием гравитационных трещин.

Тектонические трещины возникают в результате тектонических движений в земной коре. Это глубокие, имеющие большую протяженность трещины, которые секут целую серию напластований или массивы магматических пород.

По характеру действия сил, приведших к возникновению трещин, они делятся на трещины отрыва, скалывания и кливаж.

Трещины отрыва и скалывания нередко могут образовывать систему мелких оперяющих или боковых трещин, примыкающих с обеих сторон под некоторым углом к крупному разрывному смещению.

Трещины отрыва, как правило, являются открытыми, имеют неровную поверхность, лишены каких-либо следов смещений и чаще всего быстро выклиниваются по простиранию и падению. Они образуются в различных тектонических условиях при растяжении пород и очень широко распространены. Они могут быть региональными, связанными с крупными разломами, флексурами и прогибами на платформах, и местными, образующимися в сводовых частях и в других местах резких перегибов складок или на участках, нарушенных сбросами. Региональные трещины обычно бывают вертикальные или крутопадающие и имеют значительную протяженность (в десятки и сотни метров). На платформах с ними часто связывается овражно-балочная или гидрографическая сеть.

Трещины скалывания в общем характеризуются сжатостью (закрытостью), гладкой поверхностью, большой протяженностью, прямолинейностью. Вдоль трещин скалывания происходят ничтожные смещения смежных блоков. Трещины скалывания развиваются в различной тектонической обстановке в связи со сбросами и сдвигами, как сопутствующие сместителю боковые трещины. Такие трещины бывают расположены под острым углом по отношению к общему направлению сжатия.

Отдельного рассмотрения заслуживает такое интересное и широко распространенное, особенно в метаморфических толщах, явление, как кливаж.

6.2. Кливаж

Под термином «кливаж» понимается способность пород самопроизвольно или при ударе раскалываться на пластинки по системе параллельных поверхностей, секущих слоистость или согласных с ней.

Различными исследователями создано большое количество классификаций кливажа и выделено несколько его разновидностей. Но в основном борьба шла между сторонниками гипотезы «скалывания» и сторонниками гипотезы «сдавливания», т. е. между теми, кто объясняет кливаж процессами скалывания, и теми, кто связывает его с процессами течения вещества пород.

Некоторые исследователи придерживаются одновременно обеих гипотез и считают, что кливаж бывает двух типов – кливаж течения, как результат сплющивания (сдавливания), и кливаж разлома – как результат скалывания.

Кливаж течения выражается в закономерной плоско-параллельной ориентировке слюд, хлорита и других плоских минералов.

Образование этого типа кливажа объясняют расплющиванием породы в направлении, перпендикулярном плоскостям кливажа.

Кливаж разлома представляет собой систему часто расположенных, взаимно параллельных тонких трещин, разделяющих горную породу на пластины. Минеральные зерна, составляющие горную породу, в промежутках между трещинами не испытывают переориентировки.

Таким образом, при формировании кливажа разлома не наблюдается деформации всего вещества горной породы. Деформация осуществляется в основном только скольжением вдоль расположенных на некотором расстоянии друг от друга параллельных поверхностей.

Нужно отметить, что Г. Д. Ажгирей и В. В. Белоусов выделяют еще так называемый кливаж скалывания, который занимает как бы промежуточное положение между кливажем течения и кливажем разлома. Характеризуется он тем, что плоская ориентировка пластинчатых и чешуйчатых минералов не пронизывает породу равномерно, а концентрируется в отдельных узких полосах только вблизи поверхностей кливажа.

В зависимости от расположения кливажа в складках можно выделить два его типа: параллельный и веерообразный (рис. 47).

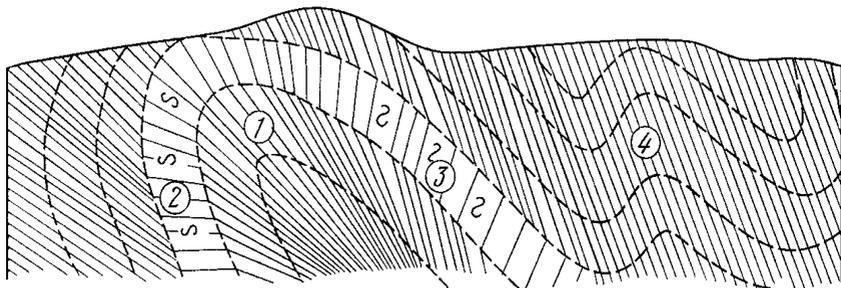


Рис. 47. Типы кливажа: 1 – веерообразный; 2, 3 – кливаж преломления (s-образный и g-образный); 4 – параллельный. По В. Н. Павлинову, 1979

Параллельный кливаж характеризуется взаимно параллельным положением своих поверхностей в пределах складчатой области. Господствующая роль этого типа кливажа дает основание, по предложению В. В. Белоусова, называть его «главным». Иногда употребляется термин «главный кливаж течения». Поскольку чаще всего параллельный кливаж к тому же параллелен осевым поверхностям складок, то его именуют еще «кливажем осевой плоскости».

В симметричных и наклонных складках (на их крыльях) такой кливаж круче слоистости. В опрокинутых складках на нормальных крыльях кливаж круче слоистости, на подвернутых – полоче слоистости. Эти соотношения между слоистостью и кливажем могут с успехом использоваться для интерпретации геологических структур.

Простираие главного кливажа указывает на простираие осевых плоскостей складок, падение кливажа соответствует направлению падения осевых плоскостей складок, а пересечение кливажной поверхностью слоев горных пород дает возможность установить направление и угол погружения шарнира главной складки.

Веерообразный кливаж в общем встречается реже, чем параллельный, и развивается обычно в толщах, состоящих из пород различной вязкости и мощности слоев. Среди веерообразных кливажей можно выделить собственно веерообразный или прямой веерообразный и обратный веерообразный. Эти разновидности кливажа характеризуются различной ориентировкой его поверх-

ностей на противоположных крыльях складок, так что в целом создается впечатление веера, ось которого примерно параллельна осевой поверхности складки. У прямого веерообразного кливажа веер раскрывается вверх в антиклиналях и книзу в синклиналях. У обратного веерообразного кливажа – наоборот.

Характер ориентировки такого кливажа определяется свойствами пород. Так, в прослоях глинистых сланцев, заключенных между мощными слоями твердых (жестких) пород (например, песчаниками), кливаж обычно приобретает обратное веерообразное залегание (сходится вверх в антиклиналях). В твердых же слоях он приобретает противоположное залегание, т. е. расходится вверх в антиклиналях и сходится вверх в синклиналях, т. е. является прямым веерообразным.

Таким образом, с переходом от одного слоя к другому наблюдается изменение как частоты, так и излома кливажа – то, что называют преломлением кливажа.

6.3. Планетарная трещиноватость

Это закономерно ориентированные первично вертикальные системы прямолинейных трещин, перекрещивающиеся в плане и разбивающие горные породы на геометрически правильные блоки.

По мнению большинства исследователей, закономерная ориентировка трещин обусловлена флуктуациями (случайными отклонениями от среднего значения) угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси, т. е. ротационными силами. Статистический анализ выявил устойчивые ориентировки систем трещин. На молодых платформах доминируют следующие простирания трещин: С 0° , СВ 45° , СЗ 315° , В 90° . То есть отмечается две системы ортогональных и две системы диагональных трещин. Направления главных нормальных напряжений совпадают при этом с параллелями и меридианами, а главных касательных – составляют с последними угол 45° .

Главная особенность этих трещин – выдержанность ориентировки на всей площади района, независимо от того, каков возраст пересекаемых ими толщ, интрузивных массивов, складчато-разрывных комплексов.

Особенно проста и характерна планетарная трещиноватость в горизонтально залегающих породах платформенного чехла. Широко распространенные здесь вертикальные трещины сравнительно небольшой величины являются внутрипластовыми. Хотя трещины

ориентированы параллельно, они не переходят из слоя в слой, а смещены друг относительно друга, т. е. в разрезе напоминают кирпичную кладку.

6.4. Методы полевого изучения и графическое изображение трещин

Полевые наблюдения над трещиноватостью заключаются в определении их элементов залегания, в регистрации частоты и установлении характера (типа) трещин, в определении степени их обводненности и минерализации. Частота трещин определяется количеством трещин, приходящихся на 1 погонный или на 1 м². Главным условием успешной работы является массовость замеров и определений. Когда закономерность ориентировки трещин плохо выражена, приходится производить большое количество замеров элементов залегания трещин даже на небольшом участке (до 100–200 замеров). Замеры элементов залегания трещин и их статистическая обработка бывают необходимы как для расшифровки тектонической структуры осадочной толщи или магматического тела, так и для решения ряда практических вопросов, таких, например, как выявление преобладающих направлений рудных тел, приуроченных к определенным системам трещин, выбор рациональной системы разработки полезных ископаемых, изучение инженерно-геологических свойств пород или их коллекторских свойств как вмещителей нефти и газа и т. д.

Методика работы над собранным обширным материалом заключается прежде всего в его статистической обработке, т. е. в составлении диаграмм трещин. Существует несколько типов таких диаграмм; простейшей из них является роза-диаграмма – «роза трещин». Она строится следующим образом.

Вычерчивают круг (для азимутов падения) или полукруг (для азимутов простирания) произвольного радиуса, который градуируют как лимб обычного компаса, только интервалы берут через 10° (иногда через 5°), и через середины интервалов проводят радиусы. На круг наносят усредненные данные о падении или о простирании трещин, для чего общее число трещин принимают за 100 % и вычисляют процентное содержание трещин с близкими азимутами падения (или простирания) для каждого выбранного интервала круга. В принятом масштабе на соответствующих радиусах круга, начиная от центра, откладывают отрезки, пропорциональные проценту трещин данного направления. Соединив концы этих отрез-

ков, получают лепестки «розы трещин»; внутри «роза» заштриховывается или затушевывается (рис. 48). Аналогично строится роза-диаграмма для углов падения трещин, но при этом используется лишь четвертая часть круга.

Описанный способ изображения трещин очень нагляден, но имеет весьма существенный недостаток: он не дает возможности показать одновременно азимут и угол падения трещин на одной диаграмме. Для характеристики каждого из этих элементов залегания трещин требуется построение отдельных диаграмм.

С целью устранения этого недостатка прибегают к более сложным способам графического построения, в частности строят круговую диаграмму трещиноватости, точечную или в изолиниях.

Для построения точечной круговой диаграммы берется круг произвольного диаметра. На круг наносится сетка, состоящая из радиусов и концентрических окружностей. Радиусы служат для нанесения азимутов падения трещин. Концы радиусов градуируются обычно через 2° по часовой стрелке. Концентрические окружности используются для отсчета углов падения. Градуировка их также делается через 2° от центра круга.

Расстояние между концентрическими окружностями в различных типах диаграмм принимается по-разному. В простейшем типе (рис. 48) оно одинаковое, и для удобства построения рекомендуется радиус круга принимать равным 9 см (в этом случае каждые 10° будут соответствовать 1 см) или кратным девяти. На полярной сетке Баумана, представляющей собой проекцию на горизонтальную плоскость верхней полусферы, это расстояние пропорционально катангенсам углов падения.

Плоскость трещины обозначается точкой, находящейся на пересечении радиуса-вектора, соответствующего значению азимута падения, и окружности, отвечающей величине угла падения.

Примечательно, что все трещины с небольшими углами падения располагаются в виде точек вблизи центра круга, тогда как трещины с крутыми углами падения располагаются ближе к периферии. Дело в том, что точка трещины на таких диаграммах является, в сущности, проекцией на плоскость круга точки пересечения нормали (перпендикуляра) к трещине, исходящей из центра круга, с верхней полусферой.

На построенной диаграмме может оказаться несколько участков концентрации точек, свидетельствующих о преобладающих направлениях и углах падения трещин. Для наглядности такие участки следует оконтуривать.

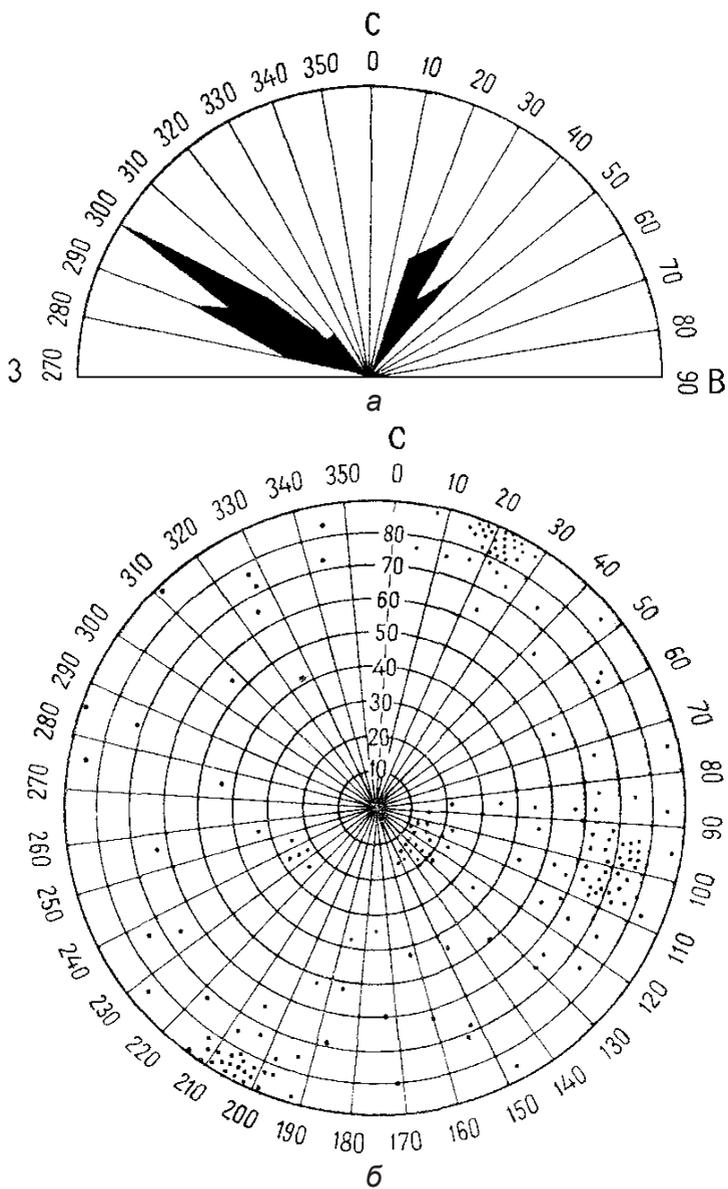


Рис. 48. Построение диаграмм трещиноватости: а – роза-диаграмма простирааний; б – точечная круговая диаграмма.

По Г. И. Сократову, 1972

Достоинством точечных круговых диаграмм является то, что на одной диаграмме, пользуясь разными знаками (особенно цветными), можно показать не только замеры трещин, но и элементы залегания жил и даек разного состава, сместителей разрывных смещений и т. д. и сопоставлять их.

Круговые диаграммы в изолиниях дают возможность количественной оценки трещин различного направления и особенностей трещиноватости разных участков и районов. Методика построения таких диаграмм достаточно подробно и понятно изложена в учебном пособии А. Е. Михайлова [8].

Контрольные вопросы и задания

1. Какие основные группы трещин выделяются по генетическим признакам?
2. В каких условиях формируются первичные и вторичные трещины нетектонической природы?
3. Каковы отличительные морфологические признаки трещин отрыва и скалывания?
4. Какие типы кливажа развиваются в складчатых структурах?
5. Как можно использовать наблюдения над кливажем для определения нормального и опрокинутого залегания слоев?
6. Каковы цели и методические приемы полевых наблюдений над трещинами в процессе геологической съемки?
7. Используя один из списков замеров элементов залегания трещин (лабораторная работа 14), построить розы-диаграммы азимутов и углов падения трещин с целью выявления преобладающих ориентировок.

СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ ПО СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ КАРТИРОВАНИЮ

Изучение теоретической части курса «Структурная геология и геологическое картирование» должно обязательно сопровождаться выполнением лабораторных заданий по каждому разделу курса. Без самостоятельной работы студентов над материалом курса и решения основных типовых задач по построению геологических карт, разрезов, определению морфологии геологических тел и структур, выявлению последовательности их формирования успешное усвоение курса невозможно.

Только на лабораторных занятиях студенты приобретают и закрепляют необходимые геологу умения и навыки грамотного описания геологических структур и проведения теоретически обоснованных реконструкций истории их формирования.

Вместе с тем выполнение студентами предлагаемых на лабораторных занятиях заданий и упражнений дает преподавателю возможность объективно оценивать степень усвоения ими теоретического материала курса и проводить текущий контроль их успеваемости.

Предлагаемые в настоящем сборнике задания сопровождаются краткими объяснениями и методическими указаниями к их выполнению, что делает пособие полезным и необходимым руководством для самостоятельной работы студентов. Лабораторные занятия начального цикла посвящены изучению форм залегания горных пород, способам их изображения на геологических картах и разрезах. Студенты должны освоить различные геометрические построения, с помощью которых определяются элементы залегания пластов и любых структурных поверхностей, мощности слоев, амплитуды тектонических нарушений и т. д. Все это развивает у студентов – будущих специалистов-геологов пространственное воображение, без которого невозможна эффективная работа геолога-полевика.

В качестве картографической основы для задач используются карты из работы Е. В. Милановского «Геологические карты, их чтение и построение» (М.–Л.: Геолразведиздат, 1933) и «Атласа

схематических геологических и бланковых карт» (М.: МГУ, 1976). Для того чтобы различать эти карты, к номерам последних из «Атласа...» прибавляется буква «н». Например: карты 7 и 7н.

Помимо лекционного материала при выполнении лабораторных работ рекомендуется пользоваться учебными пособиями, список которых приведен в конце.

Для выполнения заданий понадобятся: линейка с миллиметровыми делениями длиной 30 см, разносторонний треугольник и транспортир (лучше совмещенный с прозрачным треугольником).

Все задания выполняются в карандаше. Чтобы получить тонкие и достаточно четкие линии, нужно применять карандаши средней твердости (марки М или ТМ, В или НВ).

Выполненные задания (карты и разрезы, диаграммы) подписываются: в правом верхнем углу бланка карты и листа миллиметровки, на которых проведены построения, указываются фамилия студента, курс и номер группы.

Лабораторная работа № 1

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГРАФИКИ

На первом занятии студенты знакомятся с типами геологических карт, правилами оформления геологических планшетов. Рассматриваются условные обозначения геологических карт, правила оформления геологических разрезов и стратиграфических колонок.

В качестве наглядных пособий используются геологические карты различных масштабов из «Атласа учебных геологических карт» (М.: МГУ, 1971; М.: ВСЕГЕИ, 1987), а также изданные геологические карты по тем или иным регионам России.

Особое внимание нужно обратить на правила оформления геологических разрезов и стратиграфических колонок. Основные из этих правил изложены в разделах 1.2 и 1.3 настоящего руководства.

Лабораторная работа № 2

ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ЗАЛЕГАНИЕМ СЛОЕВ, СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА (карты 1н или 5)

Задание к карте 1н (масштаб 1:25000)

Изобразить на топографической основе геологическую карту горизонтальной толщи слоев со следующими отметками стратиграфических горизонтов и другими данными:

- 1) в точке Б (высота 480 м) – кровля юрских песчаников;
- 2) в точке А (высота 520 м) – кровля нижнемеловых мергелей;
- 3) в точке В (высота 620 м) – кровля верхнемеловых известняков;
- 4) на высоте 640 м – кровля нижнепалеогеновых песков;
- 5) мощность залегающих выше верхнепалеогеновых глин составляет 50 м;
- 6) завершают разрез неогеновые суглинки.

Построить стратиграфическую колонку и геологический разрез. Раскраску карты и разреза произвести в соответствии с принятыми цветовыми стандартами для международной стратиграфической шкалы.

Задание к карте 5 (масштаб 1:50000)

1. Границы пластов, изображенных в юго-западной части карты, продолжить на остальной территории.

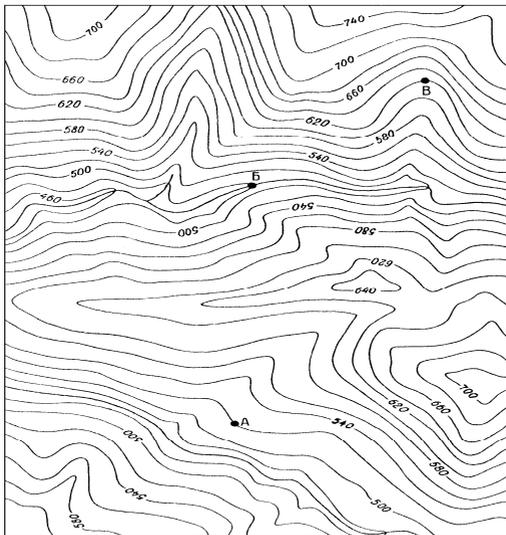
2. Раскрасить карту в соответствии с выбранными стратиграфическими подразделениями международной шкалы.

3. Определить мощности пластов.

4. Построить геологический разрез и стратиграфическую колонку.

При построении геологической карты горизонтально залегающих пород необходимо помнить основной признак горизонтальной структуры, изображенной на карте с горизонталями рельефа: все геологические границы располагаются в соответствии с рисунком горизонталей на определенных высотных отметках. Иначе говоря, они либо совпадают с горизонталями рельефа, либо располагаются между ними, протягиваясь параллельно изогипсам. Исходя из этого, зная абсолютную отметку кровли или подошвы пластов (карта 1н) или же положение контактов слоев на каком-либо участке (карта 5), можно легко протянуть границы слоев на всей остальной территории карты.

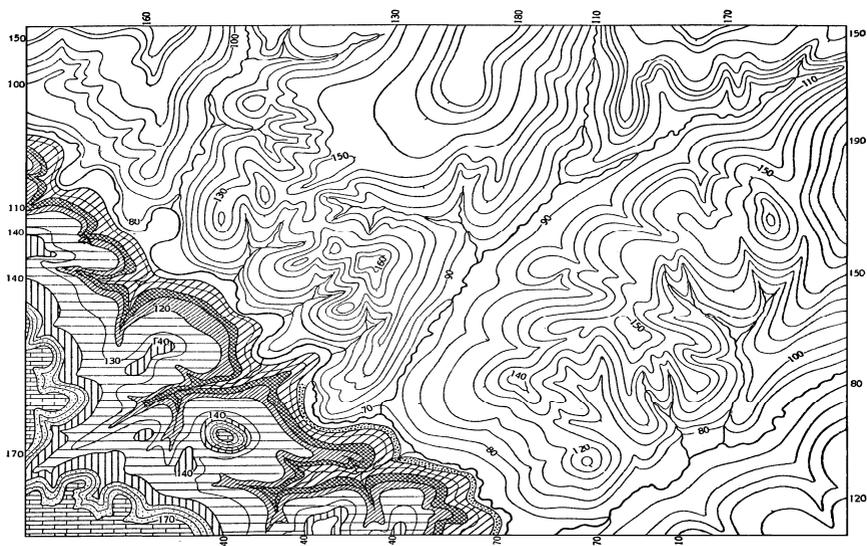
При работе с картой 5 довольно часто студенты делают ошибки при определении мощностей, а также при проведении границ слоев, залегающих выше изолинии рельефа 140 м. Ошибки связаны с путаницей в определении отметок изолиний рельефа, часть из которых на карте не подписана. Поэтому следует внимательнее отнестись к анализу юго-западной части карты с целью определения абсолютных отметок стратиграфических границ.



Масштаб 1:10000

Горизонтали проведены через 20 м

Рис. 49. Учебная бланковая карта 1н



Сечение горизонталей через 10 м

Рис. 50. Учебная бланковая карта 5

При выборе линии для построения геологического разреза следует помнить, что оптимальным будет направление, проходящее через минимальные и максимальные отметки рельефа. Именно в этом случае на разрезе будут наиболее полно представлены слои, слагающие район, – от самых древних до наиболее молодых.

Построенную геологическую карту и разрез раскрашивают в соответствии с цветами международной геохронологической шкалы. При этом учитывается принцип: более молодые слои одной системы закрашиваются светлым тоном, более древние – густым тоном цвета данной системы.

Для карты 1н (рис. 49) возраст пород определен в задании. При выполнении задания по карте 5 (рис. 50) слоям, на ней изображенным, необходимо присвоить возраст в соответствии с выбранными произвольно подразделениями международной геохронологической шкалы, соблюдая при этом стратиграфическую последовательность.

Оформленные в соответствии с вышеприведенными требованиями геологический разрез, стратиграфическую колонку, а также условные обозначения размещают на листе миллиметровой бумаги в следующем порядке: слева – стратиграфическая колонка, справа – условные обозначения, внизу – геологический разрез.

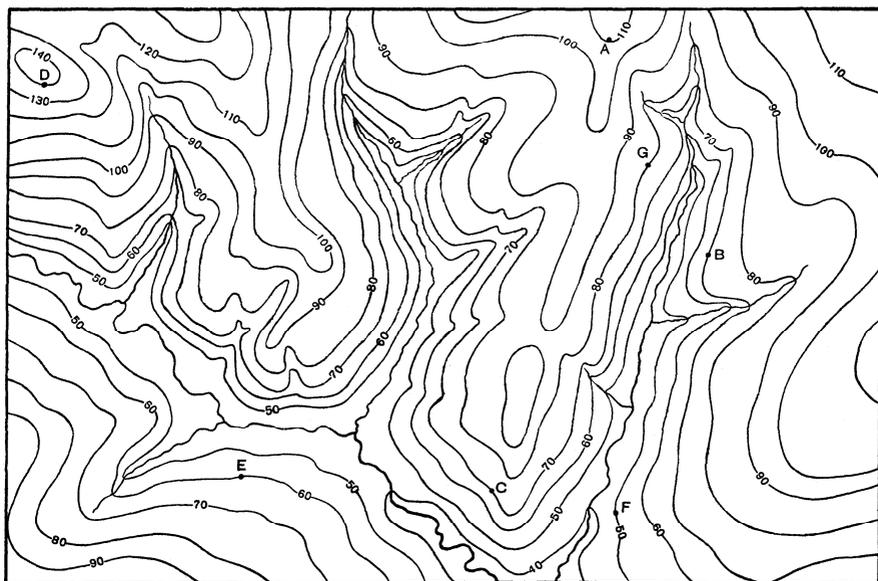
Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ СЛОЯ ПО ДАННЫМ ТРЕХ БУРОВЫХ СКВАЖИН

Решение этой задачи предлагается провести на бланковой учебной карте 6 масштаба 1:5000 (рис. 51). На ней изображены изолинии рельефа и точки расположения скважин (обозначены буквами латинского алфавита).

Карта 6

Масштаб 1:5 000



Сечение горизонталей через 10 м

Рис. 51. Учебная бланковая карта 6

Несколько вариантов задания представлены в табл. 1.

Таблица 1

| № задачи | Точки расположения скважин на карте | | | Глубина залегания кровли пласта в соответствующих скважинах (м) | | |
|----------|-------------------------------------|---|---|---|-----|-----|
| | | | | | | |
| 1 | А | В | Е | 210 | 110 | 140 |
| 2 | А | В | Е | 205 | 100 | 155 |
| 3 | А | В | Е | 150 | 150 | 80 |
| 4 | А | В | Е | 195 | 120 | 145 |
| 5 | А | В | Е | 75 | 90 | 50 |
| 6 | А | В | С | 210 | 210 | 270 |
| 7 | А | В | С | 180 | 180 | 230 |
| 8 | А | В | С | 125 | 145 | 75 |
| 9 | А | В | С | 175 | 55 | 165 |
| 10 | А | В | С | 210 | 50 | 150 |
| 11 | А | В | Д | 105 | 160 | 165 |
| 12 | А | В | Д | 135 | 145 | 135 |
| 13 | А | В | Д | 140 | 125 | 70 |
| 14 | А | В | Д | 155 | 85 | 50 |
| 15 | А | В | Д | 70 | 155 | 195 |
| 16 | А | С | Е | 170 | 50 | 80 |
| 17 | А | С | Е | 200 | 80 | 105 |
| 18 | А | С | Е | 205 | 150 | 85 |
| 19 | А | С | Е | 230 | 145 | 90 |
| 20 | А | С | Е | 150 | 85 | 60 |

Элементы залегания слоя или любой геологической поверхности (поверхности несогласия, контактов интрузивных тел, трещин, поверхностей разрывных смещений и др.) включают: линию простирания, линию падения и угол падения.

Когда студенты освоят определения этих понятий, очень важно, чтобы они уяснили, в чем заключается основное различие между мерами ориентировки линии простирания и линии падения. Линия падения – векторная линия и однозначно характеризуется азимутом своей горизонтальной проекции. Положение же линии простирания может быть охарактеризовано двумя азимутами, замеренными по двум ее концам и отличающимися друг от друга на 180° .

Азимут падения, таким образом, более информативен, так как, зная его, легко определить ориентировку линии простирания, которая перпендикулярна линии падения. Обратная же задача не имеет однозначного решения. Именно поэтому в геологической практике обычно в поле замеряют компасом азимут падения, и сокращенный вариант записи элементов залегания выглядит следующим образом:

Аз. пад. ЮЗ 215 \angle 35

Подобной же записью рекомендуется пользоваться и студентам (при этом обозначение градусов – кружок вверху – не проставляется).

Существуют прямые (непосредственно горным компасом) и косвенные методы замеров элементов залегания слоев. При изучении кернов буровых скважин и стенок горных выработок прямые замеры компасом часто невозможны, и в таких случаях прибегают к специальным графическим построениям.

Для определения элементов залегания слоя по данным бурения необходимо наличие минимум трех скважин, вскрывающих его; при этом скважины не должны быть расположены на одной прямой.

Аналогичная задача возникает, когда положение трех точек выхода геологической поверхности определено на топографической карте. То есть в общем виде задача сводится к определению элементов залегания какой-либо поверхности по трем ее точкам с известными абсолютными отметками.

В учебных пособиях [8, 9] предлагается несколько методов графических построений для решения подобных задач. Можно воспользоваться более простым и требующим меньше затрат времени способом, который подробно рассмотрен в разделе 2.2 настоящего руководства.

Прежде всего определяются абсолютные отметки кровли пласта в трех указанных в задании скважинах. Для этого из отметки устья скважины (определяется по отметке изолинии рельефа, на которой находится точка скважины) вычитают глубину до кровли пласта в соответствующей скважине. При этом могут быть получены как положительные, так и отрицательные значения (ниже уровня моря). Полученные отметки кровли слоя проставляют у каждой скважины (рис. 52).

Точки расположения скважин с экстремальными значениями (максимальной и минимальной высоты кровли пласта) соединяют прямой линией и путем пропорционального деления этого отрезка находят точку с отметкой третьей скважины (с промежуточным значением).

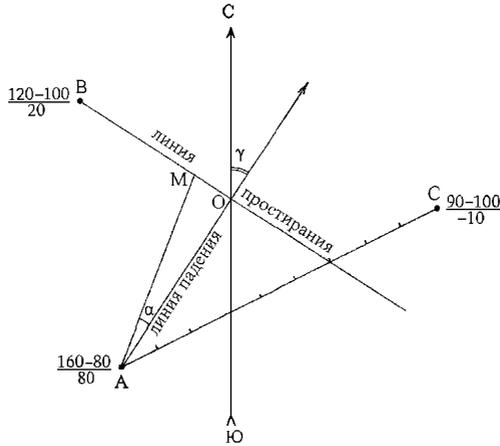


Рис. 52. Определение элементов залегания пласта по данным буровых скважин на карте масштаба 1:5000

Линия простирания будет проходить через найденную точку и точку расположения третьей скважины В, поскольку они имеют одинаковые отметки (20 м). Перпендикуляр к этой линии из точки с максимальной отметкой А даст направление падения слоя. На конце найденной линии падения ставится стрелка, указывающая это направление. Через точку О пересечения линий простирания и падения проводят линию север-юг параллельно боковой рамке карты. Транспортиром замеряют азимут падения пласта (угол γ на рис. 52).

Для нахождения угла падения слоя от точки О вправо или влево по линии простирания откладывается отрезок ОМ, равный разности отметок кровли слоя в скважине А (с максимальным значением) и в точке О (т. е. абсолютной отметки линии простирания). В рассматриваемом примере $ОМ = 60 \text{ м} = 12 \text{ мм}$ в масштабе карты. Конец отрезка соединяется с точкой скважины А. Угол при вершине А (ОАМ) и будет искомым углом падения (α на рис. 52), который замеряется транспортиром.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТА ПО ДВУМ СОПРЯЖЕННЫМ КОСЫМ РАЗРЕЗАМ

Задание выполняется на ориентированном листе миллиметровой бумаги (на котором проведена линия север–юг). В задании дается ориентировка двух косых сечений пласта, азимуты видимых его наклонов и значения кажущихся углов падения в этих сечениях. На этом листе путем графических построений нужно определить истинные элементы залегания пласта. Полученные результаты записываются в правом нижнем углу листа. Варианты задания представлены в табл. 2.

Задача определения элементов залегания геологической поверхности по двум сопряженным косым разрезам (видимым падениям) может возникнуть при изучении вертикальных стенок горных выработок, реже – естественных обнажений.

Принципиальная схема графического решения подобной задачи изложена в учебных пособиях [8, 9], а также в разделе 2.3 настоящего руководства.

Таблица 2

| № задачи | Косой разрез 1 | | | Косой разрез 2 | | |
|----------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Азимут простирания разреза | Азимут видимого падения в разрезе | Видимый угол падения | Азимут простирания разреза | Азимут видимого падения в разрезе | Видимый угол падения |
| 1 | ЮЮЗ 90 | СВ 10 | 46 | ВЮВ 100 | ВЮВ 100 | 15 |
| 2 | СВ 50 | СВ 50 | 40 | ЮВ 120 | ЮВ 120 | 25 |
| 3 | ЮЗ 225 | СВ 45 | 50 | ЮВ 150 | ЮВ 150 | 18 |
| 4 | В 90 | В 90 | 20 | ЮЮЗ 195 | ЮЮЗ 195 | 50 |
| 5 | З 270 | З 270 | 30 | ЮЮВ 175 | ЮЮВ 175 | 40 |
| 6 | СВ 50 | ЮЗ 230 | 35 | СЗ 335 | СЗ 335 | 20 |
| 7 | ЮВ 140 | ЮВ 140 | 18 | ЮЗ 245 | ЮЗ 245 | 50 |

| № задачи | Косой разрез 1 | | | Косой разрез 2 | | |
|----------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Азимут простирания разреза | Азимут видимого падения в разрезе | Видимый угол падения | Азимут простирания разреза | Азимут видимого падения в разрезе | Видимый угол падения |
| 8 | СЗ 310 | СЗ 310 | 16 | ЮЗ 240 | СВ 60 | 30 |
| 9 | ЮЗ 220 | ЮЗ 220 | 28 | ЗСЗ 295 | ЮВ 115 | 36 |
| 10 | ЮЮВ 170 | ЮЮВ 170 | 30 | ЮЗ 245 | СВ 65 | 12 |
| 11 | ЮВ 140 | СЗ 320 | 46 | ЮЗ 215 | ЮЗ 215 | 16 |
| 12 | ЮВ 130 | ЮВ 130 | 12 | СВ 60 | ЮЗ 240 | 30 |
| 13 | СЗЗ 350 | СЗЗ 350 | 18 | ЗЮЗ 265 | ВСВ 85 | 40 |
| 14 | ЮЗ 260 | ЮЗ 260 | 50 | СЗ 335 | ЮВ 155 | 12 |
| 15 | ЗСЗ 290 | ЮВ 110 | 22 | ЮЗ 215 | ЮЗ 215 | 34 |
| 16 | ЮЗ 250 | СВ 70 | 40 | ЮЮВ 175 | ЮЮВ 175 | 25 |
| 17 | ВСВ 80 | ЮЗ 260 | 25 | СЗ 350 | СЗ 350 | 45 |
| 18 | ЮЗ 220 | ЮЗ 220 | 30 | СЗ 315 | ЮВ 135 | 38 |
| 19 | СВ 20 | СВ 20 | 28 | ЗСЗ 285 | ВЮВ 105 | 16 |
| 20 | ЮЗ 240 | СВ 60 | 34 | СЗ 330 | СЗ 330 | 26 |

Обычно (в том числе и в пособии А. Е. Михайлова) рассматривается случай, когда пласт имеет видимый наклон в обеих стенках вертикальной горной выработки навстречу наблюдателю.

Но возможны и другие варианты, когда, например, пласт в обеих стенках шурфа наклонен от наблюдателя или же в одной из них пласт наклонен к наблюдателю, в другой – от наблюдателя.

Как в таких случаях решается задача графического определения истинных элементов залегания пласта?

Рассмотрим вариант геометрических построений для пласта, падающего от наблюдателя в одной стенке и к наблюдателю в другой стенке.

Допустим, азимут простирания стенки β_1 равен 220° , азимут простирания стенки $\beta_2 - 140^\circ$. При этом в стенке β_1 пласт имеет видимый наклон к наблюдателю, т. е. его азимут видимого падения равен 220° . В стенке β_2 пласт падает от наблюдателя, т. е. азимут видимого падения пласта в этой стенке равен $140+180 = 320^\circ$. Видимые углы наклона соответственно равны $\alpha_1 = 40^\circ$, $\alpha_2 = 25^\circ$ (рис. 53).

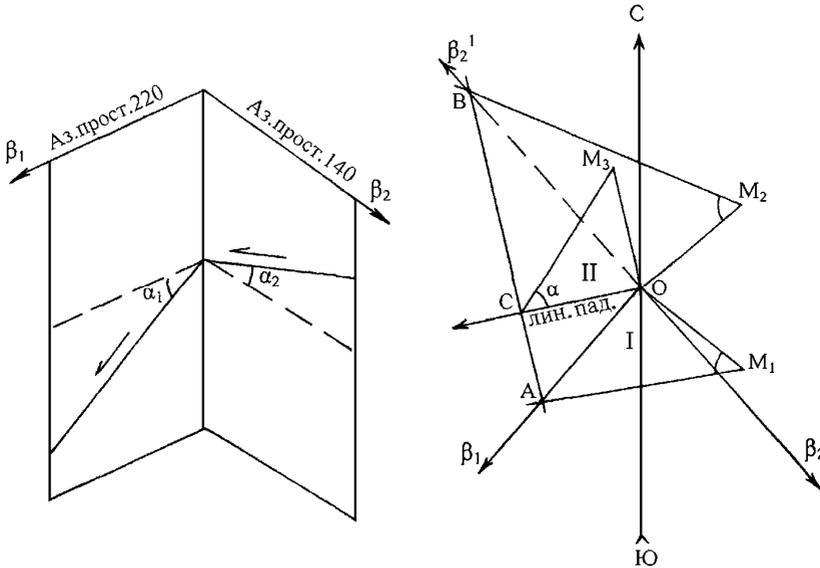


Рис. 53. Определение истинных элементов залегания пласта по двум видимым наклонам в вертикальных стенках шурфа

Из произвольной точки O на ориентированном листе бумаги проводят при помощи транспортира две векторные линии, соответствующие направлениям стенок шурфа β_1 и β_2 , которые образуют угол I .

Продолжив стенку шурфа β_2 от точки O на СЗ (т. е. по азимуту 320°), получим угол II между стенками шурфа, в пределах которого видимые углы наклона пласта будут направлены от точки O , т. е. как бы в сторону воображаемого наблюдателя (направления β_1 и β_2^1). И тогда задача будет решаться по известной методике, но в области угла II .

То есть в точке O к направлениям β_1 и β_2 восстанавливают перпендикуляры, на которых отмеряют произвольные, но равные

отрезки OM_1 и OM_2 . В точке M_1 строят дополнительный угол $90 - \alpha_1$ ($90 - 40 = 50^\circ$), в точке M_2 – угол $90 - \alpha_2$ ($90 - 25 = 65^\circ$). Стороны построенных углов продолжают до пересечения с линиями β_1 и β_2 и получают точки А и В. Линия, соединяющая эти точки, будет линией простирания.

Опустив из точки О перпендикуляр на линию простирания, получают горизонтальную проекцию линии падения ОС. Азимут падения измеряют транспортиром как правый угол от северного конца линии меридиана до вектора ОС. Для определения угла падения пласта α из точки О восстанавливают перпендикуляр к линии падения ОС, на котором откладывают отрезок $OM_3 = OM_2 = OM_1$. Конец отрезка – точку M_3 соединяют с точкой С. Транспортиром измеряют полученный угол OSM_3 , который и является истинным углом падения α .

Таким образом, важно знать не только азимуты простирания стенок вертикальной горной выработки, пересекающей наклонный пласт, но и азимуты видимых падений пласта. Именно они задают тот азимутальный угол, в пределах которого проводятся соответствующие графические построения.

В предложенных вариантах задания (табл. 2) специально выделены колонки с азимутами видимого падения пласта в косых разрезах.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ И МОЩНОСТИ НАКЛОННЫХ СЛОЕВ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ НАКЛОННОГО ПЛАСТА С ПОМОЩЬЮ ЕГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Задание к карте ба (масштаб 1:5000)

1. Определить элементы залегания (азимуты простирания и падения, угол падения) пластов 1, 2 и 3, изображенных на карте.
2. Определить истинные мощности пластов.
3. Определить глубину залегания кровли:
пласта 1 в точках А и В;
пласта 2 в точках D и F;
пласта 3 в точках Е и G.

Определение элементов залегания пластов производится методом строгаизогипс, достаточно подробно описанным в учебных пособиях.

При выполнении задания следует учитывать тот факт, что построенные строгаизогипсы могут оказаться не совсем параллельными

или располагаться на разном расстоянии друг от друга, несмотря на то, что в данном случае мы имеем дело с моноклинально залегающими слоями. Как правило, эти отклонения невелики и связаны с небольшими картографическими неточностями при составлении бланков карт. Всегда за наиболее достоверную нужно принимать при этом стратоизогипсу, проходящую через наибольшее количество точек пересечения линии выхода поверхности пласта с одной и той же горизонталью рельефа при максимально возможном удалении этих точек друг от друга. Рекомендуется для повышения точности геометрических построений и определений проводить как можно большее количество стратоизогипс, стремясь сохранить параллельность между ними.

Величина заложения определяется при этом как среднеарифметическая из нескольких замеров.

Для выработки соответствующих навыков и самоконтроля определение угла падения пластов рекомендуется проводить двумя способами: графическим (по трем точкам с известными абсолютными отметками, не лежащими на одной прямой) и аналитическим. В последнем случае используется формула

$$\operatorname{tg} \alpha = h/b,$$

где α – угол падения; h – сечение стратоизогипс (оно равно сечению горизонталями рельефа); b – величина заложения.

Истинная мощность наклонного слоя определяется на карте с горизонталями рельефа довольно быстро при условии уже проведенных стратоизогипс. Сделать это можно двумя способами: через вертикальную или горизонтальную мощности.

В первом случае следует найти на карте стратоизогипсу, пересекающую подошву и кровлю пласта, и сравнить абсолютные отметки точек пересечения. Разность этих отметок даст величину вертикальной мощности слоя; умножив последнюю на косинус угла падения, получим истинную мощность.

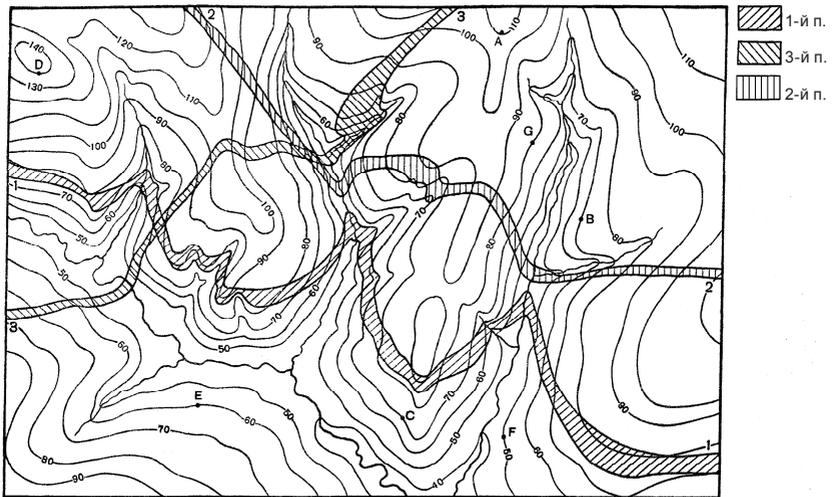
Во втором случае задача сводится к нахождению на карте горизонтального среза слоя. Для этого выбирают две стратоизогипсы с одинаковыми отметками: одну – для подошвы, другую – для кровли слоя. Расстояние между ними, измеренное в направлении падения (в масштабе карты) и умноженное на синус угла падения, даст величину истинной мощности слоя.

При помощи стратоизогипс и масштаба заложения можно решить и следующую задачу этой лабораторной работы – определение глубины залегания кровли трех наклонных пластов в заданных точ-

ках на карте с горизонталями рельефа. В разделе 2.7 данного руководства подробно рассмотрен пример решения подобной задачи.

Карта 6а

Масштаб 1:5 000



Сечение горизонталей через 10 м

Рис. 54. Учебная бланковая карта 6а

Лабораторная работа № 6

ПОСТРОЕНИЕ ВЫХОДА НАКЛОННОГО ПЛАСТА НА КАРТЕ С ГОРИЗОНТАЛЯМИ РЕЛЬЕФА

Задание выполняется на карте 6 (рис. 51), представляющей топографическую основу с сечением рельефа 10 м. Латинскими буквами на ней обозначены точки выхода пластов. Выполняется один из предложенных ниже вариантов задания.

Задание к карте 6 (масштаб 1:5000)

Построить на карте выход моноклинального залегающего пласта указанной мощности по элементам залегания, замеренным в точках выхода:

1. Точка В – кровля пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. $10 \angle 5$.

2. Точка G – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. $170 \angle 10$.

3. Точка В – кровля пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 5 \angle 5.
4. Точка G – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 175 \angle 10.
5. Точка В – подошва пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. 15 \angle 10.
6. Точка G – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 160 \angle 10.
7. Точка С – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 10 \angle 5.
8. Точка В – кровля пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 10 \angle 10.
9. Точка С – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 350 \angle 5.
10. Точка С – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 25 \angle 7.
11. Точка А – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 165 \angle 6.
12. Точка А – подошва пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. 170 \angle 5.
13. Точка Е – кровля пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. 152 \angle 6.
14. Точка Е – кровля пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 150 \angle 8.
15. Точка Е – подошва пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. 115 \angle 11.
16. Точка Е – кровля пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 160 \angle 7.
17. Точка G – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 165 \angle 8.
18. Точка В – подошва пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. 190 \angle 5.
19. Точка С – подошва пласта вертикальной мощности 30 м. Аз. пад. 340 \angle 8.
20. Точка G – подошва пласта вертикальной мощности 20 м. Аз. пад. 150 \angle 10.

Сама задача, как таковая, не вызывает особых затруднений у студентов. Для построения линии выхода геологической поверхности (кровли или подошвы пласта в данном случае) необходимо построить на топографической основе стратоизогипсы этой поверх-

ности и соединить точки пересечения их с одноименными горизонталями рельефа (раздел 2.6 руководства).

Наиболее распространенные ошибки связаны либо с неточным определением величины заложения стратоизогипс, либо с непониманием принципа определения абсолютных отметок проводимых стратоизогипс.

Величину заложения, как горизонтальную проекцию расстояния между двумя соседними стратоизогипсами, можно найти двумя способами.

При графическом определении величины заложения для большей точности нужно провести на миллиметровой бумаге две горизонтальные прямые через интервал, равный пятикратной высоте сечения горизонталей рельефа в масштабе карты. При крутом угле падения пласта можно взять десятикратную величину сечения.

Затем в произвольно выбранной точке А (рис. 55) на нижней прямой строится угол, равный углу падения пласта. Сторону угла продолжают до пересечения с верхней горизонтальной прямой в точке В.

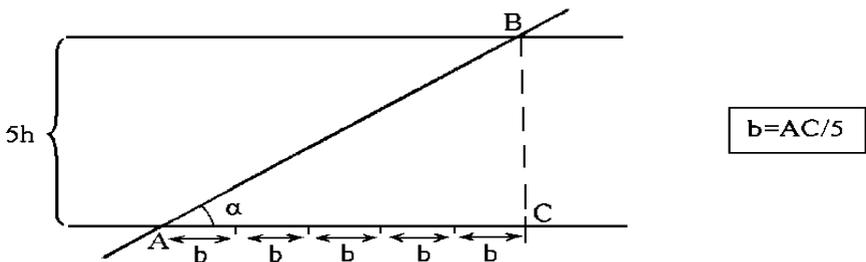


Рис. 55. Определение величины заложения стратоизогипс наклонного пласта

Опустив перпендикуляр из точки В на нижнюю горизонтальную прямую, находим точку С его пересечения с нижней прямой. Разделив отрезок АС на 5 равных частей, получим искомое расстояние между стратоизогипсами пласта на карте (величину заложения b).

Еще более точно величину заложения можно определить по формуле

$$b = h \cdot \text{ctg } \alpha,$$

где b – величина заложения стратоизогипс; h – высота сечения горизонталей рельефа; α – угол падения пласта.

При дальнейших построениях (проведении стратоизогипс по падению и восстанию пласта от начальной стратоизогипсы, проходящей через заданную точку выхода поверхности пласта) следует помнить, что отметки стратоизогипс по падению слоя будут после-

довательно уменьшаться, а по восстанию – увеличиваться на величину, равную сечению пласта (сечению горизонталей рельефа).

Лабораторная работа № 7

АНАЛИЗ КАРТ С МОНОКЛИНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ ПРИ НАКЛОННОМ ЗАЛЕГАНИИ СЛОЕВ (карты 8, 9, 8н, 12н)

Задание к карте 8 (масштаб 1:40000)

1. Определить элементы залегания и мощности слоев, изображенных на карте.
2. Составить геологический разрез вкрест простирания слоев.

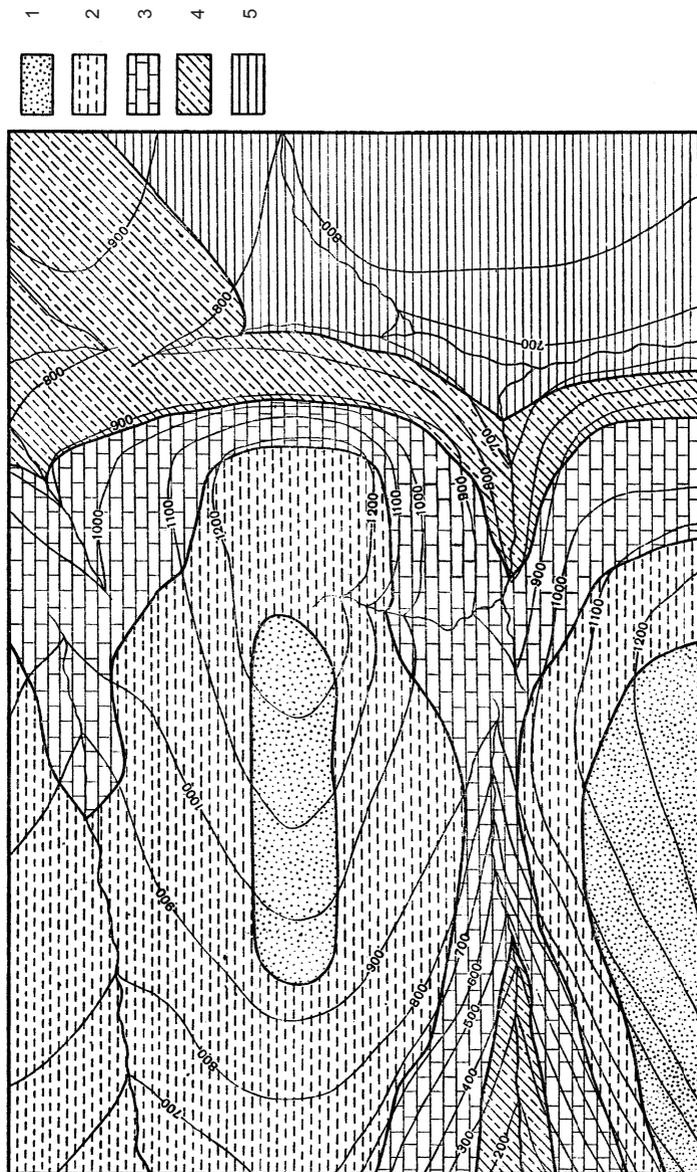
Задание к карте 9 (масштаб 1:40000) и картам 8н (масштаб 1:10000), 12н (масштаб 1:25000)

1. Выявить условия залегания пород. Выделить поверхность несогласия, определить его тип.
2. Определить элементы залегания и мощности слоев, изображенных на карте.
3. Составить геологические разрезы по двум направлениям (для карт 8н и 12н – один разрез).

При выполнении задания по карте 9 студенты впервые сталкиваются с проблемой построения разреза через несогласно залегающие разновозрастные комплексы пород. В таких случаях перенос геологических данных на топографический профиль при построении разреза следует начинать с изображения на нем линии поверхности несогласия. Тем самым разрез как бы разбивается на две части, в пределах которых построения проводятся независимо друг от друга. При этом более молодые слои будут располагаться параллельно поверхности несогласия (их границы проводят под тем же углом падения). Нижележащие более древние слои будут срезаться поверхностью несогласия.

Не следует забывать о введении поправок в истинные углы наклона слоев на разрезе при отклонении линии разреза на карте от перпендикулярного положения относительно простирания пород (т. е. если линия разреза не ориентирована вкрест простирания слоев). Методика расчета поправки объясняется в разделе 2.9 настоящего руководства.

При небольшом угле отклонения линии разреза от перпендикуляра к слоям на карте (менее 15°) поправка будет столь мала, что ею можно пренебречь.



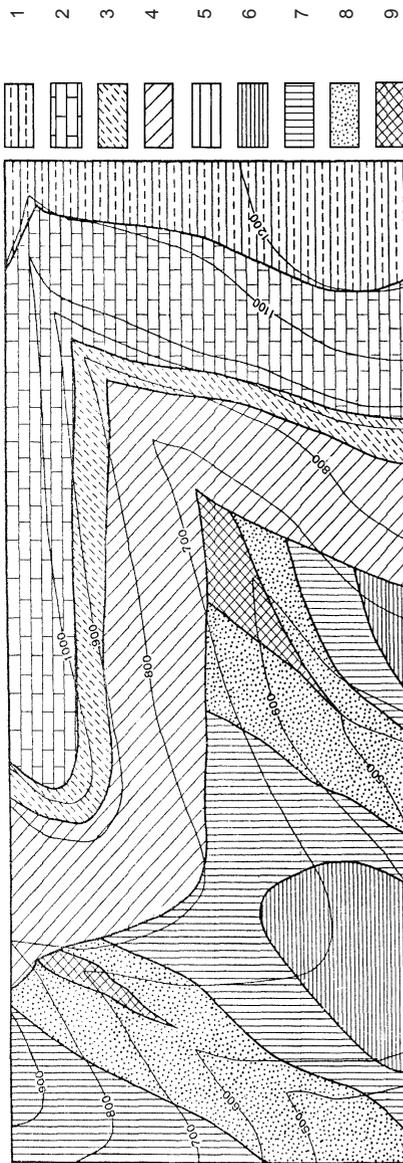
Сечение горизонталей через 100 м

Легенда: 1 – песок 3 – известняк 5 – глина
2 – песчанистая глина 4 – мергель

Рис. 56. Учебная бланковая карта 8

Карта 9

Масштаб 1:40 000



Сечение горизонталей через 100 м

Легенда:

- 1 – песчаные глины
- 2 – известняки
- 3 – мергели
- 4 – глины

} Юра

- 5 – мергелистые сланцы
- 6 – глинистые сланцы
- 7 – известняки
- 8 – песчаники
- 9 – доломиты

} Силур

Рис. 57. Учебная бланковая карта 9

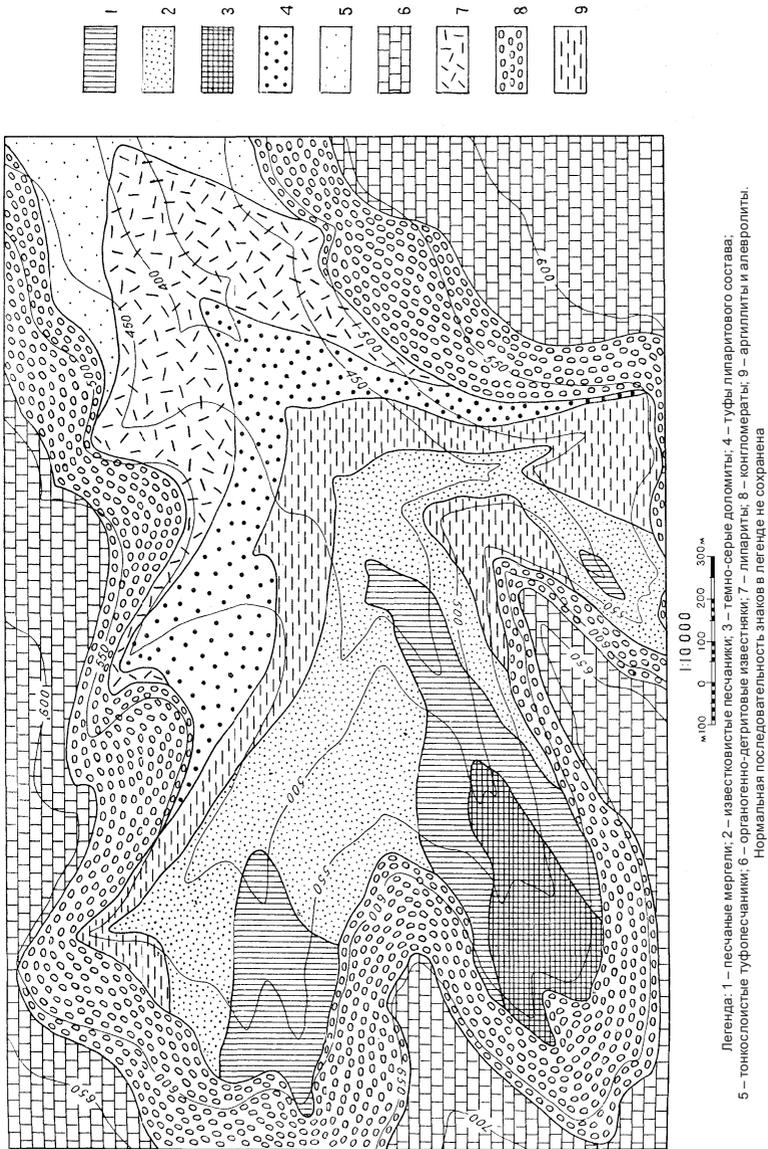


Рис. 58. Учебная бланковая карта 8н

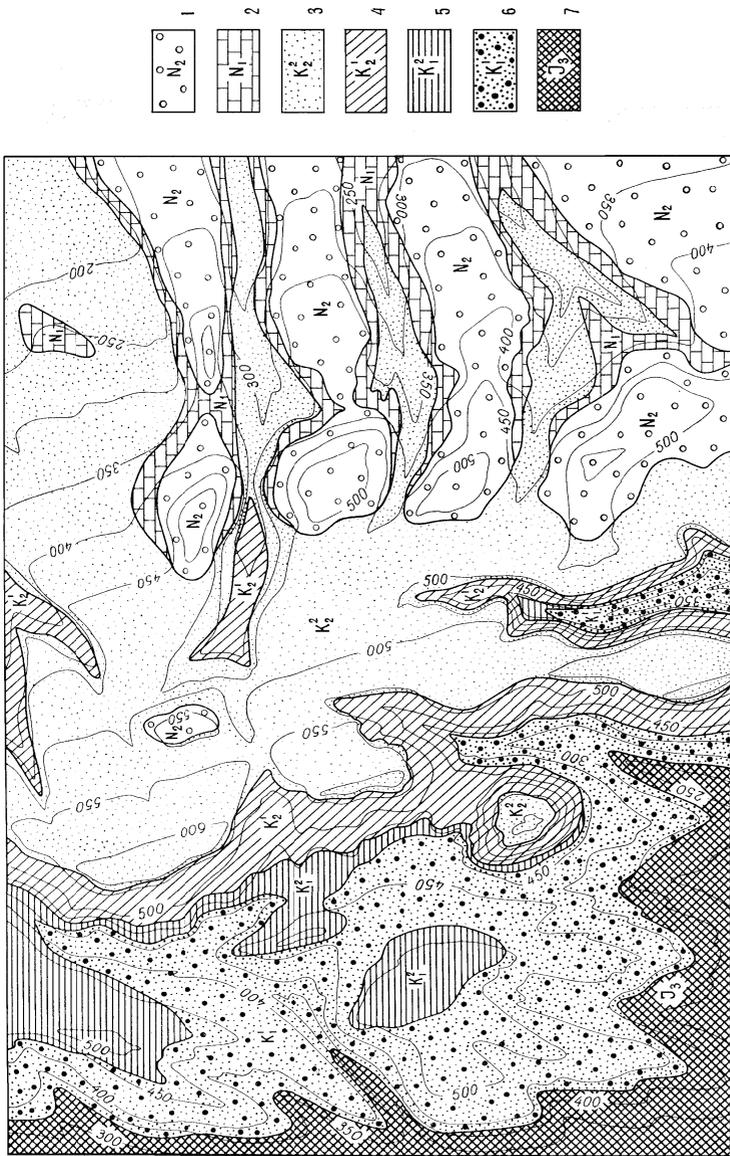


Рис. 59. Учебная бланковая карта 12Н

Лабораторная работа № 8

ФЛЕКСУРА В ГОРИЗОНТАЛЬНО ЗАЛЕГАЮЩИХ СЛОЯХ (карта 5н)

Задание к карте 5н (масштаб 1:2000)

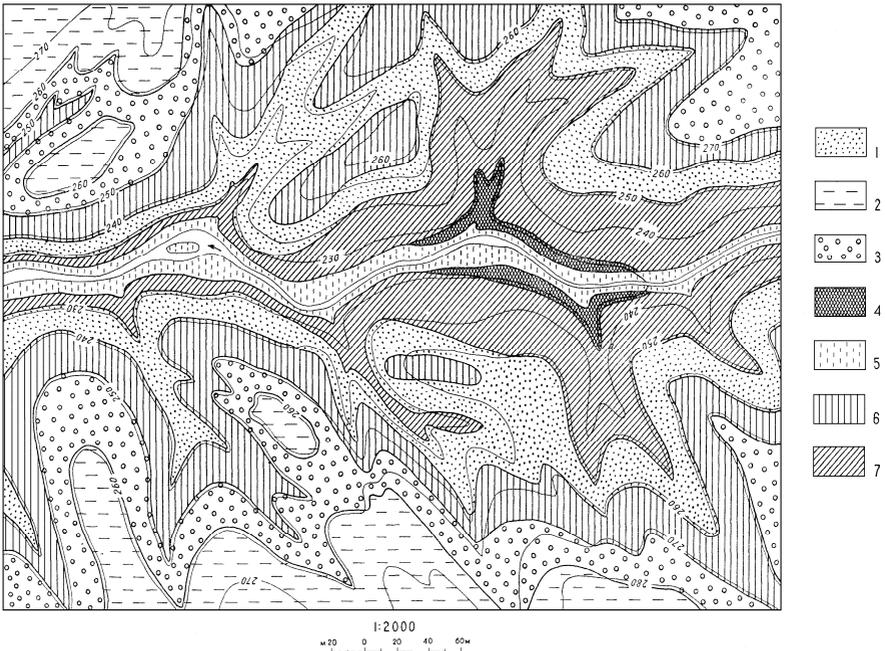
1. Определить условия залегания и мощности слоев, изображенных на карте.

2. Установить стратиграфическую последовательность слоев (порядок знаков в легенде нарушен), составить нормальную стратиграфическую колонку.

3. Определить элементы залегания (азимут и угол падения) смыкающегося крыла флексуры, его вертикальную амплитуду.

4. Построить геологический разрез.

Амплитуда смыкающегося крыла определяется на разрезе по одной и той же поверхности выбранного пласта.



Легенда: 1 – глауконитовые пески с линзами глин; 2 – супеси и суглинки с дресвой; 3 – галечники с линзами суглинков;
4 – органогенные известняки; 5 – аллювиальные пески и супеси с галькой; 6 – глины с прослоями песков;
7 – пелитоморфные известняки.

Нормальная последовательность знаков в легенде не сохранена

Лабораторная работа № 9

АНАЛИЗ КАРТ С ПРОСТЫМИ СКЛАДЧАТЫМИ СТРУКТУРАМИ (карты 17, 22н, 24н)

Задание к картам 17 (масштаб 1:50000), 22н (масштаб 1:10000)
и 24н (масштаб 1:2000)

1. Определить условия залегания пород, морфологические типы складок.

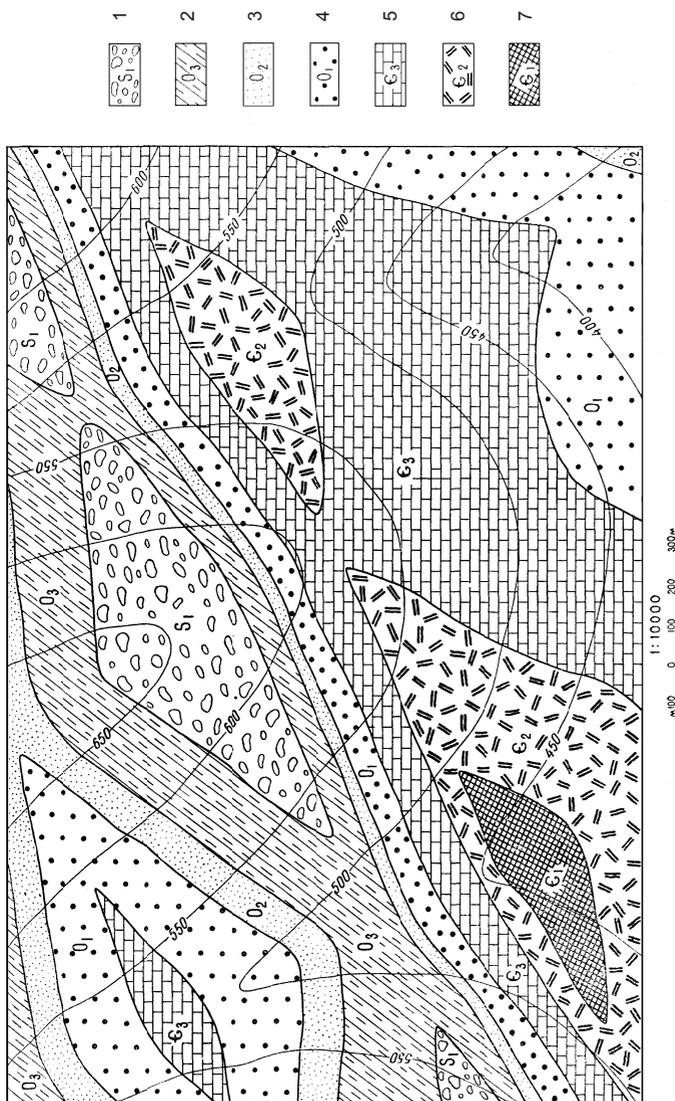
2. Определить элементы залегания слоев на крыльях складок.

3. Определить мощности пластов.

4. Определить положение шарниров складок. Нанести на карте оси складок (сплошной линией для антиклиналей, пунктирной – для синклиналей).

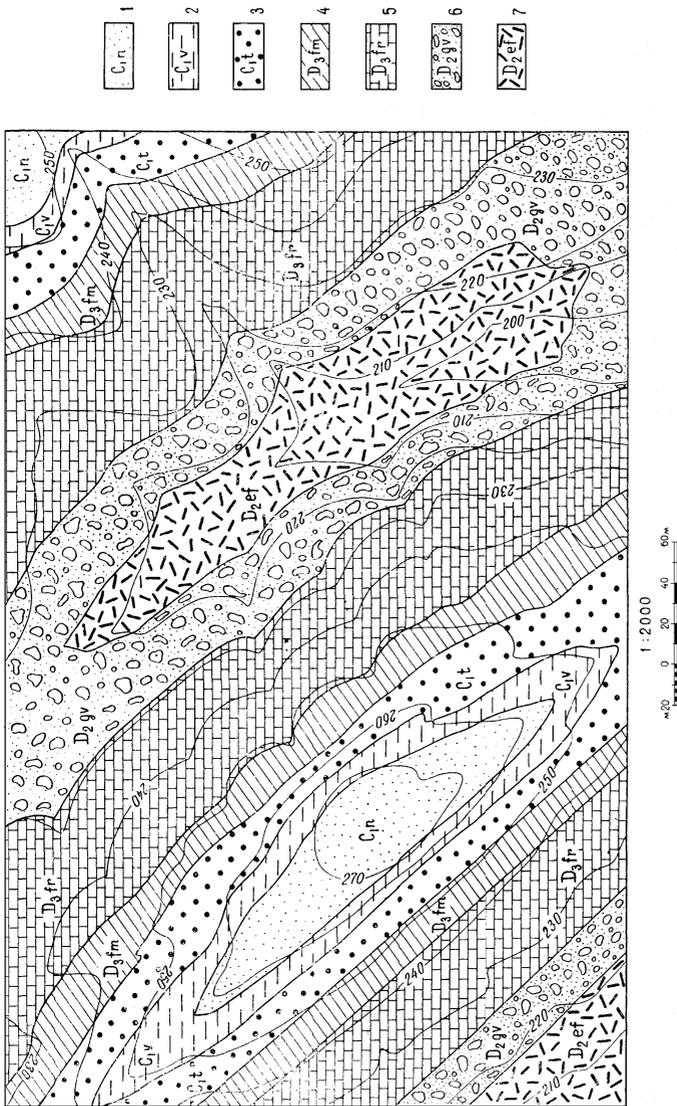
5. Составить геологический разрез вкрест простирания структур, показать на разрезе положение осевых поверхностей.

Прежде чем приступить к построению геологического разреза, следует внимательно изучить изображенные на карте складчатые структуры. Довольно часто студенты при предварительном анализе изображения складчатых структур на карте ошибаются в определении их морфологического типа в плане. При этом замыкания отдельных слоев, слагающих складку, принимают за замыкание самой складки как структурной формы и трактуют ее как брахиморфную или складку с ундулирующим шарниром. Дело в том, что замыкания отдельных слоев, слагающих складку, могут быть обусловлены неровностями рельефа (наличием поперечных речных долин или балок) при горизонтальном положении ее шарнира, т. е. при ее линейной форме в плане. Поэтому о положении шарнира при расчлененном рельефе нужно судить по поведению стратогипса на крыльях складки.



1 — конгломераты; 2 — песчаники, алевролиты с линзами известняков; 3 — песчаники и алевролиты;
 4 — гравелисты и песчаники; 5 — известняки; 6 — глисты; 7 — кремнистые сланцы

Рис. 62. Учебная бланковая карта 22н



Легенда: 1 – песчаники; 2 – аргиллиты; 3 – пудинговые песчаники; 4 – алевролиты; 5 – доломитовые известняки; 6 – песчаники и конгломераты; 7 – липариты

Рис. 63. Учебная бланковая карта 24н

Чтобы составить предварительное представление о форме отдельных складок, необходимо начинать работу с проведения стратоизогипс на их крыльях. Так, равные заложения на крыльях свидетельствуют об одинаковом наклоне крыльев и, следовательно, о том, что складка симметричная. У асимметричной складки с наклонным положением осевой поверхности заложения стратоизогипс на крыльях будут различаться. Пологое крыло всегда будет иметь большую величину заложения по сравнению с крутым крылом.

Если направления падения крыльев складки одинаковы, то эта складка относится к типу опрокинутых. Если при этом и углы падения крыльев (величина заложения) одинаковы, то это будет опрокинутая изоклиная складка.

Параллельность стратоизогипс противоположных крыльев складки указывает на горизонтальное положение шарнира. При наклонном положении шарнира стратоизогипсы не параллельны и сходятся в направлении погружения шарнира у антиклиналей и в сторону воздымания шарнира у синклиналей, т. е. на карте – в сторону омоложения пород.

Геометрический метод построения осевых линий складок на карте рассмотрен в разделе 4.3 настоящего руководства, а методы построения разрезов через складчатые структуры – в разделе 4.4.

Лабораторная работа № 10

РАЗРЫВНЫЕ НАРУШЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНО ЗАЛЕГАЮЩИХ ТОЛЩАХ (карты 3н и 4н)

Задание к карте 3н (масштаб 1:1000)

1. Определить условия залегания, порядок напластования и мощность слоев, изображенных в западной части карты.
2. Провести геологические границы и достроить геологическую карту для остальной территории. При этом следует учитывать наличие сброса, восточное крыло которого поднято на 20 м.
3. Составить геологический разрез.

Задание к карте 4н (масштаб 1:50000)

1. Определить условия залегания и мощности пластов, изображенных на карте.

2. Определить элементы залегания сместителей разрывных нарушений, их морфологические типы и амплитуды смещения по разрывам.
3. Составить геологический разрез по линии, пересекающей разрывные нарушения.

При выполнении этих заданий следует иметь в виду, что при общем горизонтальном залегании слоев истинная мощность определяется по разности абсолютных отметок кровли и подошвы слоя. На карте с горизонталями рельефа, в случае несовпадения границ пластов с изогипсами (кровля или подошва пласта проходит между двумя изогипсами рельефа, не пересекая их), высота поверхности кровли или подошвы находится путем пропорционального деления отрезка между двумя соседними изогипсами, заключающими границу пласта. Отрезок при этом должен быть ориентирован перпендикулярно изогипсам.

Знание абсолютных отметок границ пластов необходимо и для определения амплитуд смещения по разрывам. В случае горизонтального залегания слоев вертикальная амплитуда одновременно будет и стратиграфической. Вертикальная (стратиграфическая) амплитуда в этом случае определяется по разности отметок одной из поверхностей какого-либо слоя по разные стороны от нарушения.

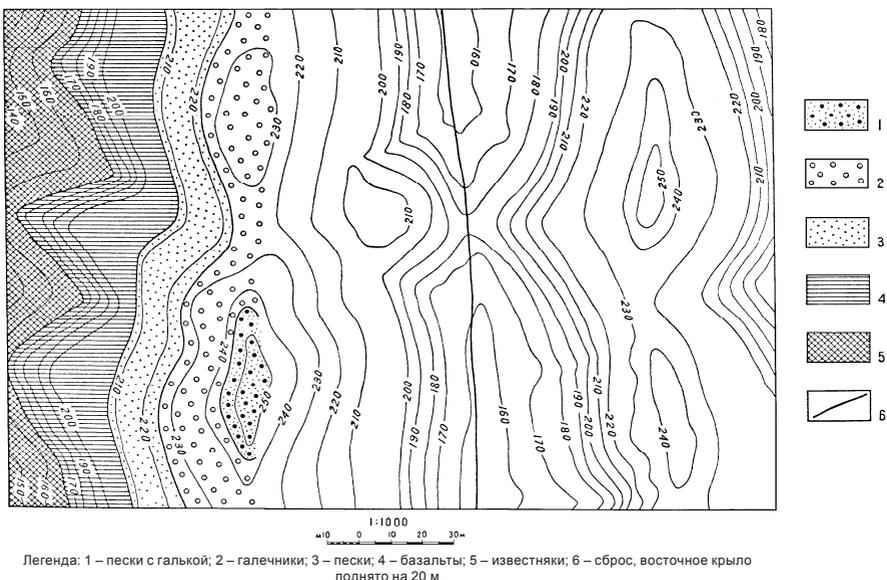


Рис. 64. Учебная бланковая карта 3н

Лабораторная работа № 11

АНАЛИЗ КАРТ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РАЗРЫВНЫХ СМЕЩЕНИЙ В МОНОКЛИНАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ (карты 11, 13, 17н)

*Задание к картам 11 и 13 (масштаб 1:40000),
17н (масштаб 1:10000)*

1. Выявить условия залегания пород, выделить структурные этажи. Определить типы несогласий.
2. Определить элементы залегания и мощности пластов, изображенных на карте.
3. Определить элементы залегания сместителей разрывных нарушений, их морфологические типы, возраст и амплитуды (вертикальный отход)
4. Построить два геологических разреза по разным направлениям.
5. Дать краткое описание геологического строения и истории формирования участка, изображенного на карте.

Все три карты, работа с которыми предусмотрена в этом задании, характеризуются наличием несогласий и структурных этажей.

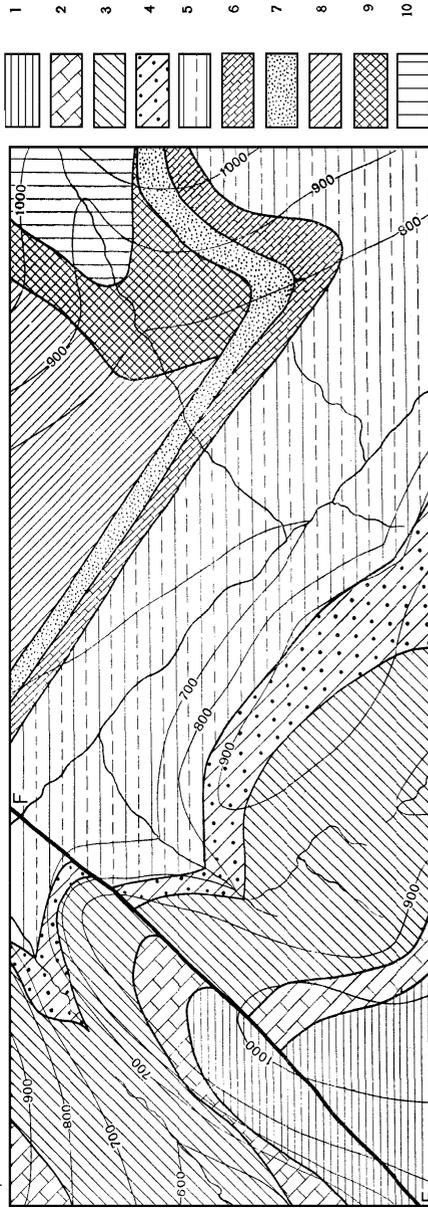
Установление несогласий в осадочных толщах чрезвычайно важно для понимания геологической истории района. В общем случае под несогласным залеганием понимается такое взаимоотношение двух толщ, когда они разделяются достаточно выраженным денудационным срезом (поверхностью несогласия), отражающим более или менее значительный отрезок времени в истории развития данного участка земной коры, не зафиксированный в осадконакоплении.

Необходимо подчеркнуть, что несогласие всегда свидетельствует о перерыве в осадконакоплении, т. е. любое несогласие является стратиграфическим, так как представляет собой пробел в нормальной стратиграфической колонке осадочных толщ. Этот пробел чаще всего обусловлен тектоническим поднятием, установлением континентального режима и более или менее значительным размывом ранее отложившихся осадков. Такие перерывы могли сопровождаться также различными дислокациями (пликативными и дизъюнктивными) более древних слоев.

Именно поэтому несогласное залегание является важнейшим критерием при решении задач структурной геологии, тектоники, стратиграфии и исторической геологии.

Масштаб 1:40 000

Карта 11



Сечение горизонталей через 100 м

- 1 – глины серые
 - 2 – кремнистые известняки
 - 3 – глины бурые
 - 4 – конгломераты
 - 5 – песчаные глины
 - 6 – тонкопослойные известняки
 - 7 – песчаники
 - 8 – глинистые сланцы
 - 9 – доломиты
 - 10 – известняки
- Карбон Девон Силур

Рис. 66. Учебная бланковая карта 11

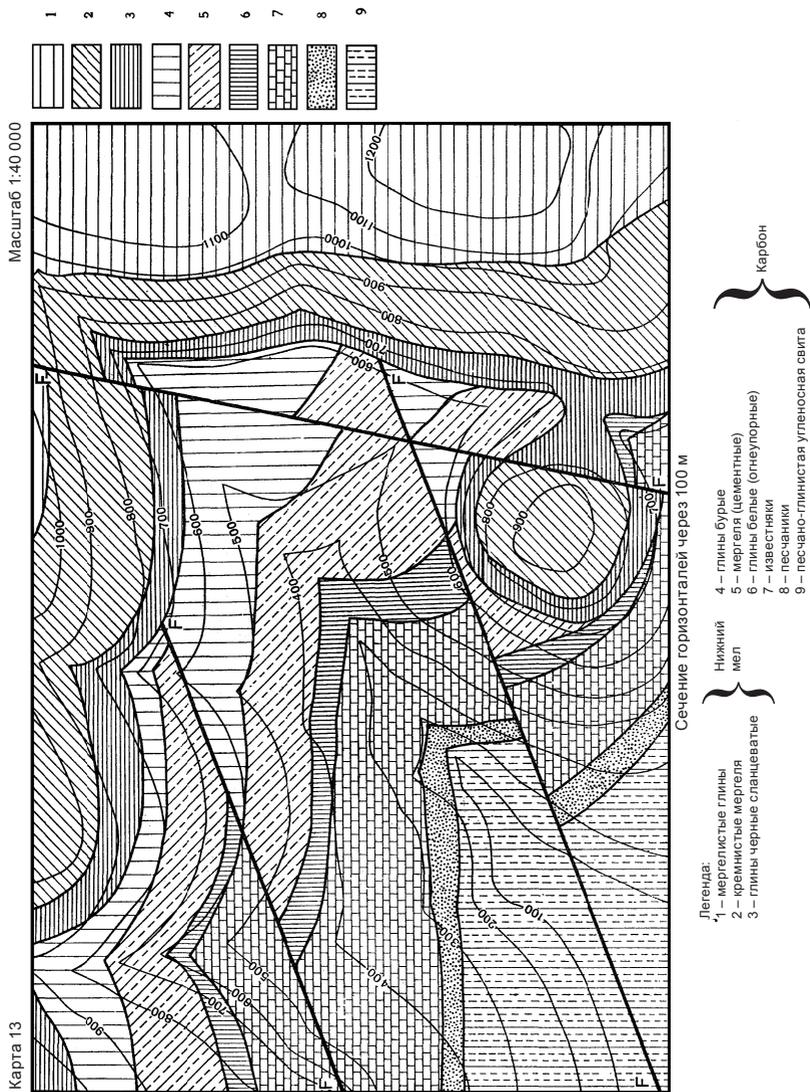
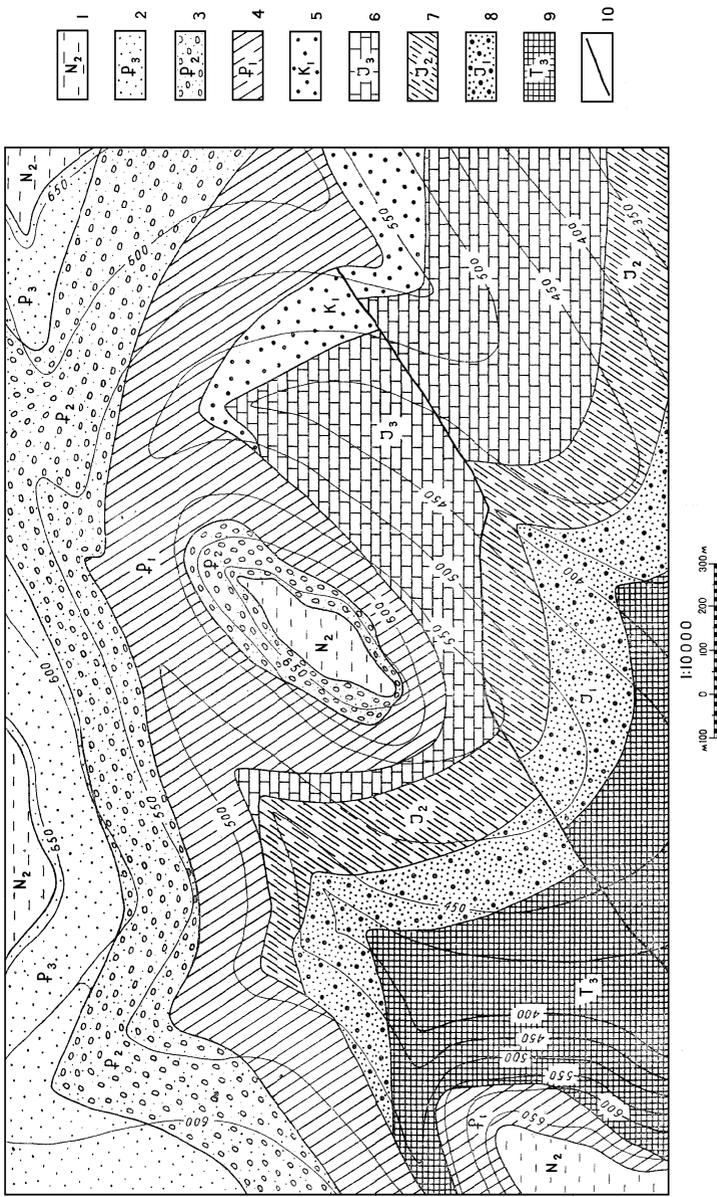


Рис. 67. Учебная бланковая карта 13



Легенда: 1 – песчаные глины; 2 – пески; 3 – галечники; 4 – мергели; 5 – песчаники; 6 – пелитоморфные известники; 7 – алевролиты с прослоями глины; 8 – гравелиты и грубозернистые песчаники; 9 – туфопесчаники; 10 – разрывное нарушение

Рис. 68. Учебная бланковая карта 17н

Следует указать на имеющуюся в некоторых учебных пособиях, в частности в широко распространенном пособии А. Е. Михайлова [8], путаницу в терминологии, когда выделяют специальные «стратиграфические несогласия» или «тектонические несогласия», которые являются, в сущности, поверхностями разрывных нарушений и не имеют никакого отношения к первичной поверхности наложения осадков.

Несогласия квалифицируются в первую очередь по морфологическому признаку (по форме контакта) на параллельные и угловые. Параллельное несогласие – взаимоотношение двух толщ, при котором границы пластов в них практически параллельны, но между этими толщами был перерыв в накоплении осадков. Угловым называют такое несогласие, когда два соприкасающихся комплекса слоев залегают под углом друг к другу в результате предшествовавшего перерыву тектонического нарушения в залегании нижнего комплекса пород.

В зависимости от различия в углах падения слоев выделяют несогласия географическое (угол менее 1°), слабое (до 30°) и резкое (при угле несогласия более 30°). Географическое несогласие в отдельных обнажениях проявляется как параллельное и устанавливается только при изучении обширных территорий.

Угловое несогласие, характеризующееся не только различием в углах падения слоев, но и различным простиранием пород в контактирующих толщах, называется азимутальным. Угол азимутального несогласия между верхней и нижней толщами может изменяться до 90° .

По масштабу проявления выделяются региональные и местные (локальные) несогласия. Региональные несогласия прослеживаются на обширных территориях и вызываются общими для больших площадей (например, платформенных плит) вертикальными положительными движениями. Локальные несогласия не имеют значительного распространения на площади и обычно отражают движения и рост отдельных положительных структур, например присводовых частей антиклинальных складок, соляных куполов и др.

При анализе геологических карт несогласия обычно устанавливаются и прослеживаются без особого труда (раздел 2.9 настоящего руководства).

Угловые несогласия являются основным критерием для выделения структурных этажей в разрезе земной коры. В простей-

шем случае угловое несогласие отделяет нижний структурный этаж, сформировавшийся в результате проявления одностороннего наклона или складкообразования и последующего срезания тектонических структур агентами денудации, от недислоцированных осадков верхнего этажа, накопившихся при опускании денудированной поверхности нижнего этажа под уровень моря. Если же этот процесс повторяется, т. е. горизонтально лежащие осадки второго этажа, в свою очередь, сминаются в складки или приобретают моноклиналиное залегание, затем подвергаются денудации, снова опускаются и т. д., то возникает несколько структурных этажей, разделенных поверхностями угловых несогласий.

Если дать самое краткое определение понятию структурных этажей, можно сказать, что структурные этажи – это комплексы пород, разделенные региональным угловым несогласием и по-разному дислоцированные.

Помимо определения типа несогласий и выделения структурных этажей в этом и последующих заданиях предусмотрено краткое описание истории формирования участка земной коры, изображенного на геологической карте. Это служит своеобразной подготовкой к работе по анализу учебных геологических планшетов на лабораторных занятиях второго семестра.

Основное внимание при этом должно быть обращено на восстановление истории формирования тектонических структур. Намечается историческая последовательность этапов унаследованной седиментации и континентальных перерывов, вызванных общим поднятием и тектоническими дислокациями различного характера (нарушение первичного горизонтального залегания и формирование моноклиналильных структур, складкообразование, образование разрывных смещений).

Представляется очевидным, что грамотная реконструкция истории формирования района, изображенного на карте, невозможна без умения выявлять и определять морфологические типы несогласий, выделять структурные этажи.

Лабораторная работа № 12

РАЗРЫВНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В СКЛАДЧАТЫХ СТРУКТУРАХ (карта 18)

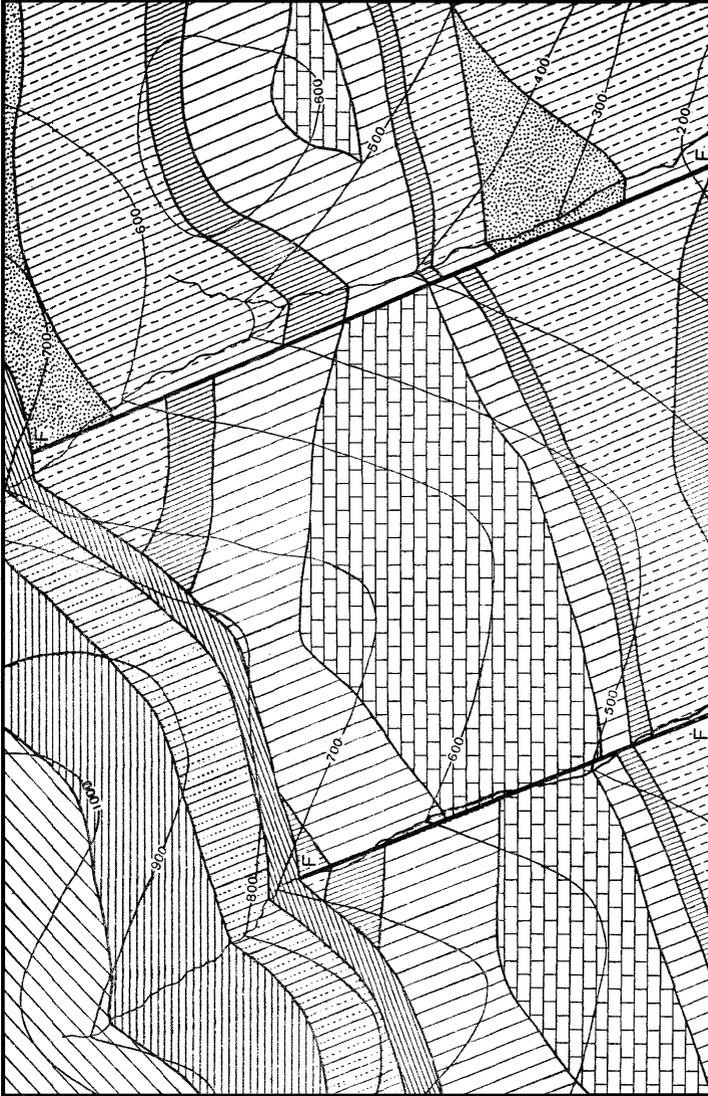
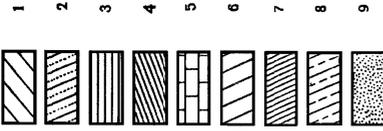
Задание к карте 18 (масштаб 1:40000)

1. Определить условия залегания пород, выделить структурные этажи.
2. Определить элементы залегания и мощности слоев, изображенных на карте.
3. Определить морфологические типы складок. Определить положение шарниров. Нанести осевые линии складок в смещенных блоках.
4. Определить морфологические типы разрывных нарушений, элементы залегания сместителей, вертикальные амплитуды смещения и возраст нарушений.
5. Составить два геологических разреза по разным направлениям.
6. Составить краткое описание истории геологического развития района.

При выполнении этой работы некоторые трудности у студентов вызывает построение осевых линий складок в смещенных по разрывам блоках. Дело в том, что поперечные и диагональные сбросы и взбросы при пересечении асимметричных складок с наклонной осевой поверхностью вызывают смещение их осевых линий на карте. У антиклиналей на поднятом блоке ось смещается в сторону пологого крыла, а на опущенном блоке – в сторону крутого крыла. У синклинальных складок смещение оси происходит в сторону крутого крыла на поднятом блоке и в сторону пологого крыла на опущенном блоке. Смещение будет тем больше, чем больше наклонена осевая поверхность.

У симметричных (нормальных) складок при сбросах и взбросах смещения осевых линий на карте не происходит, так как у них осевые поверхности вертикальные.

Геометрические построения для определения положения осей асимметричных складок в смещенных по разрыву блоках, а также определения амплитуд смещения рассмотрены в разделе 5.3 данного руководства.



Сечение горизонталей через 100 м

- Легенда:
- 1 – мергеля кремнистые
 - 2 – глины с гипсом и колчеданом
 - 3 – железистые песчаники
 - 4 – глины с фосфоритами
 - 5 – известняки битуминозные
 - 6 – мергеля с конкрециями сидерита
 - 7 – черные глинистые сланцы
 - 8 – кварциты
 - 9 – ариозы
- Юра } Силур

Рис. 69. Учебная бланковая карта 18

Лабораторная работа № 13

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ, ПОСТРОЕННЫХ НА УПРОЩЕННОЙ ТОПОСНОВЕ БЕЗ ИЗОЛИНИЙ РЕЛЬЕФА (карты 21, 22)

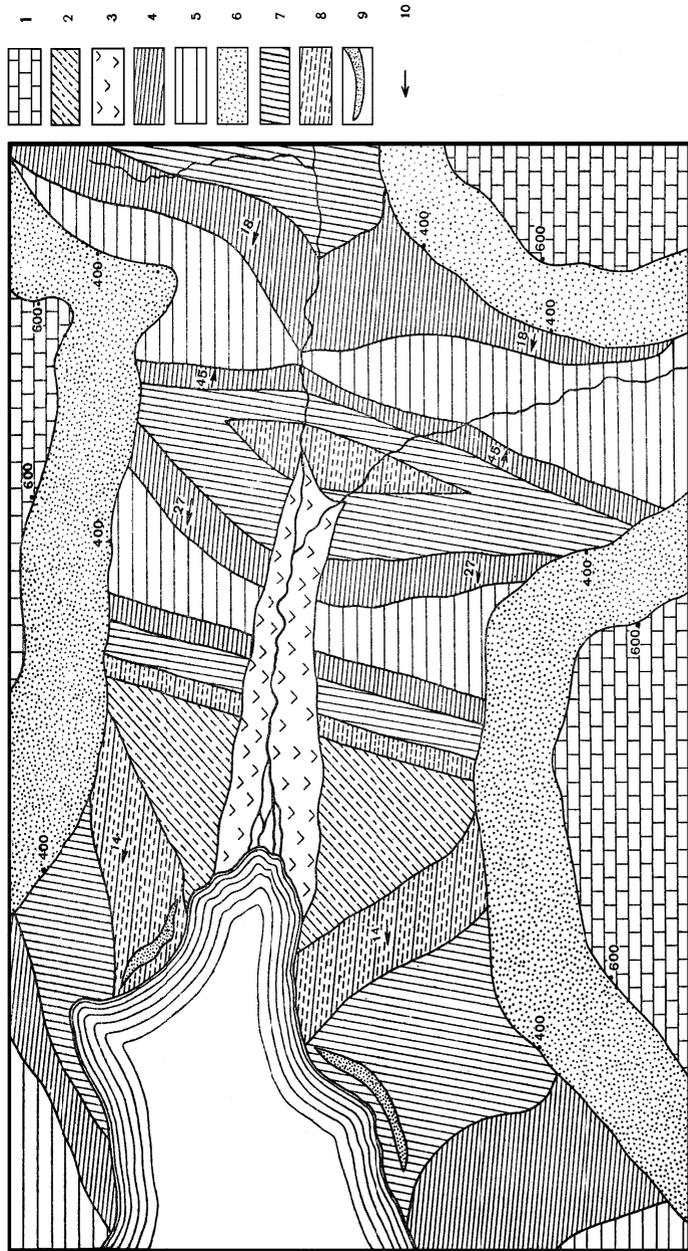
Задание к карте 21 (масштаб 1:50000)

1. Выявить условия залегания слоев, выделить структурные этажи.
2. Установить стратиграфический порядок напластования (порядок знаков в легенде нарушен).
3. Определить истинные мощности слоев, изображенных на карте.
4. Нанести оси складок, определить их морфологические типы.
5. Составить геологический разрез, на котором показать положение осевых поверхностей.

Задание к карте 22 (масштаб 1:100000)

1. Установить условия залегания пород, выделить структурные этажи.
2. Определить углы падения пород на крыльях складок, используя для этого величины истинной мощности и ширину выхода пород на поверхность. Вынести элементы залегания слоев на карту.
3. Определить мощности слоев, для которых она неизвестна.
4. Нанести оси складок и указать направления погружения шарниров, определить углы погружения шарниров.
5. Определить морфологические типы складок.
6. Определить наиболее благоприятное место заложения скважины на нефть и ее глубину до нефтеносного пласта. Вариант задания: в точках А, В, С определить глубину вертикальных буровых скважин до кровли нефтеносного пласта.
7. Оконтурить и выделить цветом перспективную угленосную площадь.
8. Составить 2 геологических разреза вкрест простирания структур.

На предлагаемых в этих заданиях картах строение рельефа представлено с помощью элементов гидрографической сети и высотных отметок.



Высоты в метрах

Легенда: 1 – известняки, 2 – железисто-кварцевые сланцы, 3 – аллювий, 4 – битуминозные сланцы, 5 – мергелистые сланцы, 6 – глиуонитовые песчаники, 7 – линейные сланцы, 8 – кварциты, 9 – морские четвертичные галечники (береговые валы), 10 – направление и угол падения.
Примечание: В легенде слои указаны не в стратиграфическом порядке, который нужно установить по карте.

Рис. 70. Учебная бланковая карта 21

На карте 21 представление о рельефе можно получить по элементам ландшафта – линии морского побережья (нулевая абсолютная отметка), элементам речной сети, а также точкам с указанными абсолютными высотами. Анализ последних (учитывая их приуроченность к определенным геологическим границам) позволяет достаточно уверенно выделить верхний структурный этаж с горизонтальным залеганием двух мощных слоев.

Нижний этаж, судя по элементам залегания (представлены направлениями падения слоев и углами их наклона) и зеркально-симметричному повторению пластов, имеет складчатую структуру.

При установлении морфологии отдельных складок и построении разреза необходимо также обращать внимание на изменение ширины выхода одних и тех же пластов на крыльях и конфигурацию линий границ пластов в условиях расчлененного рельефа.

Расшифровка тектонической структуры проводится одновременно с установлением нормальной стратиграфической последовательности слоев, которая в легенде намеренно нарушена.

Истинные мощности пластов в складчатых структурах можно определить измерением их на построенном геологическом разрезе, ориентированном вкрест простирания складок.

На карте 22 колебания отметок земной поверхности в пределах большей части территории (за исключением водораздельных возвышенностей, сложенных останцами верхнего структурного этажа) при очень мелком масштабе укладываются, в сущности, в один миллиметр. Таким образом, рельеф в пределах выходов складчатого нижнего этажа можно условно принять как горизонтальный, и поэтому замеры ширины выходов слоев на крыльях складок являются практически их горизонтальными мощностями.

Для определения углов падения крыльев можно использовать соотношение между величиной истинной мощности (для некоторых пластов она дана в задании) и шириной выхода пласта на горизонтальную поверхность (горизонтальная мощность), выраженное формулой

$$M = m_r \cdot \sin \alpha,$$

где M – истинная мощность; m_r – горизонтальная мощность; α – угол падения пласта.

Из этой формулы следует: $\sin \alpha = M / m_r$.

Горизонтальные мощности пластов на карте измеряются линейкой (в масштабе карты) как кратчайшие расстояния (по перпендикуляру) между линиями подошвы и кровли слоя.

Вычислив углы падения слоев на крыльях, их проставляют специальными условными знаками на карте в местах проведенных замеров.

Аналогичным способом можно определить и углы погружения шарниров складок, замерив горизонтальную мощность какого-либо пласта с известной истинной мощностью вдоль оси складки в месте ее замыкания. На осевой линии стрелкой указывается направление падения шарнира, а рядом проставляется вычисленный угол его наклона.

Установив углы наклона крыльев складок, можно затем воспользоваться первой из вышеуказанных формул для определения истинной мощности пластов, для которых она не указана (пласты 4, 7 и 9).

Определение глубины проектируемых вертикальных скважин в точках А, В и С до нефтеносного пласта (пласт 11) не представляет особой сложности, учитывая, что все эти скважины располагаются на границе пластов. Задача, в сущности, сводится к определению суммарной вертикальной мощности пластов, которые необходимо пересечь до достижения кровли пласта 11.

Для определения вертикальной мощности наклонного пласта (углы наклона крыльев складок, на которых находятся точки скважин, уже будут определены) можно воспользоваться формулой

$$M = m_v \cdot \cos \alpha,$$

где M – истинная мощность пласта; m_v – вертикальная его мощность; α – угол наклона пласта.

Из этой формулы получаем $m_v = M / \cos \alpha$.

Лабораторная работа № 14

АНАЛИЗ КАРТ С УСЛОЖНЕННЫМ СОЧЕТАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТРУКТУР (СЛОЖНЫЕ СКЛАДЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ, НАДВИГИ, МАГМАТИЧЕСКИЕ ТЕЛА И Т. Д.) (карты 15н, 21н, 26н, 30н)

Задание к карте 15н (масштаб 1:10000)

1. Выявить условия залегания и взаимоотношения осадочных и магматических пород, выделить структурные этажи.
2. Определить элементы залегания слоев и контактов интрузивных тел. Определить мощности слоев и интрузивных тел.
3. Определить морфологические типы и относительный возраст интрузивных тел.
4. Построить геологический разрез по субширотному направлению.

5. Дать краткое описание истории формирования участка, изображенного на карте.

Задание к карте 21н (масштаб 1:10000)

1. Определить условия залегания слоев, взаимоотношения осадочных и интрузивных пород, выделить структурные этажи.

2. Определить элементы залегания и мощности слоев. Определить морфологический тип складки, установить положение ее шарнира.

3. Определить морфологический тип, элементы залегания и мощности интрузивных тел, их возраст.

4. Определить тип разрывного нарушения, элементы залегания сместителя, направление, величину и последовательность смещений по разрыву.

5. Построить два геологических разреза по разным направлениям.

6. Дать краткое описание истории геологического развития участка, изображенного на карте.

Задание к карте 26н (масштаб 1:2000)

1. Выявить условия залегания и взаимоотношения осадочных и магматических пород, выделить структурные этажи.

2. Определить элементы залегания и мощности слоев. Нанести на карту оси складок, определить их морфологические типы, установить положение шарниров.

3. Определить форму (морфологический тип), элементы залегания, мощности интрузивных и жильных тел, их возраст.

4. Построить геологический разрез, показать на нем положение осевых поверхностей складок.

5. Дать краткое описание истории формирования участка, изображенного на карте.

Задание к карте 30н (масштаб 1:20000)

1. Определить условия залегания пород, выделить структурные этажи.

2. Определить элементы залегания и мощности слоев в каждом структурном этаже.

3. Нанести оси складок, определить положение их шарниров, определить морфологические типы складок.

4. Определить тип разрывного нарушения, элементы залегания сместителя, амплитуды смещения (вертикальный и горизонтальный отходы).

5. Построить геологический разрез, показать на разрезе положение осевых поверхностей складок.

6. Дать краткое описание геологического строения и истории формирования участка, изображенного на карте.

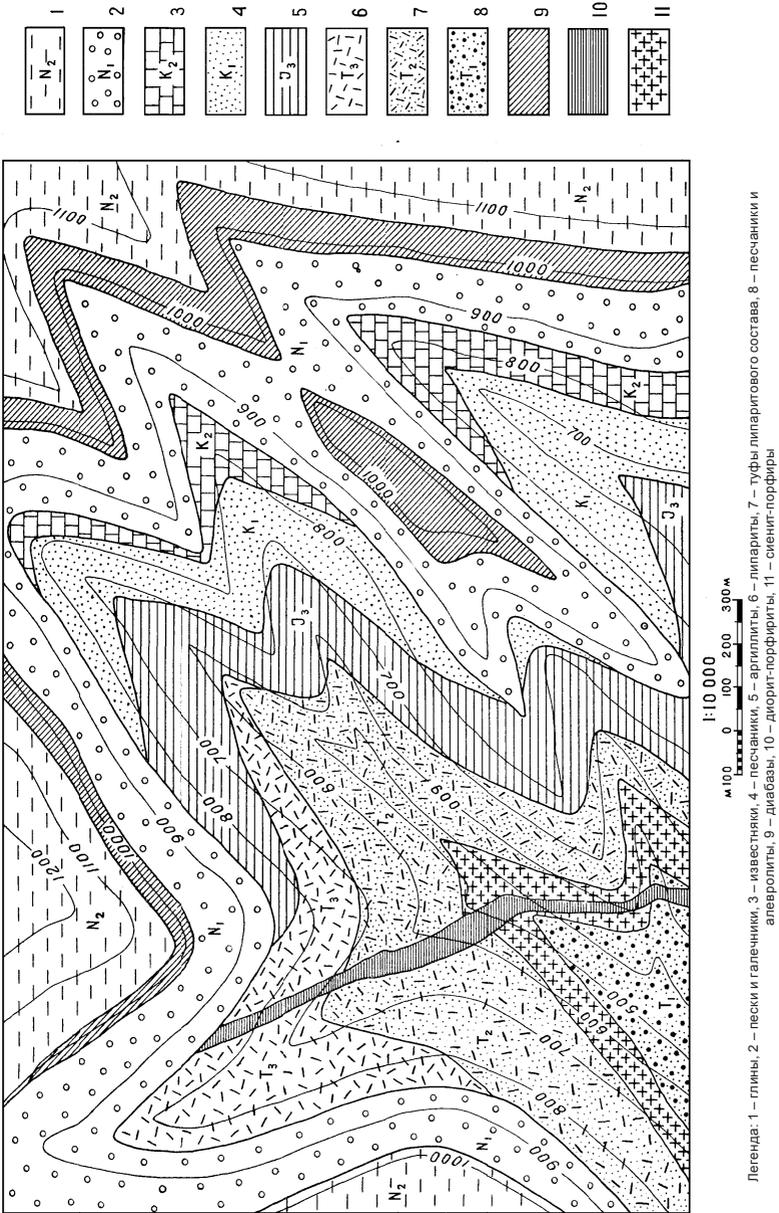
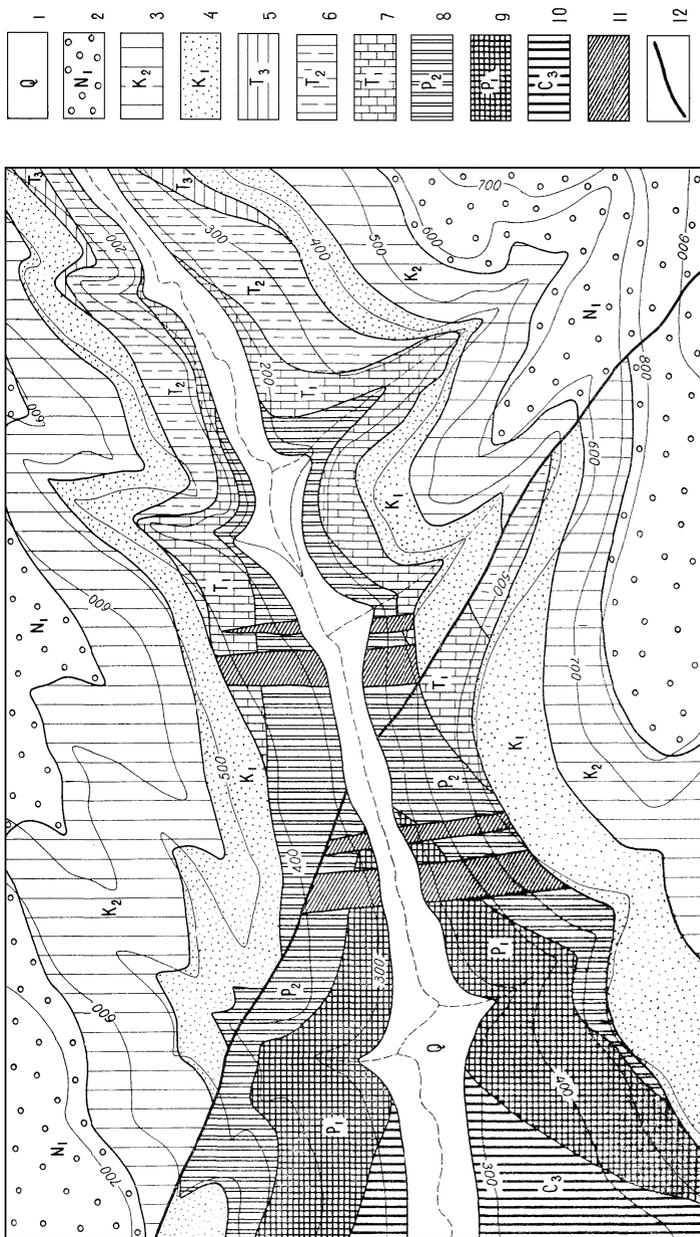


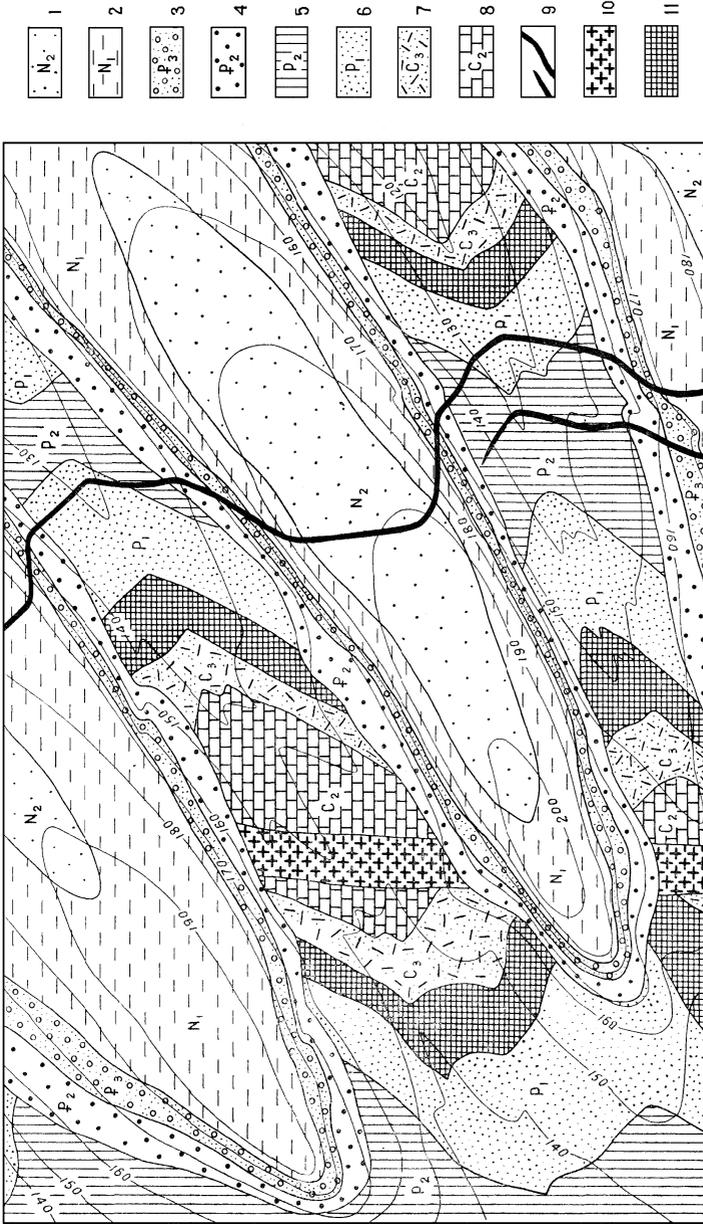
Рис. 72. Учебная бланковая карта 15Н



Легенда: 1 – аллювиальные отложения; 2 – известковые песчаники; 3 – глинистые известняки; 4 – плауколитовые песчаники; 5 – аргиллиты; 6 – известковые алевролиты; 7 – мерели; 8 – углистые алевролиты; 9 – алевролиты с прослоями песчаников; 10 – туфопесчаники; 11 – диабазы; 12 – разрывное нарушение

1:10000
 0 100 200 300 м

Рис. 73. Учебная бланковая карта 21н



1 – кварцевые пески, галечники; 2 – глины, суглинки; 3 – мелгалечные конгломераты с прослоями песчаных известняков;
 4 – конгломераты; 5 – аргиллиты, алевролиты; 6 – песчаники с прослоями песчаных известняков; 7 – туфопесчаники;
 8 – пелитоморфные известняки; 9 – кварцевые жилы; 10 – аплиты; 11 – диабазы

Рис. 74. Учебная бланковая карта 26н



Легенда: 1 – андезиты; 2 – глины; 3 – песчанки и алевролиты; 4 – конгломераты; 5 – известняки; 6 – полимиктовые песчанки; 7 – алевролиты и аргиллиты; 8 – полимиктовые песчанки и гравелиты; 9 – туфалевролиты; 10 – диабазы; 11 – разрывное нарушение

Рис. 75. Учебная бланковая карта 30Н

Лабораторная работа № 15

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ КАРТ ПО ДАННЫМ БУРОВЫХ СКВАЖИН (карта 34н, лист 34б)

Задание

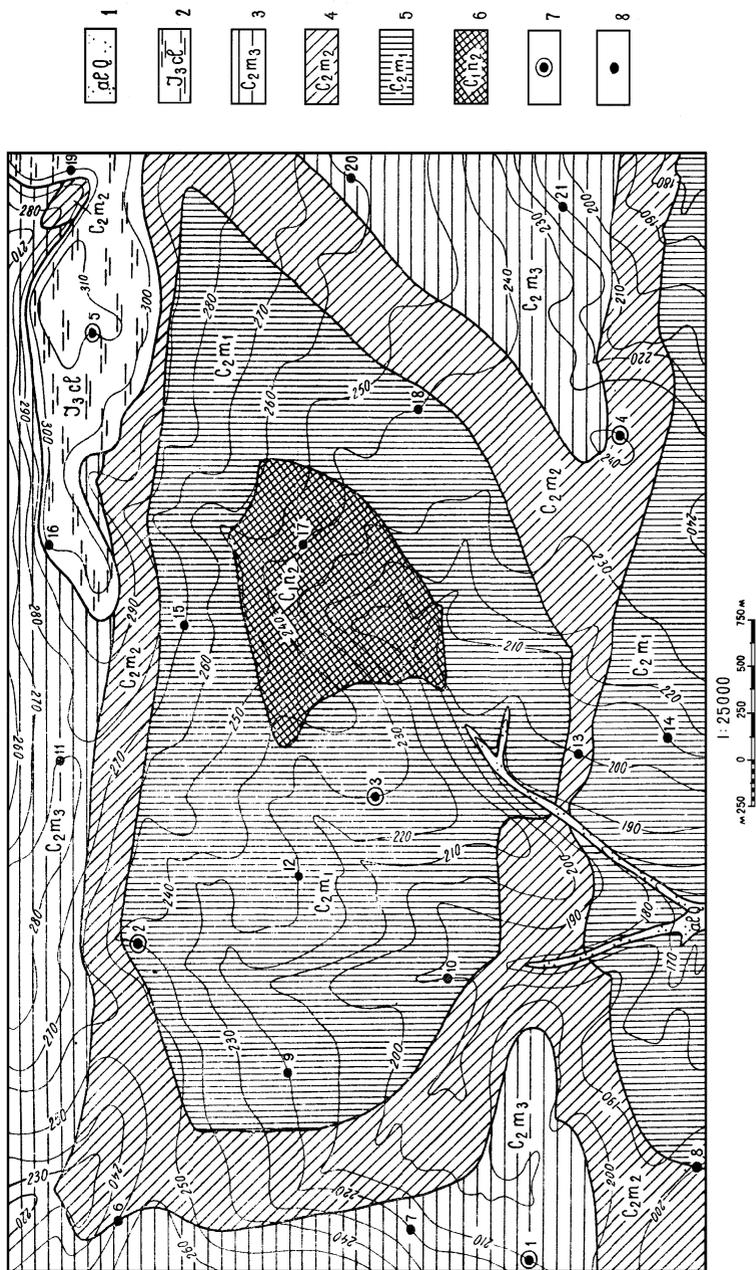
1. Используя геологическую карту (34н) и разрезы буровых скважин (лист 34б), построить на кальке структурную карту по кровле верхнего намюра.

2. Используя разрезы глубоких буровых скважин (лист 34б), построить на другом листе кальки в изохорах карту изменения мощности промежуточной толщи между кровлей верхнего намюра и кровлей фаменского яруса.

3. Используя структурную карту по кровле верхнего намюра и карту изохор промежуточной толщи (карту схождения), построить структурную карту по кровле фаменского яруса.

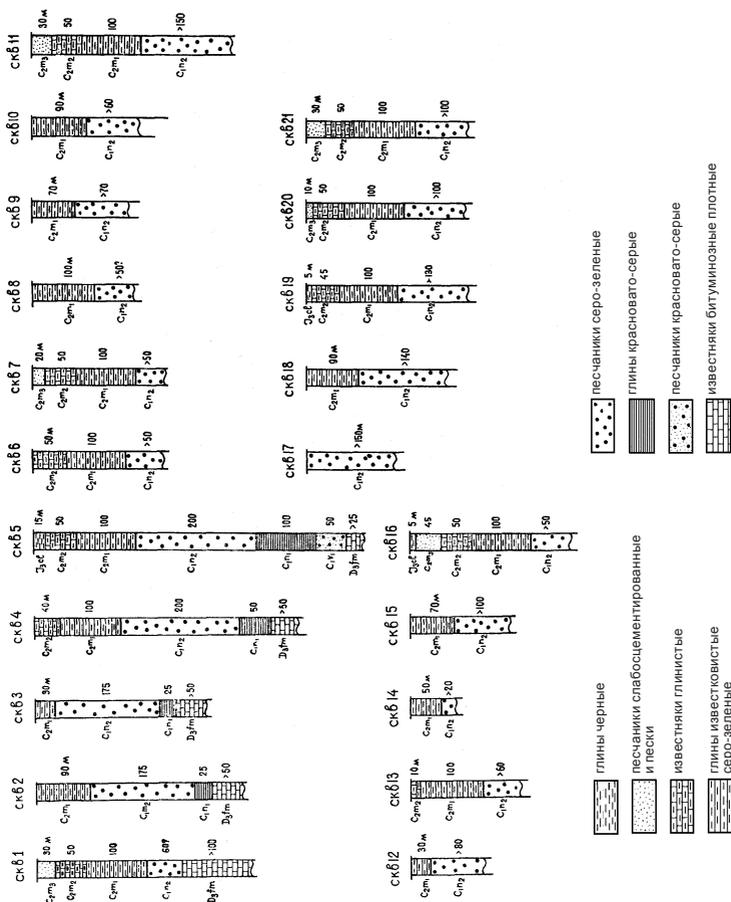
Методика построения структурных карт по данным буровых скважин довольно подробно изложена в методическом пособии [5] и в настоящем руководстве. Следует лишь напомнить, что при нахождении и выносе на карту точек с высотными отметками кровли верхнего намюра помимо буровых скважин следует обязательно учитывать точки, расположенные на линии выхода этой опорной поверхности (породы этого подъяруса обнажаются в центральной части геологической карты). Их высотные отметки могут быть определены в местах пересечения линии выхода кровли намюра с изогипсами рельефа.

Работу рекомендуется начать с составления таблицы исходных данных со следующими колонками: 1) номера скважин; 2) абсолютные отметки устьев скважин (находятся на карте по изолиниям рельефа); 3) глубина по скважинам до кровли верхнего намюра (определяется на листе 34б по разрезам соответствующих скважин); 4) абсолютные отметки кровли верхнего намюра в скважинах (из отметки устья необходимо вычесть глубину до кровли верхнего намюра); 5) для глубоких скважин 1–5 по разрезам определяется мощность промежуточной толщи между кровлей верхнего намюра и кровлей фаменского яруса.



Легенда: 1 – аллювиальные пески и супеси; 2 – глины черные; 3 – песчаники слабоцементированные и пески; 4 – известняки глинистые; 5 – глины известнякостые серо-зеленые; 6 – песчаники серо-зеленые; 7 – глубокие сважины; 8 – мелкие сважины

Рис. 76. Учебная бланковая карта 34н



Лист 34б. Разрезы буровых скважин

Рис. 77. Учебная бланковая карта 34б

Лабораторная работа № 16

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Задание 1

1. Построить розы-диаграммы азимутов падения и углов падения трещин на основе данных, приведенных в табл. 3, по одному из вариантов.

Таблица 3

| № п/п | Замеры трещин: азимуты падения и углы падения | | | |
|----------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 |
| 1 | 23 \angle 61 | 315 \angle 32 | 103 \angle 64 | 16 \angle 36 |
| 2 | 29 \angle 76 | 141 \angle 72 | 104 \angle 52 | 151 \angle 63 |
| 3 | 21 \angle 71 | 55 \angle 36 | 105 \angle 56 | 154 \angle 57 |
| 4 | 25 \angle 81 | 205 \angle 14 | 106 \angle 69 | 153 \angle 53 |
| 5 | 22 \angle 78 | 328 \angle 75 | 357 \angle 18 | 37 \angle 75 |
| 6 | 24 \angle 73 | 155 \angle 72 | 107 \angle 61 | 74 \angle 44 |
| 7 | 46 \angle 66 | 44 \angle 58 | 355 \angle 14 | 47 \angle 23 |
| 8 | 26 \angle 81 | 215 \angle 48 | 110 \angle 68 | 150 \angle 80 |
| 9 | 28 \angle 78 | 132 \angle 66 | 357 \angle 22 | 153 \angle 61 |
| 10 | 27 \angle 74 | 354 \angle 85 | 101 \angle 67 | 152 \angle 59 |
| 11 | 30 \angle 69 | 136 \angle 68 | 352 \angle 14 | 114 \angle 43 |
| 12 | 16 \angle 78 | 86 \angle 62 | 102 \angle 63 | 108 \angle 23 |
| 13 | 14 \angle 64 | 142 \angle 74 | 332 \angle 9 | 154 \angle 72 |
| 14 | 12 \angle 70 | 248 \angle 26 | 103 \angle 61 | 150 \angle 54 |
| 15 | 20 \angle 81 | 342 \angle 80 | 352 \angle 21 | 151 \angle 43 |
| 16 | 18 \angle 66 | 148 \angle 71 | 104 \angle 74 | 60 \angle 72 |
| 17 | 24 \angle 65 | 254 \angle 22 | 358 \angle 16 | 61 \angle 87 |

Продолжение табл. 3

| № п/п | Замеры трещин: азимуты падения и углы падения | | | |
|----------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 |
| 18 | 22 \angle 63 | 325 \angle 52 | 105 \angle 58 | 62 \angle 64 |
| 19 | 22 \angle 74 | 242 \angle 26 | 350 \angle 20 | 12 \angle 39 |
| 20 | 26 \angle 66 | 340 \angle 83 | 106 \angle 68 | 154 \angle 69 |
| 21 | 28 \angle 76 | 140 \angle 72 | 358 \angle 23 | 62 \angle 64 |
| 22 | 28 \angle 70 | 147 \angle 74 | 117 \angle 64 | 249 \angle 32 |
| 23 | 26 \angle 60 | 258 \angle 34 | 351 \angle 18 | 63 \angle 76 |
| 24 | 21 \angle 68 | 245 \angle 26 | 118 \angle 79 | 241 \angle 9 |
| 25 | 22 \angle 57 | 347 \angle 81 | 106 \angle 60 | 64 \angle 85 |
| 26 | 20 \angle 70 | 142 \angle 70 | 119 \angle 54 | 158 \angle 45 |
| 27 | 21 \angle 76 | 255 \angle 22 | 100 \angle 62 | 65 \angle 71 |
| 28 | 24 \angle 73 | 232 \angle 16 | 120 \angle 54 | 157 \angle 59 |
| 29 | 26 \angle 76 | 248 \angle 28 | 350 \angle 20 | 66 \angle 80 |
| 30 | 27 \angle 79 | 349 \angle 84 | 121 \angle 60 | 156 \angle 63 |
| 31 | 305 \angle 69 | 145 \angle 72 | 344 \angle 42 | 66 \angle 59 |
| 32 | 208 \angle 36 | 175 \angle 64 | 102 \angle 73 | 67 \angle 76 |
| 33 | 191 \angle 41 | 325 \angle 77 | 360 \angle 20 | 152 \angle 56 |
| 34 | 199 \angle 28 | 152 \angle 68 | 7 \angle 41 | 222 \angle 26 |
| 35 | 198 \angle 39 | 334 \angle 76 | 103 \angle 78 | 68 \angle 69 |
| 36 | 196 \angle 31 | 345 \angle 80 | 248 \angle 32 | 219 \angle 20 |
| 37 | 2 \angle 25 | 156 \angle 74 | 105 \angle 62 | 69 \angle 84 |
| 38 | 5 \angle 28 | 242 \angle 26 | 358 \angle 24 | 216 \angle 11 |
| 39 | 6 \angle 29 | 255 \angle 34 | 106 \angle 74 | 70 \angle 76 |

Продолжение табл. 3

| № п/п | Замеры трещин: азимуты падения и углы падения | | | |
|----------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 |
| 40 | 3 \angle 34 | 168 \angle 66 | 208 \angle 41 | 67 \angle 73 |
| 41 | 301 \angle 60 | 335 \angle 82 | 108 \angle 68 | 213 \angle 23 |
| 42 | 302 \angle 66 | 148 \angle 72 | 202 \angle 48 | 211 \angle 17 |
| 43 | 306 \angle 58 | 256 \angle 24 | 190 \angle 62 | 64 \angle 76 |
| 44 | 308 \angle 62 | 265 \angle 18 | 356 \angle 10 | 66 \angle 66 |
| 45 | 32 \angle 42 | 244 \angle 26 | 144 \angle 66 | 210 \angle 26 |
| 46 | 46 \angle 44 | 334 \angle 75 | 10 \angle 34 | 200 \angle 22 |
| 47 | 218 \angle 60 | 146 \angle 73 | 10 \angle 10 | 67 \angle 72 |
| 48 | 220 \angle 70 | 232 \angle 34 | 8 \angle 22 | 68 \angle 78 |
| 49 | 49 \angle 26 | 248 \angle 28 | 11 \angle 19 | 199 \angle 14 |
| 50 | 59 \angle 52 | 75 \angle 56 | 170 \angle 41 | 156 \angle 65 |
| 51 | 55 \angle 40 | 336 \angle 78 | 12 \angle 24 | 141 \angle 78 |
| 52 | 66 \angle 58 | 165 \angle 68 | 160 \angle 37 | 145 \angle 65 |
| 53 | 68 \angle 44 | 241 \angle 26 | 14 \angle 14 | 90 \angle 10 |
| 54 | 90 \angle 40 | 265 \angle 64 | 158 \angle 41 | 196 \angle 10 |
| 55 | 91 \angle 36 | 147 \angle 70 | 340 \angle 60 | 197 \angle 24 |
| 56 | 92 \angle 40 | 338 \angle 76 | 352 \angle 71 | 198 \angle 18 |
| 57 | 103 \angle 38 | 54 \angle 32 | 5 \angle 40 | 146 \angle 37 |
| 58 | 126 \angle 57 | 245 \angle 28 | 6 \angle 45 | 158 \angle 63 |
| 59 | 127 \angle 36 | 146 \angle 70 | 358 \angle 19 | 157 \angle 50 |
| 60 | 128 \angle 44 | 245 \angle 26 | 38 \angle 35 | 155 80 |
| 61 | 300 \angle 59 | 337 \angle 76 | 64 \angle 73 | 151 \angle 61 |
| 62 | 301 \angle 72 | 154 \angle 66 | 66 \angle 47 | 159 \angle 71 |

Окончание табл. 3

| № п/п | Замеры трещин: азимуты падения и углы падения | | | |
|-------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 |
| 63 | 302 \angle 68 | 324 \angle 70 | 78 \angle 60 | 210 \angle 40 |
| 64 | 302 \angle 82 | 235 \angle 22 | 349 \angle 30 | 223 \angle 33 |
| 65 | 304 \angle 76 | 138 \angle 68 | 350 \angle 36 | 230 \angle 43 |
| 66 | 310 \angle 62 | 338 \angle 78 | 88 \angle 34 | 156 \angle 52 |
| 67 | 307 \angle 69 | 158 \angle 74 | 100 \angle 46 | 153 \angle 53 |
| 68 | 310 \angle 73 | 246 \angle 25 | 4 \angle 12 | 291 \angle 31 |
| 69 | 305 \angle 61 | 38 \angle 64 | 352 \angle 16 | 271 \angle 16 |
| 70 | 308 \angle 78 | 146 \angle 72 | 340 \angle 41 | 63 \angle 72 |
| 71 | 306 \angle 43 | 332 \angle 78 | 356 \angle 20 | 61 \angle 77 |
| 72 | 309 \angle 49 | 135 \angle 68 | 352 \angle 30 | 66 \angle 64 |
| 73 | 301 \angle 78 | 335 \angle 42 | 181 \angle 44 | 62 \angle 64 |
| 74 | 304 \angle 61 | 155 \angle 71 | 356 \angle 24 | 146 \angle 44 |
| 75 | 300 \angle 41 | 126 \angle 62 | 158 \angle 41 | 149 \angle 33 |

Различные способы построения роз-диаграмм трещиноватости пород рассмотрены в рекомендуемых учебных пособиях. Наиболее наглядным представляется способ выражения на них процентного соотношения трещин разного направления. Поэтому при выполнении предлагаемых заданий предварительно необходимо провести статистическую обработку замеров. Их группируют в интервалы через 10° и вычисляют процент замеров по каждой группе, принимая общее число замеров за 100 %. Полученные значения наносят на диаграмму в определенном масштабе с помощью радиусов, проведенных через середины интервалов полного круга для азимутов падения и одного квадранта для углов падения.

Задание 2

Используя приведенные ниже замеры элементов залегания тектонических трещин (табл. 4), а также элементы залегания рудных жил:

1. Построить круговую диаграмму трещиноватости в изолиниях (на основе равноплощадной сетки Вальтера–Шмидта) для выявления преобладающих направлений трещиноватости.

2. Нанести на диаграмму точками разного цвета жилы с различным типом оруденения.

3. Выяснить связь между ориентировкой трещин и характером оруденения.

Таблица 4

| № п/п | Азимут падения, угол падения |
|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|
| 1 | 34 \angle 80 | 26 | 108 \angle 48 | 51 | 50 \angle 60 | 76 | 126 \angle 74 |
| 2 | 35 \angle 75 | 27 | 109 \angle 39 | 52 | 54 \angle 73 | 77 | 125 \angle 68 |
| 3 | 36 \angle 70 | 28 | 112 \angle 45 | 53 | 60 \angle 80 | 78 | 190 \angle 62 |
| 4 | 37 \angle 80 | 29 | 109 \angle 34 | 54 | 61 \angle 64 | 79 | 144 \angle 60 |
| 5 | 37 \angle 87 | 30 | 114 \angle 51 | 55 | 64 \angle 54 | 80 | 119 \angle 54 |
| 6 | 198 \angle 80 | 31 | 115 \angle 50 | 56 | 63 \angle 42 | 81 | 120 \angle 74 |
| 7 | 38 \angle 75 | 32 | 116 \angle 41 | 57 | 56 \angle 12 | 82 | 121 \angle 60 |
| 8 | 40 \angle 76 | 33 | 120 \angle 49 | 58 | 116 \angle 32 | 83 | 223 \angle 75 |
| 9 | 39 \angle 67 | 34 | 124 \angle 45 | 59 | 94 \angle 60 | 84 | 207 \angle 82 |
| 10 | 40 \angle 70 | 35 | 125 \angle 37 | 60 | 38 \angle 20 | 85 | 200 \angle 77 |
| 11 | 38 \angle 78 | 36 | 128 \angle 43 | 61 | 90 \angle 72 | 86 | 103 \angle 64 |
| 12 | 34 \angle 63 | 37 | 190 \angle 87 | 62 | 88 \angle 33 | 87 | 104 \angle 82 |
| 13 | 35 \angle 28 | 38 | 210 \angle 72 | 63 | 85 \angle 45 | 88 | 105 \angle 56 |
| 14 | 42 \angle 80 | 39 | 211 \angle 81 | 64 | 113 \angle 81 | 89 | 106 \angle 69 |

| № п/п | Азимут падения, угол падения |
|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|
| 15 | 41 \angle 74 | 40 | 212 \angle 83 | 65 | 208 \angle 75 | 90 | 107 \angle 61 |
| 16 | 45 \angle 89 | 41 | 213 \angle 76 | 66 | 210 \angle 61 | 91 | 108 \angle 76 |
| 17 | 46 \angle 78 | 42 | 214 \angle 80 | 67 | 220 \angle 55 | 92 | ПО \angle 68 |
| 18 | 48 \angle 74 | 43 | 215 \angle 72 | 68 | 292 \angle 62 | 93 | 111 \angle 57 |
| 19 | 101 \angle 40 | 44 | 216 \angle 68 | 69 | 210 \angle 66 | 94 | 112 \angle 83 |
| 20 | 100 \angle 44 | 45 | 217 \angle 76 | 70 | 224 \angle 52 | 95 | 113 \angle 81 |
| 21 | 101 \angle 36 | 46 | 218 \angle 80 | 71 | 240 \angle 74 | 96 | 114 \angle 74 |
| 22 | 102 \angle 42 | 47 | 219 \angle 74 | 72 | 122 \angle 73 | 97 | 115 \angle 58 |
| 23 | 104 \angle 39 | 48 | 220 \angle 68 | 73 | 123 \angle 78 | 98 | 116 \angle 68 |
| 24 | 106 \angle 45 | 49 | 221 \angle 65 | 74 | 125 \angle 62 | 99 | 117 \angle 64 |
| 25 | 107 \angle 42 | 50 | 222 \angle 76 | 75 | 126 \angle 74 | 100 | 118 \angle 79 |

Замеры элементов залегания жил:

а) кварцевых с золотом и пиритом:

1. Аз. пад. 37, угол пад. 78
2. Аз. пад. 36, угол пад. 72
3. Аз. пад. 40, угол пад. 80
4. Аз. пад. 38, угол пад. 75
5. Аз. пад. 42, угол пад. 76

б) кварцевых с пиритом и галенитом:

1. Аз. пад. 106, угол пад. 44
2. Аз. пад. 102, угол пад. 40
3. Аз. пад. 104, угол пад. 46
4. Аз. пад. 98, угол пад. 44
5. Аз. пад. 105, угол пад. 43

в) кальцитовых с халькопиритом:

1. Аз. пад. 223, угол пад. 78
2. Аз. пад. 216, угол пад. 80
3. Аз. пад. 212, угол пад. 85
4. Аз. пад. 214, угол пад. 76
5. Аз. пад. 212, угол пад. 82

ЛИТЕРАТУРА

Учебные пособия

1. *Ажгирей Г. Д.* Структурная геология [Текст]: учеб. пособие / Г. Д. Ажгирей. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 348 с.
2. *Белоусов В. В.* Структурная геология [Текст]: учеб. пособие / В. В. Белоусов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 278 с.
3. *Буялов Н. И.* Структурная и полевая геология [Текст] / Н. И. Буялов. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 392 с.
4. *Вебер В. Н.* Методы геологической съемки [Текст] / В. Н. Вебер. – Л.: Горгеонефтиздат, 1934. – 220 с.
5. *Зайка-Новацкий В. С.* Структурный анализ и основы структурной геологии [Текст]: учеб. пособие / В. С. Зайка-Новацкий, А. Н. Казаков. – Киев: Выща школа, 1989. – 279 с.
6. *Куликов В. Н.* Структурная геология и геологическое картирование [Текст] / В. Н. Куликов, А. Е. Михайлов. – М.: Недра, 1991. – 285 с.
7. *Кушнарев И. П.* Методы структурной геологии и геологического картирования [Текст]: учеб. пособие / И. П. Кушнарев, П. И. Кушнарев, К. М. Мельникова. – М.: Недра, 1984. – 375 с.
8. *Михайлов А. Е.* Структурная геология и геологическое картирование [Текст]: учеб. пособие / А. Е. Михайлов. – М.: Недра, 1984. – 432 с.
9. *Павлинов В. Н.* Структурная геология и геологическое картирование с основами геотектоники [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Павлинов. – М.: Недра, 1979. – Ч. 1. – 359 с.
10. Полевая геология [Текст]: справочное руководство: в 2 кн. / А. И. Бурдэ [и др.]. – Л.: Недра, 1989. – Кн. 1. – 390 с.; Кн. 2. – 455 с.
11. *Сапфиров Г. Н.* Структурная геология и геологическое картирование [Текст]: учеб. пособие / Г. Н. Сапфиров. – М.: Недра, 1974. – 224 с.
12. *Сократов Г. И.* Структурная геология и геологическое картирование [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Сократов. – М.: Недра, 1972. – 280 с.
13. *Хаин В. Е.* Геотектоника с основами геодинамики [Текст] / В. Е. Хаин, М. Г. Ломизе. – М.: Университет, 2005. – 560 с.

Методические и учебные пособия к лабораторным работам

1. Лабораторные работы по структурной геологии, геокартированию и дистанционным методам [Текст]: учеб. пособие / А. Е. Михайлов [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 196 с.
2. *Щиров В. Т.* Лабораторный практикум по курсу «Структурная геология и геокартирование» [Текст]: метод. пособие / В. Т. Щиров. – Ростов н/Д: УПЛ Рост. гос. ун-та, 2004. – 39 с.
3. *Щиров В. Т.* Методы построения структурных карт [Текст]: метод. пособие / В. Т. Щиров. – Ростов н/Д: УПЛ Рост. гос. ун-та, 1995. – 23 с.

Учебное издание

ЧЕРНИКОВ Борис Андреевич
ЩИРОВ Валентин Тимофеевич

СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Практическое руководство
Часть I

Редактор *И. А. Ивахина*

Корректор *Г. А. Бибикова*

Технический редактор *Д. В. Свавицкая*

Компьютерная верстка *О. Ю. Лаврикова*

Дизайнер обложки *О. В. Чурбанова*

Лицензия ЛР № 65-41 от 01.09.1999

Издательство Южного федерального университета.
344006, г.Ростов-на-Дону, ул.Пушкинская, 160.
Тел.:(863) 264 -00-19.

Сдано в набор 15.09.2009 г. Подписано в печать 15.09.2009 г.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Оперативная печать. Усл. печ. л 9,3. Уч-изд..л. 11,0.
Тираж 300 экз. Заказ № 619.
Типография Южного федерального университета
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 247-80-51.

**Издательство
Южного федерального
университета**

ПРИГЛАШАЕТ К СОТРУДНИЧЕСТВУ АВТОРОВ

- научной
- учебно-методической
- справочной
- научно-популярной литературы

РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТЯХ

- социальных и естественных наук
- юриспруденции
- медицины
- программирования и вычислительной техники

*Издательство оказывает полный комплекс услуг.
Опыт и профессионализм сотрудников,
высокое качество, доступные цены.*

МЫ РАБОТАЕМ ДЛЯ ВАС. МЫ ЖДЕМ ВАС

*344006, г. Ростов-на-Дону,
ул. Пушкинская, 160, к. 12, 14.
Тел.: (863) 264-00-19*