

В. А. БУКРИНСКИЙ

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

ДОПУЩЕНО МИНИСТЕРСТВОМ ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР В КАЧЕСТВЕ
УЧЕБНИКА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
«МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО»



МОСКВА „НЕДРА” 1985

Букринский В. А. Геометрия недр: учебник для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1985, 526 с.

Изложены теоретические основы геометрии и геометризации месторождений полезных ископаемых, проекции, применяемые при геометризации недр, вероятностно-статистические методы обработки и оценки исходных данных. Описана методика геометризации формы залежей с одинаковыми физико-механическими свойствами и процессами, протекающими в недрах. Приведены методы прогнозирования изучаемых показателей, способы подсчета запасов и маркшейдерского контроля оперативного учета добычи. Второе издание (1-е изд.— 1965) значительно переработано и дополнено, особое внимание уделено использованию современного математического аппарата, в частности теории информации и моделирования при решении практических задач на ЭВМ.

Для студентов горных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело».

Табл. 32, ил. 202, список лит.— 48 назв.

Рецензенты: кафедра маркшейдерского дела Свердловского горного института и кафедра маркшейдерского дела Карагандинского политехнического института

Богатства недр — национальное достояние. От объема добычи полезных ископаемых, зависит могущество и процветание нашей Родины. Но полезные ископаемые в недрах не восполняются. Поэтому охрана недр, рачительное и комплексное их использование — непреложный закон в социалистическом обществе. Об этом свидетельствуют решения съездов КПСС, постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов и принятые в 1975 г. Верховным Советом СССР Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах.

Интенсивная разработка месторождений полезных ископаемых на основе комплексной механизации и автоматизации процессов добычи, планирование добычи с наименьшими затратами средств и потерями полезного ископаемого, с заданным качеством руды и содержанием компонентов, применение ЭВМ при планировании разведочных и горных работ, а также безопасность ведения горных работ и решение ряда других вопросов предъявляют определенные требования к выявлению пространственного размещения горно-геологических показателей месторождения и математическому их выражению.

В этой связи геометризации недр, геометрическому и математическому выражению размещения изучаемых показателей, которые затруднительно или невозможно выразить аналитически, уделяется все большее внимание как при разведке, так и особенно при разработке месторождений полезных ископаемых.

Решение сложных задач при разработке месторождений, связанное с определением взаимосвязи между горно-геологическими, техническими и экономическими факторами, изменяющимися, как правило, в больших пределах, стало возможным при широком использовании математических методов, ЭВМ и геометрическом выражении и интерпретации рассматриваемых горно-геологических показателей.

Геометрия недр — научно-техническая дисциплина, в которой изучаются: формы и размеры залежей минерального сырья, их пространственное положение в недрах и условия залегания; размещение в недрах запасов полезных ископаемых в целом, по сортам (маркам), по степени их подготовленности к добыче и по степени их изученности; размещение залежей, а также полезных и вредных компонентов; способы определения и учета добычи, потерь, разубоживания при добыче, способы подсчета запасов и учета их движения при разработке месторождений; процессы при изменении формы и свойств во времени, происходившие в недрах или происходящие в результате проведения

горных выработок; геометрические методы решения различных задач горного и геологоразведочного дела.

Форма, условия залегания и размещение в недрах компонентов твердых полезных ископаемых имеют весьма разнообразную, часто очень сложную, но вполне определенную геометрию. Выявление и выражение этой геометрии, т. е. аппроксимация ее, с определенной степенью точности является одной из главных задач геометрии недр, которая осуществляется при их геометризации.

Под *геометризацией месторождений* полезных ископаемых понимают совокупность наблюдений, измерений, вычислительных и графических работ, имеющих целью получить геометрическое выражение форм, свойств полезных ископаемых, условий их залегания и процессов, происходящих в недрах.

Следует различать геометрию, присущую природным объектам, и геометризацию — как аппроксимацию и выражение этой геометрии с точностью, соответствующей данной стадии познания недр.

Теоретическими основами методики геометризации месторождений полезных ископаемых и геометрических методов и приемов решения задач горного и геологоразведочного дела служат учение о геологическом и, в частности, о геохимическом поле, поверхностях топографического порядка и математических действиях над ними, а также вероятностно-статистические и другие математические методы и учение о проекциях.

Геометризация месторождений полезных ископаемых стала одним из важнейших элементов работы маркшейдерско-геологической службы шахты, рудника карьера.

Если на маркшейдерских планах и разрезах не будут изображены форма разрабатываемой залежи, условия ее залегания и размещение запасов полезного ископаемого, его разновидностей и компонентов, то нельзя правильно запроектировать и осуществить строительство горного предприятия, правильно выбрать систему разработки месторождения. Без этого нельзя также установить взаимосвязь в размещении минерализации со структурой месторождения, что необходимо для правильного ведения на месторождении дальнейших разведочных и горных работ.

В работе «О слоях земных» М. В. Ломоносов писал:

«Ныне настает употребить к вящему, пространнейшему и яснейшему познанию недр земли в помощь высокие науки, а особливо механику твердых и жидких тел, к измерению сил действующих натуры, металлургическую химию к разделению смешания минералов, слою составляющих, и обще — геометрию правительницу всех мысленных изысканий».

Первоначально в России горной или подземной геометрией называлось вообще маркшейдерское дело (в некоторых странах это название сохранилось и до сих пор). Ряд ученых и в позднейшие годы, в частности П. М. Леонтовский, считали термин

«маркшейдерия» неудачным и заменяли его термином «горная геометрия». Таким образом, под этим названием одни авторы понимали подземную съемку и составление соответствующих маркшейдерских планов, другие — маркшейдерское дело в целом, а третьи — анализ форм залегания пластовых месторождений и различных видов нарушений и некоторые практические задачи горного дела, решаемые геометрическими методами.

В горной геометрии объектом исследований является по существу «геометрия», т. е. пространственные отношения (взаимное расположение) и формы (например, геометрические тела) и их обобщения. Новую научную дисциплину П. К. Соболевский в отличие от горной геометрии назвал геометрией недр. В геометрии недр объектом исследований являются недрa, а метод исследований — математико-геометрический. Этим отличается геометрия недр от горной геометрии. При решении горно-геометрических задач в геометрии недр хотя и используются положения общей геометрии, однако это лишь небольшая ее часть. Основным предмет, который находится в поле зрения науки, П. К. Соболевский определял двояко: в своей теоретической части — это физико-математический анализ или геометрический анализ геохимического поля, а в прикладной — промышленно-геологическая разведка и геометризация месторождений полезных ископаемых как основа планирования горных работ и рациональной разработки недр.

Основные теоретические положения «Геометрии недр» были опубликованы П. К. Соболевским в 1932 г. в журнале «Социалистическая реконструкция и наука» № 7. Эта работа послужила основой для разработки методики геометризации многих месторождений полезных ископаемых на всех стадиях разведки.

Наибольшее развитие учение о геометризации месторождений полезных ископаемых получило после Великой Октябрьской социалистической революции в 30—40-е годы — в период реконструкции народного хозяйства. За эти годы были проведены большие работы по геометризации многих десятков месторождений различных типов полезных ископаемых и целых бассейнов, особенно на Урале.

В послевоенные годы геометризация месторождений различных полезных ископаемых получила дальнейшее развитие и совершенствование, особенно в связи с широким применением ЭВМ и требованиями АСУ на горных предприятиях, в работах П. А. Рыжова, Г. И. Вилесова, И. Н. Ушакова, Д. А. Казаковского, А. Ж. Машанова, А. А. Трофимова, Е. Ф. Фролова, И. В. Францкого, В. М. Гудкова, В. В. Ершова, В. Ф. Мягкова, Е. П. Тимофеевко, Л. И. Четверикова и др.

Богатый опыт Советского Союза по геометризации недр используется учеными различных стран. Специалисты социалистических стран принимают участие в международных симпозиумах по вопросам маркшейдерии и геометризации месторождений, которые проводятся регулярно через каждые три года.

Геометрия недр, как и всякая научная дисциплина, многогранна. Она входит в общий комплекс геологоразведочных, горных и маркшейдерских дисциплин. Научными основами геометрии недр, как уже отмечено, являются: теория геологического (геохимического) поля, учение о топографических функциях и математических действиях с ними; теория вероятностей и математическая статистика; учение о проекциях, позволяющие выявить, математически охарактеризовать и наглядно геометрически выразить закономерности размещения показателей недр.

Геометрия недр опирается на непосредственные геологические наблюдения, геодезическо-маркшейдерские съемки, измерения, которые проводят в обнажениях горных пород на земной поверхности, в различных горных выработках; на данные разведочных буровых скважин, геофизические наблюдения, лабораторные исследования. Многочисленная исходная информация при геометризации недр требует ее систематизации, предварительной обработки и оценки точности. Поэтому имеется органическая связь геометрии недр с общетеоретическими науками — физикой, химией, математикой. Геометрия недр без геологии немыслима. Это две неразрывные стороны одного и того же объекта. Геометрическое моделирование месторождений необходимо для его всестороннего геологического изучения и рационального освоения. В связи с последним геометрия недр тесно связана с горнотехническими дисциплинами, такими как методика и техника разведки, вскрытие месторождений, системы разработки, комплексная механизация производства горных работ и др.

Научно-производственное значение геометрии недр состоит в том, что она может показать, изобразить и графически выразить с требуемой точностью на чертеже все то, что было объектом разведки и что необходимо горняку для рационального освоения недр.

Математическая обработка геологоразведочной информации, моделирование месторождений на ЭВМ и прогнозирование размещения показателей на соседние участки позволило оперативно находить оптимальные решения задач комплексного освоения недр с учетом геологических, технологических и экономических факторов. Особое значение это имеет при функционировании АСУ на горных предприятиях. Здесь эффективность АСУ зависит от заблаговременного знания горно-геологических условий на планируемом к разработке участке.

Большой объем геологической и геометрической информации, поступающей при разведке и особенно при разработке месторождений, требует новых методов сбора, хранения и обработки этой информации с применением ЭВМ.

В связи с этим еще более остро ставится вопрос об оперативном и наглядном представлении решаемых задач и, в частности, учитываемых параметров месторождения. Необходи-

мость видеть не только математические формулы, соотношения (хотя это тоже модель), но и пространственное размещение параметров месторождения, горных выработок и т. п. привела к широкому использованию специальных приставок к ЭВМ — графопостроителей.

Комплекс «ЭВМ — графопостроитель» все большее применение находит при геометризации недр. Вводимая исходная информация по заданной программе обрабатывается ЭВМ, а с помощью графопостроителя выдается в виде графической модели месторождения. Все это существенно расширяет теоретические основы и практические приемы геометризации недр.

При изложении материала в учебнике автор старался придерживаться идеи решения двух основных задач: первой — как по ограниченному количеству уже имеющейся информации построить максимально правдоподобную геометрическую модель размещения интересующих нас показателей недр; и второй — какое рациональное количество наблюдений необходимо, чтобы возможно было построить геометрическую модель размещения показателей в недрах с точностью, удовлетворяющей требованиям производства.

Изучение «Геометрии недр» позволяет маркшейдерам приобрести навыки проводить наблюдения в горных и разведочных выработках, осуществлять их обработку, выявлять и отображать закономерности изменения формы, свойств и условий залегания залежи в недрах и процессов в породном массиве, вызванных проведением горных выработок, и использовать их для планирования рациональной разведки и разработки полезных ископаемых с учетом комплексного использования и охраны недр и окружающей среды.

Учебник написан для студентов маркшейдерской специальности горных и политехнических институтов в соответствии с типовой программой дисциплины «Геометрия недр», утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования СССР. Книга может быть полезна студентам горно-технологических и геологоразведочных специальностей, а также инженерно-техническим работникам маркшейдерской и геологической службы горных предприятий и геологоразведочных партий.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИИ И ГЕОМЕТРИЗАЦИИ НЕДР

ГЛАВА 1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕДР

§ 1. Общие положения

Любое физическое, химическое, геологическое, геометрическое и прочее свойство недр — залежи и вмещающих пород, которое может быть в том или ином месте, точке непосредственно или косвенно измерено и выражено числом, называется *показателем или признаком объекта* недр.

В недрах каждый показатель (признак) размещается в виде поля морфометрических и морфоструктурных свойств тел полезных ископаемых и месторождений (мощность, отметки кровли, почвы, напластований, дизъюнктивов, перемежаемость пород и пр.), химических свойств или геохимического поля (содержание компонентов, минералов), физических свойств руд и пород (плотность, электрическая сопротивляемость, радиоактивность, магнитная восприимчивость), поля гидрогеологических и инженерно-геологических свойств руд и пород.

Структура поля размещения каждого показателя, как и структура любого физического поля, слоисто-струйчатая (рис. 1.1). Слои с соответствующими значениями, как бы они не были смяты, не пересекаются. Однако слои полей различных показателей могут пронизывать друг друга. В любом плоском сечении, например P_1 , P_2 , P_3 , поле представляется поверхностью.

Поля могут быть общие, охватывающие все месторождение, и частные — в пределах одной залежи или ее части.

По образованию поля могут быть гомогенными (если характеризующее свойство имеет только одну форму своего проявления или нахождения) и *гетерогенными* (если таких форм проявления или нахождения несколько). Например, геохимическое поле серы и рудных телах Алтайских месторождений — гетерогенное, так как сера входит в состав пирита, халькопирита, сфалерита и галенита, соотношение которых по стадии минерализации существенно изменяется. Морфометрическое поле гетерогенно, если залежь совместно с вмещающими породами претерпела пострудные изменения.

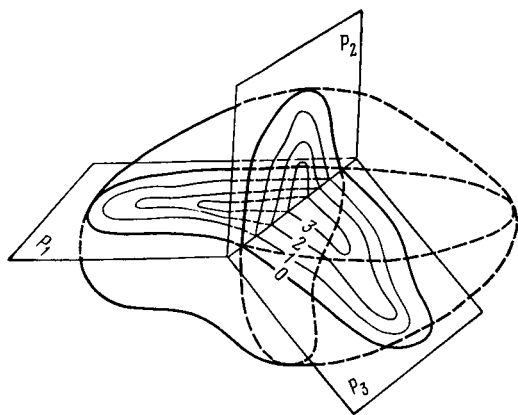


РИС. 1.1. Модель геохимического поля

В зависимости от характера изучаемых показателей все геологические поля подразделяют на две группы: скалярные и векторные.

К скалярным полям относятся размещения геохимических, морфометрических и других показателей изучаемого объекта, характеризующихся скалярными величинами, для задания которых в каждой точке пространства достаточно знать модуль и знак.

К векторным относятся поля векторных величин, характеризующихся модулем и направлением.

При этом любое скалярное поле может быть преобразовано в векторное, если изучать не исходные величины, а их производные скорости изменения (градиенты поля).

В зависимости от изменения зафиксированных при изучении объекта величин во времени все разновидности геологических полей подразделяют на стационарные (неизменные во времени) и динамические.

Это деление условно и зависит от принятого промежутка времени, но оно необходимо, так как определяет методику их изучения.

Стационарные (квазистационарные) геологические поля могут изучаться организованной системой наблюдений длительное время по частям объекта исследования, данные по которым могут быть затем увязаны между собой в единое целое без каких-либо преобразований. Для изучения динамических геологических полей необходимо создавать сеть стационарных наблюдений за характером изменения показателей во времени. Без знания динамики изменения этих показателей во времени невозможны никакие пространственные увязки результатов исследований.

Тело полезного ископаемого от вмещающих его пород ограничено поверхностью раздела. В одних случаях эти поверхности выделяются отчетливо, в других — отчетливой границы между полезным ископаемым и вмещающими породами нет. Тогда за поверхность, ограничивающую тело полезного ископаемого, принимают поверхность с определенным значением его свойства (минимальное промышленное содержание полезного компонента или максимально допустимое содержание вредного компонента).

Свойства месторождений (например, содержание полезного компонента), как правило, изменяются в пределах пространственных форм залежей.

Твердые полезные ископаемые в недрах имеют весьма разнообразные, часто очень сложные, но вполне определенные пространственные формы; залегают они в самых различных условиях и имеют многообразный, но также определенный в данный период характер размещения свойств в этих формах.

Каждый из этих показателей имеет свою геометрию, свою функцию пространственного размещения. Выявление и геометрическое выражение этих функций с определенной степенью точности является геометризацией месторождения.

Различные показатели месторождений полезных ископаемых характеризуются следующими видами функций (рис. 1.2):

1. Реально существующих поверхностей: земной поверхности ЗП, поверхности литологических разностей, кровли К и почвы П залежи, тектонических разрывов и пр. (рис. 1.2, а).

2. Поверхностей реально в природе не существующих, но являющихся производными от реальных поверхностей: изомощности залежи или изолинии поверхности «осажденной залежи», которую получают в результате деления залежи на элементарные столбики высотой, равной мощности залежи $m_1, m_2, \dots, m_n$, и мысленного осаждения их на горизонтальную плоскость (рис. 1.2, б), а также изомощности толщи горных пород, изоглубины залегания, изосекансы поверхности и пр.

3. Выражающих поверхности условные, не существующие реально и не всегда связанные зависимостью с реально существующими поверхностями месторождения: размещение различных компонентов в залежи, которое представляется изолиниями поверхности «осажденного слитка» (рис. 1.2, в), получаемой в результате разбиения залежи на элементарные столбики высотой, пропорциональной содержанию $C_1, C_2, \dots, C_n$ в них компонента и мысленного осаждения их на горизонтальную плоскость. К этому виду относятся также функции, выражающие интенсивность трещиноватости массива горных пород изменения физических, геомеханических, горно-геологических и других свойств горных пород.

Функции первого и второго вида, выражающие графиками структурные показатели, устанавливаются по значениям показателей, измеренным в отдельных точках.

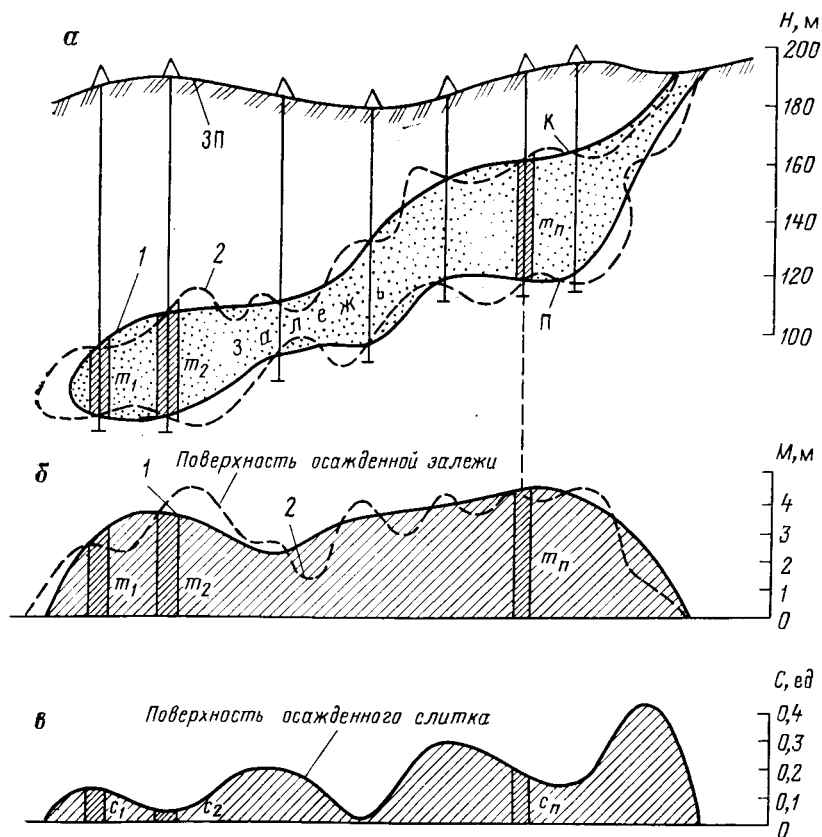


РИС. 1.2. Три вида функций размещения показателей залежи:
 1 — поверхность, выявленная разведкой; 2 — поверхность действительная

Функции третьего вида, выражающие графиками качественную характеристику залежи и размещение ее свойств, устанавливаются по средним значениям показателя в некоторых объемах, относимым к их центрам.

§ 2. Геометрический анализ геохимического поля (способом П. К. Соболевского)

Числовое значение некоторого свойства в пространстве недр можно рассматривать как функцию от пространственного положения точки или центра элементарного объема и времени t :

$$P = f(x, y, z, t). \quad (1.1)$$

В явном виде эта функция в большинстве случаев не может быть выражена. Однако если в пределах рассматриваемого пространства недр она удовлетворяет условиям конечности, одно-

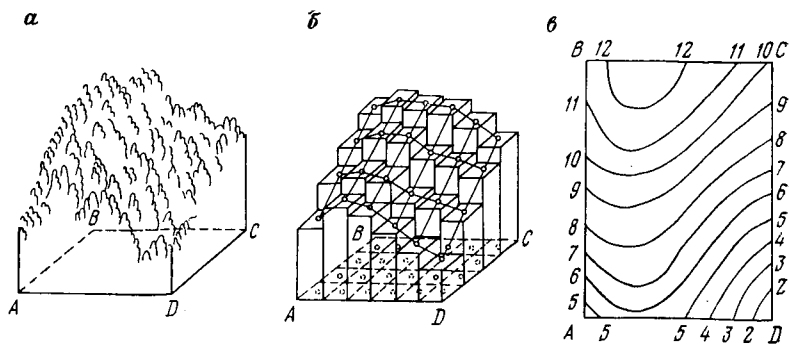


РИС. 1.3. Геометрическая интерпретация размещения оруденения

значности, непрерывности и плавности, то по отдельным измерениям и числовым значениям при соответствующей их математической обработке закономерность изменения этого свойства может быть выявлена и выражена геометрически системой изолиний.

Первые два условия — конечность и однозначность — очевидны и не вызывают сомнений.

Иного порядка свойство непрерывности и плавности изменения функции, особенно 3-го рода. Конкретные данные реальных наблюдений (прерывистый характер оруденения) на первый взгляд противоречит этому.

Однако это кажущееся противоречие устраняется правильной обработкой результатов измерений показателей методами математической статистики и теории случайных функций.

Пусть имеется план месторождения, на котором у большинства точек сплошного опробования выписаны числовые значения содержания какого-нибудь компонента и по ним построена поверхность (рис. 1.3, а). На первый взгляд по мелкокопчаной, прерывистой поверхности какой-либо плавности и непрерывности в изменении содержания компонента не замечается. Но если на план наложить лист с вырезанным небольшим отверстием — окном, вычислить среднее содержание компонента из значений, попавших в пределы окна, и отнести это среднее к центру окна, то обнаруживается, что при плавном перемещении окна по плану (скользящее окно) также плавно изменяется среднее содержание компонента (рис. 1.3, б). Метод обработки данных опробования, заключающийся в применении скользящего статистического окна, позволяет с определенной средней погрешностью перейти от хаотической многогранной пирамидальной поверхности сначала к призматической, а затем к некоторой плавной топографической поверхности, выражающей в изолиниях наиболее вероятную закономерность размещения средних значений показателя (рис. 1.3, в).

Если из уравнения (1.1) исключить время t , считая, что за период изучения свойство объекта практически не изменится, то для некоторого плоского сечения, имеющего постоянную отметку z , численные значения функции будут зависеть от изменения аргументов x и y и выражаться функцией топографического порядка:

$$P_z = F(x, y). \quad (1.2)$$

Отсюда любое свойство геохимического поля в любом плоском сечении (слое) геометрически выражается системой непересекающихся изолиний, так же как системой изолиний на плане изображается поверхность рельефа местности, кровли и почвы залежи, поверхность разрыва и т. п.

§ 3. Методы и виды геометризации недр

Геометризация предусматривает сбор исходных данных, их предварительную обработку, систематизацию, оценку точности, построение геолого-математической и геометрической модели с последующей оценкой ее качества (точности) и использованием модели при освоении недр, а также выработке новых гипотез о геологии месторождения. Общая схема геометризации представлена на рис. 1.4.

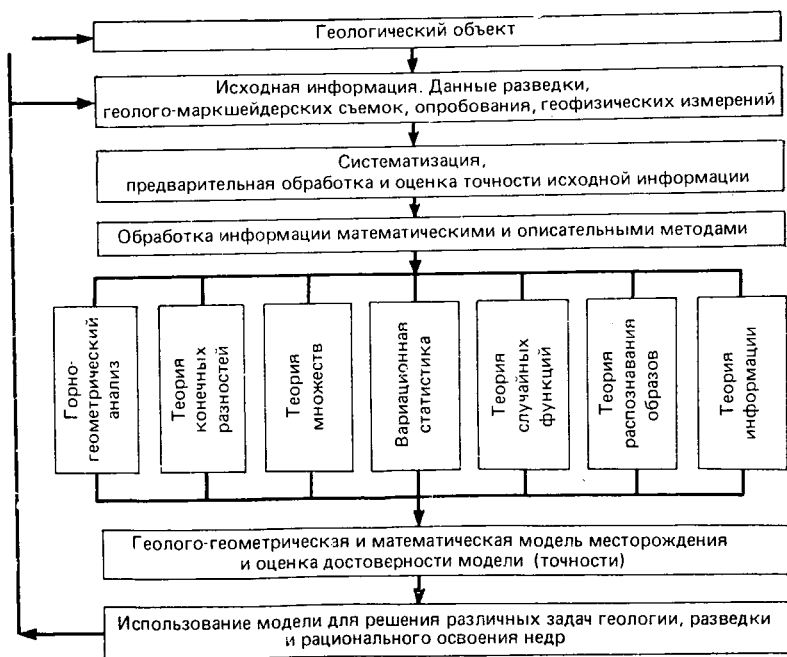


РИС. 1.4. Общая схема геометризации

Для осуществления геометризации месторождений необходимо, чтобы интересующие нас показатели залежи и боковых горных пород в различных точках были измерены и выражены числом.

Эти измерения и определения выполняются при разведке и эксплуатации месторождений. Вначале они выражаются в виде таблиц, отдельных зарисовок, фотоснимков и описаний, затем эти данные обрабатываются и обобщаются. Обобщение данных наблюдений производят с помощью вероятностно-статистического математического аппарата. По результатам обработки с учетом геологических особенностей месторождения строят специальные горно-геометрические графики, дающие уменьшенное, подобное и наглядное изображение формы залежей месторождения, их положения в недрах и геометризацию размещения свойств.

При построении горно-геометрических графиков не только увязывают и обобщают данные наблюдений, но и выявляют и устраняют отдельные ошибки измерений и графических построений.

Геометризация месторождения производится последовательно на каждой стадии его разведки и разработки.

Геометризация месторождения — это процесс его изучения и познания. Процесс этот постепенный и последовательный. Каждые вновь получаемые данные при разведке и особенно при разработке месторождения уточняют прежние представления о нем, позволяют корректировать ранее составленные графики и использовать их для принятия правильного решения задач последующей разведки и разработки. Геометризация недр не исключает геологического их изучения. Она является научной математической (геометрической) базой комплексного изучения недр.

В большинстве случаев только при разработке полезного ископаемого имеется возможность получить наиболее полные данные о месторождении. Эти данные имеют особое значение при составлении на соседние участки или нижние горизонты достоверных прогнозов, необходимых для рационального планирования горных работ, эффективного использования комплексов машин при добыче и выборе соответствующих мест дополнительных наблюдений — доразведки, опробования.

Для геометризации недр основными являются методы изолиний, геологических разрезов (сечений) и профилей; объемных наглядных графиков и моделирования с использованием ЭВМ. Каждый из перечисленных методов применяется самостоятельно или чаще совместно с другими.

Методом изолиний при геометризации недр изображаются поверхности не только реальные, но и условные. Сложность поверхностей зависит от ряда геологических факторов. Поэтому построение изолиний размещения какого-либо показателя при геометризации недр по данным наблюдений в отдельных точ-

ках несравненно сложнее построения изогипс земной поверхности.

Степень достоверности, которую дает изображение той или иной поверхности на плане в изолиниях, зависит от показателя, его изменчивости, густоты и соответствия разведочных точек (определений, измерений) характерным точкам объекта, размера, ориентировки проб и масштаба плана.

Изолинии — геометрические места точек с одинаковыми значениями показателя недр. Их строят как по результатам измерений в отдельных точках, так и по средним значениям группы точек, относимым к их центру, двумя способами — непосредственным и косвенным.

Непосредственный способ применяют тогда, когда на плоскости чертежа по координатам нанесены точки измерения показателя с отметками — численными значениями. В результате геометрического анализа отметок намечают инвариантные линии будущей поверхности — линии водораздела, тальвега и седловины. Задавшись сечением, производят интерполирование отметок по линиям скатов и проведение плавных кривых — изолиний.

Косвенным способом построения изолиний пользуются тогда, когда исходными данными являются, например, вертикальные разрезы с изображением на них показателя. В этом случае с разрезов на план по линиям разрезов переносят точки показателя с отметками, кратными выбранному сечению. Точки с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми — *изолиниями*.

При построении изолиний необходимо учитывать все выявленные особенности геологического строения залежи. Этим достигается большое соответствие построенной графической модели натуре.

Метод изолиний имеет свои недостатки. В частности, при изображении формы залежей возникает трудность одновременного изображения и литологии пород, окружающих полезное ископаемое; трудно, а иногда и невозможно в изолиниях изображать тела трубообразной, штокверковой и других сложных форм, а также горизонтально или вертикально залегающие слои правильной формы.

Способ геологических разрезов не имеет этого недостатка. Он позволяет отображать форму тела полезного ископаемого и представлять его положение среди вмещающих пород в данном сечении — вертикальном, горизонтальном и наклонном.

При горизонтальном и вертикальном залегании пластовых залежей с выдержанной мощностью система геологических разрезов — вертикальных или горизонтальных — является основной графической документацией, отображающей морфологию и условия залегания месторождения.

Исходными для построения геологических разрезов являются данные геологоразведочных скважин и горных выработок.

На вертикальных разрезах по линии разведочных скважин строят высотную сетку, профиль земной поверхности, профили осей разведочных выработок, по которым наносят пройденные при бурении горные породы, производят увязку стратиграфически одинаковых горных пород и залежей по соседним выработкам.

С помощью одних разрезов, без изолиний, трудно, а иногда невозможно представить на чертеже форму залежи, характер изменения содержания компонента, изменения физико-технических и горно-геологических свойств залежи и боковых пород и т. п.

Поэтому при геометризации используют и метод изолиний и геологические разрезы. Оба метода дополняют друг друга в части наглядности и полноты изображения, а также облегчают взаимное построение и построение других горно-геометрических графиков и моделей.

Метод объемных наглядных графиков применяют для наглядного изображения формы, свойств залежей и горных выработок со сложным характером их размещения в недрах.

Наглядные графики строят в аксонометрических, аффинных, векторных и других, например стереоаксонометрических, проекциях. Исходными данными для построения служат планы, разрезы, профили, а также координаты характерных точек изображаемых объектов. Преобразование исходных данных в тот или иной вид проекции осуществляют вручную, с помощью специальных механических приборов, например аффинографов, а также с помощью ЭВМ и графопостроителей.

Ведутся работы по геометрическому наглядному моделированию недр с помощью голографии.

Метод моделирования является одним из древних методов исследований и одновременно одним из наиболее распространенных способов изучения различных процессов и явлений. Сам термин «модель» происходит от латинского «modus» (копия, образец). Абсолютно точно воссоздать модель явления или процесса практически невозможно, да этого и не требуется. На практике исследователь выявляет лишь существенные, характерные черты процесса и в соответствии с последним подбирает приближенную модель. Различают физическое и символическое моделирование. При физическом моделировании модель воспроизводит изучаемый процесс или объект с сохранением его физической природы. Модели строят статические и динамические.

Символическое моделирование имеет три формы — графическую, графоаналитическую и математическую.

Статические модели строят для наглядного представления о месторождении на определенный момент его изученности. Главное внимание здесь обращают на выразительность изображения отдельных особенностей месторождения. При этом

модель должна быть достаточно простой, несложной и небольших размеров (не более 1—1,5 м). Стремление показать на одной модели большое число отдельных деталей приводит к построению сложных и запутанных моделей, малоприменимых в практике. Для большего отображения особенностей месторождения модели делают разборными. Места разреза приурочивают к продольным или поперечным профилям, на которых изображают соответствующие геологические разрезы, разведочные и горные выработки.

Модели изготовляют из дерева, скульптурной глины, пластика, картона, стекла, пластиков (плексиглас, винипроз и пр.) и пластмассы. В качестве связующих веществ применяют различные клеи.

Динамические модели месторождений представляют наибольший интерес для действующих горных предприятий. Они состоят из серии маркшейдерских или геологических планов, нанесенных на прозрачные пластины из органического стекла, легко поддающегося обработке.

Пластины располагают горизонтально, если данные съемки и разведки в основном сосредоточены по горизонтальным сечениям эксплуатационных горизонтов, или вертикально, если эти данные имеются по вертикальным плоскостям. Пластины закрепляют в опорной раме. Расстояние между ними сохраняют в масштабе модели. Масштаб моделей определяется размерами изображаемого месторождения или участка.

От динамических моделей требуется, чтобы они давали подобное уменьшенное изображение ситуации и рельефа местности, геологии участка и системы горных выработок, позволяли легко пополнять модель и видоизменять изображаемый объект по новым данным съемки и разведки.

Пополнение модели, видоизменение изображенного объекта и продвижение горных работ производят соответствующей раскраской или выпиливанием измененных или выработанных участков. Основная техника может быть представлена миниатюрными моделями.

Графическое моделирование, к которому относятся геологические, структурные, петрографические, геохимические планы, карты и разрезы, проекции рудных тел, карты трещиноватости, технологические карты, блок-диаграммы и т. д., весьма распространено в геологии и горном деле.

Геометрическая модель месторождения представляет собой, во-первых, комплект горно-геометрической графической документации, отражающей закономерности размещения форм и свойств залежей в пространстве недр, и, во-вторых, установленные на основе математической обработки аналитические и вероятностные зависимости между геологическими признаками, информационные оценки, критерии и алгоритмы разграничения неоднородных статистических совокупностей и другие количественные характеристики и их взаимосвязи.

Геометрическая модель служит основой для решения многих задач разработки месторождения, таких как: проектирование схемы вскрытия, порядка отработки и систем разработки месторождения; укрупненное планирование горных работ; оперативное планирование горных работ; обоснование кондиций по мощности и содержанию; нормирование потерь и разубоживания; нормирование запасов по степени подготовленности; разработка рекомендации по оптимизации плотности разведочных сетей; подсчет запасов полезного ископаемого; прогнозирование размещения полезного ископаемого на неразведанные участки; выводы о генезисе месторождения, моделирование процессов управления разведкой и рациональной разработкой месторождений.

В процессе геометризации осуществляются новые теоретические разработки в области математических методов обработки информации. При этом предусматривается решение двух основных задач: первая — на основе использования всей полученной о месторождении на данном этапе информации создать наиболее правдоподобную модель месторождения с оценкой ее точности, т. е. установить степень соответствия модели натуре, вторая — установить такое минимальное число точек наблюдений (скважин, проб и т. п.) и их расположение при разведке, по данным которых построенная модель месторождения будет представлять натуру с погрешностью, не превышающей величины, устанавливаемой требованиями горного производства.

Виды геометризации недр. Геологические показатели разделяются на признаки, характеризующие форму массива горных пород, его свойства и процессы, происходящие в недрах.

В зависимости от того, какую сторону недр главным образом изучают, различают следующие виды геометризации: форму залежей полезных ископаемых и условий их залегания; размещения физико-химических и технологических свойств залежей и вмещающих пород; процессов, происходивших и происходящих в недрах — как изменение формы и свойств вещества в пространстве и во времени.

При геометризации каждого вида составляют комплекс горно-геометрических чертежей.

Форму залежей и условия их залегания представляют гипсометрические планы кровли и почвы залежи, изолинии мощности, изоглубины залегания, изогипсы поверхности водоупорного горизонта, поверхностей тектонических нарушений и пр.

Размещение свойств залежей и массива горных пород представляют графики изолиний содержания того или иного компонента в полезном ископаемом, изолинии трещиноватости, пористости, крепости того или иного слоя горных пород и др.

Процессы, происходящие в недрах, такие как изменение режима подземных вод, геотемпературного поля Земли, напряженного состояния массива горных пород из-за проведения

в нем горных выработок и другие, при геометризации представляются соответствующими графиками в виде изолиний или векторов, характеризующих направления и скорости изучаемых параметров.

Чертежи при геометризации форм, свойств и процессов должны быть построены с учетом всей полученной информации. Они должны максимально правдоподобно отражать недра на данном этапе их изучения, так как являются основой для решения комплекса вопросов рациональной разведки и разработки месторождений.

В зависимости от этапа изучения месторождения, конкретных задач и масштабов составления горно-геометрических чертежей различают региональную, детально-разведочную и эксплуатационную геометризацию месторождений.

Региональная геометризация осуществляется в мелких масштабах ($1:50\,000$ — $1:500\,000$) по данным поисковых работ, космической, аэрофотографической, геологической и геофизической съемки. Она позволяет делать широкие обобщения и общие прогнозы, определять районы, перспективные для дальнейшей разведки месторождений.

Детально-разведочная геометризация осуществляется в масштабах от $1:5\,000$ до $1:50\,000$ на основе данных детальной разведки, геологической структурно-геологической и геофизической съемок. На этой стадии составляют различные горно-геометрические графики формы, условий залегания залежи, размещения в них компонентов и пр. По материалам геометризации оценивают месторождения, подсчитывают запасы, проектируют горные предприятия.

Эксплуатационную геометризацию составляют в масштабах $1:100$ — $1:5\,000$. Ее проводят на основе материалов детальной разведки и богатой горно-геологической информации, получаемой при проходке подготовительных и очистных горных выработок.

Эксплуатационная геометризация позволяет вскрывать закономерности структурного и качественного характера, на основе которых становится возможным строить прогнозы на ближайшие участки недр и планировать рациональную их разработку.

Горно-геометрические графики при геометризации строят в проекции на горизонтальную, наклонную и вертикальную плоскости. Выбор плоскости проекции определяется углом падения залежи и назначением графика. Чаше всего их строят в проекции на горизонтальную плоскость и называют планами.

Региональная, детально-разведочная и эксплуатационная геометризация представляют собой этапы последовательного изучения и познания месторождения, начиная от его обнаружения и до полной отработки.

Различают общую методику геометризации месторождений полезных ископаемых и частные — конкретные.

В общей методике геометризации рассматриваются вопросы техники и методики выявления и изображения форм и свойств месторождений, их условий залегания и процессов, происходящих в недрах.

В частных, конкретных методиках геометризации рассматриваются особенности геометризации отдельных типов месторождений — угольных, железорудных, цветных металлов, нефтехимических, горнохимического сырья, строительных материалов и др.

При геометризации конкретных месторождений в одних случаях большее внимание уделяется геометризации формы и условий залегания, в других — выявлению закономерностей размещения оруденения, зависимости между показателями, в третьих — максимальному учету всех показателей, характеризующих и форму и размещение различных свойств залежей и условий их залегания, в четвертых — процессам, происходящим в недрах из-за проведения горных выработок.

§ 4. Математическое моделирование размещения показателей недр с применением ЭВМ и графопостроителей

Математическая модель — это абстрактный аналог физической модели, в которой объекты заменены математическими понятиями — переменными, параметрами, константами.

Математические модели можно разбить на три группы: детерминированные, вероятностные и динамические.

Детерминированной моделью называется такая модель, в которой отсутствует случайная компонента и каждому значению аргумента соответствует только одно значение зависимой переменной.

К числу детерминированных моделей можно отнести закономерности и зависимости, устанавливаемые в процессе геометризации, например уравнения регрессии, полиномиальные модели, тренды, ряды Фурье и т. д.

В практике геометризации детерминированные модели в чистом виде, как правило, не встречаются. В подавляющем большинстве случаев в исходных данных присутствует случайная компонента.

Поэтому исследователь имеет дело либо с вероятностной, либо с динамической вероятностной моделями.

К вероятностным моделям относятся модели законов распределения случайных величин (равномерный закон распределения, нормальный, логарифмически-нормальный, Вейбулла и другие).

Динамические модели, широко применяемые при геометризации, могут быть детерминированными и вероятностными.

Простейшим примером динамической детерминированной

модели может служить синусоида $y = A \sin(x)$, в которой каждому значению аргумента соответствует одно, и только одно, значение функции.

Если к этому уравнению добавить случайную компоненту δ , то получится динамическая вероятностная модель, в которой заранее нельзя предсказать, какое именно значение примет функция при том или ином значении аргумента.

Для изучения динамических рядов используют теорию случайных функций, полиномиальные модели, анализ Фурье.

Применение ЭВМ при моделировании месторождений позволяет автоматизировать решение ряда горно-геометрических задач, таких как выявление статистических закономерностей размещения и связей между показателями, подсчет запасов полезного ископаемого с разбивкой по сортам и категориям, учет добычи, потерь, разубоживания, планирование горных работ в режиме усреднения, построение горно-геометрических графиков размещения различных показателей месторождения, а также определение объемов складов и отвалов по данным маркшейдерской съемки и т. п.

При решении этих задач на ЭВМ возникает проблема математического отображения в памяти машины геометрических параметров месторождения, размещения качественных характеристик, их математического моделирования.

Выделяют два способа представления информации в памяти ЭВМ — матричный и аналитический.

Первый характеризуется тем, что информация о геометрических и качественных характеристиках записывается в виде матрицы цифр и определенным образом располагается в памяти машины. Такие математические модели называются дискретными или цифровыми. Во втором способе геометрические и качественные характеристики задаются в форме непрерывных функций. Формой хранения информации является аналитическая модель (рис. 1.5): $z_1 = f_1(x, y)$; $z_2 = f_2(x, y)$ и $z_3 = f_3(x, y)$.

Размещения многих геологических параметров настолько сложны, что в ряде случаев невозможно или весьма трудно представить их с помощью математических непрерывных функций. К тому же многие геологические зависимости касаются качественных характеристик (например, тип или сорт пород), которые легче представить в дискретной форме.

Дискретная форма представления информации заключается в приближенном отображении моделируемой поверхности, используя сетку прямоугольных ячеек (см. рис. 1.3).

Так, двумерная модель, изображенная на рис. 1.3, б, содержит информацию как о поверхности (высота призм), так и о всем теле (расположение призм). Высота призм может характеризовать глубину, мощность, содержание компонента, плотность слоев, размер кондиционных интервалов и т. п. Систематизированная таким образом цифровая последовательность чисел (матрица) представляет собой эффективное средство накоп-

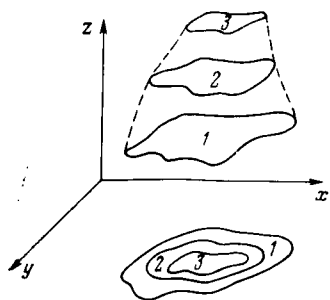


РИС. 1.5. Графическая и аналитическая модель параметра залежи:

1—3 — графическое выражение функции

ления, хранения и представления геологической информации, т. е. цифровую модель месторождения (рис. 1.6).

Цифровые модели обладают широкими возможностями описания качественных и количественных характеристик, имеющих дискретный характер (геологические нарушения, тип, сорт, содержание компонентов и т. п.).

Созданная однажды модель может быть использована при решении различных задач в любое время. Исходной информацией для построения модели являются данные геологоразведочных работ, опробования и маркшейдерских съемок.

Определение средних значений показателей в ячейках матрицы может быть выполнено по материалам геометризации месторождения или путем трансформации фактических значений показателей, определенных в произвольно расположенных точках, в систему значений в узлах правильной (квадратной, прямоугольной и т. п.) сетки, используя разный математический аппарат: математическую статистику (при независимости отдельных замеров), аппроксимацию и интерполяцию аналитическими полиномами n -й степени (тренд-анализ, наименьших квадратов), разложение в ряды Фурье, метод средних, метод статистической оптимальной интерполяции, крайгинг и т. д.

В настоящее время разработана система хранения и восстановления геологической информации, а также способов ее картирования — построения планов, разрезов и т. п. С ее помощью осуществляется пересчет запасов и подсчет объемов. В модели осуществляется аппроксимация поверхностей раздела тренд-по-

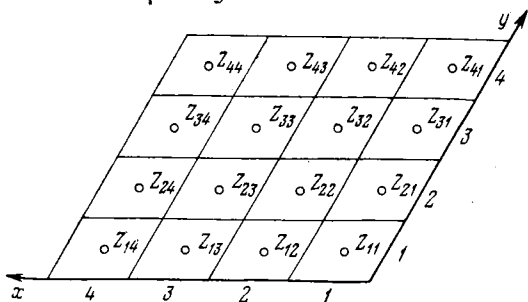


РИС. 1.6. Цифровая модель месторождения

верхностями в виде общей поверхности второго порядка, полученной с использованием метода наименьших квадратов.

Построение модели месторождения начинают с выбора условной прямоугольной системы координат так, чтобы месторождение в целом или подсчетный блок располагались в первом октанте $x > 0$; $y > 0$; $z > 0$. Начало отсчета системы располагается за пределами границ подсчетного блока. Вся площадь моделируемого подсчетного блока покрывается прямоугольной сеткой в плоскости xy . Во всех прямоугольниках вычисляют среднее значение параметра C_i , которое относят к центру и считают постоянным в границах прямоугольника. Значение параметра в элементарном прямоугольнике принимается известным, если в контуре площадки уже имеются исходные значения параметра. Если определить его невозможно, пользуются методом интерполяции между точками с известными значениями, расположенными не дальше радиуса корреляции R . Причем, если число точек в пределах радиуса корреляции меньше минимального числа точек для интерполирования, то значение в рассматриваемой точке остается неопределенным, т. е. данных недостаточно. Если точек достаточно, то значения параметра определяют методом, соответствующим заданному номеру модификации интерполяции — линейной, оптимальной и пр.

Построение горно-геометрических графиков является весьма ответственным и трудоемким процессом. Помимо наглядности, от графика требуется определенная точность, достигаемая большими затратами ручного труда. Бурное развитие вычислительной техники позволило автоматизировать эту трудоемкую процедуру.

К числу внешних устройств ЭВМ, позволяющих вычерчивать и строить графики программным способом, относятся АЦПУ (алфавитно-цифровое печатающее устройство) и графопостроители.

Ширина полосы печати АЦПУ для языка ФОРТРАН-IV — 128 символов. АЦПУ имеет набор знаков, цифр, букв латинского и русского алфавитов. Заменяя однородные данные одиновыми символами и печатая эти символы в точке замены, получают картину изменения показателя в пространстве. Такой способ построения горно-геометрических графиков называется способом «быстро и грубо».

Более точные построения позволяют выполнить графопостроители. Для системы ЕС ЭВМ используется графопостроитель, представляющий собой столик с координатографом. Координатограф может работать автономно, подключаться к внешнему управляющему устройству, если информация записана на магнитной ленте, или непосредственно соединяться с ЭВМ. Точность построения 0,05—0,5 мм.

Для построения с помощью АЦПУ графика динамического ряда при постоянном интервале между точками пользуются соответствующими подпрограммами, позволяющими строить функ-

цию в обычной или логарифмической шкалах, а также автокорреляционную функцию.

При помощи АЦПУ можно строить карты в изолиниях. Построение карт по произвольно расположенным на плане точкам опробования представляет собой задачу преобразования неравномерной сети опробования в равномерную. Это достигается либо распространением ближайшего наблюдаемого значения на заданную точку регулярной сети, либо при помощи вычисления отметок поверхностей тренда, построенному для ограниченного участка наблюдений.

В первом случае экстраполированные значения подвержены в значительной мере случайным колебаниям. Второй подход имеет тот недостаток, что ни одна точка наблюдений не находится на поверхности тренда.

Следующий подход состоит в вычислении взвешенного среднего из совокупности ближайших точек по расстояниям от них до определяемой точки k .

Расстояние до точки k от ближайших $1, 2, 3, \dots, n$ вычисляют по теореме Пифагора

$$D_{ik} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}.$$

После вычисления D_{ik} для всех n ближайших точек определяют оцениваемое значение $\hat{Z}_k$:

$$\hat{Z}_k = \sum_{i=1}^n (z_i / D_{ik}) / \sum_{i=1}^n (1 / D_{ik}),$$

где z_i — значение показателя в точках $1, 2, \dots, n$. Аналогичная процедура выполняется для остальных точек регулярной сети. Эта операция выполняется соответствующей программой. Построение карты осуществляется другой подпрограммой, в которой отмечается массив значений, по которому строится карта изолиний, размер массива, в котором каждая строка содержит три элемента x, y, z , длина и максимально возможная длина массива, ширина карты в дюймах, координаты левого и правого угла карты, нижнего и верхнего обреза карты. Карта печатается построчно, используя весьма простое действие — замену однородных данных одинаковыми символами. При этом предполагается, что сеть точек, по которым строится карта, соответствует структуре строк АЦПУ. Большинство вариантов АЦПУ содержит на 25,4 мм (1 дюйм) десять печатных знаков по горизонтали и шесть строк по вертикали.

Подпрограмму можно использовать при построении различных карт. Построенные таким образом карты недостаточно точны, но они обеспечивают решение ряда задач, что и карты, построенные более точными способами с помощью графопостроителей.

ПРОЕКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ НЕДР

§ 1. Общие положения

Применение рациональных методов разведки полезных ископаемых, совершенных способов их разработки, внедрение комплексной механизации и автоматизации трудоемких процессов и связанное с ними решение вопросов прогнозирования горно-геологических условий залегания залежей с использованием счетно-решающих и других математических машин потребовали усовершенствования методов съемки, обработки и графического изображения изучаемых объектов: разведочных и горных выработок, формы и условий залегания полезных ископаемых, размещения в недрах запасов полезных ископаемых по отдельным сортам и компонентам, физико-химических, горно-геологических и горнотехнических свойств разрабатываемых залежей и вмещающих пород, а также процессов, происходивших и происходящих в недрах.

Информация о перечисленных объектах не является стабильной. По мере развития горных и разведочных работ изменяется и уточняется представление о форме залежей, размещении в недрах запасов, количественной и качественной характеристике месторождения. Все это требует, чтобы метод графического изображения был достаточно точным и гибким для учета особенностей изображаемых объектов, удобным для механизации процесса построения изображения.

Не менее важным является требование удобства по изображениям составлять модели месторождения на вычислительных математических машинах и программы для решения горных разведочных задач.

Разнообразие объектов, их сложность и разнотипность, различная степень достоверности размеров и форм, разный характер требований к изображению — все это предопределяет необходимость применения самых различных способов и приемов графического изображения.

К графическим изображениям предъявляют следующие требования:

наглядность — возможность без особого труда по плоскому изображению объекта представить его пространственную модель, легко распознать элементы, характеризующие длину, ширину и высоту объекта, наряду с ее общим видом выявить детали внутреннего устройства модели с наименьшим их перекрытием;

простота построения, которая заключается в выборе такой системы изображения, при которой непосредственно без дополнительных работ используются исходные материалы — погори-

зонтные планы, вертикальные разрезы — или возможна механизация процесса построения изображения;

удобоизмеряемость — возможность по изображению легко производить измерения и решать задачи метрического характера с определенной степенью точности;

динамичность — возможность систематического пополнения или быстрого пересоставления графиков в соответствии с развитием горных и разведочных работ;

контрастность — возможность чтения чертежа и отбора отраженной на нем информации с помощью специальных приборов, устройств и автоматов и приставок к ЭВМ.

Выбор масштаба обуславливает точность исходных данных и требуемую точность результата, получаемого с помощью графического построения. При этом различают два случая, при которых точность исходных данных:

- 1) превышает необходимую точность результата;
- 2) ниже необходимой точности результата.

В первом случае масштаб выбирают с расчетом получения требуемой точности, а во втором — масштаб построений должен отвечать точности исходных данных.

Масштаб M находят из выражения

$$M = a/D,$$

где a — линейная ошибка графических построений, равная 0,2—0,3 мм; D — необходимая линейная точность определения иско- мой величины, мм.

§ 2. Проекция с числовыми отметками

Проекция точки, прямой, плоскости и их взаимное положение. Положение точки в пространстве может быть определено лишь относительно принятой системы координат или относительно закрепленной на местности группы точек (не менее трех, из которых одна высотная и две — ориентирные), положение которых в принятой системе координат известно. Чаще всего применяют полярную или прямоугольную систему координат и горизонтальную плоскость проекции. Прежде чем изображать точку, прямую, а также любой объект, определяемый точками и прямыми, необходимо вначале изобразить на плоскости систему координат (координатные оси) и указать масштаб графика.

В проекциях с числовыми отметками точку по двум ее координатам наносят на картинную плоскость, а ее третью координату подписывают у проекции этой точки в виде числовой отметки.

Числовой отметкой подписывается та координата, ось которой перпендикулярна к картинной плоскости, на которой изображают точку.

У точек, расположенных выше или справа от плоскости проекции, принимаемой за нулевую, третья координата имеет поло-

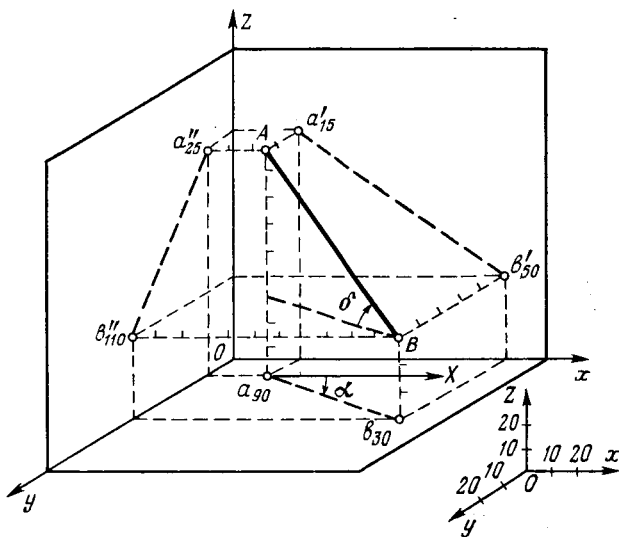


РИС. 2.1. Изображение точек A и B и прямой AB на трех плоскостях проекции

жительное значение; и наоборот, у точек, расположенных ниже или слева от плоскости проекции, третья координата имеет отрицательную числовую отметку.

Прямые, нормальные к плоскости проекции, изображаются точками. Так, например, вертикальные скважины или вертикальные горные выработки на планах изображаются точками или условными знаками (для удобства чтения плана). Прямые, параллельные плоскости проекции, проектируются на нее в масштабе чертежа без искажения.

Данная в натуре прямая AB имеет вполне определенное положение в пространстве и может быть изображена в проекциях с числовыми отметками, если известны: 1) координаты двух точек прямой: $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$ или 2) координаты одной точки $A(x_A, y_A, z_A)$ и направление прямой — дирекционный угол (азимут) в сторону падения прямой и угол наклона прямой к горизонту.

На рис. 2.1 представлена прямая AB в пространстве относительно координатных осей координатами двух ее точек: $A(25, 15, 90)$, $B(110, 50, 30)$. Здесь же дана проекция ($a_{90}-b_{30}$) этой прямой на горизонтальную плоскость XOY , проекция ($a'_{15}-b'_{50}$) на вертикальную плоскость XOZ , проекция ($a''_{25}-b''_{110}$) на вертикальную плоскость YOZ .

Наклон линии к плоскости проекции может быть выражен аналитически (у проекции линии подписывается ее угол наклона или уклон) или в градуированных отметках.

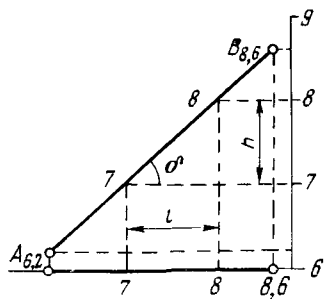
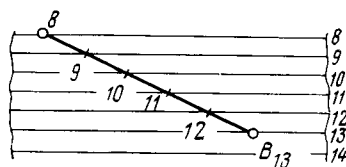


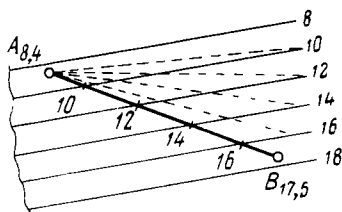
РИС. 2.2. К определению угла наклона прямой и градуирование прямой с помощью профиля

РИС. 2.3. Градуирование прямой с помощью трафарета

а



б



Градуированием прямой называется нахождение на проекции прямой точек с целочисленными отметками, кратными выбранной высоте сечения.

Точки с целочисленными отметками на проекции прямой есть проекции точек пересечения прямой с плоскостями, параллельными плоскости проекции и отстоящими друг от друга на расстоянии, равном высоте сечения.

Высотой сечения, или сечением, прямой h (рис. 2.2) называется разность целочисленных отметок двух соседних точек градуированной проекции прямой. За высоту сечения обычно принимают величины 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 25; 50; 100.

Заложением прямой l называется расстояние между проекциями двух точек прямой, разность числовых отметок которых равна высоте сечения. Заложение прямой можно определить аналитически по формуле (2.1) или графически (см. рис. 2.2).

Уклоном i прямой называется тангенс угла ее падения. Зависимость между уклоном, высотой сечения и заложением прямой выражается формулой

$$i = \operatorname{tg} \delta = h/l. \quad (2.1)$$

При данном сечении уклон прямой — величина, обратная заложению: чем меньше уклон, тем больше заложение, и наоборот.

Наиболее распространенные способы градуирования пря-

мых: на глаз, с помощью трафарета, профиля и аналитический. Если прямая задана двумя точками, градуирование производят первыми тремя способами. Если прямая задана одной точкой и направлением, градуирование производят с помощью профиля или аналитически.

Градуирование прямой при помощи трафарета заключается в следующем (рис. 2.3). На кальке изготовляют трафарет — проводят ряд параллельных линий на произвольном, но одинаковом расстоянии одна от другой. Трафарет накладывают на план. Одну из крайних линий трафарета совмещают с проекцией прямой линии. Точку прямой, например A_8 , накалывают острием карандаша, линии трафарета условно именуют отметками через принятые сечения. Затем поворачивают трафарет до совмещения второй точки B , отметка которой 13 , с линией трафарета с той же отметкой 13 . После этого иголкой или острием карандаша накалывают все точки пересечения проекции прямой A_8B_{13} с линиями трафарета и подписывают около них соответствующие целочисленные отметки.

Когда отметки конечных точек прямой имеют дробные значения, например $A_{8,4}$; $B_{17,5}$, то их располагают не на линиях трафарета, а в соответствующих промежутках между ними (рис. 2.3, б).

Градуирование методом профиля понятно из рис. 2.2. Он прост при наличии миллиметровой бумаги и линейки. Сначала по отметкам двух точек или одной точки и углу наклона прямой строят профиль прямой. Точки пересечения профиля со следами горизонтальных плоскостей с целочисленными отметками, например 7 и 8 (см. рис. 2.2), переносят на проекцию прямой и получают ступенчатые точки.

Если у проекции прямой угол наклона задан уклоном i или углом наклона δ , то градуирование производят аналитическим методом. Вначале определяют величину заложения прямой (l) при данном сечении h по формуле (2.1).

Когда данная точка прямой имеет целочисленную и кратную сечению отметку, то, откладывая от этой точки на проекции прямой вычисленное заложение, получают искомые ступенчатые точки.

Если же у данной точки числовая отметка дробная, то от нее вначале откладывают часть заложения, дополняющую дробную часть отметки до целого кратного сечению, а затем от полученной точки откладывают вычисленное заложение.

Взаимное положение прямой и точки следующее.

1. Точка лежит на прямой, если проекция совпадает с проекцией прямой и имеет одну общую с точкой прямой отметку.

2. Точка не лежит на прямой, если: проекция точки не совпадает с проекцией прямой; проекция точки совпадает с проекцией прямой, но данная точка и совпадающая с ней точка на прямой имеют разные отметки.

Чтобы по плану определить кратчайшее расстояние между точкой и прямой, необходимо через точку и прямую провести плоскость, найти совмещенное положение этой плоскости, а затем произвести измерение по нормали от точки до прямой (в их совмещенном положении) с учетом масштаба графика.

Если проекция точки совпадает с проекцией прямой, то непосредственно по плану можно определить лишь расстояние по вертикали между точкой и прямой, которое равно разности отметок данной точки и соответствующей ей точки на прямой. Другие величины, как, например, кратчайшее расстояние точки от прямой, определяются дополнительными построениями — совмещением плоскости. *Взаимное положение прямых следующее.*

Прямые параллельны между собой, если параллельны их проекции, заложения равны, числовые отметки возрастают в одну сторону (рис. 2.4, а).

Прямые пересекаются, если пересекаются их проекции, а точка пересечения $K_{17.5}$ для обеих прямых имеет одну и ту же числовую отметку (рис. 2.4, б).

Если пересекающиеся прямые лежат в одной профильной плоскости, то проекции прямых сливаются (рис. 2.4, в).

Прямые скрещиваются, если: проекции прямых пересекаются, но в точке пересечения имеют разные отметки; проекции прямых параллельны, но имеют разные заложения, или имеют одинаковое заложение, но возрастание отметок идет в разные стороны (рис. 2.4, в).

Прямые, лежащие в одной или параллельных вертикальных плоскостях, взаимно перпендикулярны, если их числовые отметки убывают в разные стороны и соблюдается соотношение

$$l_1 = h^2/l_2,$$

где l_1 и l_2 — заложения первой и второй прямых; h — высота сечения (рис. 2.4, г).

Плоскость, ее изображение и взаимное положение с точкой, прямой и плоскостью. Положение плоскости в пространстве и ее изображение на плане вполне определяется следующими элементами:

1. Тремя точками, не лежащими на одной прямой.
2. Прямой линией и точкой, не лежащей на этой прямой.
3. Двумя пересекающимися прямыми, в частном случае — линией простираения и линией падения.
4. Двумя параллельными прямыми.
5. Прямой линией, являющейся линией наибольшего ската данной плоскости (линия МК и ее проекция mK на рис. 2.5, а).

Эти элементы являются необходимыми и достаточными для изображения плоскости.

В проекциях с числовыми отметками плоскость P изображается системой параллельных и равноотстоящих друг от друга линий 0—0, 10—10, 20—20 и т. д. Эти линии являются проекциями линий пересечения данной плоскости с плоскостями, от-

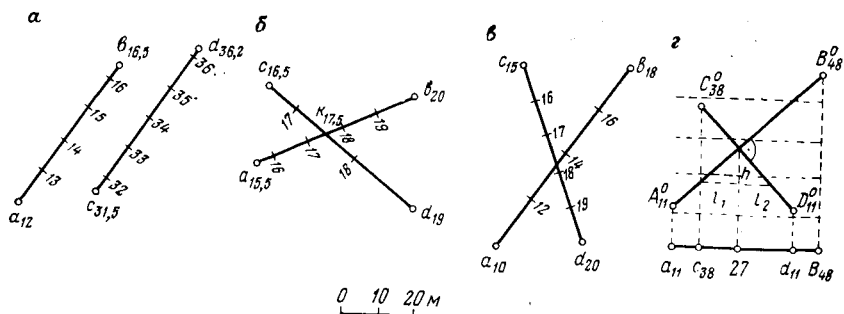


РИС. 2.4. Взаимное положение прямых

стоящими друг от друга на одинаковом расстоянии и параллельными плоскости проекции H (рис. 2.5, а, б).

Если за плоскость проекции принята горизонтальная XOY , то параллельные линии, изображающие данную плоскость, называются горизонталями, или изозетами.

Если за плоскость проекции принята вертикальная плоскость XOZ или YOZ , то изолинии данной плоскости называются соответственно изогреками или изоксами.

Если за плоскость проекции принята наклонная плоскость, то данная плоскость изображается на ней системой параллельных прямых, называемых изорасстояниями.

Плоскость на плане (чертеже) считается заданной, если на плане даны горизонтали (изолинии) этой плоскости с соответствующими отметками, масштаб изображения (плана) и система координат.

Кратчайшее расстояние на плане между двумя соседними горизонталями плоскости называется заложением l плоскости. Разность отметок соседних горизонталей называется сечением h плоскости.

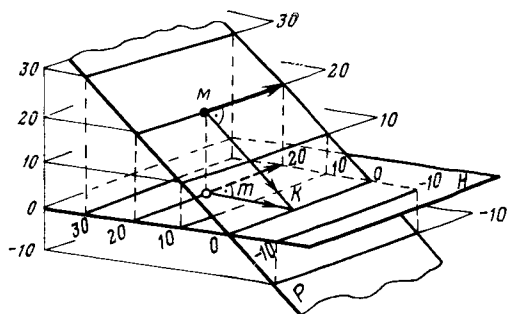
Угол, который составляет линия наибольшего ската плоскости с плоскостью проекции или ей параллельной, называется углом наклона δ плоскости (углом падения или углом восстания в зависимости от знака угла наклона или направления линии наибольшего ската), а тангенс этого угла — уклоном плоскости (рис. 2.5, в).

Линия наибольшего ската, или линия падения плоскости, перпендикулярна к горизонталям плоскости как в натуре, так и на плане.

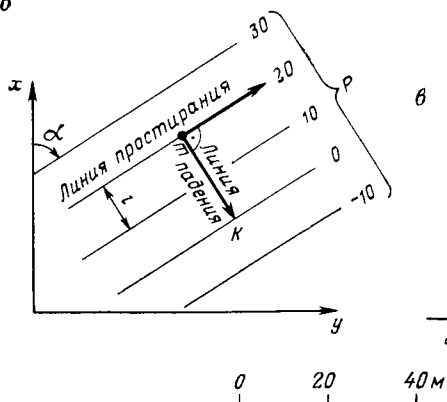
Из множества пар пересекающихся прямых и определяющих положение плоскости две пересекающиеся прямые линии являются характерными для плоскости — это две взаимно перпендикулярные на плоскости линии, одна из которых горизонтальная, а другая — линия наибольшего ската плоскости.

Горизонтальная линия на плоскости (как и всякая горизонталь) имеет направление. Условились за направление горизон-

а



б



в

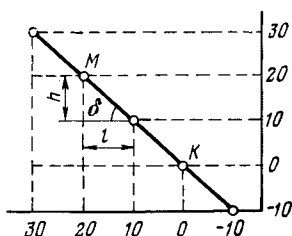


РИС. 2.5. Изображение плоскости в проекциях с числовыми отметками

тали или направление линии простираания плоскости принимать такое, относительно которого падение плоскости направлено вправо.

Задаваемая плоскость ориентируется относительно стран света или относительно осей координат данного плана азимутом или дирекционным углом α направления линии простираания (горизонтالي) плоскости.

Взаимное положение точки и плоскости следующее.

Данная точка лежит на плоскости, если у проекции этой точки плоскость имеет одинаковую с точкой отметку (точка k_{35} на рис. 2.6).

Данная точка не лежит на плоскости, если у проекции этой точки плоскость имеет иную отметку, чем отметка данной точки (например, точка s_{60} на рис. 2.6).

Взаимное положение прямой и плоскости следующее.

Прямая лежит в плоскости, если две любые точки прямой лежат в этой плоскости. Прямая $a_{22,5}$ b_{45} лежит в плоскости (см. рис. 2.6).

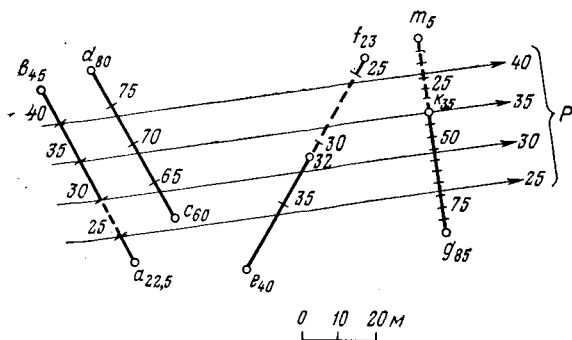


РИС. 2.6. Взаимное положение точек и прямых с плоскостью

Прямая параллельна плоскости, если на плоскости найдется прямая, параллельная данной прямой, т. е. имеет одинаковое с ней заложение и возрастание отметок в одну сторону. Прямая $c_{60}d_{80}$ параллельна плоскости P , так как она параллельна прямой $a_{22,5}b_{45}$, которая лежит в плоскости P .

Прямая перпендикулярна к плоскости $g_{85}m_5$, если ее проекция перпендикулярна к горизонталям плоскости, направление ее падения обратно направлению падения плоскости и имеется равенство

$$l_{\text{пр}} = h^2/l_{\text{пл}},$$

где $l_{\text{пр}}$ и $l_{\text{пл}}$ — заложение прямой и плоскости; h — высота сечения плоскости.

Прямая пересекает плоскость, если она имеет только одну точку, лежащую в данной плоскости (прямая $l_{40}f_{23}$ на рис. 2.6).

Взаимное положение плоскостей следующее.

Плоскости P и Q параллельны, если проекции горизонталей обеих плоскостей параллельны, направления горизонталей одинаковы и заложения равны (рис. 2.7, а).

Плоскости пересекаются, если горизонталы плоскостей пересекаются, линия пересечения в этом случае определяется точками пересечения одноименных горизонталей (рис. 2.7, б);

параллельны, одного направления, но с разными заложениями (рис. 2.7, в);

параллельны, но с противоположными направлениями. Проекция линии пересечения плоскостей в последних двух случаях определяются при помощи плоскости профиля, проводимой по любой произвольно взятой линии наибольшего ската плоскостей; горизонталы обеих плоскостей не параллельны и не пересекаются в пределах плана.

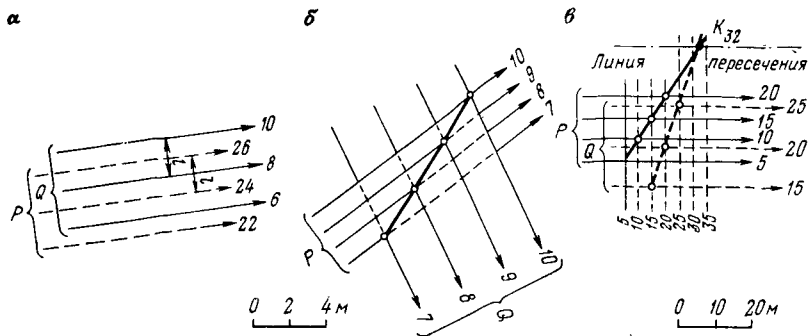


РИС. 2.7. Взаимное положение плоскостей

Проекцию линии пересечения в этом случае находят с помощью двух профилей плоскостей по проекциям точек пересечения профилей плоскостей.

Плоскости взаимно перпендикулярны, если двугранный угол между ними равен 90° . Двугранный угол лежит в плоскости, нормальной к линии пересечения данных плоскостей.

Метод совмещения плоскостей — приведение данной наклонной плоскости в положение, параллельное плоскости проекции. Совмещение применяют для графического определения истинных значений длин и углов, лежащих в наклонной плоскости. Совмещение с горизонтальной плоскостью проекции производят путем вращения данной плоскости вокруг одной из ее горизонталей до положения, параллельного плоскости проекции.

В совмещенном положении наклонная плоскость со всеми элементами на ней совпадает с плоскостью проекции или параллельна ей. В этом случае углы между линиями, лежащими в этой плоскости, а также линейные величины отрезков изображаются без искажения.

Сущность метода рассмотрим на следующем примере.

Пример. На плане (рис. 2.8) даны три точки a_{80} , b_{20} , c_{40} — точки пересечения скважин с поверхностью почвы залежи. Требуется определить истинные расстояния между точками и истинные значения внутренних углов образовавшегося треугольника.

Решение. Через три данные точки проводим плоскость. Для этого соединяем проекции точек прямыми, задавшись сечением, градуируем их через 10 м. Через точки с одноименными отметками проводим горизонтالي плоскости. Чтобы определить истинные значения углов и сторон треугольника, вращаем плоскость вокруг любой из ее горизонталей, например вокруг горизонтали с отметкой 20.

Чтобы найти совмещенное положение точки a_{80} на плане, из данной точки опускаем перпендикуляр $a_{80}a$ на ось вращения (го-

ризонताल 20) и на продолжении перпендикуляра от оси вращения откладываем отрезок, равный гипотенузе aA прямоугольного треугольника, у которого один катет aa_{80} — расстояние в плане данной точки от оси вращения, а другой $a_{80}A$ — отрезок, пропорциональный разности отметок данной точки и оси вращения в масштабе плана ($80 - 20 = 60$ м). Точка a_{80}^c является совмещенным положением точки a_{80} относительно оси вращения с отметкой 20.

Аналогично находим точку c_{40}^{20} . Точка, лежащая на оси вращения, останется на месте.

Соединив прямыми точки b_{20} , a_{80}^{20} и c_{40}^{20} , получим треугольник, у которого углы измеряются непосредственно, а стороны по плану в масштабе. Решение задачи можно выполнить и так. Проводя через данные точки плоскость в горизонталях, находят сначала совмещенное положение горизонталей плоскости. (На рис. 2.8 — пунктирными линиями проведены совмещенные горизонталы с отметками 40, 60 и 80).

Горизонталы совмещенной плоскости на плане располагаются от оси вращения и друг от друга на расстоянии, равном в масштабе плана корню квадратному из суммы квадратов заложения и сечения горизонталей или гипотенузе прямоугольного треугольника, катетами которого являются заложения и сечение горизонталей. Затем данные точки по нормали к оси вращения перемещают на совмещенную горизонталь, соответствующую отметке данной точки. Соединяя полученные точки, получают изображение искомых величин без искажения.

Метод перемены плоскостей проекции. Сущность этого метода заключается в выборе вспомогательной проекции, перпендикулярной к основной, и в совмещении вспомогательной плоскости со всеми спроектированными на нее элементами, с основной плоскостью проекции или ей параллельной, путем враще-

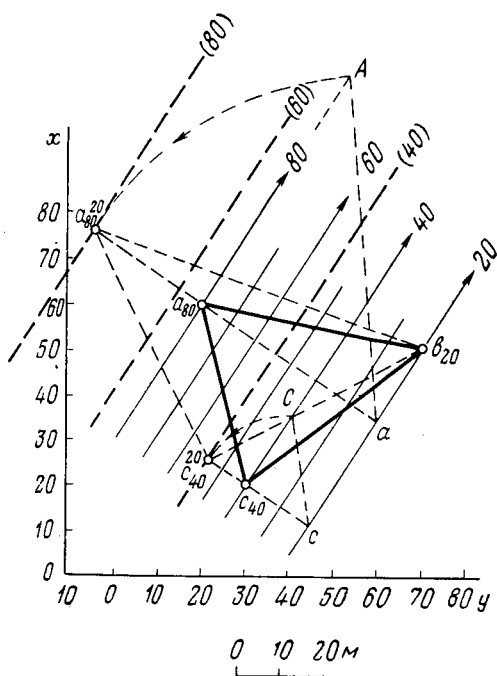


РИС. 2.8. К определению истинных элементов треугольника $a_{80}b_{20}c_{40}$, лежащего на плоскости

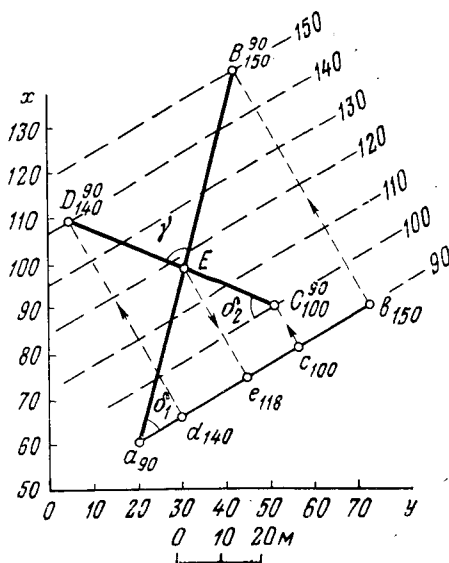


РИС. 2.9. Схема перемены плоскости проекции

горизонтالي 90 до совмещения с горизонтальной плоскостью с отметкой 90. В совмещенном положении горизонтали профильной плоскости расположатся параллельно оси вращения на расстоянии друг от друга, равном высоте сечения в масштабе плана (на рис. 2.9 горизонтали показаны пунктиром). Точка a_{90} останется на месте, точки d_{140} , c_{100} , b_{150} переместятся по нормали к оси вращения на соответствующие их отметкам горизонтали или на расстояния от оси вращения, пропорциональные разности отметок точки и оси вращения.

Точки D_{140}^{90} , C_{100}^{90} , B_{150}^{90} — совмещенное положение соответствующих точек. Соединив их прямыми, получим отрезки $a_{90}B_{150}^{90}$ и $C_{100}^{90}D_{140}^{90}$ — истинные длины искомых прямых в масштабе плана.

Углы δ_1 и δ_2 между прямыми и осью вращения являются одновременно углами наклона прямых к горизонту (к плоскости проекции), угол γ — истинный угол между прямыми. Точка E пересечения прямых удалена от оси вращения на расстояние $Ee = 28$ м. Ее проекцией на плане является точка e с отметкой $28 + 90 = 118$ м.

Проекция поверхностей. В геометрии выделяют два класса поверхностей:

геометрически правильные, для которых известны законы их образования, например цилиндрические, сферические, конические и т. п.;

ния вспомогательной плоскости вокруг ее следа или вокруг одной горизонтали. Применение метода рассмотрим на следующем примере.

Пример. На плане (рис. 2.9) даны две прямые $a_{90}b_{150}$ и $c_{100}d_{140}$, проекции которых сливаются. Требуется определить: истинные длины прямых AB и CD ; углы наклона прямых к горизонту; проекцию и отметку точки пересечения прямых.

Решение. Через проекции прямых проводим вертикальную, или профильную, плоскость. След и горизонтали этой плоскости сливаются с проекциями прямых. Вращаем профильную плоскость вокруг ее

геометрически неправильные, для которых геометрические законы их образования неизвестны, например топографическая поверхность и т. п.

Поверхности в проекциях с числовыми отметками изображают проекциями линий пересечения этих поверхностей плоскостями, параллельными плоскости проекции и равноотстоящими друг от друга. Вид линий пересечения или изолиний на плане (плоскости проекции) зависит от вида поверхности и ее расположения относительно плоскости проекции. Если, например, образующая цилиндрической поверхности параллельна плоскости проекции, то изолинии такой поверхности также есть параллельные прямые, но с разными заложениями. Если образующая нормальна к плоскости проекции, то изолинии поверхности сливаются в одну окружность. При наклонном положении образующей цилиндрическая поверхность изобразится одинаковыми по форме кривыми изолиниями, сдвинутыми параллельно одна относительно другой на постоянную величину, равную заложению образующей. При этом заложение изолиний цилиндрической поверхности в различных местах будет различным.

Свойство горизонталей, изображающих цилиндрическую поверхность, используется для определения вида складок по гипсометрическим планам. Если расстояния между изогипсами на плане по линиям, параллельным осевой линии складки, одинаковы, складку относят к цилиндрической. Сферическая поверхность изображается концентрическими окружностями с возрастающими к центру заложениями. Коническая поверхность в зависимости от ее положения относительно картинной плоскости может быть изображена изолиниями в виде концентрических окружностей, парабол или гипербол.

К поверхностям топографического порядка относятся такие геометрические неправильные (а также правильные) поверхности, которые обладают свойствами поверхности рельефа местности.

Основное свойство топографической поверхности состоит в том, что с отвесной линией, проведенной из любой точки 1, 2..., или с нормалью к горизонтальной плоскости проекции H , она пересекается только в одной точке (рис. 2.10).

Математически топографическая поверхность выражается функцией z двух переменных x и y :

$$z = f(x, y).$$

Как правило, в явном виде эта функция неизвестна. Да, если бы и можно было ее выразить аналитически, то формула, очевидно, имела бы такой сложный вид, что практически ею пользоваться было бы затруднительно. Однако известно, что функция удовлетворяет условию конечности, однозначности, непрерывности и плавности.

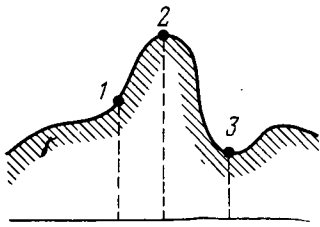


РИС. 2.10. Профиль топографической поверхности

Условие конечности и однозначности говорит о том, что при данных аргументах x и y функция имеет только одно и притом конечное значение.

Условие непрерывности и плавности означает, что при бесконечно малом изменении аргументов функция также изменяется незначительно и притом плавно, без скачков; или, говоря языком математики, функция дифференцируется.

Прямым следствием этих условий являются основные свойства изогипс, которыми на плане изображается топографическая поверхность, а именно — изогипсы или горизонтали — плавные замкнутые кривые с плавными изменениями заложения между ними; изогипсы одной и той же поверхности на плане не пересекаются.

Изогипсы поверхности представляют собой графическое выражение этой функции, пользуясь которым можно легко решать многие вопросы.

Для решения ряда практических задач геометризации недр понятие о топографической поверхности расширено. К классу поверхностей топографического порядка относится любая поверхность, которая, будучи сопряжена с плоскостью проекции, дает с любой нормалью к этой плоскости единственную точку пересечения.

Так, на рис. 2.11 изображен профиль поверхности, которая по отношению к горизонтальной плоскости H не является топографической. С отвесной линией 2—3 она пересекается в нескольких точках. В проекции на горизонтальную плоскость эта поверхность в горизонталях изображена быть не может. В горизонталях можно изобразить лишь отдельные участки этой поверхности $A—B$, $B—C$, $C—D$, $D—E$, относящиеся к поверхностям топографического порядка.

Но такое изображение отдельных участков на плане ненаглядно и неудобочитаемо. Аналогично поверхность не является топографической по отношению к вертикальной плоскости проекции W .

По отношению к наклонной плоскости проекции V данная поверхность будет топографической, так как с любой нормалью к плоскости V она пересекается только в одной точке. В проекции на наклонную плоскость V она может быть изображена в изолиниях полностью без деления ее на отдельные части. Таким образом, при изображении конкретной формы залежи должна быть выбрана такая плоскость проекции, в сочетании с которой поверхности, оконтуривающие залежь, могли бы быть отнесены к поверхностям топографического порядка без деления на отдельные части.

Рассмотренные свойства поверхности рельефа местности присущи и всем другим поверхностям топографического порядка, с которыми приходится иметь дело в горном и геолого-маркшейдерском деле.

К таким поверхностям, кроме топографической или физической поверхности земли, относятся: поверхности почвы и кровли залежи полезного ископаемого; поверхность контакта горных пород, различных по литологическому, стратиграфическому или гидрогеологическому признаку; поверхности, характеризующие изменения мощности залежи или той или иной толщи горных пород, размещение в недрах запасов полезного ископаемого, отдельных его сортов и компонентов; поверхности напряженного состояния горного массива и интенсивности трещиноватости; поверхности, характеризующие изменения физических, механических и технических свойств той или иной разновидности горных пород, и пр.

Из всех способов изображения поверхностей топографического порядка наиболее распространенным является способ изолиний (горизонталей, изогипс).

Заложением изолиний называется кратчайшее расстояние между двумя смежными изолиниями (горизонталями) на плоскости проекции.

Сечением поверхности называется разность отметок двух соседних изолиний.

Между сечением h , заложением l и углом наклона δ поверхности имеется зависимость, выражаемая формулой (2.1).

Методы построения изолиний поверхности топографического порядка. Изображение на плане топографической поверхности участка местности производят по данным инструментальной съемки.

В процессе съемки при выраженном рельефе выбирают характерные точки поверхности на инвариантных элементах рельефа и характерных изгибах ската и определяют для них высотные отметки. Если рельеф равнинный, то определяют высотные отметки точек, равномерно размещенных по площади участка. Затем точки по координатам X , Y (или полярным α , l) наносят на план, подписывают около них высотные отметки. Задав сечение, производят интерполирование между ближайшими точками по линиям скатов. Через точки с одинаковыми отмет-

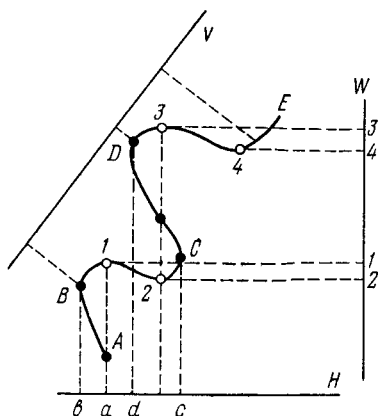


РИС. 2.11. Проектирование поверхности на горизонтальную, вертикальную и наклонную плоскости проекций

ками проводят плавные кривые изогипсы поверхности рельефа участка местности.

Для скрытых, невидимых или условных поверхностей построение изолинии на плане не всегда является простой задачей. Чтобы изолинии правильно отражали изучаемый конкретный показатель, требуется при их построении учитывать геологические условия и другие факторы, влияющие на характер изменения показателя, принимать во внимание соподчиненность в залегании горных пород и пр.

В зависимости от исходных данных, их расположения и характера изучаемого показателя построение изолиний производят вручную или с помощью соответствующих приставок к ЭВМ — графопостроителей методами: инвариантных линий, многогранника, профилей, статистического окна, косвенным.

Метод инвариантных линий состоит в следующем. На план в соответствующем масштабе по координатам наносят точки, в которых определены (замерены) значения изображаемого показателя; около каждой точки выписывают значение показателя в виде числа (отметки) (рис. 2.12, а).

В результате геометрического анализа выписанных отметок намечают ориентировочное положение инвариантных линий изображаемой поверхности (рис. 2.12, б), учитывая при этом геолого-структурные данные о месторождении и пр.

Различают отрицательную (синюю) и положительную (красную) инвариантные линии.

Отрицательной инвариантной линией является геометрическое место минимумов высот данной поверхности — тальвеги или русла рек с системой притоков (пунктирная линия на рис. 2.12, б).

Положительной инвариантной линией является линия водоразделов (сплошная линия на рис. 2.12, б). Место пересечения инвариантных линий является инвариантной (седловидной) площадкой.

Инвариантные линии и площадки являются своего рода основой данной поверхности и имеют большое значение в анализе точности ее изображения с помощью изогипс. Достаточно точную модель можно построить тогда, когда выявлено необходимое и достаточное число точек, для каждой из положительных и отрицательных инвариантных линий и для каждой из инвариантных площадок, а также необходимое и достаточное число скатов и число точек на них.

Относительно инвариантных линий между точками намечают линии скатов, по которым линейным интерполированием, задавшись величиной сечения, находят ступенчатые отметки (рис. 2.12, в). Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, получают на плане изображение искомой поверхности в изолиниях (рис. 2.12, г).

Метод многогранника применяют тогда, когда затруднительно наметить инвариантные линии или когда в от-

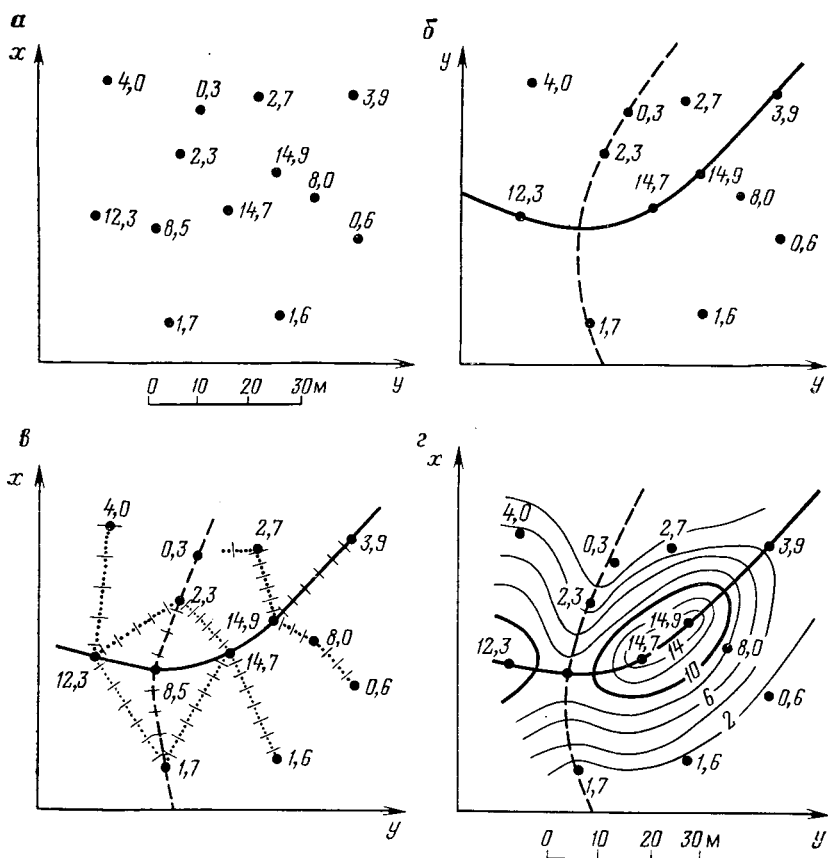


РИС. 2.12. Последовательность построения на плане изолиний топографической поверхности методом инвариантных линий

дельных точках поверхности замерены ее элементы залегания: азимут линии падения и угол падения (рис. 2.13).

В первом случае поверхность представляется многогранником, каждая грань которого—треугольник с вершинами в ближайших точках с числовыми отметками. Задавшись сечением, между ближайшими точками производят интерполирование. Точки с одинаковыми отметками соединяют вначале ломаными, а затем плавными сглаженными кривыми. В результате получают план поверхности в изолиниях. Изображение поверхности считается точным, если уклонения любой ломаной линии, построенной по точкам, от соответствующей ей кривой поверхности не превышают допустимой величины.

Построение изолиний этим методом, как и другими, начинают с более детально изученных участков изображаемой

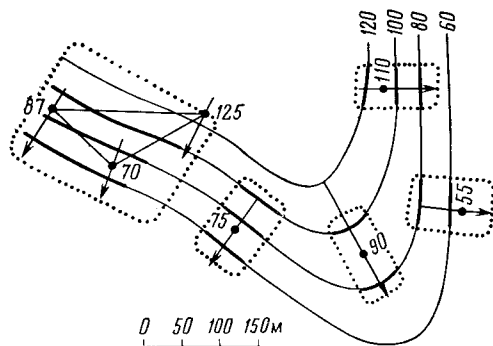


РИС. 2.13. Схема построения изолиний поверхности методом многогранника

поверхности, переходя постепенно к менее изученным с большим расстоянием между точками.

Во втором случае точки, в которых определены элементы залегания поверхности, по координатам наносят на план, подписывают около них числовые отметки. По дирекционному углу через каждую точку проводят проекцию линии падения. Задав сечение, аналитически или графически с учетом угла падения, на линиях наносят ступенчатые отметки, через которые проводят изолинии по нормали к линиям падения. Учитывая кривизну поверхности по ряду других факторов, изолинии с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми. В результате получают план поверхности в изолиниях более точный, чем план, построенный по отметкам точек без учета элементов залегания поверхности.

Метод профилей применяют при наличии нескольких профилей или сечений изучаемой поверхности, расположенных как параллельно, так и различно ориентированных одно к другому (рис. 2.14).

Сущность метода состоит в следующем. На план наносят проекции профилей по координатам исходных точек на них: 1,1'; 2,2'; 3,3'. На профилях (см. рис. 2.14) проводят высотную сетку — серию параллельных основанию профиля линий на расстоянии, равном сечению поверхности. Точки пересечения линий высотной сетки с профилем поверхности изображаемого показателя проектируют сначала на основание профиля, а затем относительно исходных точек переносят на план линий профиля, подписывая около них соответствующие отметки. Соединяя на плане одноименные точки плавными кривыми, получают искомую поверхность в изолиниях.

Построение изолиний поверхности с помощью профилей применяют при разведке или опробовании месторождений по разведочным линиям.

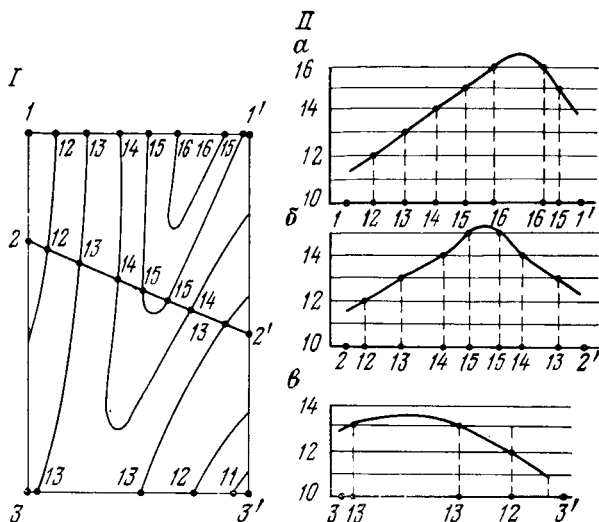


РИС. 2.14. К построению изолиний поверхности I методом профилей II по линиям a — $I-I'$; b — $2-2'$; c — $3-3'$

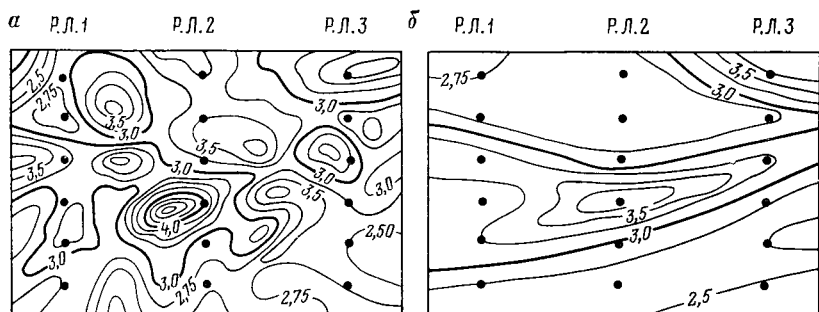


РИС. 2.15. К построению изолиний поверхности по профилям:

a — фактическая поверхность и ее реализация по разведочным линиям; b — искажение (вытянутость) поверхности, построенной по профилям

Так как расстояния между скважинами или точками опробования по разведочной линии (Р.Л.1; Р.Л.2; Р.Л.3) гораздо меньше расстояний между разведочными линиями, то и детальность выявления поверхности по линии большая, чем между линиями. Для поверхностей с относительно одинаковой изменчивостью по всем направлениям (рис. 2.15, a) формальное применение метода профилей при построении поверхности в изолиниях из-за разного уровня сведений в сечениях и между ними может привести к искусственному ее искажению — одностороннему вытягиванию изолиний между сечениями, как это пока-

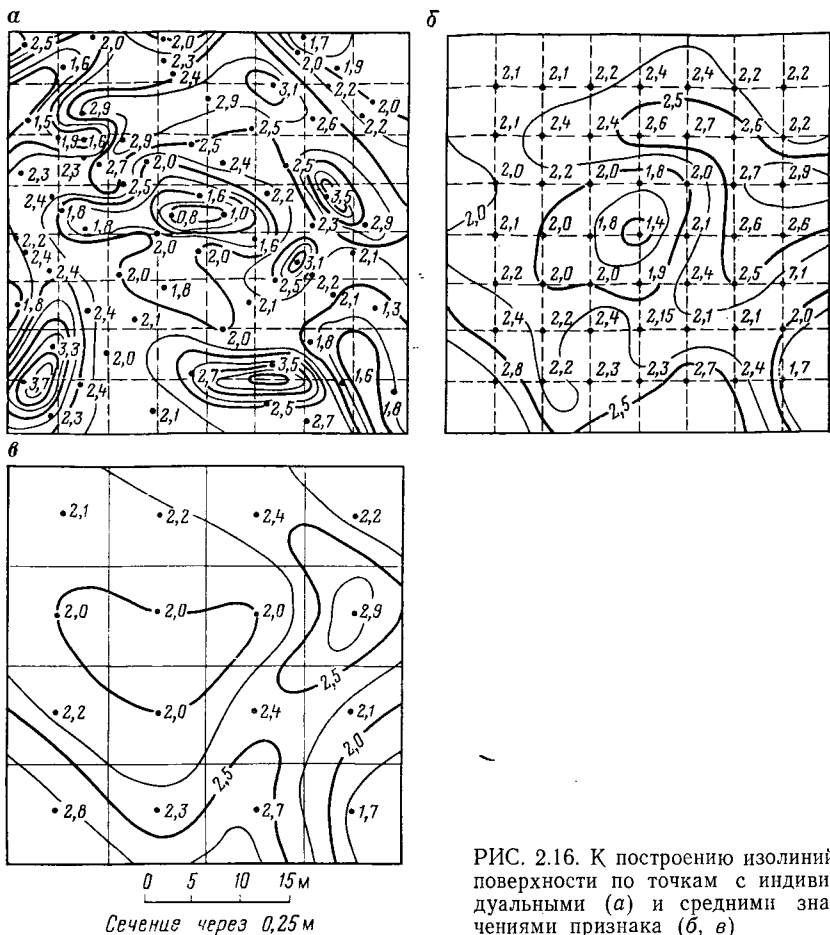


РИС. 2.16. К построению изолиний поверхности по точкам с индивидуальными (*а*) и средними значениями признака (*б*, *в*)

зано на рис. 2.15, *б*, и последующему ложному толкованию изменения размещения изображаемого показателя. Построение изолинии поверхностей с помощью относительно удаленных друг от друга профилей следует производить на месторождениях с заранее известным «вытянутым» характером изменения геологического показателя, например, поверхности кровли пластов на крыльях складки, как правило, вытянутой по простиранию, размещения компонентов, рассеянных в виде вытянутых ореолов на россыпных месторождениях и т. п.

Метод статистического окна, или площадное сглаживание, применяют при большом числе точек с числовыми отметками показателя на плане. Если проводить изолинии с использованием всех имеющихся числовых отметок, то, помимо большой затраты времени на это, получается так называемый

мелкосопочный рельеф (рис. 2.16, а). По такому изображению трудно находить закономерности изменения показателя, делать какие-либо выводы и заключения и использовать эти поверхности для практических целей.

Статистический метод заключается в построении изолиний поверхности по средним групповым отметкам. Для этого на план участка с большим числом точек наносят квадратную или прямоугольную сетку со сторонами a и b . Величину сторон сетки выбирают в зависимости от масштаба плана, изменчивости показателя, расстояния между точками, общего падения поверхности и т. п. В каждой ячейке сетки или статистическом окне определяют среднее арифметическое значение отметок всех попавших в нее точек и подписывают это среднее в центре статистического окна.

Окно перемещают на половину своего размера сначала по одной оси, а затем по другой (рис. 2.16, б), или на полный его размер (рис. 2.16, в).

Если точки группируются в одной какой-либо части ячейки, то среднее подписывается в их геометрическом центре. Пограничные точки учитываются в обоих соседних окнах. Затем, задавшись сечением, по отметкам средних строят изолинии. В результате получают сглаженную поверхность, характеризующую основные изменения изображаемого показателя.

Этот метод широко используется при построении изолиний по данным массовых замеров, определений, проб изучаемых свойств залежей, характеризующихся своей изменчивостью.

Косвенный метод применяют тогда, когда искомая поверхность является функцией некоторой данной в изолиниях поверхности или когда даны две поверхности своими изолиниями, а искомая поверхность является их производной и определяется соответствующими математическими действиями между данными поверхностями.

Построение изолиний с помощью ЭВМ и графопостроителя. На ЭВМ может быть реализован любой из перечисленных выше методов. На рис. 2.17 представлена укрупненная блок-схема алгоритма построения изолиний на ЭВМ методом многогранника по треугольной сети разбиения.

Исходными данными являются: координаты x, y, z точек поверхности, координаты границ области построения, координаты инвариантных линий, коэффициент анизотропии (изменчивости), углы, образуемые главными направлениями анизотропии с координатными осями.

Реализация этого метода состоит из следующих процедур.

1. Аппроксимация топографической поверхности многогранником (построение сети непересекающихся треугольников с вершинами в характерных точках поверхности с учетом инвариантных линий и анизотропии).

2. Определение координат x и y пересечения горизонталей с ребрами многогранника.

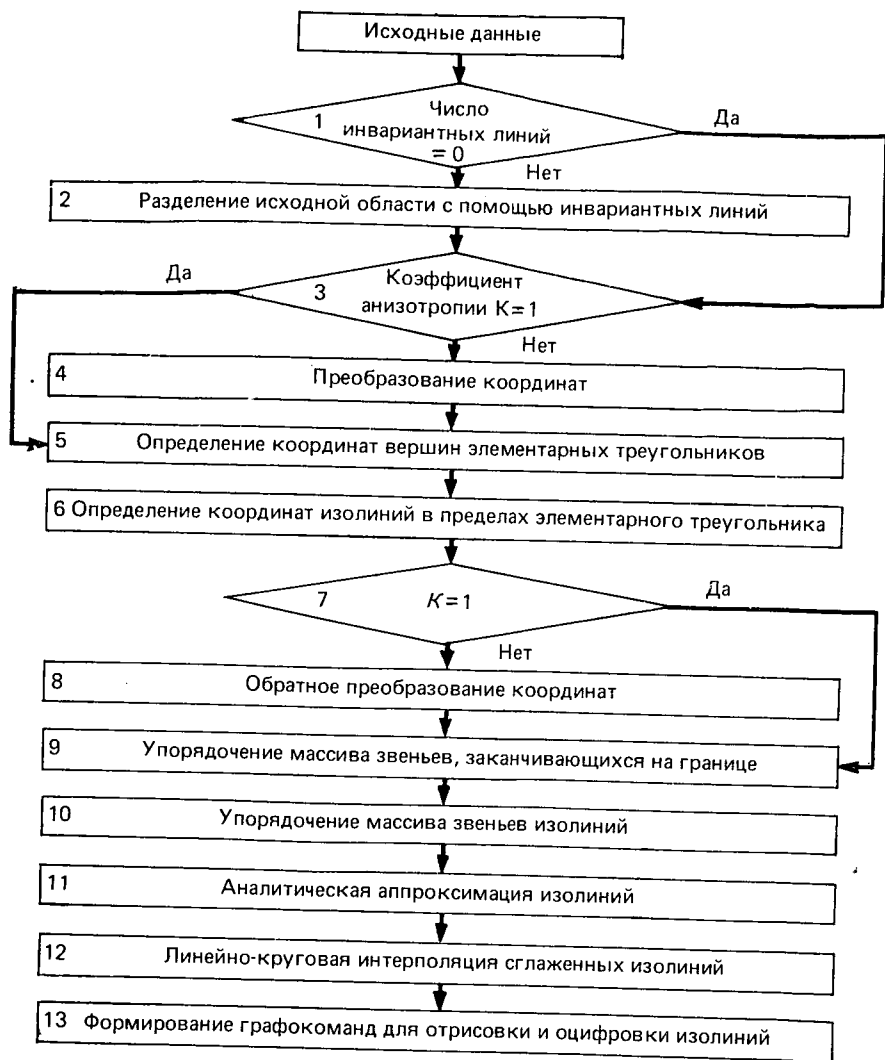


РИС. 2.17. Блок-схема алгоритма построения плана изолиний по методу многогранника

3. Интерполяция и построение горизонталей плавными кривыми.

На рис. 2.18 представлен план многогранника из треугольников и построенных изолиний поверхности.

Различают изолинии разомкнутые, имеющие начало и конец на контуре, и замкнутые внутри контура. Формирование разомкнутых изолиний с отметкой z начинается с нахождения на контуре всех точек, принадлежащих этим изолиниям (точки а,

ж, з, и, рис. 2.18). Затем в результате перебора всех сторон треугольников внутри контура для заданного уровня z формируются массивы звеньев горизонталей в виде ломаных линий (а—б, б—в, в—г, и т. д.).

При формировании замкнутой изолинии за начало принимается одна из сформированных пар (например, а'—б'). К ней пристыковывается следующая пара б'—в' с общей точкой б' и т. д. до совпадения точки а' последней пары к'—а' с начальной точкой а'.

Ломаные линии с помощью сплайн-интерполяции вычерчиваются плавными кривыми.

Произвольный выбор высоты сечения топографических поверхностей для горно-геометрических графиков является нередко причиной нагромождения изолиний, увеличения затрат труда на их построение и главное, создает ложное представление о высокой точности графиков, или, наоборот, приводит к устранению деталей топографической функции, существенных при решении практических задач.

При выборе высоты сечения поверхностей невидимых или условных необходимо учитывать, что положение точек, по которым строят поверхность, является случайным по отношению к характерным точкам действительной или условной поверхности изучаемого показателя; что отметки точек или значения показателя в точках определяются с ошибками, которые иногда имеют значительные величины. Поэтому при построении изолиний выбор высоты сечения подчиняют следующим условиям:

высота сечения должна быть больше погрешности определения отметок точек изображаемой поверхности;

расстояние между изолиниями на плане должно быть таким, чтобы были обеспечены наглядность и удобочитаемость графика, а также удобство решать по графику практические задачи;

высота сечения топографических поверхностей при изображении качественных показателей должна быть увязана с пределами кондиции, чтобы изолинии соответствовали точности исходных данных и заданным границам групп кондиции.

В основу выбора сечения топографических поверхностей должно быть положено требование соответствия степени изучения топографической функции и точности ее изображения.

При построении плана в изолиниях размещения некоторого показателя месторождения выделяют три случая.

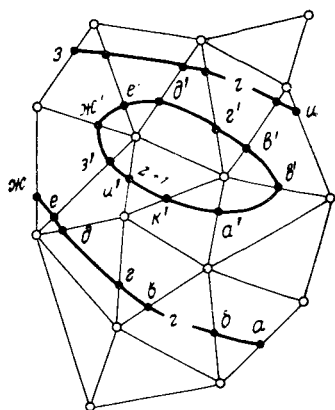


РИС. 2.18. План поверхности в изолиниях, автоматически построенный на графопостроителе

ТАБЛИЦА 2.1

Средний угол падения, градус	Высота сечения (м) при масштабах		
	1 : 2000	1 : 5000	1 : 10 000
10	5	10	20
20	10	20	25
30	10	25	50
40	20	50	50
50	20	50	100
60	50	100	200

I. Разведочная сеть достаточно полно выявляет основные закономерности размещения показателя в пространстве, т. е. в его размещении преобладает закономерная изменчивость. Наблюдаемая случайная изменчивость существенно ниже предельно допустимых ошибок определения показателя. О таком соотношении случайной и закономерной изменчивости (см. гл. 6.2) можно судить по величине коэффициента автокорреляции между значениями показателя в смежных точках, который будет близок к единице. В этом случае высоту сечения изолиний $h(m)$ выбирают исходя из масштаба плана, требуемой детальности в изображении показателя по формуле Г. И. Вилекова:

$$h = aN \operatorname{tg} \delta / 1000,$$

где a — минимальное расстояние между изолиниями, мм (для выдержанных пластов $a = 10$ мм, для невыдержанных — 5 мм); N — знаменатель численного масштаба плана; δ — угол падения залежи, принимается или средний по залежи, или по табл. 2.1.

II. Мера случайности (неопределенности) значительно превосходит наблюдаемую изменчивость. Построение плана в изолиниях в этом случае неправомерно, так как система изолиний показателя призвана графически отобразить пространственный тренд, а он еще не вскрыт разведочной сетью. Необходимо дальнейшее изучение размещения показателя в пространстве (сгущение разведочной сети).

III. Мера случайности (неопределенности) сопоставима со скрытой закономерной изменчивостью. В этом случае изолинии строить правомерно, но их сечение должно соизмеряться с мерой случайности, присущей данному этапу разведки и удовлетворять неравенству

$$h \geq t_p \sigma_{сл}, \quad (2.2)$$

где t_p — квантиль закона распределения ошибок изучаемого показателя, взятый при достаточно высоком доверительном

уровне p (в условиях нормального распределения при $p=0,95$, $t_p=2$); $\sigma_{сл}$ — мера случайности (неопределенности) в размещении параметра на данном этапе разведки

$$\sigma_{сл} = \pm \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum \Delta_i'^2},$$

Δ_i' — первые разности показателей в i и $(i+1)$ точках; n — число точек.

Изолинии с сечением, рассчитанным по формуле (2.2) при $p=0,95$, на 95 % будут отражать общую закономерность размещения свойств и лишь на 5 % случайную. При таком сечении в 5 % случаев допускается смещение изолиний более, чем на целое заложение.

При построении изолиний следует иметь в виду, что изолинии — замкнутые кривые. Если в пределах плана они непосредственно не замыкаются и своими концами упираются в контур участка или плана, то их замыкание происходит по контуру плана или участка со стороны больших отметок поверхности. Изолинии одной и той же топографической поверхности не пересекаются. В отдельных частных случаях при изображении мелкопочной поверхности секущие плоскости на некоторых участках могут касаться этой поверхности, а затем пересекать ее. В таких случаях одноименные изолинии на плане могут на этих участках сливаться в одну кривую, а затем расходиться.

Если на отдельных участках по одним и тем же данным возможно построить несколько вариантов изолиний, т. е. разные поверхности, например хребет, долину или седловину (рис. 2.19), то это означает, что данных для однозначного решения на этом участке недостаточно. Необходимы или дополнительные сведения о точках в ближайшем окружении, или увязка изолиний данного показателя с характером изменения других, связанных с первым определенной зависимостью.

На рис. 2.19 показано, как три возможных варианта поверхности, построенные по одним и тем же данным (рис. 2.19, а), становятся определенными при учете значений показателя в соседних точках (рис. 2.19, б).

Кроме того, при интерпретации характера размещения геологических показателей по изолиниям на плане необходимо обращать внимание на равномерность расположения скважин или точек наблюдения. Неравномерное расположение на плане исходных для построения изолиний точек приводит к различным уровням значений разных участков залежи.

На участках с более густой сетью разведочных точек изолинии чаще всего более извилисты, изменчивы, чем на участках с редкой сетью, когда линейное интерполирование производится между более удаленными точками. Более плавный характер изолиний на таких участках из-за редкой сети может быть неверно интерпретирован относительно равномерным измене-

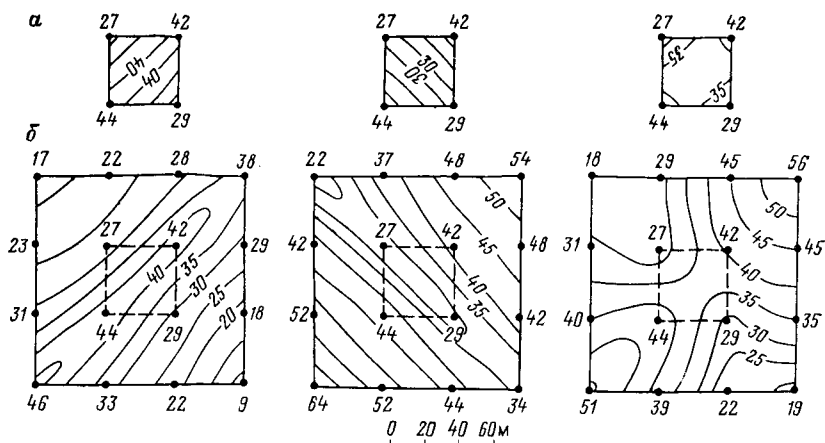


РИС. 2.19. Возможные положения изолиний поверхности: при недостаточном числе точек (а) и определенное при учете значений в соседних точках (б)

нием изучаемого показателя. Поэтому для устранения этого недостатка целесообразно на планах с изолиниями сохранять точки, по данным определения в которых построены изолинии.

Взаимное положение поверхности с точкой, прямой, плоскостью и поверхностью. Точка лежит на поверхности, если ее отметка совпадает с отметкой поверхности у этой точки; в противном случае точка лежит выше или ниже поверхности на расстоянии по вертикали, равном разности отметок данной точки и поверхности у проекции точки.

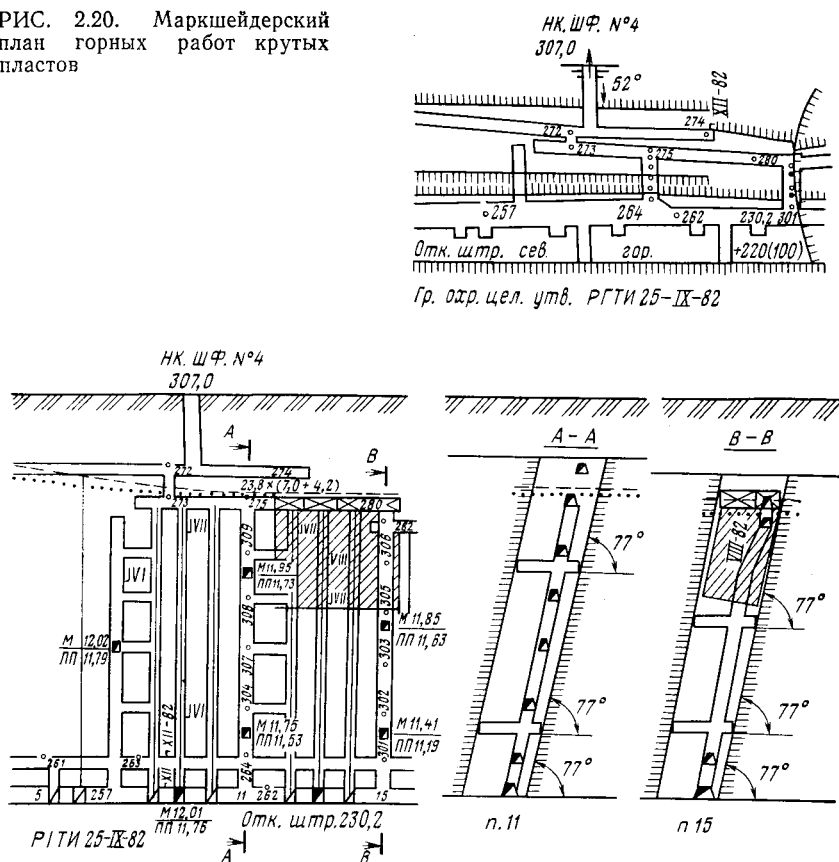
Прямая с поверхностью пересекается в точках с отметками, общими для прямой и поверхности. Кривая линия лежит на поверхности, если все точки кривой лежат на поверхности.

Если линия на поверхности проходит по нормали к изолиниям, то она называется линией наибольшего ската.

Линия пересечения горизонтальной плоскости с поверхностью на плане является горизонтальной поверхностью, имеющей отметку, равную отметке горизонтальной плоскости. Линия пересечения вертикальной (или нормальной) к плоскости проекции) плоскости с поверхностью называется профилем. На плане линия профиля и проекция секущей плоскости сливаются в прямую.

Наклонная плоскость пересекается с поверхностью по линии, которая проходит через точки пересечения одноименных изолиний поверхности и плоскости. Линия пересечения двух поверхностей на плане проходит через точки пересечения одноименных изолиний. Если изолинии поверхностей не пересекаются, то линию пересечения определяют с помощью профилей по нормали к озолиниям поверхности.

РИС. 2.20. Маркшейдерский план горных работ крутых пластов



У параллельных поверхностей изолинии на плане параллельны.

Проекция на наклонную и вертикальную плоскость. При построении изображений в проекции на наклонную плоскость угол наклона последней принимают обычно равным среднему углу падения залежи, а простирание параллельно среднему простиранию залежи. Часто за плоскость проекции принимают плоскую поверхность почвы залежи. Такие графики называют планами в плоскости пласта (залежи).

Если поверхность почвы пласта изогнута по простиранию или по падению или одновременно по обоим направлениям и при этом протяженность горизонтальных и наклонных горных выработок, пройденных по почве залежи, изображают в масштабе без искажения, то в этом случае на чертеже получают изображения горных выработок и показателей залежи в виде развертки поверхности почвы залежи в плоскость.

Если средние элементы залегания отдельных участков отличаются друг от друга на величину более 20°, то для каждого

участка отдельно выбирают свою наклонную плоскость проекции, на которой блок по простирацию и падению изображают в масштабе без искажения.

Изображения в проекции на наклонную плоскость удобны при составлении перспективных планов развития горных работ, так как по ним непосредственно получают необходимые размеры, не прибегая к различным вычислениям и вспомогательным построениям. Особенно они удобны при разработке наклонных залежей, мощность которых полностью вскрывается забоем подготовительных и очистных выработок.

На шахтах и рудниках, разрабатывающих крутопадающие залежи, маркшейдерские планы горных работ составляют по горизонтам и дополняют их изображениями горных выработок данного горизонта в проекции на вертикальную плоскость и разрезами вкрест простираения залежи. Изображения на плане и вертикальной плоскости проекции часто выполняют на одном планшете. При этом вертикальную проекцию располагают относительно плана так, чтобы изображенные на них одноименные точки находились в одной вертикальной плоскости, перпендикулярной к плоскости вертикальной проекции, что создает наглядное представление о положении этих выработок в пространстве (рис. 2.20).

Построение проекций на наклонную и вертикальную плоскости производят аналитическим, графическим и графоаналитическим способами.

§ 3. Аффинные проекции

Построение наглядных изображений в аффинных проекциях основано на аффинном преобразовании фигур, которое заключается в параллельном проектировании плоскости вместе с изображенной на ней фигурой на новую плоскость в новом направлении.

На рис. 2.21 в предметной плоскости H_0 расположена фигура 1,2. Пучком прямых, параллельных направлению проектирования S , каждая точка этой фигуры проектируется на картинную плоскость P , расположенную под углом Ψ к плоскости H_0 . На плоскости P образуется новая фигура $1', 2'$. Несмотря на различие этих фигур в результате искажения при параллельном проектировании они обладают математическим родством. Между точками плоскостей H_0 и P параллельным проектированием устанавливается взаимно-однозначное соответствие, называемое родственным, или аффинным, прямая XX — линия пересечения плоскостей H и P_0 — осью родства, точки A и A' и т. д. — родственными точками.

Величина и форма фигуры зависят от величины и формы оригинала, а также от направления проектирования S и угла Ψ между предметной и картинной плоскостями.

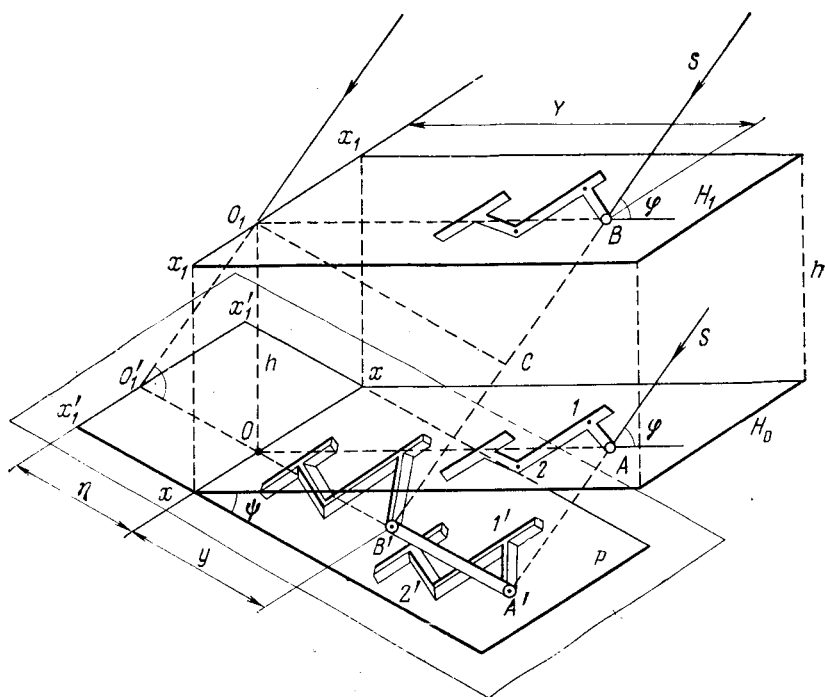


РИС. 2.21. Схема аффинного проектирования

Различают косоугольное и ортогональное аффинное проектирование. При ортогональном проектировании направление проектирования составляет прямой угол с картинной плоскостью P и осью родства. С предметной плоскостью направление проектирования составляет угол $\varphi = 90^\circ - \psi$.

В дальнейшем будем рассматривать ортогональное проектирование. Здесь более просто строить аффинные изображения. Значительно проще выражается и зависимость между прямоугольными координатами предметной и картинной плоскостей; выбором же параметров проектирования может быть получена и необходимая наглядность изображения.

Аффинное соответствие обладает следующими свойствами.

1. Две родственные друг другу прямые или пересекаются в точке, лежащей на оси родства, или параллельны оси.
2. Прямые предметной плоскости, параллельные оси родства, на картинной плоскости изображаются параллельно оси родства без искажения.

3. Отношение расстояний любой пары родственных точек от оси родства для заданных условий проектирования есть величина постоянная, называемая коэффициентом преобразования q .

Из прямоугольного треугольника AOA' для произвольной пары родственных точек, например A и A' , имеем:

$$q = A'O/AO = \sin \varphi; \quad \text{откуда} \quad A'O = AO \sin \varphi;$$

или $y_a = Y_a \sin \varphi.$ (2.3)

4. Ординаты родственных точек (например, B и B_1 верхнего горизонта H_1 и картинной плоскости P) относительно оси родства XX находятся в следующей зависимости.

Из прямоугольного треугольника BO_1C имеем:

$$O_1C = O_1B \sin \varphi, \quad \text{но}$$

$$O_1C = O_1'O + OB' = \eta + y_b.$$

Из прямоугольного треугольника OO_1O_1' имеем $O_1'O = h \cos \varphi$, или

$$\eta = h \cos \varphi, \quad (2.4)$$

или окончательно

$$y_b = Y_b \sin \varphi - h \cos \varphi. \quad (2.5)$$

По этой формуле определяется аффинная координата у любой точки по ординате Y (от оси родства) родственной ей точки исходного плана, направлению проектирования (угол φ) и разности отметок данной точки и оси родства (h).

Из формулы вытекает, что для данного горизонта H_1 все ординаты точек на картинной плоскости относительно оси родства уменьшаются на постоянную величину η . На эту величину как бы сдвигаются аффинные проекции одного горизонта относительно другого.

Способы построения изображения. Аналитический способ заключается в том, что на первоначальном плане выбирают оси координат X и Y , относительно которых измеряют координаты характерных точек объекта.

В зависимости от угла φ и масштаба плана по формулам (2.3) и (2.4) вычисляют аффинные координаты этих точек, наносят их на отдельный план и по ним строят наглядное изображение. Этот способ трудоемок и применяется лишь при построении опорных или контрольных точек.

При графоаналитическом способе изображение выполняется на восковке или чертежной бумаге с помощью светокопировального стола.

На исходном плане (рис. 2.22) проводят ось родства (через одну из точек плана O) и направление проектирования. Если объект изображен на нескольких планах, то ось родства на всех планах проводят через точку с одними и теми же координатами X , Y под одним и тем же дирекционным углом. На план накладывают восковку, проводят ось родства и начальную точку O .

Из характерных точек объекта верхнего горизонта, например точек ШЗ, 1, 2 — квершлага и штрека гор. — 20 м, опус-

РИС. 2.22. План горных выработок и ось родства

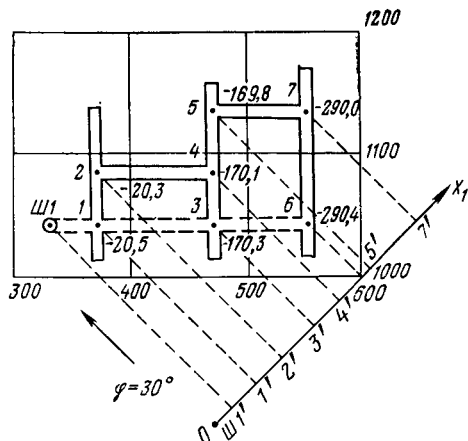
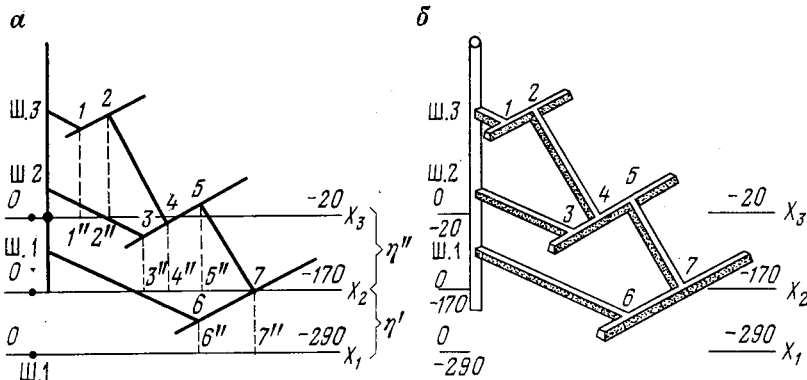


РИС. 2.23. Последовательность построения изображения горных выработок в аффинной проекции



кают перпендикуляры на ось родства, измеряют их длины $1'1$, $2'2$ и т. д. и умножают их на $\sin \varphi$. На восковке от оси родства X_3X_3 (рис. 2.23, а) по перпендикулярам откладывают полученные отрезки $1''-1, 2''-2$. Соединяя концы перпендикуляров прямыми ($ШЗ-1$; $1-2$), получают аффинное изображение осей выработок верхнего горизонта. Затем с осью родства плана совмещают условную ось родства нижнего горизонта — 170 м (X_2X_2). При этом расстояние между осями в масштабе чертежа равно $\eta'' = h \cos \varphi$.

Из характерных точек 3, 4, 5, Ш 2 осей выработок этого горизонта опускают перпендикуляры на ось родства плана (и совмещенную с ней ось X_2X_2), измеряют длины перпендикуляров $3'3$, $4'4$, $5'5$ и умножают их на $\sin \varphi$. Полученные отрезки $3''3$, $4''4$, $5''5$ и т. д. откладывают от оси родства и через их концы проводят аффинные проекции осей выработок второго горизонта. Аналогично поступают с построением точек нижнего горизонта — 290 м, проведя предварительно на восковке ось род-

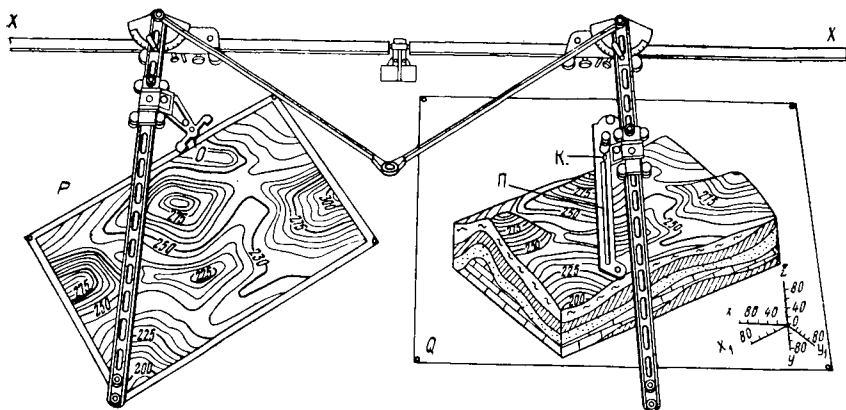


РИС. 2.24. Универсальный аффинограф УА-3

ства X_1X_1 этого горизонта на расстоянии $\eta' = h \cos \varphi$ от оси X_2X_2 где h — разность отметок горизонтов — $290 \text{ м} - 170 \text{ м}$.

Соответствующие точки наклонных и вертикальных выработок Ш1 и Ш3, 2 и 4, 5 и 7 соединяют прямыми.

На рис. 2.23, а дана аффинная проекция осей горных выработок трех горизонтов, по которым дорисовкой дается объемное их изображение (рис. 2.23, б).

Механический способ построения изображений основан на использовании специальных приборов-аффинографов, которые значительно облегчают и ускоряют трудоемкий процесс графических построений. Советскими изобретателями разработан ряд оригинальных в конструктивном отношении приборов, довольно просто разрешающих идею аффинного проектирования.

На рис. 2.24 представлена конструкция универсального аффинографа УАП-3, предложенная И. Д. Гольдиным. Аффинограф УАП-3 состоит из М-образной рамы, которая перемещается по оси $X-X$. Вдоль боковых реек рамы перемещаются ползунки с обводным штифтом O и пишущим карандашом K .

При помощи трансмиссии движения ползунков между собой взаимосвязано. В приборе условие (2.3) осуществляется с помощью передаточного отношения трансмиссии, численно равного $\sin \varphi$.

В практике чаще всего угол φ принимают равным 30, 45, 60°. Поэтому можно ограничиться передаточными отношениями трансмиссии, примерно равными соответственно 0,5; 0,7; 0,8.

Условие, по которому линии, параллельные оси родства, изображались бы на аффинном графике без искажения, выполняется постоянством расстояния между параллельными рейками рамы, по которым двигаются ползунки с обводным штифтом и пишущим карандашом. Перемещая штифт O параллельные оси $X-X$ на некоторый отрезок, передвинется вся

рама, а карандаш K опишет параллельный этой оси отрезок такой же величины.

Обведя штифтом O контур на плане P , относящийся к одному горизонту, пишущий карандаш на листе Q опишет фигуру, являющуюся аффинной проекцией контура данного горизонта. Аналогично поступают с изображением контуров других горизонтов, совместив карандаш в прорези Π с штрихом, соответствующим отметке горизонта.

Наклонные линии, соединяющие смежные горизонты (например, точки пересечения изолиний с рамкой плана, наклонные горные выработки), а также вертикальные линии (выработки) на аффинном графике дорисовываются путем соединения соответствующих точек соседних горизонтов.

После построения на аффинном графике основных контурных или осевых линий изображаемого объекта производят оформление и дорисовку деталей этого объекта.

При дорисовках необходимо тщательно и правильно вычерчивать узлы сопряжений выработок. Неправильно вычерченные сопряжения отдельных узлов резко снижают пространственное восприятие взаимного расположения отдельных элементов объекта.

На рис. 2.25 приведена последовательность дорисовки горных выработок, которая заключается главным образом в изображении граней выработок и в правильном изображении мест перекрытия последних.

На наглядность изображения в значительной мере влияет выбор направления проектирования. Это направление определяется дирекционным углом проектирующих лучей (или оси родства) и углом наклона проектирующих лучей к горизонту.

Направление проектирования на плане выбирают с той стороны объекта, которая представляет наибольший интерес. Направление не должно быть параллельным контурным линиям участка плана, так как при этом боковые грани блока изображаются прямыми линиями, что ухудшает наглядность.

При изображении подземных горных выработок форму участка плана выбирают в виде прямоугольника со сторонами, параллельными основным выработкам.

Измерение горизонтальных угловых и линейных элементов объекта по его аффинному изображению наиболее просто производить с помощью так называемого масштабного эллипса.

Масштабный эллипс является аффинной проекцией окружности на исходном плане с радиусом, равным единице масштаба.

Масштабный эллипс, определяющий изменение масштаба горизонтальных линий и углов по разным направлениям, вычерчивают одновременно с аффинным преобразованием погоризонтального плана или отдельно на кальке. Для каждого случая проектирования строят свой масштабный эллипс.

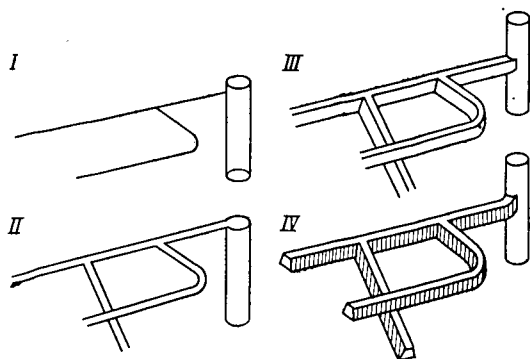


РИС. 2.25. Дорисовка горных выработок:

I—IV — последовательность

Построение масштабного эллипса и пользование им сводится к следующему.

На рис. 2.26 на горизонтальном плане дана фигура абвгд, отмечено направление проектирования с углом $\varphi = 30^\circ$, нанесена ось родства X_1X_1 , дирекционный угол направления которой оказался равным $\alpha = 59^\circ$.

Из некоторой точки O оси родства как из центра радиусом, равным единице масштаба плана, проводят окружность или, в нашем примере, полуокружность и радиусы-векторы. Один из них OC проводят параллельно оси абсцисс плана, остальные через определенный угловой интервал от него — в нашем случае через 15° . Концы векторов оцифровывают значениями соответствующих дирекционных углов, которые радиусы-векторы составляют с осью абсцисс плана и вектором OC . Из чертежа видно, что для определения дирекционного угла линии на исходном плане, например аб, достаточно эту линию параллельно самой себе перенести в центр O и по оцифрованной полуокружности отсчитать дирекционный угол (аб), равный 6° .

Для линии дг дирекционный угол равен, очевидно, $270 - 180 = 90^\circ$.

Величиной радиуса-вектора, как единиц измерения, можно определять непосредственно истинные длины отрезков фигуры на плане в любом направлении.

На рис. 2.26, б графоаналитическим методом построена аффинная проекция данной фигуры и при одних и тех же условиях аффинного проектирования по точкам пересечения радиусов-векторов с дугой окружности построена аффинная проекция полуокружности в виде полуэллипса. Соединяя центр эллипса с соответствующими точками кривой, получают на эллипсе радиусы-векторы в аффинной проекции, которые оцифровывают согласно оригиналу.

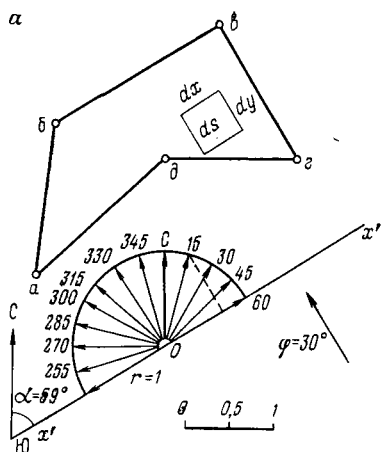
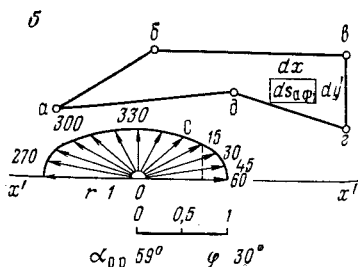


РИС. 2.26. Построение масштабного полуэллипса для непосредственного измерения углов и длин по аффинной проекции горизонтального плана



Приведенная ориентированная оцифровка радиусов-векторов масштабного эллипса (полуэллипса) с учетом дирекционного угла оси родства позволяет с помощью эллипса непосредственно по аффинному изображению определять истинные значения дирекционных углов отдельных направлений и горизонтальных углов между двумя любыми направлениями.

Разность непосредственно измеренных с помощью эллипса дирекционных углов двух направлений даст величину горизонтального угла между этими направлениями.

Из рис. 2.26 видно, что коэффициент искажения радиуса полуокружности в аффинной проекции изменяется от единицы, когда радиус параллелен оси родства, до единицы, умноженной на $\sin \varphi$, когда он перпендикулярен ей. Поэтому по аффинному плану истинные длины отрезков l с графической точностью масштаба измеряют такими радиусами-векторами r , которые параллельны данному отрезку.

$$l = nr.$$

Например, истинная длина линии гд по ее аффинному изображению, измеряемая параллельным ей радиусом-вектором $0-270^\circ$, равна

$$l = nr_{270} = 1,45 \cdot 1 \quad (\text{при } r = r_{\alpha} = 1).$$

Для удобства измерения длин отрезков можно построить на кальке палетку с концентрически расположенными эллипсами, у которых бóльшая полуось и значение каждого эллипса увеличиваются на единицу в масштабе.

Перед пользованием такой палеткой производят оцифровку радиусов-векторов по ходу часовой стрелки от начального. За начальный принимают тот радиус-вектор, с которым ось родства (или бóльшая ось эллипса) составляет угол, равный дирекционному углу оси родства на исходном плане.

На аффинном плане палетку прикладывают центром к одному концу измеряемого отрезка так, чтобы большая ось эллипса была параллельна оси родства. По совпадающему с отрезком радиусу-вектору определяют его истинный дирекционный угол. По тому, на каком эллипсе лежит второй конец отрезка, определяют его длину.

Аналитический метод измерения горизонтальных угловых и линейных элементов является громоздким, а получаемая точность не вызывается необходимостью, если учесть, что главное назначение аффинных изображений — наглядность.

Определение площадей. На ортогональной аффинной проекции фигуры (рис. 2.26, б) возьмем элементарную площадку $dS_{\text{аф}} = dx \times dy'$. Заменив $dy' = dy \sin \varphi$ и произведя интегрирование с учетом масштаба аффинной проекции $1 : M_x$, получим

$$S_{\text{ист}} = \frac{M_x^2}{\sin \varphi} S_{\text{аф}},$$

т. е. истинная площадь фигуры равна площади ее в аффинной проекции, умноженной на постоянную величину для данной проекции.

§ 4. Векторные проекции

Если исходными графиками изображаемого объекта являются параллельные сечения, представленные в виде вертикальных сечений по разведочным линиям, или погоризонтные планы горных выработок и горизонтальные геологические сечения, или изосечения (гипсометрические планы) поверхностей тел сложной формы, то построение изображения объекта, отвечающего условиям наглядности, метричности и динамичности наиболее просто производится с помощью векторных проекций.

Наглядность плана в векторных проекциях значительно зависит от удачного выбора направления и масштаба векторов. Чем меньше векторы совпадают с направлением изображаемых линий объекта, тем больше наглядность изображения. На практике это всегда можно учесть, так как система горных выработок всегда имеет несколько преобладающих направлений соответственно форме залежи.

В основе метода приняты параллельные векторы, т. е. отрезки определенной величины и направления. Каждой точке пространства может соответствовать система векторов любых длин и направлений (рис. 2.27).

Если для каждой точки A , B и т. д. длины параллельных векторов принять пропорциональными кратчайшему расстоянию этих точек от плоскости проекции H , то ортогональная проекция любых параллельных векторов (кроме нормальных к плоскости проекции), например, AA' и BB' , AA'' и BB'' и т. д. на плоскости H , даст изображение данных точек про-

странства с сохранением характера их взаимного расположения в натуре.

Это является преимуществом в ряде случаев перед ортогональными проекциями и не требуется составления двух отдельных чертежей — плана и профиля. Взаимное пространственное расположение точек на плане определяется параллельными векторами aa' и bb' или aa'' и bb'' и т. д., которые, являясь проекциями пространственных векторов, сохраняют пропорциональность расстояний Aa , Bb точек A и B от плоскости проекции H .

Таким образом, между точками пространства и их изображением на плоскости параллельными векторами устанавливается взаимное однозначное соответствие. Изображениям в векторных проекциях присущи свойства метода параллельного проектирования.

Практически изображение методом векторных проекций осуществляется следующим образом. В пространстве выбирается некоторая горизонтальная плоскость, мысленно совмещаемая с плоскостью листа. Эта плоскость принимается за нулевую, ибо все векторы ее точек равны нулю.

К каждой характерной точке объекта на плане проводят векторы, которые определяют своей величиной расстояния в принятом масштабе точек от нулевого горизонта. Направление векторов в плоскости чертежа может быть любым. В каждом конкретном случае его выбирают с учетом получения наибольшей наглядности изображения. Таким образом, ортогональная проекция данной в пространстве наклонной AB в векторной проекции изображается двумя прямыми, проходящими одна — через начала, а другая через концы векторов. По взаимному расположению прямых можно судить о положении (угле наклона) прямой относительно нулевого горизонта. Точка P_1 (или P_2) пересечения прямых, называемая центром подобия, лежит на нулевом горизонте.

Расстояние любой точки прямой от нулевого горизонта определяется величиной ее вектора, а направление его показывает, где находится эта точка — над нулевым горизонтом или под ним.

Прямая, параллельная нулевому горизонту, изображается двумя параллельными прямыми из-за равенства векторов всех ее точек.

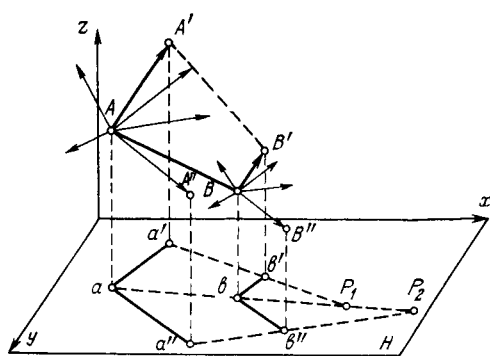


РИС. 2.27. Параллельные векторы точек A и B прямой в пространстве и на плане H

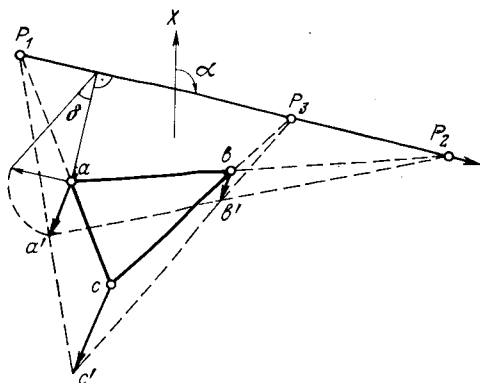


РИС. 2.28. Векторная проекция a' , b' , c' плоскости abc и определение элементов ее залегания

Прямая, перпендикулярная к нулевому горизонту (плоскости проекции), изображается двумя совмещенными векторами разной длины, но исходящими из одной точки.

Если векторы на плане совмещены друг с другом и совпадают с проекцией прямой, но исходят из разных точек, то такие векторы изображают наклонную прямую.

Плоскость. Если на плане из точек a , b , c , определяющих наклонную плоскость, провести три одинаково направленных вектора aa' , bb' , cc' , длины которых пропорциональны отметкам точек a , b , c , концы векторов соединить прямыми, то получим векторное изображение плоскости (рис. 2.28). Точки P_1 , P_2 , P_3 — центры подобия на основании теоремы Дезарга о гомологических треугольниках лежат на одной прямой, называемой осью подобия. Ось подобия — это линия пересечения данной плоскости abc с горизонтальной плоскостью (нулевым горизонтом). Она является одновременно линией простираения данной плоскости, азимут, или дирекционный угол α , который измеряется по плану. Для определения угла δ падения плоскости опускают перпендикуляр на ось подобия из любой точки, например, a . Соединив основание перпендикуляра A с концом повернутого вектора aa' параллельно оси подобия, получают истинную величину угла падения плоскости δ .

Вертикальная плоскость на плане изображается прямой, с которой сливаются проекции всех точек и прямых данной плоскости. Поэтому план горных выработок и показателей крутопадающих пластовых (жильных) залежей не является наглядным и удобоизмеряемым.

При построении плана в векторных проекциях этот недостаток исключается. На рис. 2.29 в плане с прямой $a_{40}b_{10}c_{15}$ совпадает проекция вертикальной плоскости V' , с прямой на плане сливаются проекции горизонталей плоскости V и всех точек объекта, расположенного в этой плоскости.

Если из точек $a_{40}b_{10}c_{15}$ плана, задавшись направлением, провести параллельные векторы длиной, пропорциональной отметкам этих точек, соединить концы векторов прямыми, получим векторное изображение плоскости V . Горизонталю этой плоскости в векторных проекциях изобразятся также парал-

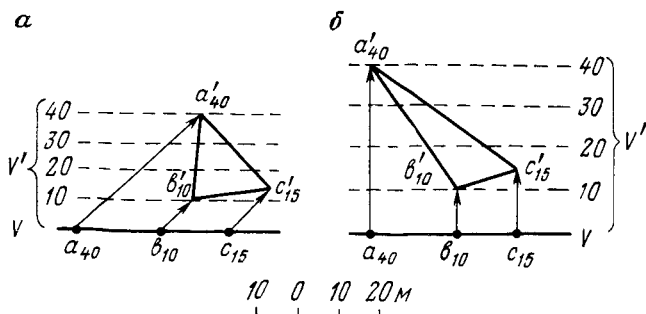


РИС. 2.29. План (V) и векторная проекция (V') вертикальной плоскости при косом (a) и нормальном (b) направлении векторов

лельными прямыми линиями ввиду равенства векторов точек каждой горизонтали.

Если принять направление векторов по нормали к линии простирания, совпадающей с линией $a_{40}b_{10}c_{15}$, масштаб векторов — равным масштабу плана, то построение векторной проекции вертикальной плоскости со всеми ее элементами равнозначно повороту плоскости V вокруг ее нулевой горизонтали до совмещения с горизонтальной плоскостью проекции.

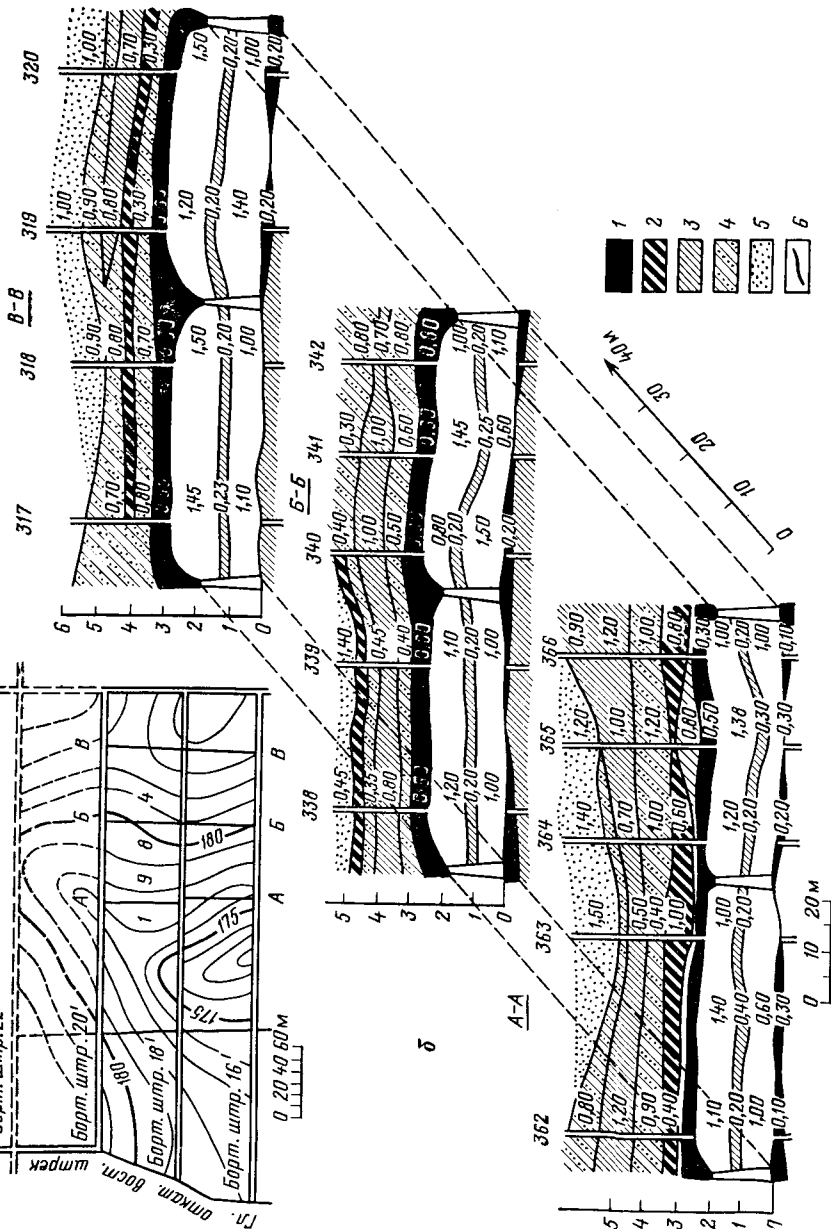
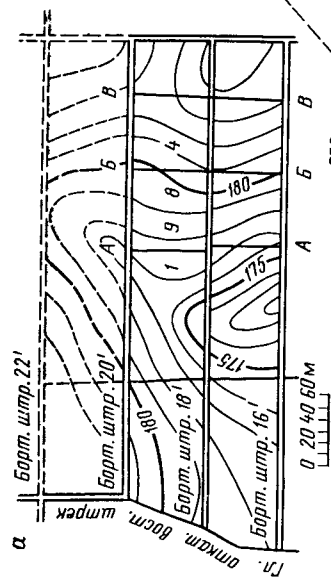
На таком графике углы между линиями изображаются без искажения, масштаб длины сохраняется по всем направлениям. Этим способом удобно пользоваться при изображении горных и разведочных выработок, а также различных показателей пластовых и жильных месторождений с вертикальным и крутым углами падения.

Построение наглядного изображения по его параллельным сечениям. Многие полезные ископаемые сложной формы разведуются параллельными разведочными линиями и графически представляются вертикальными геологическими разрезами по этим линиям. Общее представление о месторождении складывается в результате сопоставления и мысленной увязки разрезов. Наглядное изображение объекта в этом случае наиболее просто получить путем копирования разрезов без искажения, смещая их друг относительно друга по выбранному направлению на расстояние, пропорциональное расстоянию между разрезами в плане.

На рис. 2.30 дан план горных работ участка и серия вертикальных геологических разрезов в векторных проекциях. Для наглядности на боковых гранях достраивают при необходимости геологические структуры.

Изображение объекта, представленного горизонтальными плоскостями или сечениями, рассмотрим на следующем примере.

На рис. 2.31 в плане с числовыми отметками дана усеченная пирамида с параллельными нижним и верхним основани-



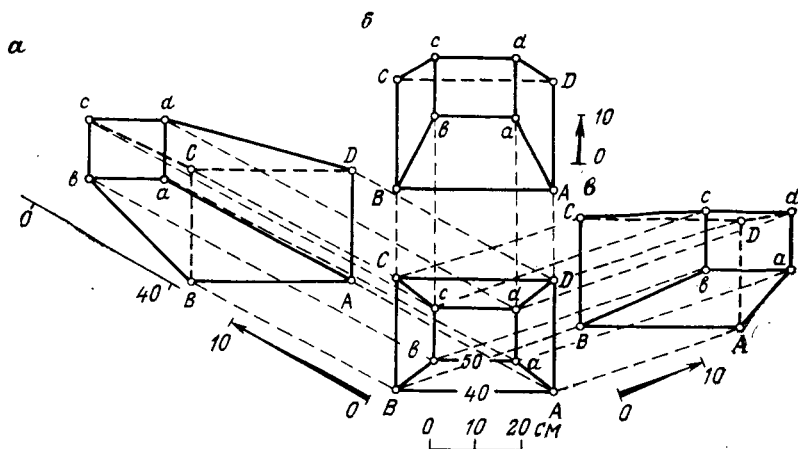


РИС. 2.31. План и векторные проекции усеченной пирамиды

ями. Рядом с планом представлены изображения этой пирамиды в векторных проекциях по трем разным направлениям проектирования с разными масштабами векторов.

Изображение пирамиды в векторных проекциях, как и любого объекта, может быть построено разными приемами. Один из них состоит в том, что из каждой характерной точки пирамиды A, B, C, D и a, b, c, d параллельно принятому направлению проектирования проводят векторы, длина которых в принятом масштабе вектора пропорциональна абсолютным или относительным отметкам этих точек. Соединяя концы соответствующих векторов прямыми, получают векторное изображение пирамиды.

Точки A, B, C, D и a, b, c, d находятся на параллельных основаниях. Имея соответственно одинаковые отметки, они изобразятся параллельными векторами равной величины. Следовательно, в данном случае построение изображения может быть выполнено более простым приемом.

На отдельном листе бумаги копируют вначале верхнее основание пирамиды (горизонт 50), затем лист перемещают по направлению вектора на величину разности отметок 50—40 в масштабе вектора и копируют нижнее основание — нижний горизонт 40. После этого производят дорисовку изображения: прямыми линиями соединяют соответствующие точки разных горизонтов; невидимые линии при этом отмечают пунктиром, а видимые — сплошными линиями. Для удобства построения на исходном плане проводят вектор проектирования, а на листе

РИС. 2.30. План горных выработок (а) и векторная проекция зарисовок лавы (б):

1 — уголь; 2 — углистый сланец; 3 — глина; 4 — песчано-глинистый сланец; 5 — песок; 6 — изогипсы почвы пласта

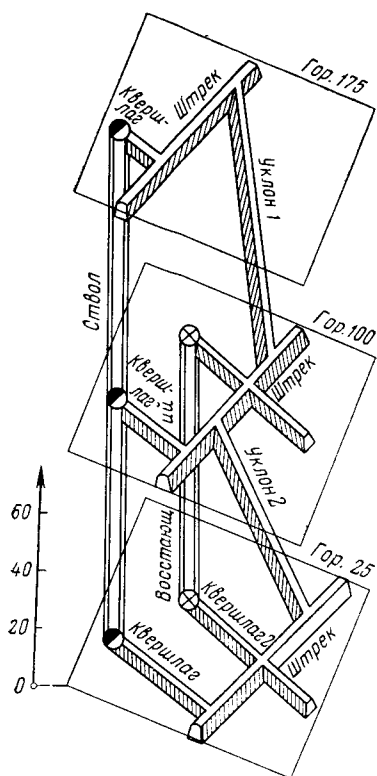


РИС. 2.32. Векторная проекция горных выработок

изолиниям на плане, а также горных выработок при наличии погоризонтных планов (рис. 2.32).

§ 5. Аксонометрические проекции

Аксонометрические проекции относятся к частным случаям параллельного проектирования. Слово аксонометрия означает осеизмерение. Оно наиболее точно выражает сущность метода, который заключается в том, что изображаемый объект относится сначала к системе трех взаимно перпендикулярных координатных осей, а затем параллельным пучком лучей проектируется вместе с координатными осями на плоскость проекции.

В зависимости от угла между направлением проектирования и плоскостью проекции различают прямоугольные и косоугольные аксонометрические проекции.

На рис. 2.33 пространственная точка A , отнесенная к системе прямоугольных координатных осей XYZ , вместе с осями

по вертикали — шкалу с делениями, пропорциональными разности отметок верхнего и нижнего оснований пирамиды в принятом масштабе векторов. Шкалу подписывают согласно отметкам горизонтов. Копирование всех элементов горизонта производят после совмещения штриха соответствующего горизонта с началом O вектора. Из рис. 2.31 видно, что наглядность получаемого изображения зависит от удачного выбора направления проектирования и масштаба вектора проектирования; и она тем больше, чем меньше совпадает направление изображаемых линий с направлением проектирования.

Масштаб вектора проектирования обычно принимают тот же, что и масштаб исходного плана. Однако в целях получения большей наглядности и уменьшения площади перекрытия нижнего горизонта верхним он может быть принят иным.

Аналогично строят наглядные изображения в векторных проекциях поверхностей топографического порядка по их

проектируется пучком параллельных лучей на плоскость аксонометрической проекции P . На этой плоскости получаем проекцию точки и аксонометрические координатные оси. Если на прямоугольных координатах отложить равные отрезки, то на аксонометрических осях они изобразятся с искажениями. Отношение аксонометрической, или искаженной, длины отрезка по осям к натуральной называется

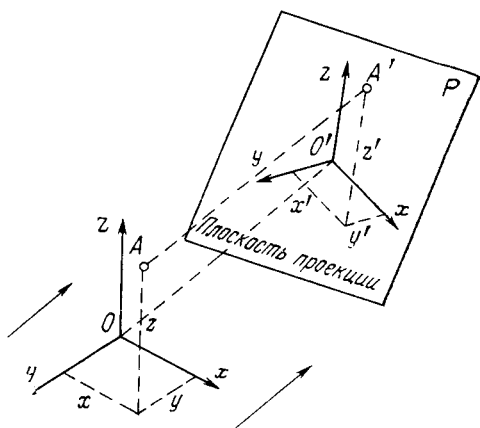


РИС. 2.33. Схема аксонометрического проектирования

коэффициентом или показателем искажения по осям и обозначается:

$$p = x'/x; \quad q = y'/y; \quad r = z'/z.$$

Величина показателей искажения изменяется от единицы, когда ось параллельна плоскости проекции, до нуля, когда она перпендикулярна ей.

В прямоугольной аксонометрической проекции имеет место следующая зависимость:

$$p^2 + q^2 + r^2 = 2.$$

Меняя направление проектирования и положение плоскости аксонометрических проекций, можно получить самые разнообразные направления аксонометрических осей и величины коэффициентов искажения по осям.

Согласно теореме Польке-Шварца, три отрезка x' , y' , z' произвольной длины, лежащие в одной плоскости и выходящие из одной точки O' под произвольными углами друг к другу, представляют собой параллельную проекцию трех равных отрезков x , y , z , отложенных на прямоугольных осях координат от начала O . Другими словами, для наглядного изображения объекта в аксонометрической проекции имеется широкий выбор направления осей и коэффициентов искажений. В аксонометрических проекциях все отрезки прямых в пространстве, параллельные какой-либо координатной оси, имеют одинаковые показатели искажения, между тем как по другим осям они могут быть различными.

Если коэффициенты искажения одинаковы по всем трем осям, то аксонометрическая проекция называется изометрической, если только по двум осям, — диметрической. При различных коэффициентах искажения по всем трем осям проекция называется триметрической.

В практике геолого-маркшейдерских работ чаще применяют именно эти виды аксонометрических проекций.

В диметрической проекции плоскость проекции берут параллельно координатной плоскости ZOY , т. е. двум координатным осям OZ и OY .

Ось OZ направляют по вертикали снизу вверх, а ось OY горизонтально. Угол между осями OX и OY берут равным 135° . Масштабы по осям OZ и OY берут без искажений, а по оси OX — в 2 раза меньше.

В изометрической проекции ось OZ принимают вертикальной, а оси OY и OX между собой и осью OZ составляют угол 120° , коэффициенты искажений по всем осям принимают одинаковыми и равными единице.

В триметрической проекции ось OZ направляют вертикально; ось OX — под углом 10° к горизонту; ось OY — под углом 45° к горизонту. Отрезки, параллельные оси OZ , проектируют без искажений, отрезки, параллельные оси OX — с искажением 0,9, а по оси OY — с искажением 0,5 размера соответствующих отрезков натуры или основного маркшейдерского плана, по которому составляют аксонометрическую проекцию объема.

Коэффициенты искажения по аксонометрическим осям, как правило, не должны быть больше единицы, иначе изображения технических форм приобретают неправильно искаженные формы. При изображении объектов горного дела от этого правила допускают отклонения.

Чтобы на блоках горных объектов различные горизонты и пласты не перекрывали друг друга и не затемняли тем самым характерных деталей объекта, искусственно раздвигают по высоте аксонометрические изображения отдельных горизонтов.

В результате получают более ясное и полное представление о взаимном расположении горных выработок и форме полезного ископаемого.

Такое «раздвигание» горизонтов равносильно применению показателя искажения вдоль оси OZ больше единицы.

Построение аксонометрических изображений выполняют координатным способом, с помощью вспомогательных сеток и механическим путем.

Выбор способа зависит от величины и сложности объекта изображения и исходных графических материалов.

Координатный способ заключается в построении координатной ломаной для каждой проектируемой точки пространства, отнесенной к исходной прямоугольной системе координат. Например, чтобы изобразить точку A по ее координатам $X=3$, $Y=2$, $Z=3$, от начала O по оси OX откладывают абсциссу точки, затем параллельно оси OY — ординату и далее параллельно оси OZ — аппликату этой точки (рис. 2.34, б).

Следует заметить, что одна аксонометрическая проекция, например, точки C , даже при наличии аксонометрических осей

и показателей искажения не определяет ее положения в пространстве. Для полного задания точки необходимо дополнительно иметь или проекцию этой точки на какую-либо аксонометрическую плоскость, т. е. иметь вторичную проекцию, или иметь у точки числовую отметку одной из координат.

Следовательно, аксонометрическое изображение будет обратимым, если оно дополнено вторичной проекцией или числовыми отметками.

Например, по аксонометрическому изображению точек A_3 и B_2 с числовыми отметками (рис. 2.34) вполне определяется их положение в пространстве.

Откладывая от точки A и B параллельно оси Z отрезки длиной в 3 и 2 единицы масштаба, получим проекцию точек на горизонтальной плоскости, в которой легко определить координаты и этих точек (рис. 2.34).

Для точки же C однозначного ответа получить нельзя, так как нельзя определить проекцию этой точки на плоскость XOY . Следовательно, относительно аксонометрических осей она может иметь различные координаты x , y и z .

Этот способ является самым распространенным при построениях аксонометрических проекций и их пополнении. Однако он имеет существенный недостаток, заключающийся в громоздкости построения.

Несколько отличным способом производят построение аксонометрической проекции, когда ось OX расположена горизонтально, а оси OY и OZ совпадают с одной вертикальной прямой.

Здесь абсциссы всех точек объекта переносят на аксонометрическую ось OX без искажения, а ординаты искажаются пропорционально выбранному коэффициенту искажения и откладываются параллельно оси OY . Таким образом строится аксонометрия плана, т. е. вторичная проекция предмета. Далее от вторичных проекций точек параллельно оси OZ вверх откладывают их высоты.

В отличие от обычных методов построения по аксонометрическим осям в отрыве от ортогонального чертежа, здесь устанавливается непосредственная проекционная связь между исходными планами и наглядным изображением такая же, как при аффинном преобразовании.

Горизонтальное положение аксонометрической оси OX совпадает с осью родства, а вертикальное положение OZ и OY с направлением аффинного преобразования. Этим облегчается выбор аксонометрических масштабов, так как $P=1$, $q=\sin \varphi$ (коэффициент преобразования), а r выбирается независимо.

Этот вид аксонометрии удобно выполнять методом аффин-

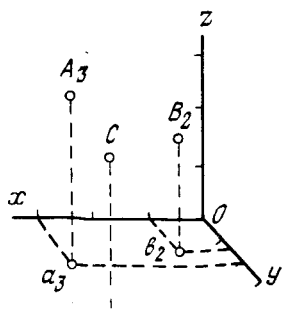


РИС. 2.34. Аксонометрические проекции точек

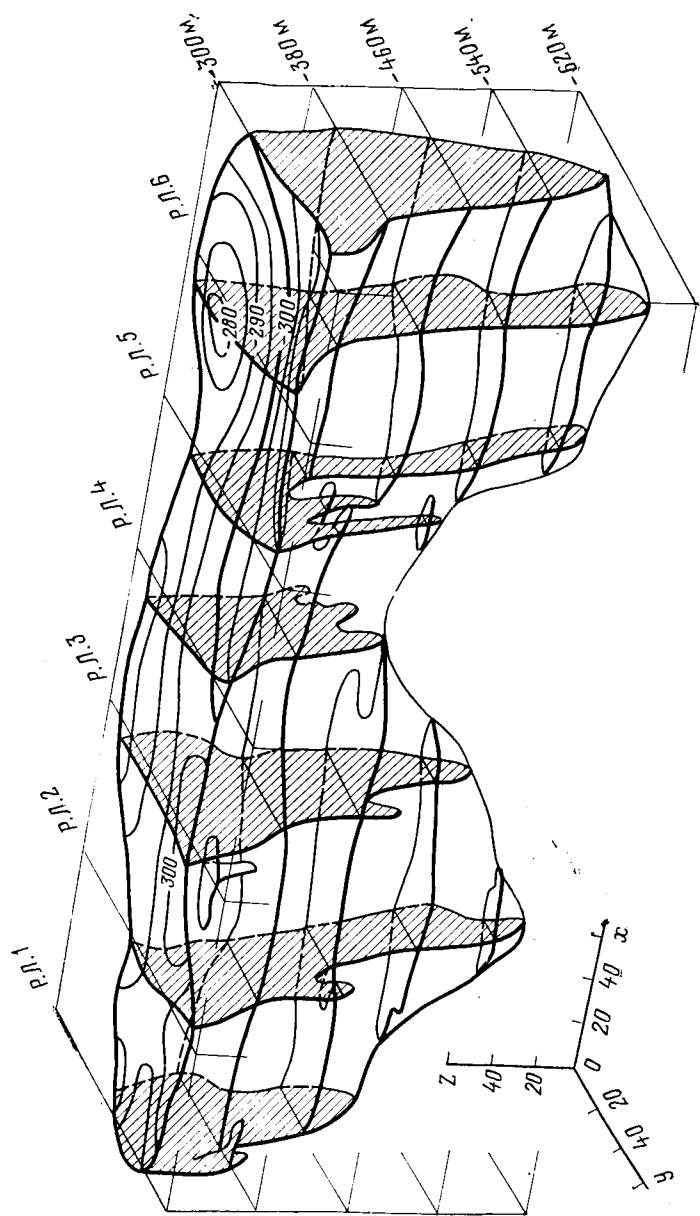


РИС. 2.35. Блок-диаграмма каркаса рудной залежи

ных преобразований. Его целесообразно применять в случаях, когда на плане изображаемого предмета нет четко выраженных взаимно перпендикулярных направлений (топографические поверхности, геологические структуры и пр.).

Способ вспомогательных сеток применяют тогда, когда исходными данными для составления аксонометрической проекции являются горизонтальные или вертикальные параллельные сечения (разрезы), или погоризонтные планы объекта в проекциях с числовыми отметками (рис. 2.35). Сущность способа заключается в следующем:

на сводном плане оконтуривают блок, предназначенный для изображения. В некоторой точке O с общими для всех горизонтов координатами x , y , независимо от геодезических координат плана, выбирают начало новых координат, направление координатных осей (X , Y , Z) и коэффициенты искажений по этим осям. Одну из осей (X или Y) располагают параллельно простиранию главных элементов объекта, вторую — в зависимости от принятого вида аксонометрической проекции. Параллельно осям на каждом горизонте наносят координатную сетку;

для каждого горизонта на кальке строят трансформированную аксонометрическую координатную сетку с учетом принятых направлений аксонометрических осей и коэффициентов искажений по ним.

Трансформированная сетка каждого горизонта может быть вычерчена и на одном сводном листе чертежной бумаги;

на каждый горизонт относительно сетки наносят контуры изображаемого объекта, используя при трансформировании размеров пропорциональный циркуль или специальную номограмму. Номограмма масштабов по осям состоит из горизонтальной линии, на которой от точки O отложены единицы масштаба, и наклонных к ней линий OX , OY , OZ , на которых от точки O отложены отрезки, соответствующие величинам коэффициентов искажений, соединенные между собой прямыми. Откладывая от точки O размер, взятый с плана, на горизонтальной линии, на наклонных линиях получают готовые измененные размеры;

кальки отдельных горизонтов монтируют, ориентируя их по координатным сеткам и смещая по вертикальной оси на принятую величину искажения. Если обнаруживается значительное перекрытие одного горизонта другим, последние раздвигают до получения более наглядного изображения.

Изображения с калек переносят на чертежную бумагу;

соединяют выработки смежных горизонтов, проводят недостающие линии для их объемного изображения.

Выработки отдельных горизонтов оттеняют, изображая различными цветами. У чертежа помещают масштабы по аксонометрическим осям.

Механический способ основан на использовании спе-

циальных приборов — аксонографов. С помощью аксонографов изображение строят по двум или трем ортогональным проекциям предмета. Если изображаемый объект задан планом в проекциях с числовыми отметками, то применение аксонографов или невозможно, или связано со значительными трудностями.

Поэтому аксонографы целесообразно применять для наглядного изображения машиностроительных и других деталей и узлов, заданных двумя или тремя ортогональными проекциями. Механизацию построения наглядных изображений по планам в проекциях с числовыми отметками проще осуществлять с помощью аффинографов. Интенсивно ведутся работы по автоматизации построения наглядных изображений с помощью ЭВМ и графопостроителей.

Определение истинных углов, длин и площадей. Длина отрезков, параллельных какой-либо аксонометрической оси, измеряется непосредственно в масштабе по этой оси. Длина отрезков, не параллельных осям, а также углы между отрезками в плоскостях аксонометрических осей вычисляют аналитически или проще — с помощью аксонометрического транспортира, получаемого для каждой координатной плоскости путем трансформирования окружности с радиусами-векторами, равными единице длины в масштабе исходного плана. Истинные площади фигур в координатных плоскостях с масштабами по осям $1:M_x$ и $1:M_y$ и острым углом между ними β определяют по формуле

$$S_{\text{ист}} = \frac{M_x M_y}{\sin \beta} S_{\text{акс}},$$

где $S_{\text{акс}}$ — площадь фигуры в аксонометрической проекции, измеряемая планиметром или иным способом.

Горно-геометрические графики с разными масштабами по двум взаимно перпендикулярным осям. К распространенным методам построения наглядных изображений при геометризации месторождений полезных ископаемых относятся изображения на планах или сечениях с разными масштабами. В последнем случае для большей выразительности и наглядности объект вычерчивают в разных масштабах по двум взаимно перпендикулярным осям. Такой прием применяют, например, для изображения на плане крутопадающего участка залежи пологого или наклонного падения. Участок с крутым падением изображают по простираанию залежи в масштабе основного плана, а по падению принимают более крупный масштаб. Этим как бы рассредоточиваются по падению изображенные детали, которые на обычном плане перекрывали бы друг друга. В результате создается наглядный и удобочитаемый чертеж.

Так, при построении профиля земной поверхности вертикальный масштаб принимают в 5—20 раз крупнее горизонтального. Более крупным по сравнению с горизонтальным берут вертикальный масштаб при построении геологических разрезов

горизонтальных и пологих залежей, когда необходимо отразить литологические разнородности, слагающие толщу.

По наглядным графикам приходится иногда производить различные определения. Если измерение линейных величин по графикам параллельно осям не представляет затруднений, то определение площадей сечений, особенно сложных по форме контуров, было задачей весьма трудоемкой и приближенной по точности.

Например, один из способов определения площадей по разномасштабным или трансформированным планам состоял в разбивке фигуры на элементарные полоски, параллельные одной из осей, и определении площади каждой полоски по формуле трапеции с учетом масштабов по осям. Искомая площадь равна сумме площадей полосок — трапеций. Этот способ, как и другие, является приближенным и трудоемким.

Между тем именно по двумасштабным графикам, выполненным с соблюдением графической точности, весьма просто определяются истинные площади сечений любого по сложности контура с помощью планиметра.

Пусть $АВВГ$ — контур залежи на горизонтальном разрезе, который построен в разных масштабах: по оси X — в масштабе $1:M_x$, по оси Y — в масштабе $1:M_y$; S — площадь этой фигуры (рис. 2.36), определяемая планиметром.

Если в пределах контура $АВВГ$ произвольно взять элементарную площадку $ds = dx dy$, истинная площадь которой с учетом масштаба по осям равна

$$dS_{\text{ист}} = M_x dx M_y dy = M_x M_y ds,$$

то, очевидно, истинная площадь фигуры $АВВГ$ составит

$$S_{\text{ист}} = \int M_x M_y ds,$$

откуда

$$S_{\text{ист}} = M_x M_y S.$$

Таким образом, истинная площадь фигуры, изображенной на разрезе (или плане) в разных масштабах по двум взаимно перпендикулярным направлениям, равна произведению знаменателей масштабов по этим направлениям на измеренную площадь фигуры на чертеже — разрезе или плане.

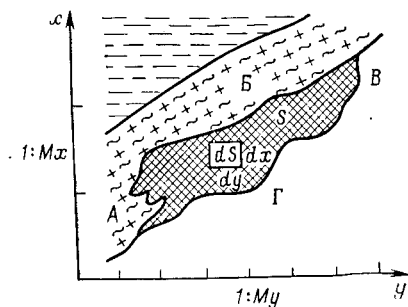


РИС. 2.36. Контур $АВВГ$ на горизонтальном двумасштабном геологическом разрезе

§ 6. Стереографические проекции

Стереографические сетки и их применение. Стереографическая проекция — есть особый случай центрального или перспективного проектирования полусферы на плоскость, когда картинная плоскость K пересекает центр сферы, а точка зрения, например, P' , лежит на поверхности сферы, являясь полюсом (рис. 2.37).

Точки M, M_1, L и P верхней полусферы в стереографической проекции на плоскость K проектируются соответственно точками m, m_1, l и O . Точка M_2 нижней полусферы проектируется точкой m_2 , выходящей за круговое сечение сферы картинной плоскостью.

В дальнейшем будем рассматривать такие стереографические проекции, у которых точка зрения и проектируемая полусфера находятся по разные стороны от картинной плоскости.

Стереографические проекции обладают следующими свойствами:

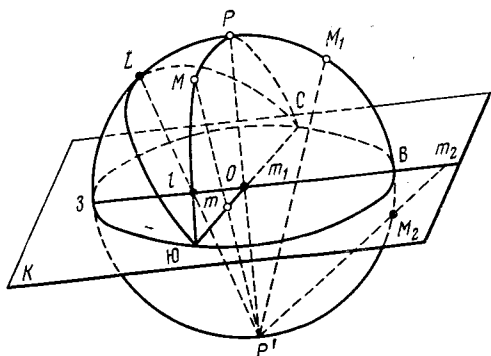
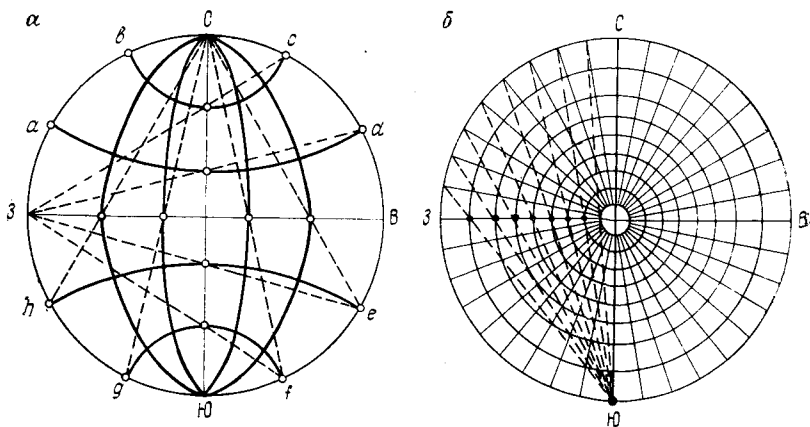


РИС. 2.37. Стереографическая проекция точек полусферы

РИС. 2.38. Построение меридиональной (а) и полярной (б) сеток



все точки полусферы изображаются внутри круга стереографических проекций ЮЗСВ;

углы между дугами больших кругов на сфере проектируются на плоскость без искажений;

окружности дуг как малых, так и больших кругов сферы изображаются кругами или, в частности, прямыми линиями — кругами бесконечно большого радиуса.

Стереографическая сетка есть стереографическая проекция системы параллелей и меридианов полусферы на картинную плоскость.

Плоская стереографическая сетка позволяет оперировать с ней как с трехмерной поверхностью полусферы, потому что между их точками устанавливается взаимно-однозначное соответствие. Сетка является хорошим вспомогательным средством для определения угловых величин между прямыми, прямой и плоскостью, между плоскостями, заданными своими элементами залегания. Она употребляется как орудие математического исследования в разрывной и трещинной тектонике, в структурном анализе и пр. С помощью сетки решаются многие вопросы горного дела, в том числе и вопросы наглядного изображения.

В картографической литературе приводится большое число разнообразных стереографических сеток. В геолого-маркшейдерском деле наибольший интерес представляют меридиональная и полярная сетки.

Меридиональная стереографическая сетка (сетка Вульфа) есть стереографическая проекция параллелей и меридианов полусферы на плоскость меридиана, совмещенную с горизонтальной плоскостью.

Точка зрения при этом находится на экваторе и является «полюсом» относительно дуги меридиана. Меридианы и параллели на сетке изображаются дугами разных радиусов. Полярная стереографическая сетка есть проекция параллелей и меридианов на плоскость экватора, когда точкой зрения является полюс. Параллели на сетке изображаются концентрическими окружностями, а меридианы — радиальными прямыми.

На рис. 2.38 показан способ построения меридиональной (а) и полярной (б) сеток.

Построение изображений с помощью стереографической сетки. При работе с сеткой все построения выполняют на кальке, которую накладывают на стереографическую сетку. На кальке крестиком отмечают центр круга сетки и черточкой вне круга — направление на север. Этих элементов необходимо и достаточно для возвращения кальки в исходное положение. Отсчет азимутальных углов ведут от верхнего конца диаметра (С) по ходу часовой стрелки по большому кругу сетки. Вертикальные углы отсчитывают от периферии к центру по горизонтальному или вертикальному диаметру сетки.

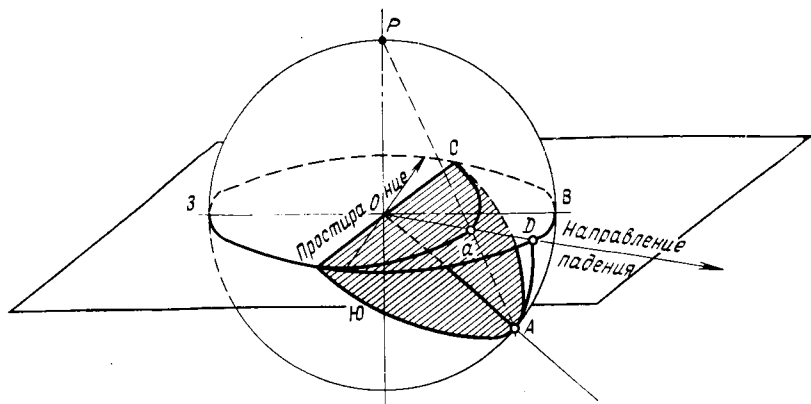


РИС. 2.39. Изображение прямой и плоскости на стереографической сетке

Прямые и плоскости в стереографической проекции изображаются по их элементам залегания — азимуту линии падения или простирания и углу падения. При этом имеется в виду, что прямые и плоскости проходят через центр сетки, что достигается параллельным их переносом.

Прямая, например, OA (рис. 2.39) в стереографической проекции изображается отрезком Oa . Для изображения прямой по ее элементам залегания — азимуту падения и углу падения — достаточно на сетке нанести по этим элементам одну точку. Второй точкой прямой является центр сетки.

Плоскость в стереографической проекции изображается дугой меридиана и диаметром, стягивающим дугу, проходящим по заданному азимуту. Дуга меридиана, соответствующая углу падения плоскости, отсчитывается от периферии к центру по горизонтальному диаметру сетки.

На полярной сетке плоскость изображается дугой, проходящей через концы диаметра сетки, который наносят под углом простирания плоскости, и касательную к параллели, со значением угла падения плоскости, отсчитывая его также от периферии к центру сетки. Если плоскость задана линией наибольшего ската, например OA на рис 2.39, то на стереографической проекции она может быть изображена точкой.

Это положение используют при изображении и обработке массовых замеров трещин, когда каждую трещину по ее элементам залегания изображают на сетке точкой. Наиболее удобной для этого является полярная сетка. Чтобы изобразить на ней точку, от северного конца сетки по большому кругу отсчитывают по часовой стрелке азимут, затем от этой точки по радиусу от периферии к центру отсчитывают угол падения. Получаемая точка — есть стереографическая проекция линии наибольшего ската плоскости или самой трещины.

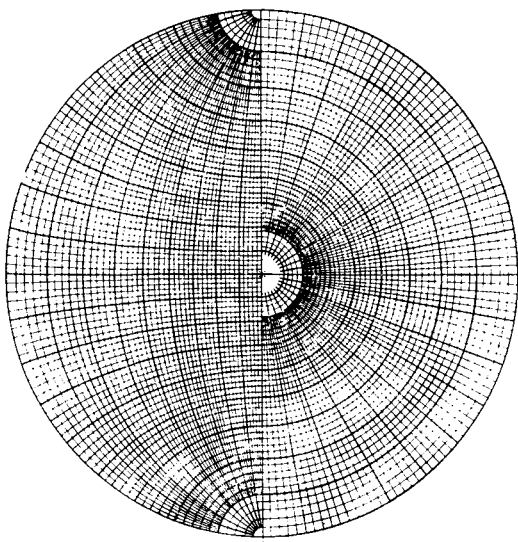


РИС. 2.40. Полярно-меридиональная сетка

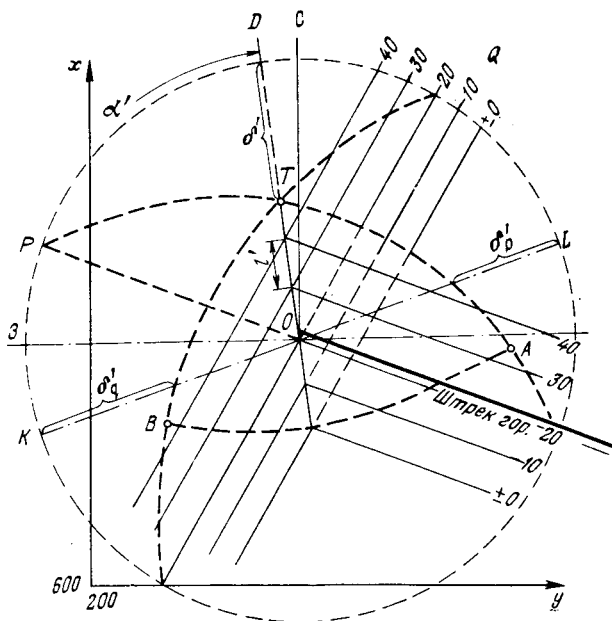


РИС. 2.41. К преобразованию от стереографической проекции плоскостей к плану в горизонталях

С помощью полярной стереографической сетки удобно наносить точки по элементам залегания прямых, производить статистическую обработку массовых замеров элементов залегания трещин горных пород и полезных ископаемых, выявлять системы трещин и их средние элементы, но неудобно строить плоскости выявленных систем трещин и определять углы между плоскостями, плоскостью и прямой, между прямыми.

Этот недостаток исключается при пользовании полярно-меридиональной сеткой (рис. 2.40), состоящей из половины полярной и половины меридиональной сетки. С помощью полярной половины сетки удобно наносить точки и производить их статистическую обработку, с помощью меридиональной — определять угловые величины между плоскостями со средними элементами залегания систем трещин и решать другие задачи.

Переход от стереографической проекции к изображению плоскостей в плане. На рис. 2.41 в стереографической проекции по элементам залегания построены две плоскости P и Q . OT — линия их пересечения. Отсчет от точки C до точки D по часовой стрелке равен азимуту α' этой линии в сторону восстания. Совместив точку D с горизонтальным диаметром сетки и отсчитав число градусов от точки D до точки T , получают угол наклона линии пересечения δ' . Отсчитав далее от точки T через центр сетки 90° и проведя дугу меридиана, получают двугранный угол между плоскостями, равный дуге AB .

Затем, задавшись масштабом и сечением (через 10 м), определяют по углу δ' заложение I' , градуируют прямую OT . Точке O при этом придают условную или истинную отметку. Через полученные точки параллельно диаметрам OP и OQ проводят горизонтали плоскостей, получают план плоскостей в проекциях с числовыми отметками.

Чтобы найти угол падения плоскостей в профильном сечении, например, по линии KL , совмещают эту линию с горизонтальным диаметром сетки и от периферии к центру от точек K и L отсчитывают до дуг плоскостей число градусов, которое равно искомым углам δ_q' и δ_p' .

§ 7. Стереоаксонометрия, анаглифы и голография

Стереоаксонометрические проекции и методы построения изображений. Если предмет изобразить на плоскости в двух проекциях, получаемых из двух центров перспективы, т. е. для правого и левого глаза, расположенных в среднем на расстоянии 65 мм, то при рассматривании такого изображения, когда каждый глаз видит только одно изображение, происходит слияние обеих частей и предмет представляется в подлинном объеме, в трехмерном пространстве.

Следовательно, для получения стереоскопического эффекта надо иметь парные изображения для левого и правого глаза, так называемые стереопары, или бинокулярные пары.

Стереопары данного предмета легче и проще всего получить путем фотографирования специальным стереофотоаппаратом (например, «Спутник», выпускаемый нашей промышленностью) или обычным фотоаппаратом, снабженным специальной стереонасадкой (для аппаратов типа «Зоркий», «Киев»), или стереопланкой, по которой фотоаппарат может передвигаться и закрепляться в определенном положении, или базисным кронштейном.

Стереоскопические снимки обычными фотоаппаратами при помощи базисных планок или кронштейнов делают в два приема на двух кадрах и, естественно, неподвижных предметов.

Стереоаксонометрия, в отличие от стереоперспективы, основана не на центральном, а на параллельном методе проектирования. Сущность ее заключается в одновременном проектировании предмета двумя пучками параллельных лучей на одну обычно горизонтальную плоскость проекции. При этом каждая горизонталь изображаемого объекта проектируется на оба стереоскопических графика без искажения формы и размеров.

Для рассмотрения бинокулярной пары стереоскопических изображений объектов требуются оптические приборы, которые должны прилагаться к изображениям. Несмотря на компактность стереоскопов, это создает определенные неудобства.

Анаглифический метод позволяет обходиться без оптических или иных заменяющих оптику приспособлений. Под анаглифией понимают особый метод получения и рассматривания стереоскопических изображений объектов, выполненных на бумаге, пленке, стекле и другой плоской поверхности. Состоит он в наложении одной на другую и окрашивании каждой половины бинокулярной пары различной краской: левое изображение бирюзовой краской, а правое поверх нее красной краской. Если рассматривать полученный чертеж при помощи простых бумажных очков, в которых вместо стекол вклеены желатиновые или ацетатцеллюлозные светофильтры так, чтобы красный светофильтр пришелся к левому глазу, а бирюзовый к правому, то получается отчетливое зрительное восприятие трехмерного рельефного пространства, причем каждая деталь получается объемной.

Объемность при анаглифическом методе изображений получается потому, что каждый глаз воспринимает только одно, ему свойственное изображение, т. е. правое для правого глаза, левое для левого глаза. Бирюзовый светофильтр дает зрительное восприятие правой части стереопары, нарисованной красной краской, и обесцвечивает левую бирюзового цвета часть стереопары. Красный фильтр, наоборот, полностью задерживая все красные лучи и обесцвечивая правую часть, дает изображение левой части стереопары, нарисованной бирюзовой краской. В результате при рассматривании получается единое совмещенное объемное изображение объекта в черно-белой окраске.

Голография. Интересные возможности для горно-геометрического моделирования открываются с появлением в маркшейдерской практике принципиально новых оптических приборов — лазеров. Стабильное когерентное излучение этих приборов позволяет осуществить процесс объемного оптического моделирования с использованием голографии. Основные принципы голографии были сформулированы английским ученым Д. Габором в 1948 г., однако практическая реализация идеи стала возможной только с появлением лазеров.

В отличие от обычной фотографии, фиксирующей только интенсивность излучения каждой точки фотографируемого предмета, в голографии регистрируется полная информация об амплитуде и фазе световых волн, отраженных от предмета.

Для получения голограммы когерентный луч света, идущий от лазера, разделяют на два пучка, один из которых служит для освещения предмета, а другой является опорным. Для устранения теней иногда бывает необходимо лазерный луч разделить на несколько пучков. Опорный пучок, не изменивший своих характеристик, и пучок, отраженный от предмета и содержащий информацию о нем (предметный пучок), перекрываются и образовавшаяся в зоне перекрытия интерференционная картина фиксируется на фотопластинке. После соответствующей фотохимической обработки фотопластинки получается голограмма («голограмма» в переводе с греческого означает «всесторонняя запись»).

Схема оптической установки для получения голограмм приведена на рис. 2.42. В качестве источника когерентного света чаще используется газовый (например, гелий-неоновый) лазер, так как он обладает наибольшей стабильностью излучения. Светоделителем служит стеклянная пластинка с просветляющим покрытием. Около 10 % излучения отражается от пластинки и из него формируется опорный пучок. Оставшиеся 90 % проходят сквозь нее и используются для освещения предмета.

Диаметр лазерного луча обычно составляет около 1 мм, в то время как для освещения предмета и получения голограммы требуется луч гораздо большего диаметра. Для расширения лазерного луча используются микрообъективы кратности. Зеркала в установке располагаются так, чтобы средние оптические длины пучков были приблизительно одинаковы. Фотопластинка и проявитель должны обеспечивать высокую разрешающую способность голограммы.

После получения голограммы собирается оптическая схема восстановления объемного изображения предмета (рис. 2.43). Лазерный луч направляется на микрообъектив, который расширяет его и формирует опорный пучок, направляемый на голограмму. При этом голограмма дифрагирует свет и вновь воссоздает волновой фронт, тождественный предметному пучку, который при получении голограммы шел от предмета. Световая

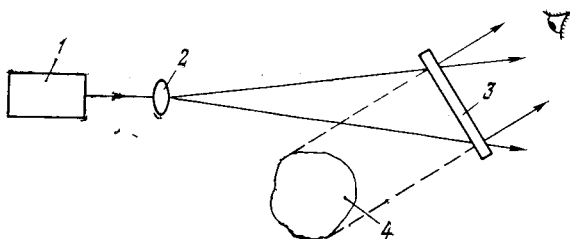


РИС. 2.42. Схема оптической установки для получения голограммы:
1 — лазер; 2 — микрообъектив; 3 — голограмма; 4 — мнимое изображение предмета

волна, восстановленная таким образом, образует изображение, обладающее глубиной и параллаксом, свойственным реальному предмету.

При сборке голографической установки особое внимание уделяется ее механической стабильности. Это объясняется тем, что при получении голограммы расстояние между интерференционными полосами соизмеримо с длиной волны используемого света, поэтому за время экспозиции сдвиг элементов установки не должен превышать нескольких долей длины волны. Для этого голографическую установку монтируют на массивной металлической или бетонной плите и принимают все меры для устранения малейших вибраций и температурных деформаций. Все сказанное относится к газовым лазерам непрерывного излучения. При использовании импульсных лазеров эти меры излишни, так как за очень короткое время лазера сколь угодно существенных деформаций установки не претерпевают.

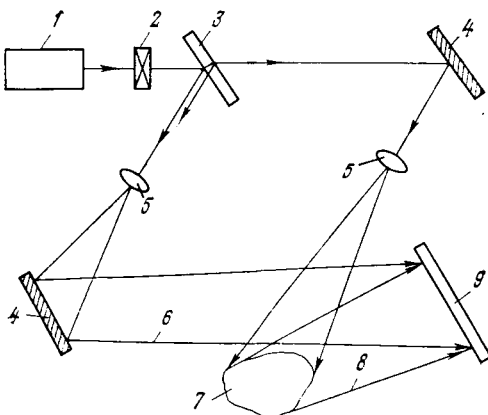


РИС. 2.43. Схема восстановления объемного изображения предмета по голограмме:

1 — лазер; 2 — светоделитель; 4 — зеркало; 5 — микрообъектив; 6 — опорный пучок; 7 — предмет; 8 — предметный пучок; 9 — голограмма

Кроме получения объемных изображений предметов, голография используется как чрезвычайно точный мерительный инструмент (голографическая интерферометрия). Сущность этого метода заключается в следующем. Если на одной и той же фотопластинке записать голограмму предмета до и после деформации, то эти два изображения, восстанавливаясь одновременно, интерферируют и деформации выявляются в виде соответствующих интерференционных полос. Точность измерения деформаций составляет десятые доли микрона.

Для получения объемного голографического изображения предмета при создании голограммы используют одновременно три монохроматических лазера (синий, желтый и красный). При этом для восстановления объемного цветного изображения голограмму нужно освещать соответственно тремя опорными пучками от этих лазеров.

Советским ученым Ю. Н. Денисюком предложен метод записи голограммы на толстослойную эмульсию. Интерференционная картина в этом случае получается трехмерной, что позволяет наблюдать изображение предмета при освещении голограммы обычным белым светом.

ГЛАВА 3

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ОЦЕНКИ ДАННЫХ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ НЕДР

§ 1. Общие замечания

Размещение любого свойства залежи в пространстве представляется, как уже отмечено, в виде геохимического поля или генеральной совокупности значений показателя, относимых к центрам элементарных объемов.

Если бы во время разведки (изучения объекта) точки для измерения показателя удалось располагать в характерных местах поля в достаточном количестве и определения производить безошибочно, то в результате по реализации или выборочной совокупности можно было бы получить полную, достаточно точную характеристику (модель) изучаемого поля.

Однако фактически на первоначальной стадии изучения объекта характерных точек мы не знаем или знаем их весьма приблизительно (они выявляются лишь после детального изучения объекта, т. е. после разработки залежи). Сделать много наблюдений часто не представляется возможным, и сведения о том или ином показателе и, следовательно, о всей залежи получаются приближенными.

В ряде случаев на основании геологических предпосылок, особенно при выявлении формы складчатых месторождений, точки наблюдения задаются в характерных местах изменения

одного какого-то показателя залежи, и он выявляется с большой степенью точности. Однако в большинстве случаев эти точки оказываются нехарактерными для другого показателя, например какого-либо свойства залежи.

Поэтому практически положение разведочных выработок, мест взятия проб, точек замера, свойств горных пород при беспорядочном или геометрически определенном расположении по линии и сетке в большинстве случаев является случайным относительно размещения изучаемого признака залежи.

Получаемые таким образом данные являются случайными по значению величинами, т. е. совокупность их представляет собой случайную выборку; или, другими словами, геохимическое поле определяется его реализацией так же, как реализациями определяется случайная функция. Естественно, что каждая реализация тем ближе отражает действительность, чем больше объем выборки, чем больше точки выборки отвечают характерным точкам размещения признака, чем меньше ошибки измерений и изменчивость показателя.

Вскрытие закономерности размещения свойств залежи, т. е. генеральной совокупности, по выборочной совокупности (реализации) связано с группировкой, систематизацией и усреднением результатов наблюдений, вычислением обобщенных показателей, их анализом, т. е. статистической обработкой исходных данных. Эти данные обычно сосредоточены в журналах, каталогах, перфокартотеках, зарисовках и другой геолого-маркшейдерской документации.

Методами математической статистики при изучении показателей недр решают, в частности, следующие задачи:

определение по выборочной совокупности оценок различных характеристик генеральной совокупности (среднего значения, дисперсии, коэффициента вариации и т. д.);

установление особенностей и законов статистического распределения значений геологических признаков залежи, что помогает определить природу и генезис месторождения (при этом, в частности, можно решить вопрос, рассматривать ли литологические разновидности, слагающие залежь, как однородную статистическую совокупность, как одно геохимическое поле или неоднородную совокупность);

установление наличия, тесноты и вида корреляции (вероятностной связи) между различными показателями залежи;

определение оптимального объема выборочной совокупности для получения по ней статистических характеристик всей генеральной совокупности с заданной степенью точности; установление доверительных интервалов, в пределах которых с той или иной вероятностью находятся значения статистических характеристик и законы статистического распределения как выборочной, так и генеральной совокупностей.

Статистические методы исследования недр позволяют вскрывать в кажущемся хаосе данных наблюдений порядок, статисти-

ческие связи и тем самым объективно познавать изучаемое явление в целом. При этом имеется в виду, что результаты наблюдений (выборочная совокупность) представляют собой совокупность явлений и событий качественно однородных, внутренне связанных, но внешне независимых и обособленных.

Применение формул и методов математической статистики при исследовании недр может быть успешным только при уяснении природы изучаемого объекта и условий появления отдельных значений, часто статистически неравноценных.

Вскрываемые при обработке наблюдений закономерности проявления изучаемого признака или совокупности признаков в недрах позволяют составлять на основе геометризации показателей залежи более вероятные прогнозы на соседние участки месторождения и использовать их для эффективной разработки месторождения.

Математическая статистика тесно связана с теорией вероятности. Большинство ее выводов базируется на предельных теоремах теории вероятности, свойствах случайных величин и законах их распределения.

В теории вероятности существует ряд числовых характеристик случайных величин: математическое ожидание, дисперсия, начальные и центральные моменты и пр.

Аналогичные числовые характеристики существуют и для статистических коллективов. При увеличении числа наблюдений все статистические характеристики сходятся по вероятности к соответствующим математическим характеристикам и при достаточном числе опытов могут быть приняты приближенно равными им.

Итак, методы математической статистики при геометризации недр позволяют выявить статистические характеристики изучаемых объектов. Применение теории случайных функций помогает математически охарактеризовать особенности пространственного размещения всей совокупности показателя по ее реализации.

§ 2. Случайные величины и законы их распределения

Случайной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное неизвестное заранее числовое значение. Различают дискретные и непрерывные случайные величины.

Непрерывная величина задается функцией распределения и плотностью вероятности (графически — кривыми функции распределения и плотности вероятности).

Дискретная случайная величина задается рядом распределения (графически — полигоном распределения или гистограммой) и функцией распределения.

Пусть дискретная величина X в результате опыта может получать различные значения x_i с вероятностями p_i (при этом $\sum p_i = 1$).

Связь между возможными значениями случайной величины и вероятностями их появления устанавливает закон распределения. Простейшей формой задания такого закона является таблица значений x_i и p_i , или ряд распределения.

Графически ряд распределения изображается полигоном распределения: по горизонтальной оси откладывают возможные значения случайной величины, а по вертикальной — вероятности этих значений. Этот же ряд распределения может быть изображен в виде гистограммы.

Для непрерывной величины ряд распределения получают путем разделения N возможных значений непрерывной случайной величины на равные по величине классы (разряды). В каждом разряде подсчитывают частоту n_i и вычисляют частости $n_i/N = p_i$, которые принимают за эмпирические или статистические вероятности. В результате получают распределение вероятностей и для непрерывной величины. Чем меньше величина интервала, тем точнее при достаточно большом объеме выборки построенное распределение отражает действительное.

Для количественной характеристики распределения вероятностей определяют вероятность события $X < x$, где x — текущая переменная.

Вероятность этого события зависит от x и есть некоторая функция x :

$$P(X < x) = F(x). \quad (3.1)$$

Эта функция называется статистической, или интегральной, функцией распределения. Она дает полную характеристику случайной величины с вероятностной точки зрения и существует для всех случайных величин, непрерывных и дискретных.

Чтобы найти значение статистической функции распределения при данном x , подсчитывают число n опытов, в которых X приняло значение меньше, чем x , и делят n на общее число опытов.

Производная от функции распределения называется плотностью вероятности (или дифференциальной функцией распределения):

$$f(x) = F'(x). \quad (3.2)$$

Для статистической совокупности плотность вероятности представляется статистическим рядом, а графически — гистограммой или полигональной кривой. Если всю статистическую совокупность разбить на разряды (интервалы), в каждом разряде подсчитать число наблюдений и разделить его на общее их число, то получим частости. Интервалы разрядов (или их средние значения) и их частости представляют статистический, или вариационный, интервальный ряд. Частные значения случайной величины, входящие в вариационный ряд, называются вариантами.

Рассмотрим статистическую совокупность, членами которой являются значения содержания никеля, полученные в пределах одной очистной камеры полиметаллического месторождения по данным бороздового опробования и кернового бурения. Совокупность предварительно упорядочена, т. е. члены ее расположены в порядке возрастания их значений.

Номера проб	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Содержание, %	1,85	2,18	2,37	2,56	2,61	2,69	2,73	2,76	2,84	2,87

Продолжение										
Номера проб	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Содержание, %	2,92	2,95	3,07	3,09	3,13	3,15	3,18	3,21	3,24	3,29

Продолжение										
Номера проб	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Содержание, %	3,33	3,35	3,40	3,42	3,48	3,50	3,51	3,57	3,62	3,68

									Продолжение
Номера проб	31	32	33	34	35	36	37	38	$N = 38$
Содержание, %	3,75	3,83	3,91	3,98	4,09	4,32	4,47	4,76	

Упорядоченный вариационный ряд может быть также задан вариантами и соответствующими им частотами (или частостями), однако в данном случае такой способ задания не имеет смысла, так как каждый вариант встречается только один раз.

Задание ряда существенно упрощается при разбиении его на интервалы. Оптимальная ширина h интервала определяется по формуле Стердженса:

$$h = (x_{\max} - x_{\min}) / (1 + 3,2 \lg N), \quad (3.3)$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ — наибольший и наименьший варианты; N — число вариантов в ряду (объем выборки).

Для нашего примера имеем:

$$h = (4,76 - 1,85) / (1 + 3,2 \lg 38) = 0,48 \approx 0,5 \text{ \%}.$$

Разбиваем исходную совокупность (табл. 3.1) на интервалы шириной в 0,5 и подсчитываем частоту, соответствующую каждому из интервалов. Теперь исходная статистическая совокупность может быть задана в виде интервального ряда (табл. 3.1)

По значениям интервалов и частотам n_i строят гистограмму полученного интервального ряда по серединам интервалов x_i и частотам n_i или полигональную кривую распределения. Гистограмма и полигональная кривая могут быть построены с использованием не частот n_i , а частостей p_i .

В табл. 3.1 подсчитаны также накопленные частоты N_i , которые могут определяться как в нисходящем, так и в восходящем порядке и служат для графического изображения интервального вариационного ряда с помощью кумулятивной кривой (кумуляты). Кумулята может строиться как по накопленным частотам, так и по накопленным частостям.

ТАБЛИЦА 3.1

Интервалы значений x_i , %	Значение середины интервала $\bar{x}_i$, %	Частота n_i	Накопленная частота N_i	Частость $p_i = \frac{n_i}{N}$
1,5—2,0	1,75	1	1	0,026
2,0—2,5	2,25	2	3	0,053
2,5—3,0	2,75	9	12	0,237
3,0—3,5	3,25	14	26	0,369
3,5—4,0	3,75	8	34	0,210
4,0—4,5	4,25	3	37	0,079
4,5—5,0	4,75	1	38	0,026
		$N = \sum n_i = 38;$	$\sum p_i = 1$	

Во всех случаях задания и изображения вариационного ряда с помощью частоты последняя принимается за приближенное значение вероятности. При увеличении объема N выборки статистическая функция распределения приближается (сходится по вероятности) к действительной функции распределения случайной величины.

Некоторые законы распределения случайных величин. Плотность вероятности описывается функциями, куда входят математическое ожидание, дисперсия и стандарт.

Математическим ожиданием случайной величины X дискретного типа называется сумма произведений всех значений величины на их вероятности:

$$M[X] = m_x = \sum_{i=1}^n x_i p_i. \quad (3.4)$$

Математическое ожидание является генеральной средней случайной величины. Оно связано со средним арифметическим наблюдаемых значений (выборочным средним) случайной величины зависимостью такого же порядка, как частость с вероятностью.

При небольшом числе опытов среднее арифметическое их результатов случайно. При увеличении числа опытов оно становится «почти неслучайным» и, стабилизируясь, приближается к постоянной величине — математическому ожиданию.

Математическое ожидание непрерывной случайной величины выражается интегралом

$$M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx, \quad (3.5)$$

где $f(x)$ — плотность вероятности величины X .

Дисперсией случайной величины называется математическое ожидание квадрата разности между случайной величиной и ее математическим ожиданием:

$$\sigma^2 = D_x = M[(X - m_x)^2]. \quad (3.6)$$

Дисперсия характеризует рассеяние возможных значений случайной величины около ее среднего значения и вычисляется при несгруппированных данных по формуле

$$\sigma^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / N \quad (3.7)$$

или

$$\sigma^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 n_i / \sum n_i \quad (3.8)$$

при сгруппированных данных, где $\bar{x}$ — среднее значение случайной величины.

Стандарт представляет собой среднее квадратическое отклонение случайной величины и определяется как корень квадратный из дисперсии:

$$\sigma = \pm \sqrt{\sigma^2}. \quad (3.9)$$

Стандарт средней в $\sqrt{N}$ раз меньше стандарта отдельной переменной:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{N}. \quad (3.10)$$

Рассмотрим теперь некоторые законы распределения случайных величин.

Нормальный закон — наиболее часто встречающийся на практике закон распределения. Плотность вероятности характеризуется функцией вида

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.11)$$

где a — математическое ожидание величины X ; σ^2 — дисперсия случайной величины X ; e — основание натурального логарифма.

Следовательно, нормальный закон распределения вполне определяется математическим ожиданием и дисперсией (или стандартом) случайной величины. Кривая распределения представляет собой симметричную холмообразную кривую (рис. 3.1, а).

При нормальном распределении отклонения t случайной величины от математического ожидания, выраженные в единицах стандарта σ , т. е. отклонения значений x от a , на величину, кратную σ , обладают замечательным свойством — иметь вероятность, не зависящую от σ :

$$P[-t\sigma < (x-a) < t\sigma] = \frac{1}{2\pi} \int_{-t}^{+t} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = F(t). \quad (3.12)$$

В табл. 3.2 приведены значения функции $F(t)$, вычисленные для различных t .

Из табл. 3.2 видно, что в ряду отклонений $x-a$ вероятность попадания отклонений (ошибок), не превышающих, например, величину $t=1$ ($t=1\sigma$), равна 0,683; другими словами, из 1000 отклонений $(x-a)$ 683 имеют значение $t \leq 1\sigma$. Почти невероятно ($p(t)=0,003$) в ряду отклонений иметь значения (ошибки), превышающие $\pm 3\sigma$, — утроенное среднее квадратическое отклонение.

Распределение Пуассона (распределение редких явлений) — распределение дискретной случайной величины вида (рис. 3.1, в):

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (3.13)$$

где P_m — вероятность появления случайной величины m ; a — математическое ожидание m или среднее значение признака для всей совокупности.

Закон Пуассона является разновидностью биномиального распределения, когда число событий велико, а вероятность появления отдельного события мала. Редкие события подчиняются закону Пуассона при условии, если вероятность появления

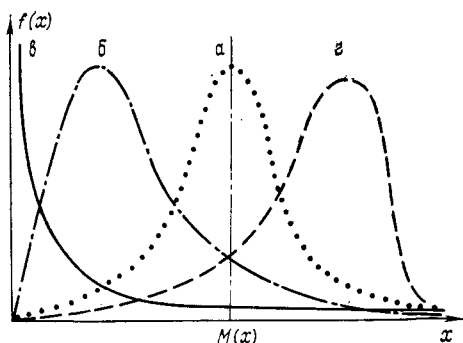


РИС. 3.1. Типы кривых распределения плотности вероятности:

а — нормальные; б — логарифмически нормальные; в — гиперболические (редких явлений Пуассона); з — биномиальные

ТАБЛИЦА 3.2

t	$y(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$	$F(t)$	t	$y(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$	$F(t)$
0,0	0,399	0,000	2,0	0,054	0,954
0,2	0,391	0,159	2,2	0,036	0,972
0,4	0,368	0,311	2,4	0,022	0,983
0,6	0,333	0,451	2,6	0,014	0,990
0,8	0,290	0,576	2,8	0,008	0,994
1,0	0,242	0,683	3,0	0,004	0,997
1,2	0,194	0,770	3,2	0,002	0,998
1,4	0,150	0,838	3,4	0,001	0,999
1,6	0,111	0,890	3,6	0,001	1,000
1,8	0,079	0,928	3,8	0,000	1,000
2,0	0,054	0,954	4,0	0,000	1,000

Распределение	Формула	Определяющие параметры	Случайная величина и ее область изменения	Математическое ожидание	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экспесс
Равномерное	—	a, b	$a - b \leq x < a + b$	a	$\frac{b}{\sqrt{3}}$	$\frac{b}{a\sqrt{3}}$	0	-1,2
Нормальное	$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \times \frac{e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma}$	a, σ	$-\infty < x < +\infty$	a	σ	$\frac{\sigma}{a}$	0	0
Логарифмически нормальное	$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \times \frac{e^{-\frac{(\lg x - \lg y)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma}$ где $x = \lg y$	y_0, σ	$0 < y < +\infty$	$y_M = y_0 e^{\frac{\sigma^2}{2M^2}}$	$y_M \sqrt{\frac{y_0^2 M^2}{y_0^2 M^2} - 1}$	$\sqrt{e^{\left(\frac{\sigma^2}{M^2}\right)} - 1}$	M — коэффициент перехода от натурального к десятичному логарифму, равному 0,4343	

Распределение	Формула	Определяющие параметры	Случайная величина и ее область изменения	Математическое ожидание	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экссесс
ХИ-квадрат	$f(x) = \frac{k-2}{x^2} e^{-\frac{x}{2}}$ $= \frac{k}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma(\frac{k}{2})}$	k	$0 \leq x < +\infty$	k	$\sqrt{2k}$	$\sqrt{\frac{2}{k}}$	$\sqrt{\frac{8}{k}}$	$\frac{12}{k}$
Гамма-распределение	$f(z) = \frac{z^{n-1}}{c^n (n-1)!} \times e^{-\frac{z}{c}}$	c, n	$0 \leq z < +\infty$	mc	$c\sqrt{m}$	$\frac{1}{\sqrt{m}}$	$\frac{2}{\sqrt{2}}$	$\frac{6}{m}$
Биномиальное	$P_{m,n} = \frac{n!}{m!(n-m)!} \times p^m q^{n-m}$	np	$m = 0, 1, \dots, n$	n, p	$\sqrt{npq}$	$\sqrt{\frac{q}{np}}$	—	—
Пуассона	$P_{m,n} = \frac{a^m}{m!} e^{-a}$	a	$m = 0, 1, 2, \dots$	a	$\sqrt{a}$	$\frac{1}{\sqrt{a}}$	$\frac{1}{\sqrt{a}}$	$\frac{1}{a}$

одного или нескольких событий в определенной области не зависит от числа появлений их в другой области; и в каждой области события располагаются независимо друг от друга.

Для распределения Пуассона дисперсия равна математическому ожиданию. Это свойство часто применяют для подтверждения гипотезы распределения: если из опыта значения среднего и дисперсии приблизительно равны ($\mu \approx \sigma^2$), то это дает основание считать, что распределение подчиняется закону Пуассона.

Этот закон имеет большое распространение среди различных физических явлений. Так, например, В. М. Гудков показал, что в полиметаллических месторождениях вкрапленного типа частоты содержаний ряда компонентов для классов, взятых равными средним значениям содержаний, хорошо удовлетворяют распределению редких явлений (Пуассона). В табл. 3.3 приведены характеристики важнейших распределений плотности вероятности.

§ 3. Сравнение эмпирического распределения с теоретическим

Подбор теоретической плавной кривой распределения (закона), наилучшим образом описывающей данное статистическое распределение, называется выравниванием (сглаживанием) статистического ряда.

Как бы хорошо не была подобрана теоретическая кривая, между нею и статистическим распределением неизбежны некоторые расхождения. Величину этого расхождения определяют графически или с помощью критерия согласия (критерий А. Н. Колмогорова, хи-квадрат, Пирсона и др.).

При графическом способе сравнения строят эмпирическую функцию распределения $F_n(x)$. На этом же чертеже строят теоретическую кривую распределения $F_T(x)$. По совпадению кривых определяют соответствие принятого по гипотезе закона и эмпирического распределения.

Количественная оценка согласия с помощью критерия Колмогорова определяется по формуле

$$\lambda = D \sqrt{n}, \quad (3.14)$$

где D — наибольшая разность между значениями эмпирической и теоретической функциями распределения (берется с графика); n — число значений случайной величины или интервалов вариационного ряда.

Считают, что функции согласуются и закон распределения не отвергается, если $\lambda < 1,35$.

Критерий согласия Колмогорова предполагает, что параметры теоретического распределения известны заранее (до опыта). Если же эти параметры выбираются по тем же опыт-

ным данным, то получают заниженные значения λ , и кажущаяся согласованность может не отвечать действительности.

Критерий Колмогорова позволяет ответить на вопрос: можно ли статистические совокупности литологических разностей, слагающих рудное тело, рассматривать как одну совокупность, как одно поле данного свойства и строить изолинии этого свойства для всей залежи, или это разные совокупности, отвечающие разным фазам оруденения? Как одно целое в смысле распределения данного свойства, можно рассматривать те литологические разности, у которых согласуются между собой кривые распределения.

Критерий согласия Колмогорова позволяет также определять верхнюю и нижнюю доверительные границы, в которых с заданной вероятностью (надежностью) находятся значения неизвестной функции $F_T(x)$ при помощи известной из опыта функции $F_3(x)$. Эти границы определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} F_H(x) &= F_3(x) - \lambda/\sqrt{n}, \\ F_B(x) &= F_3(x) + \lambda/\sqrt{n}. \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Если по формулам (3.15) получают значения меньше 0 и больше 1, то они принимаются соответственно за границы 0 и 1.

Применение критерия хи-квадрат Пирсона основано на оценке расхождения между наблюдаемым рядом частот $n_1, n_2, \dots, n_5$ и теоретическим рядом частот $n'_1, n'_2, \dots, n'_5$.

Критерий вычисляют по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^S (n_i - n'_i)^2 / n'_i, \quad (3.16)$$

где S — число интервалов или классов, на которые сгруппирован ряд измерений.

По значению χ и числу степеней свободы k выбирают из таблиц вероятности $P(\chi^2)$, по которой судят, как опытные данные согласуются с теоретической функцией распределения.

Число k вычисляют по формуле

$$k = S - t, \quad (3.17)$$

где t — число тех условий, которые предполагаем выполненными для наблюдаемых частот.

При оценке по χ и критерию λ Колмогорова расхождения между эмпирическими и теоретическими частотами считаются случайными, если вероятности появления в интервалах тех частот, которые в действительности получились, немалы. Следовательно, решение вопроса о том, в какой степени опыт согласуется с теорией, сводится к выбору уровня значимости, выражающегося вероятностью P_0 .

В статистике при решении инженерных задач за уровень значимости принимают вероятность $P_0 = 0,05$.

§ 4. Вычисление числовых характеристик случайных величин по небольшому числу наблюдений

В ряде случаев достаточно знать не законы распределения, а основные числовые характеристики распределения.

Числовыми характеристиками случайной величины называются величины, с помощью которых в сжатой форме выражаются наиболее существенные особенности распределения.

Кроме рассмотренных ранее математического ожидания, дисперсии и стандарта, к числовым характеристикам случайной величины относятся: средняя арифметическая, мода, медиана, моменты, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса.

Простое *среднее арифметическое* значение определяется по формуле

$$\bar{x} = \sum x_i / N. \quad (3.18)$$

Среднее взвешенное значение находится из выражения

$$\bar{x} = \sum x_i n_i / \sum n_i. \quad (3.19)$$

Насколько существенно могут отличаться простое и взвешенное среднее, видно из следующего примера.

Скважиной вскрыто рудное тело мощностью 16,1 м, сложенное рудами различных геолого-промышленных типов. Мощность слоев и содержание полезного компонента в них приведены ниже:

Мощность, м	2,3	0,2	1,4	3,7	0,7	4,0	0,8
Содержание металла, % . .	17,05	25,23	0,82	5,27	10,38	4,20	21,58

Простое среднее арифметическое значение содержания металла:

$$\frac{17,05 + 25,23 + 0,82 + 5,27 + 10,38 + 4,20 + 21,58}{7} = 12,08 \% .$$

Среднее взвешенное (по мощности) равно соответственно

$$\frac{17,05 + 2,3 + 25,23 \cdot 0,2 + 0,82 \cdot 1,4 + 5,27 \cdot 3,7 + 10,38 \cdot 0,7 + 4,20 \cdot 4,0 + 21,58 \cdot 0,8}{2,3 + 0,2 + 1,4 + 3,7 + 0,7 + 4,0 + 0,8} = 6,59 \% .$$

Как видно, простое среднее в данном случае оказалось завышенным почти в 2 раза.

Модой случайной дискретной величины называется ее наиболее вероятное, наиболее часто встречающееся значение. Для непрерывной величины модой является ее значение, в котором плотность вероятности максимальна. Мода и математическое ожидание случайной величины в общем случае не совпадают. Они совпадают лишь при симметричном распределении. Рас-

пределение называется полимодальным, когда кривая имеет не один, а два или более максимумов.

Для дискретного несгруппированного вариационного ряда модальным является тот вариант, который характеризуется наибольшей частотой.

Мода интервального ряда

$$M_0 = x_{\text{mod}(\min)} + h \frac{n_{\text{mod}} - n_{\text{mod}-1}}{(n_{\text{mod}} - n_{\text{mod}-1}) + (n_{\text{mod}} - n_{\text{mod}+1})}, \quad (3.20)$$

где $x_{\text{mod}(\min)}$ — нижняя граница модального интервала (интервала, характеризующегося наибольшей частотой); n_{mod} — частота модального интервала.

Для интервального вариационного ряда, приведенного в табл. 3.1, имеем: $x_{\text{mod}(\min)} = 3,00 \%$; $h = 0,50 \%$; $n_{\text{mod}} = 14$; $n_{\text{mod}-1} = 9$; $n_{\text{mod}+1} = 8$, поэтому

$$M_0 = 3,0 + 0,5 \frac{14 - 9}{(14 - 9) + (14 - 8)} = 3,24 \%.$$

Медианой случайной величины называется такое ее значение, для которого одинаково вероятно, окажется ли случайная величина меньше или больше медианы. Иными словами, медиана — это срединная величина упорядоченного вариационного ряда. Геометрически медиана — это абсцисса точки, в которой площадь, ограниченная кривой распределения, делится пополам.

При симметричном модальном распределении медиана совпадает с математическим ожиданием и модой. Поэтому мода и медиана имеют особо важное значение при анализе асимметричных распределений.

Для вариационного ряда с объемом выборки N медиана определяется по формулам:

при четном числе вариантов, т. е. при $N = 2k$,

$$M_e = (x_k + x_{k+1})/2, \quad (3.21)$$

при нечетном числе вариантов, т. е. при $N = 2k + 1$,

$$M_e = x_{k+1}. \quad (3.22)$$

Так, для ряда, представленного в табл. 3.1, имеем $N = 2k = 38$; $k = 19$; $x_{19} = 3,24 \%$; $x_{20} = 3,29 \%$, поэтому

$$M_e = (3,24 + 3,29)/2 = 3,26 \%.$$

Для интервального вариационного ряда медиана

$$M_e = x_{\text{med}(\min)} + h \frac{\frac{\sum n}{2} - N_{\text{med}-1}}{n_{\text{med}}}, \quad (3.23)$$

где $x_{\text{med}(\min)}$ — нижняя граница медианного интервала; $N_{\text{med}-1}$ — накопленная частота интервала, предшествующего медианному, x_k , x_{k+1} — значение показателя для k -го варианта, n_{med} — частота медианного интервала.

ТАБЛИЦА 3.4

Интервал значений x_i , %	Значение середины интервала $\bar{x}_i$, %	Частота интервала n_i	$\bar{x}_i n_i$	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$(\bar{x}_i - \bar{x}) n_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2 n_i$
1,5—2,0	1,75	1	1,75	-1,51	-1,51	2,2801
2,0—2,5	2,25	2	4,50	-1,01	-2,02	2,0402
2,5—3,0	2,75	9	24,75	-0,51	-4,59	2,3409
3,0—3,5	3,25	14	45,50	-0,01	-0,14	0,0014
3,5—4,0	3,75	8	30,00	0,49	3,92	1,9208
4,0—4,5	4,25	3	12,75	0,99	2,97	2,9403
4,5—5,0	4,75	1	4,75	1,29	1,29	1,6641

$$\Sigma n_i = 38; \quad \Sigma = 124; \quad \Sigma = 0,08; \quad \Sigma = 13,1878$$

Для интервального ряда, приведенного в табл. 3.1 имеем:

$$x_{\text{mod}} (\text{min}) = 3,0 \text{ \%}; \quad h = 0,5 \text{ \%}; \quad \Sigma n/2 = 38/2 = 19;$$

$$N_{\text{med}-1} = 12, \quad n_{\text{med}} = 14, \text{ поэтому}$$

$$M_e = 3,0 + 0,5 \frac{19 - 12}{14} = 3,25 \text{ \%}.$$

Полученное значение медианы совпадает с вычисленным выше по формуле (3.21) значением по несгруппированным данным. В общем случае эти значения могут не совпадать вследствие погрешности, вносимой группировкой исходных данных.

Вычисление необходимых данных для определения *среднего взвешенного* (по частотам), *дисперсии* и *стандарта* рассматриваемого интервального ряда приведено в табл. 3.4.

Среднее взвешенное определяется по формуле (3.19)

$$\bar{x} = 124/38 = 3,26 \text{ \%}.$$

Дисперсия определяется по формуле (3.8)

$$\sigma^2 = 13,1878/38 = 0,347.$$

Стандарт, определяемый по формуле (3.9), равен соответственно

$$\sigma = \pm \sqrt{0,347} = \pm 0,59.$$

Сумма $\Sigma (\bar{x}_i - \bar{x}) n_i$ определяется для контроля вычислений. Близость ее к нулю свидетельствует об отсутствии ошибок в вычислениях разностей.

Ошибка среднего арифметического значения

$$m \approx \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{h}}, \quad (3.24)$$

где t — коэффициент вероятности. Эту ошибку используют, в частности, при определении величины сечения топографиче-

ской поверхности, которая не должна быть меньше ошибки среднего.

В нашем случае, задавшись вероятностью 0,95 (при этом $t=2$), будем иметь

$$m = \pm 2 \frac{0,59}{\sqrt{38}} \approx \pm 0,19,$$

т. е. с вероятностью 0,95 можно утверждать, что ошибка вычисленного среднего $\bar{x}=3,26$ не превышает 0,19. Это утверждение можно записать в виде $\bar{x}=3,26 \pm 0,19$.

Коэффициент вариации (в процентах) определяется по формуле

$$V = \sigma 100/\bar{x}. \quad (3.25)$$

Для рассматриваемой совокупности

$$V = 0,59 \cdot 100/3,26 = 18,1 \text{ \%}.$$

Погрешность коэффициента вариации может быть вычислена по формуле

$$m_v = V \sqrt{0,5 + (0,01V)^2} / \sqrt{N}. \quad (3.26)$$

Подставляя в выражение (3.26) цифровые данные, получаем

$$m_v = 18,1 \sqrt{0,5 + (0,01 \cdot 18,1)^2} / \sqrt{38} = 2,1 \text{ \%}.$$

Таким образом, вычисленный коэффициент вариации $V = 18,1 \pm 2,1 \text{ \%}$.

Коэффициент вариации количественно выражает степень статистической изменчивости (варьируемости) показателей статистического коллектива. Многие исследователи недр пользуются этим коэффициентом и рекомендуют его для сравнения изменчивости различных показателей залежи между собой и сравнения соответствующих показателей различных объектов исследования.

Применительно к недрам следует учитывать, что величина V , выражая степень статистической изменчивости показателя, не отражает характера его пространственной изменчивости, т. е. его геометрической стороны. Коэффициент вариации может быть одинаков для показателей с плавной кривой изменения и кривой с беспорядочными колебаниями, т. е. с регулярной и нерегулярной пространственной изменчивостью.

Однако применение коэффициента вариации V возможно для приближенной оценки изменчивости показателей как статистического коллектива, оценки выборочных средних и других статистических характеристик.

С помощью *моментов* описывают основные свойства распределения случайной величины.

Эмпирическим моментом k -го порядка случайной величины называется среднее значение k -х степеней разностей $x_i - C$:

$$\mu_k = \sum (x_i - C)^k n_i / \sum n_i. \quad (3.27)$$

Различают начальные, центральные и условные моменты. Если постоянная C совпадает с началом отсчета, то моменты называются начальными; если постоянной является среднее значение признака, то моменты называются центральными; если же величина C выбрана произвольно, то моменты называются условными.

Начальный момент первого порядка случайной величины есть ее среднее значение:

$$\nu_1 = \bar{x} = \sum x_i n_i / \sum n_i. \quad (3.28)$$

Начальный момент k -го (2-го, 3-го и более высокого) порядка вычисляется по формуле

$$\nu_k = \sum x_i^k n_i / \sum n_i. \quad (3.29)$$

Центральный момент первого порядка

$$\mu_1 = \sum (x_i - \bar{x}) n_i / \sum n_i = 0. \quad (3.30)$$

Центральный момент второго порядка представляет собой дисперсию признака:

$$\mu_2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 n_i / \sum n_i = \sigma^2. \quad (3.31)$$

Центральный момент третьего порядка

$$\mu_3 = \sum (x_i - \bar{x})^3 n_i / \sum n_i \quad (3.32)$$

применяется для характеристики асимметрии кривой распределения.

Центральный момент четвертого порядка

$$\mu_4 = \sum (x_i - \bar{x})^4 n_i / \sum n_i \quad (3.33)$$

применяется для характеристики эксцесса кривой распределения.

Между центральными и начальными моментами имеются следующие зависимости:

$$\left. \begin{aligned} \mu_2 &= \nu_2 - \nu_1^2, \\ \mu_3 &= \nu_3 - 3\nu_2\nu_1 + 2\nu_1^3, \\ \mu_4 &= \nu_4 - 4\nu_1\nu_3 + 6\nu_1^2\nu_2 - 3\nu_1^4. \end{aligned} \right\} \quad (3.34)$$

Асимметрия кривой распределения характеризует меру скошенности вариационного ряда в ту или другую сторону от моды и определяется по формуле

$$A = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3 n_i}{N\sigma^3}, \quad (3.35)$$

или

$$A = \mu_3 / \sqrt{\mu_2^3}; \quad A = \mu_3 / \sigma^3. \quad (3.36)$$

Асимметрия характеризует надежность выполнения первого свойства случайных ошибок — равновероятности одинаковых по величине положительных и отрицательных ошибок. При $A=0$ ряд симметричен. Если $A>0$, то в данном ряду положительные ошибки встречаются чаще, чем равные им отрицательные, и наоборот.

Экцесс кривой распределения характеризует степень ее островершинности и определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4 n_i}{N\sigma^4} - 3, \quad (3.37)$$

или

$$\mathcal{E} = \mu_4 / \mu_2^2 - 3 \quad \text{или} \quad \mathcal{E} = \mu_4 / \sigma^4 - 3. \quad (3.38)$$

Для нормального распределения $\mathcal{E}=0$. При $\mathcal{E}>0$ кривые распределения более островершинные, при $\mathcal{E}<0$ — более плосковершинные, чем при нормальном распределении.

В табл. 3.5 вычислены центральные моменты первых четырех порядков для нашего интервального вариационного ряда (табл. 3.1); для краткости записи здесь принято обозначение $x_i - \bar{x} = \delta_i$.

Момент первого порядка: $\mu_1 = -0,08/38 = -0,002 \approx 0$.

ТАБЛИЦА 3.5

$\bar{x}_i$	n_i	δ_i	$\delta_i n_i$	$\delta_i^2 n_i$	$\delta_i^3 n_i$	$\delta_i^4 n_i$
1,75	1	-1,51	-1,51	2,2801	-3,4450	5,2020
2,25	2	-1,01	-2,02	2,0402	-2,0606	2,0812
2,75	9	-0,51	-4,59	2,3409	-1,1939	0,6089
3,25	14	-0,01	-0,14	0,0014	0	0
3,75	8	0,49	3,92	1,9208	0,9412	0,4612
4,25	3	0,99	2,97	2,9403	2,9109	2,8818
4,75	1	1,29	1,29	1,6641	2,1467	2,7692
Итого			-0,08	13,1878	-0,7007	14,0043

Момент второго порядка: $\mu_2 = 13,1878/38 = 0,347$.

Момент третьего порядка: $\mu_3 = -0,7007/38 = -0,018$.

Момент четвертого порядка: $\mu_4 = 14,0043/38 = 0,368$.

Асимметрия, определяемая по формуле (3.36): $A = 0,018/0,59^3 = -0,09$, свидетельствует о незначительной левой асимметрии кривой распределения.

Экссесс, вычисляемый по формуле (3.38), $\mathcal{E} = 0,368/0,347^2 - 3 = 0,07$, свидетельствует о незначительной островершинности кривой по сравнению с кривой нормального распределения.

§ 5. Вычисление числовых характеристик при большом числе наблюдений

При большом числе наблюдений вероятности событий, согласно закону больших чисел, могут быть заменены соответствующими частотами, а математические ожидания — средними значениями случайных величин. Вычисление числовых характеристик случайных величин по формулам, приведенным в § 4, громоздко, затруднительно.

Для упрощения этих вычислений пользуются приближенным способом — способом условных единиц (ложного нуля, условных моментов). Сущность способа состоит в распределении значений случайной величины по группам через определенный интервал h , величина которого определяется по формуле (3.3), и замене средних значений интервалов условными значениями α_i в условных единицах, начиная от некоторого начального интервала со средним значением x_0 .

При этом

$$\alpha_i = (x_i - x_0)/h. \quad (3.39)$$

В дальнейших вычислениях используют условные эмпирические моменты.

Условный эмпирический момент порядка k — это начальный момент порядка k , вычисленный для условных величин α_i :

$$\beta_k = \frac{\sum \alpha_i^k n_i}{\sum n_i} = \frac{\sum \left(\frac{x_i - x_0}{h} \right)^k n_i}{\sum n_i}. \quad (3.40)$$

Центральные моменты γ_k , выраженные в условных единицах, могут быть найдены по условным моментам из зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_2 &= \beta_2 - \beta_1^2, \\ \gamma_3 &= \beta_3 - 3\beta_2\beta_1 + 2\beta_1^3, \\ \gamma_4 &= \beta_4 - 4\beta_1\beta_3 + 6\beta_1^3\beta_2 - 3\beta_1^4. \end{aligned} \right\} \quad (3.41)$$

ТАБ. ЛИЦА 3.6

Классы (интервалы)	Частота интервала n_i	Середина интер- вала	Условное значение класса α_i	$n_i \alpha_i$	$n_i \alpha_i^2$	$n_i \alpha_i^3$	$n_i \alpha_i^4$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,50—1,00	3	0,75	—3	—9	27	—81	243
1,01—1,50	19	1,25	—2	—38	76	—152	304
1,51—2,00	94	1,75	—1	—94	94	—94	94
2,01—2,50	133	2,25	0	0	0	0	0
2,51—3,00	50	2,75	1	50	50	50	50
3,01—3,50	25	3,25	2	50	100	200	400
3,51—4,00	10	3,75	3	30	90	270	810
4,01—4,50	2	4,25	4	8	32	128	512
4,51—5,00	1	4,75	5	5	25	125	625
Σ	337	—	—	2	494	446	3038

Центральные моменты в натуральных значениях анализируемой случайной величины связаны с условными моментами зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} \mu_2 &= h^2 (\beta_2 - \beta_1^2), \\ \mu_3 &= h^3 (\beta_3 - 3\beta_1\beta_2 + 2\beta_1^3), \\ \mu_4 &= h^4 (\beta_4 - 4\beta_1\beta_3 + 6\beta_2\beta_1^2 - 3\beta_1^4). \end{aligned} \right\} \quad (3.42)$$

Средневзвешенное значение изучаемого признака методом условных моментов определяется из выражения

$$\bar{x} = x_0 + \beta_1 h. \quad (3.43)$$

Для иллюстрации вычислим методом условных чисел числовые характеристики статистической совокупности, члены которой представляют собой результаты замера мощности рудного тела в горных выработках (табл. 3.6).

Имеем 337 значений мощности в пределах от 0,5 до 4,75 м. По формуле (3.3) определяем оптимальную величину интервала группировки:

$$h = \frac{4,75 - 0,5}{1 + 3,2 \lg 337} = 0,46 \approx 0,5 \text{ м.}$$

Упорядочиваем ряд, располагая члены в возрастающей последовательности, подсчитываем частоту в каждом классе и затем заносим границы классов, частоты, средние значения в столбцы 1, 2, 3 табл. 3.6. Сумма частот классов должна быть равна общему числу замеров.

Условное значение класса (интервала) с максимальной частотой принимаем равным нулю. Условные значения остальных

ных классов вычисляем по формуле (3.39) и записываем в столбец 4 табл. 3.6.

В столбце 5 записываем произведения столбцов 2 и 4, в столбце 6 — произведения столбцов 4 и 5, в столбце 7 — произведения столбцов 4 и 6, в столбце 8 — произведения столбцов 4 и 7, так что для столбцов 5—8 имеем

$$n_i \alpha_i^m = n_i \alpha_i^{m-1} \alpha_i.$$

Вычисляем произвольные моменты в условных единицах по формуле (3.40):

$$\beta_1 = 2/337 = 0,006, \quad \beta_2 = 494/337 = 1,47;$$

$$\beta_3 = 446/337 = 1,32; \quad \beta_4 = 3038/337 = 9,01.$$

$$\beta_1^2 = 0; \quad \beta_1^3 = 0; \quad \beta_1^4 = 0.$$

Центральные моменты в условных единицах в соответствии с (3.41):

$$\gamma_2 = 1,47 - 0 = 1,47;$$

$$\gamma_3 = 1,32 - 3 \cdot 1,47 \cdot 0 - 2 \cdot 0 = 1,32;$$

$$\gamma_4 = 9,01 - 4 \cdot 0 \cdot 1,32 + 6 \cdot 0 \cdot 1,47 - 3 \cdot 0 = 9,01.$$

Асимметрия и эксцесс кривой распределения:

$$A = \gamma_3 / \sqrt{\gamma_2^3} = 1,32 / \sqrt{1,47^3} = \pm 0,74.$$

Среднее значение мощности определяем по формуле (3.43):

$$\bar{x} = 2,25 + 0 \cdot 0,5 = 2,25 \text{ м.}$$

Среднее квадратическое отклонение (стандарт) значений мощности рудного тела:

$$\sigma = h \sqrt{\gamma_2} = 0,5 \sqrt{1,47} = \pm 0,6 \text{ м.}$$

Коэффициент вариации:

$$V = \sigma 100 / \bar{x} = 0,60 \cdot 100 / 2,25 = 26,7 \text{ \%}.$$

Таким образом, весь ход вычислений следует схеме, примененной при определении числовых характеристик в табл. 3.4, однако метод условных чисел существенно облегчил вычисления, сведя их к элементарным вычислительным операциям.

§ 6. Определение наличия и тесноты корреляции между показателями месторождения

Статистические средние значения часто находят параллельно с определением корреляции (соотношения или соответствия), т. е. некоторых вероятностных связей между двумя или несколькими показателями месторождения. Для многих месторождений обнаружены зависимости изменения одного геологического

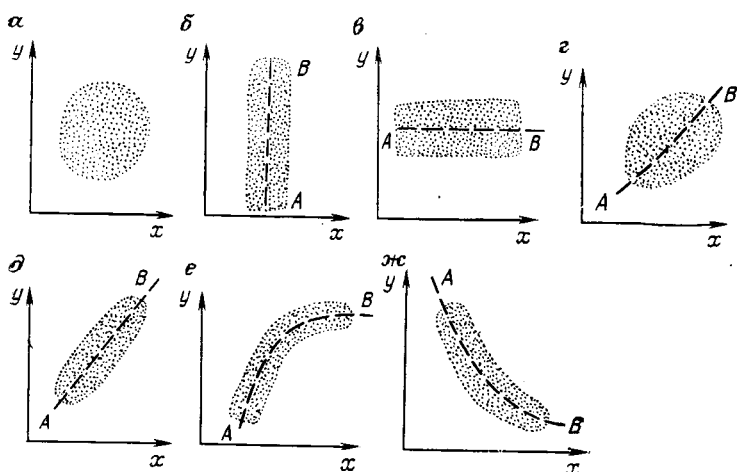


РИС. 3.2. Поле корреляции случайных величин X и Y :

$a, б$ — связь между признаками отсутствует; $г$ — слабая связь; $д$ — достаточно устойчивая прямолинейная связь; $е$ — криволинейная прямая устойчивая связь; $ж$ — устойчивая криволинейная обратная связь

признака от изменения другого, например зависимость содержания компонента от мощности залежи или плотности руды и т. п.

Пусть имеем несколько пар значений (x_i, y_i) двух случайных величин X и Y . Выберем плоскую прямоугольную систему координат. В этой системе за ось абсцисс примем ось случайной величины X , которую в дальнейшем будем считать факториальной, за ось ординат примем ось случайной величины Y , которую будем считать функциональной. Обозначим каждую пару значений (x_i, y_i) случайных величин точкой в выбранной системе координат, откладывая на соответствующих осях значения x_i и y_i . Совокупность полученных точек даст *поле корреляции* анализируемых случайных величин (рис. 3.2).

Форма поля корреляции позволяет произвести качественную оценку наличия и тесноты связи между случайными величинами. Проведем осевую линию AB поля корреляции. Если AB — прямая, параллельная одной из осей координат (например, оси X), то между величинами связи нет: при увеличении значений одной из них (X) значения второй (Y) в среднем не меняются. Если AB — наклонная прямая, то между величинами имеется прямолинейная связь; если AB — кривая, то между величинами существует связь, выражающаяся уравнением более высокого порядка.

Разброс (удаленность) точек от осевой линии AB поля корреляции характеризует тесноту связи. Чем ближе точки расположены к осевой линии, тем теснее связь, и наоборот.

Детальная количественная оценка наличия и тесноты корреляции между двумя (парная корреляция) и более (множественная корреляция) признаками производится на основе статистического расчета, именуемого *корреляционным анализом*.

Статистический расчет, в результате которого устанавливается вид уравнения связи между двумя (и более) случайными величинами, называется *регрессионным анализом*.

Показателем тесноты корреляционной связи между двумя случайными величинами является: при прямолинейной связи — коэффициент корреляции r , при криволинейной связи — корреляционное отношение η . Величина r может принимать значения от -1 до $+1$, величина η — от 0 до 1 .

При $|r|=1$ ($\eta=1$) между величинами существует прямая ($r=+1$) или обратная ($r=-1$) прямолинейная (криволинейная) функциональная зависимость, т. е. каждому значению факториального признака соответствует одно определенное значение функционального признака.

При $r=0$ между признаками не существует прямолинейной связи. При $\eta=0$ между признаками не существует никакой связи.

При $0<|r|<1$ ($0<\eta<1$) между признаками существует зависимость (корреляция), при которой каждому значению факториального признака соответствует некоторый ряд распределения функционального признака.

Различают четыре категории связи: очень тесная, если $0,75 \leq r < 1$; тесная, если $0,50 \leq r \leq 0,75$; слабая, если $0,25 \leq r \leq 0,50$, и очень слабая, если $r < 0,25$.

Связь между признаками считается реальной (устойчивой) при $|r| > 0,5$ ($\eta > 0,5$).

При всякой форме зависимости $\eta \geq |r|$. Если же $\eta = |r|$, то между изучаемыми признаками существует линейная связь.

Вычисление коэффициента корреляции по небольшому числу данных. Коэффициент корреляции r представляет собой частное от деления средней ковариации (совместной вариации) случайных величин на произведение их стандартов:

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} . \quad (3.44)$$

Если числитель и знаменатель формулы (3.44) умножить на N^2 , то получим формулу, удобную для практического определения коэффициента корреляции:

$$r = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{N \sum y^2 - (\sum y)^2}} . \quad (3.45)$$

В табл. 3.7 в столбцах 1 и 2 приведены значения (в условных единицах) содержания вольфрама (x) и молибдена (y), полученные при бороздовом опробовании горной выработки.

ТАБЛИЦА 3.7

x	y	x^2	y^2	xy	x	y	x^2	y^2	xy
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
10	6	100	36	60	30	24	900	576	720
14	10	196	100	140	32	17	1024	289	544
14	12	196	144	168	33	20	1089	400	660
21	14	441	196	294	35	20	1225	400	700
20	23	400	529	460	36	14	1296	196	504
26	22	676	484	572	36	19	1296	361	684
27	18	729	324	486	37	23	1369	529	851
28	14	784	196	392	37	24	1369	576	888
28	15	784	225	420	37	32	1369	1024	1184
28	16	784	256	448	38	18	1444	324	684
28	17	784	289	476	38	26	1444	676	988
28	21	784	441	588	39	26	1521	676	1014
30	16	900	256	480	$\Sigma = 760$		489	23 813	9987
30	22	900	484	660					15 065

В столбцах 3, 4, 5 вычислены x^2 , y^2 , xy . Найдя суммы по каждому столбцу, подставляем их в формулу (3.45).

В результате получаем

$$r = \frac{26 \cdot 15065 - 760 \cdot 489}{\sqrt{26 \cdot 23813 - 760^2} \sqrt{26 \cdot 9987 - 489^2}} = 0,69.$$

Коэффициент корреляции между значениями содержания вольфрама и молибдена довольно высок, однако объем выборки ($N=26$) слишком мал для того, чтобы полученный коэффициент корреляции можно было считать вполне надежным.

Полученный при таком объеме выборки коэффициент корреляции может быть использован при укрупненном перспективном планировании горных работ.

При значительном объеме информации *вычисление коэффициента корреляции* производят с применением метода условных чисел. Исходные данные группируют и заносят в корреляционную таблицу, число столбцов в которой равно числу интервалов признака x , число строк равно количеству интервалов признака y .

Коэффициент корреляции определяют по формуле

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum n_{x,y} \alpha_x \alpha_y - \beta_{1,x} \beta_{1,y}}{\sqrt{\beta_{2,x} - \beta_{1,x}^2} \sqrt{\beta_{2,y} - \beta_{1,y}^2}}, \quad (3.46)$$

где α_x и α_y — условные значения признаков x и y ; $\beta_{i,x}$ и $\beta_{i,y}$ — условные моменты i -го порядка, вычисленные для условных величин α_x и α_y .

Имеются данные по бороздовому опробованию трех разведочных выработок нового горизонта полиметаллического место-

X — содержание вольфрама в условных единицах

У — содержание молибдена в условных единицах	X — содержание вольфрама в условных единицах										n _Σ	α _Σ	n _Σ α _Σ	n _Σ α _Σ ²
	1—250 125	250—500 375	500—750 625	750—1000 875	1000—1250 1125	1250—1500 1375	1500—1750 1625	1750—2000 1875	2000—2250 2125					
105—120 112,5						2	2	2	1	4	4	4	16	64
90—105 97,5						1	1	3	1	3	4	3	12	36
75—90 82,5		1							1	2	3	2	6	12
60—75 67,5				1	2						3	1	3	3
45—60 52,5		1	8	7	3						19	0	0	0
30—45 37,5		7	23	1							31	—1	—31	31
15—30 22,5	3	30	6	2		1					42	—2	—84	168
1—15 7,5	7	4	2		1						14	—3	—42	126

У — содержание молибдена в условных единицах	Х — содержание вольфрама в условных единицах										n_{ij}	α_{ij}	$n_{ij} \alpha_{ij}$	$n_{ij}^2 \alpha_{ij}^2$
	1—250 125	250—500 375	500—750 625	750—1000 875	1000—1250 1125	1250—1500 1375	1500—1750 1625	1750—2000 1875	2000—2250 2125					
n_x	10	43	39	11	6	4	3	3	1	120	440			
α_x	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	—120				
$n_x \alpha_x$	—40	—129	—78	—11	0	4	6	9	4	$\Sigma = -235$				
$n_x^2 \alpha_x^2$	160	387	156	11	0	4	12	27	16	$\Sigma = 773$				
$n_x^3 \alpha_x^3$	—640	—1161	—312	—11	0	4	24	81	64	$\Sigma = -1951$				
$n_x^4 \alpha_x^4$	2560	3483	624	11	0	4	48	243	256	$\Sigma = 7229$				
$\Sigma n_y \alpha_y$	—27	—77	—41	—4	—1	6	11	9	4	$\Sigma = -120$				
$\alpha_x \Sigma n_y \alpha_y$	108	231	82	4	0	6	22	27	16	$\Sigma = 496$				
$\alpha_x^2 \Sigma n_y \alpha_y$	—432	—693	—164	—4	0	6	44	81	64	$\Sigma = -1098$				
$\Sigma y n_y$	120,0	1102,5	1432,5	517,5	300,0	300,0	322,5	292,5	112,5					
$\bar{y} = \Sigma y n_y / \Sigma n_x$	12,0	25,6	36,7	47,0	50,0	75,0	107,5	97,5	112,5					

рождения. Объем выборки $N=120$ пар значений содержания вольфрама и молибдена. Содержание вольфрама (x) колеблется в пределах от 86 до 2130, содержание молибдена y — от 4 до 120 условных единиц.

По формуле (3.3) определяют оптимальный интервал группировки для каждого металла:

$$h_x = \frac{2130 - 86}{1 + 3,2 \lg 120} = 267 \approx 250;$$

$$h_y = \frac{120 - 4}{1 + 3,2 \lg 120} = 15,1 \approx 15.$$

В соответствии с найденными величинами интервалов строят корреляционную табл. 3.8 (собственно корреляционная таблица обведена жирной чертой) и вносят в нее частоты признаков. Так, например, частота 23 свидетельствует о том, что пары признаков со значениями $500 \leq x \leq 750$ и $30 \leq y \leq 45$ встречается в выборке 23 раза.

Подсчитывают частоты n_y по строкам и n_x по столбцам и затем суммируют их по столбцу n_y и строке n_x для контроля.

По формуле (3.39) определяют значения α_x и α_y условных чисел, соответствующих каждому интервалу группировки исходных данных, принимая $x_0=1125$ и $y_0=52,5$. Значения α_x и α_y вписывают в строку и в столбец таблицы.

Для определения условных моментов, входящих в формулу (3.46), вычисляют $n_y \alpha_y$, $n_x \alpha_x$, $n_y \alpha_y^2$, $n_x \alpha_x^2$ и их суммы в соответствующих строках и столбцах таблицы 3.8.

Величины $n_{x,y}$, $\alpha_x \alpha_y$ вычисляют следующим образом. В корреляционной таблице над частотами справа записывают результаты перемножения величин $n_{x,y}$ и α_y . Затем суммируют полученные произведения по строке, вносят в результат суммирования в соответствующую клетку строки $\Sigma n_y \alpha_y$. Затем эту строку умножают на значение α_y . Аналогичные расчеты производят по столбцам.

Определяют первые и вторые произвольные моменты:

$$\beta_{1,x} = \frac{\Sigma n_x \alpha_x}{\Sigma n_x} = -\frac{235}{120} = -1,958;$$

$$\beta_{2,x} = \frac{\Sigma n_x \alpha_x^2}{\Sigma n_x} = -\frac{773}{120} = 6,442;$$

$$\beta_{1,y} = \frac{\Sigma n_y \alpha_y}{\Sigma n_y} = -\frac{120}{120} = -1,000;$$

$$\beta_{2,y} = \frac{\Sigma n_y \alpha_y^2}{\Sigma n_y} = -\frac{440}{120} = 3,667.$$

Подставив полученные значения в формулу (3.46), получают

$$r = \frac{\frac{1}{120} \cdot 496 - 1,958 \cdot 1,000}{\sqrt{6,442 - (-1,958)^2} \sqrt{3,667 - (-1,000)^2}} = 0,82.$$

Средняя квадратическая погрешность коэффициента корреляции

$$\sigma_r = \pm \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}. \quad (3.47)$$

Для приведенного примера

$$\sigma_r = \pm \frac{1 - 0,82^2}{\sqrt{120}} = \pm 0,03.$$

Надежность коэффициента корреляции определяют по формуле

$$\mu = \frac{|r| \sqrt{N}}{1 - r^2}. \quad (3.48)$$

Согласно теореме Ляпунова, при $\mu \geq 2,6$, связь между признаками надежна.

Для нашего примера

$$\mu = \frac{0,825 \sqrt{120}}{1 - 0,825^2} = 28,3.$$

Таким образом, между содержаниями вольфрама и молибдена существует надежная прямая прямолинейная корреляция с коэффициентом

$$r = 0,82 \pm 0,03.$$

Корреляционное отношение оценивает тесноту криволинейной связи, квадрат его определяется по формуле

$$\eta^2 = \sigma_{y_i}^2 / \sigma_y^2, \quad (3.49)$$

где σ_y^2 — общая дисперсия функционального признака y ; $\sigma_{y_i}^2$ — межгрупповая дисперсия, т. е. дисперсия частных средних функционального признака, посчитанных для каждого интервала группировки факториального признака x ,

$$\sigma_{y_i}^2 = \frac{\sum n_x (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{N}, \quad (3.50)$$

$\bar{y}_i$ — среднее значение интервала группировки признака; $\bar{y}$ — общая выборочная средняя функционального признака.

Вычисление корреляционного отношения η может производиться как по исходным данным в их натуральных значениях

y_i , так и по данным в условных единицах α_{yi} . Применение метода условных единиц значительно упрощает вычисления.

Вычислим корреляционные отношения с применением метода условных единиц для выборки, представленной в корреляционной табл. 3.8.

Общая выборочная средняя величины y в условных единицах определяется как общая взвешенная средняя:

$$\bar{\alpha}_y = \sum n_y \alpha_x / N = -120/120 = -1.$$

Частные средние $(\bar{\alpha}_y)_i$ величины y определяют как взвешенные средние для каждого интервала группировки величины x :

$$(\bar{\alpha}_y)_i = \sum n_y \alpha_y / n_x.$$

Так, например,

$$(\bar{\alpha}_y)_1 = -27/10 = -2,70;$$

$$(\bar{\alpha}_y)_2 = -77/43 = -1,79 \quad \text{и т. д.}$$

Частные средние $(\bar{\alpha}_y)_i$ и другие данные, необходимые для определения межгрупповой дисперсии, рассчитаны в табл. 3.9.

Межгрупповая дисперсия

$$\sigma_{(\bar{\alpha}_y)_i}^2 = \frac{\sum [(-\alpha_y)_i - \bar{\alpha}_y]^2 n_x}{N} = \frac{227,8995}{120} = 1,9.$$

Межгрупповой стандарт

$$\sigma_{(\bar{\alpha}_y)_i} = \pm \sqrt{1,9} = \pm 1,38.$$

Расчет данных для определения общей дисперсии приведен в табл. 3.10.

ТАБЛИЦА 3.9

$(\bar{\alpha}_y)_i$	n_x	$(\bar{\alpha}_y)_i - \bar{\alpha}_y$	$[(\bar{\alpha}_y)_i - \bar{\alpha}_y]^2$	$[(\bar{\alpha}_y)_i - \bar{\alpha}_y]^2 n_x$
1	2	3	4	5
-2,70	10	-1,70	2,8900	28,9000
-1,79	43	-0,79	0,6241	26,8363
-1,05	39	-0,05	0,0025	0,0975
-0,36	11	0,64	0,4096	4,5056
-0,17	6	0,83	0,6889	4,1334
1,50	4	2,50	6,2500	25,0000
3,67	3	4,67	21,8089	65,4267
3,00	3	4,00	16,0000	48,0000
4,00	1	5,00	25,0000	25,0000

$$\Sigma = 120;$$

$$\Sigma = 227,8995$$

ТАБЛИЦА 3.10

α_y	n_y	$\alpha_y - \bar{\alpha}_y$	$(\alpha_y - \bar{\alpha}_y)^2$	$(\alpha_y - \bar{\alpha}_y)^2 n_y$
4	4	5	25	100
3	4	4	16	64
2	3	3	9	27
1	3	2	4	12
0	19	1	1	19
-1	31	0	0	0
-2	42	-1	1	42
-3	14	-2	4	56
$\Sigma = 120;$			$\Sigma = 320$	

Общая дисперсия

$$\sigma_{\alpha_y}^2 = \frac{\sum (\alpha_y - \bar{\alpha}_y)^2 n_y}{N} = \frac{320}{120} = 2,67.$$

Общий стандарт

$$\sigma_{\alpha_y} = \pm \sqrt{2,67} = \pm 1,63.$$

Корреляционное отношение

$$\eta = \frac{\sigma(\alpha_y)_i}{\sigma_{\alpha_y}} = -\frac{1,38}{1,63} = 0,847.$$

Таким образом, корреляционное отношение близко к единице, что свидетельствует о наличии тесной зависимости между содержаниями вольфрама и молибдена. Поскольку величина корреляционного отношения превосходит величину коэффициента корреляция, связь между исследуемыми признаками — криволинейная.

При производстве корреляционного анализа необходимо помнить, что теснота корреляционной зависимости двух или нескольких признаков нередко проявляется по-разному на разных по сортам участках одного и того же месторождения, а также на участках залежи с богатым и бедным содержанием компонентов. Кроме того, при составлении корреляционной таблицы не учитывается пространственное размещение показателей.

Поэтому формальная обработка исходных данных без учета структурных и литологических особенностей месторождения может привести к выводу об отсутствии корреляционной связи, в то время как на отдельных участках она существует, и наоборот.

§ 7. Определение вида корреляции между двумя признаками

Определение вида корреляции между признаками имеет смысл лишь при достаточно тесной связи ($|r| \geq 0,5$ или $\eta \geq 0,5$). Поэтому рекомендуется статистическую обработку данных начинать с корреляционного анализа и затем, после установления реальной устойчивой связи между признаками, производить регрессионный анализ.

Уравнение регрессии, т. е. уравнение связи, отыскивают в виде

$$\bar{y}_x = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

Наиболее распространенный способ установления вида связи основан на принципе наименьших квадратов, который состоит в том, что сумма квадратов отклонений физических (эмпирических) значений функционального признака от соответствующих значений $\bar{y}_x$, вычисленных по уравнению регрессии, должна быть наименьшей:

$$\sum (y - \bar{y}_x)^2 = \min. \quad (3.51)$$

Применительно к уравнению первого порядка (прямолинейная связь)

$$\bar{y}_x = a + bx; \quad (3.52)$$

левая часть уравнения (3.51) может быть представлена в виде

$$f = \sum (y - a - bx)^2.$$

Минимуму функции f удовлетворяют такие значения параметров a и b , для которых

$$\partial f / \partial a = 0; \quad \partial f / \partial b = 0. \quad (3.53)$$

Найдя частные производные (3.53) и приравняв их к нулю, получают систему двух уравнений

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= na + b \sum x, \\ \sum yx &= a \sum x + b \sum x^2, \end{aligned} \right\} \quad (3.54)$$

решение которой относительно параметров a и b позволяет установить вид уравнения (3.52).

Параметры a , b и c уравнения регрессии второго порядка

$$\bar{y}_x = a + bx + cx^2 \quad (3.55)$$

определяют решением системы нормальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= na + b \sum x + c \sum x^2, \\ \sum xy &= a \sum x + b \sum x^2 + c \sum x^3, \\ \sum x^2 y &= a \sum x^2 + b \sum x^3 + c \sum x^4. \end{aligned} \right\} \quad (3.56)$$

Уравнения системы (3.56) находят приравниванием к нулю частных производных функций

$$f = \sum (y - a - bx - cx)^2$$

по параметрам a , b и c .

Решение системы нормальных уравнений относительно параметров a , b и c может осуществляться любым известным читателю методом: последовательного исключения, по схеме Гаусса, по формулам Крамера, методом итерации и т. д.

Прямолинейная зависимость. Данные не сгруппированы. Найдем уравнение прямолинейной зависимости между признаками x и y , значения которых приведены в столбцах 1 и 2 табл. 3.7, для чего решим относительно параметров a и b систему уравнений (3.54), поставив в нее числовые значения Σy , Σx , Σxy , Σx^2 из табл. 3.7.

Исходная система нормальных уравнений имеет вид

$$\left. \begin{aligned} 489 &= 26a + 760b, \\ 15\,065 &= 760a + 23\,813b. \end{aligned} \right\}$$

Делим каждое уравнение на коэффициент при a :

$$a + 29,23b = 18,81, \quad (3.57)$$

$$a + 31,33b = 19,82. \quad (3.58)$$

Вычтя из второго уравнения первое, получим

$$2,10b = 1,01,$$

откуда

$$b = 1,01/2,10 = 0,48.$$

Подставляя полученное значение b в уравнения (3.57) и (3.58), получим

$$a + 29,23 \cdot 0,48 = 18,81; \quad a = 4,78;$$

$$a + 31,33 \cdot 0,48 = 19,82; \quad a = 4,78.$$

Правильность решения исходной системы нормальных уравнений подтверждается получением тождеств при подстановке в уравнения полученных значений параметров a и b .

Таким образом, искомое уравнение регрессии имеет вид

$$\bar{y}_x = 4,78 + 0,48x.$$

Подставляя различные значения признака X от 10 до 40 в уравнение регрессии, получаем соответствующие значения $\bar{y}_x$. По этим значениям строим прямую регрессии в поле корреляции.

Прямолинейная зависимость. Данные сгруппированы. Если данные сгруппированы, то вначале отыскивают параметры уравнения регрессии в условных числах

$$\bar{\alpha}_y = a + b\alpha_x.$$

Проиллюстрируем это на примере установления вида связи между значениями α_x и α_y , помещенными в корреляционной табл. 3.8.

Применительно к уравнению регрессии в условных единицах система нормальных уравнений (3.54) принимает вид

$$\left. \begin{aligned} \sum n_y \alpha_y &= Na + b \sum n_x \alpha_x, \\ \sum n_{x,y} \alpha_x \alpha_y &= a \sum n_x \alpha_x + b \sum n_x \alpha_x^2. \end{aligned} \right\} \quad (3.59)$$

Подставляя в систему необходимые данные из корреляционной табл. 3.8, получаем:

$$-120 = 120a - 235b, \quad (3.60)$$

$$496 = -235a + 773b. \quad (3.61)$$

Разделив каждое уравнение на коэффициент при a и сложив полученные уравнения, найдем

$$1,33b = 1,11; \quad b = 0,83.$$

Подставив значение b в уравнения (3.60) и (3.61), получим значение параметра a

$$a = 0,62.$$

Уравнение регрессии в условных единицах имеет вид

$$\bar{\alpha}_y = 0,62 + 0,83\alpha_x. \quad (3.62)$$

Но величины α_x и α_y , в соответствии с (3.39), равны

$$\alpha_x = \frac{x - 1125}{250}; \quad \alpha_y = \frac{y - 52,5}{15}.$$

Подставив эти значения в уравнение (3.62), получим уравнение регрессии y по x в натуральном выражении:

$$\frac{\bar{y} - 52,5}{15} = 0,62 + 0,83 \frac{x - 1125}{250},$$

или, после преобразований,

$$\bar{y}_x = 5,78 + 0,05x. \quad (3.63)$$

Параболическая зависимость. Параметры a , b , c уравнения регрессии

$$\bar{\alpha}_y = a + b\alpha_x + c\alpha_x^2$$

определяются решением системы нормальных уравнений

$$\sum \alpha_y n_y = Na + b \sum \alpha_x n_x + c \sum \alpha_x^2 n_x,$$

$$\sum n_{x,y} \alpha_x \alpha_y = a \sum n_x \alpha_x + b \sum \alpha_x^2 n_x + c \sum \alpha_x^3 n_x,$$

$$\sum \alpha_x^2 n_x \alpha_y = a \sum \alpha_x^2 n_x + b \sum \alpha_x^3 n_x + c \sum \alpha_x^4 n_x,$$

являющейся модификацией системы (3.56) применительно к сгруппированным данным и методу условных чисел.

Подставив числовые данные из табл. 3.8, получим

$$\left. \begin{aligned} -120 &= 120a - 235b + 773c, \\ 496 &= -235a + 773b - 1951c, \\ -1098 &= 773a - 1951b + 7229c. \end{aligned} \right\}$$

Решение системы одним из упомянутых выше способов дает $a = 0,542$; $b = 0,870$; $c = 0,025$.

Уравнение регрессии в условных числах:

$$\bar{\alpha}_y = 0,542 + 0,870\alpha_x + 0,025\alpha_x^2.$$

Переходя к переменным x и y , получим

$$\frac{y - 52,5}{15} = 0,542 + 0,870 \frac{x - 1125}{250} + 0,025 \left(\frac{x - 1125}{250} \right)^2,$$

или, после преобразований,

$$\bar{y}_x = 54,1 + 0,016x + 6 \cdot 10^{-6}x^2. \quad (3.64)$$

Эмпирическая и теоретическая линии регрессии. В нижней строке табл. 3.8 определены средние значения $\bar{y}$ показателя y для классов группировки показателя x . По средним значениям факториального признака и вычисленным средним значениям $\bar{y}$ функционального признака строят график зависимости между признаками. График представляет собой ломаную линию и называется эмпирической линией регрессии.

В интервалах значений x от 0 до 1000 эмпирическая линия регрессии имеет плавный характер, с дальнейшим же возрастанием значений x линия регрессии сохраняет тенденцию к возрастанию, однако плавность утрачивается. Скачкообразный характер возрастания обусловлен недостаточным количеством исходных данных в интервалах $x > 1000$.

Имеются основания полагать, что с увеличением объема исходных данных эмпирическая линия регрессии будет постепенно сглаживаться.

Положение эмпирической линии регрессии, к которому она стремится при увеличении числа наблюдений, называют *теоретической линией регрессии*. Теоретические линии регрессии выражаются полученными в результате анализа уравнениями регрессии.

Для построения теоретических линий регрессии применительно к нашему примеру рассчитаем по уравнениям регрессии (3.63) и (3.64) и средним значениям факториального признака $x = 125$, $x = 375$ и т. д. теоретические значения функционального признака.

Результаты вычислений приведены в табл. 3.11.

По вычисленным значениям $\bar{y}_x$ строят теоретические линии регрессии.

ТАБЛИЦА 3.11

x	$\bar{y}$ эмпирические значения	$\bar{y}_x$ по уравнению (3.63)	$\bar{y}_x$ по уравнению (3.64)
125	12,0	12,0	14,4
375	25,6	24,5	24,8
625	36,7	37,0	36,0
875	47,0	49,5	49,0
1125	50,0	62,0	60,6
1375	75,0	74,5	74,0
1625	107,0	87,0	88,2
1875	97,5	99,5	103,2
2125	112,5	112,0	118,8

Корреляционная зависимость, установленная на исходном материале значительного объема, позволяет:

по замерам одного и редким контрольным замерам другого показателя выявлять закономерности размещения последнего с необходимой степенью точности;

выбирать наиболее удобный и экономичный метод определения значений показателей. Например, уравнение связи между значениями содержания двух компонентов может быть использовано для расчетного определения содержания одного из компонентов, химические анализы на который более трудоемки либо более дороги, по эмпирическим значениям содержания второго компонента. Химические анализы на первый компонент в этом случае производят лишь для контроля и в ограниченном количестве.

§ 8. Множественная корреляция

Если на результативный признак X действуют два факториальных Y и Z , то в случае линейной связи ее теснота между результативным признаком и совокупным влиянием двух факториальных определяется совокупным коэффициентом корреляции:

$$R = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{xy}^2}},$$

где r — линейные коэффициенты корреляции, вычисляемые по формуле (3.44); подстрочные знаки показывают, между какими признаками они исчисляются.

Если на результативный признак, например X_1 , влияют три и более ($23 \dots k$) факториальных признака, то совокупный коэффициент корреляции вычисляют по формуле

$$R_{1.23 \dots k} = \sqrt{1 - \frac{R}{R_{11}}},$$

где R и R_{11} выражаются определителями

$$R = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} & \dots & r_{k1} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} & \dots & r_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1k} & r_{2k} & r_{3k} & \dots & r_{kk} \end{vmatrix},$$

$$R_{11} = \begin{vmatrix} r_{22} & r_{32} & \dots & r_{k2} \\ r_{23} & r_{33} & \dots & r_{k3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{2k} & r_{3k} & \dots & r_{kk} \end{vmatrix},$$

где r — линейные коэффициенты корреляции между соответствующими индексам признаками, вычисляемые по формуле (3.44). При этом $r_{11} = r_{22} = r_{33} = \dots = r_{kk} = 1$,

$$r_{12} = r_{21}; \quad r_{13} = r_{31}; \quad r_{23} = r_{32} \quad \text{и т. д.}$$

Совокупный коэффициент корреляции $R_{1.23\dots k}$ позволяет определить, насколько дополнительная информация факториальных признаков $X_3, X_4, \dots, X_k$ увеличивает возможность предсказывать X_1 по X_2 . Во всяком случае $R_{1.23\dots k} > r_{12}$.

Частный коэффициент корреляции оценивает степень связи одного фактора с другим, взятым в отдельности, при исключении влияния третьих факторов, которые принимают за постоянные.

Так, при линейной связи между y, x, z частный коэффициент корреляции y и x при исключенном влиянии z будет равен:

$$r_{yx(z)} = \frac{r_{yx} - r_{yz}r_{xz}}{\sqrt{(1 - r_{yz}^2)(1 - r_{xz}^2)}}.$$

При четырех факторах X_1, X_2, X_3, X_4 частный коэффициент корреляции, например, между X_1 и X_3 при X_2 и X_4 постоянных может быть вычислен по формуле

$$r_{13.24} = - \frac{R_{13}}{\sqrt{R_{11}R_{33}}},$$

где $R_{13}; R_{11}; R_{33}$ — миноры, как определители низшего порядка, которые остаются, когда i -я колонка и j -я строка определителя высшего порядка вычеркиваются.

Сравнивая $r_{13.24}$ с r_{13} , определяют степень влияния факторов, принятых за постоянные, по сравнению с простой корреляцией r_{13} между двумя данными факторами.

§ 9. Применение теории информации

Теория информации — раздел кибернетики, в котором математическими методами изучаются способы измерения количества информации, содержащейся в каких-либо сообщениях, и оценка качества передачи, хранения, извлечения и классификации информации.

Процесс извлечения информации связывают с уменьшением неопределенности наших сведений об объекте. Числовой мерой неопределенности некоторого события является его вероятность.

В основе теории информации лежит предложенное К. Шенноном выражение меры количества информации, содержащейся в одном случайном объекте (событии, величине, функции и т. п.).

$$J = -\sum p_i \log p_i,$$

где p_i — вероятность (или частота) i -й группы или отдельного i -го значения фактора.

Пусть ξ — случайная величина, принимающая значения $x_1, x_2, \dots, x_n$ с вероятностями $p_1, p_2, \dots, p_n$; а η — случайная величина, принимающая значения $y_1, y_2, \dots, y_m$ с вероятностями $q_1, q_2, \dots, q_m$. Тогда информация $J(\xi, \eta)$ относительно η , содержащаяся в ξ , определяется формулой

$$J(\xi, \eta) = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2(p_{ij}/p_i q_j),$$

где p_{ij} — вероятность совмещения событий $\xi = x_i$ и $\eta = y_j$ и логарифмы по основанию 2.

Величина $H(\xi) = I(\xi, \eta) = \sum_i p_i \log_2(1/p_i)$ носит название энтропии случайной величины ξ . Понятие энтропии относится к числу основных понятий теории информации.

Количество информации и энтропия связаны соотношением

$$J(\xi, \eta) = H(\xi) + H(\eta) - H(\xi, \eta),$$

где $H(\xi, \eta)$ — энтропия пары (ξ, η) , т. е.

$$H(\xi, \eta) = -\sum_{i,j} p_{ij} \log_2(1/p_{ij}).$$

Величина энтропии указывает среднее число двоичных знаков, необходимое для различения (записи) возможных значений случайной величины.

По содержащейся информации возможно сравнение различных групп данных аналогично тому, как сравнивают плоские фигуры по их площади.

В качестве единицы информации принимается бит — двоичная единица информации, численно равная количеству информации в испытании с двумя взаимоисключающими равновероятностными альтернативами (например, опыт в подбрасывании монеты $p_1 = p_2 = 1/2$):

$$J(p_1, p_2) = -p_1 \log_2 p_1 - p_2 \log_2 p_2 = \log_2 2 = 1 \text{ бит}$$

в случае, если логарифмы берутся по основанию 2.

Принимают и другие единицы информации — «хартли» или «нит», в определении которых используются соответственно десятичные или натуральные логарифмы.

Теория информации находит все более широкое применение в исследованиях недр. При этом работы ведутся в двух направлениях — обосновании правомерности применения теории информации и создания информационных оценок как отдельных, так и совокупных признаков при исследовании геологических объектов.

Оценке информативности подвергаются поисковые признаки, показатели для морфометрических построений, качественные признаки (выражаемые количественно) с использованием факторного анализа, метода экспертных оценок и т. п.

Горные породы, руды, месторождения классифицируются по комплексу признаков (факторов), характеризующихся различной информативностью. Это используют, например, для сопоставления блоков или участков рудного тела по сложности и изменчивости совокупности геологических факторов. При этом интегральную оценку изменчивости совокупного фактора получают с использованием в качестве веса информативность J_j каждого геологического фактора.

Количество информации является мерой неопределенности, и с получением последующих данных об исследуемом объекте неопределенность уменьшается. При этом с увеличением числа опытов (анализов, измерений, наблюдений) количество информации растет вначале быстро, затем все медленнее и, наконец, стабилизируется. Это в ряде случаев используют для установления необходимого количества измерений, опробования и т. п.

§ 10. Применение теории случайных функций

Функция, значение которой при каждом данном значении аргумента является случайной величиной, называется случайной функцией.

Конкретный вид, принимаемый случайной функцией в результате опыта, называется реализацией случайной функции. Случайная функция изображается случайной кривой (линией или поверхностью), у которой все ординаты (аппликаты) являются случайными величинами.

Строго говоря, случайная функция не может быть изображена кривой на графике. Кривой изображается лишь ее конкретная реализация. Поэтому в теории случайных функций под кривой случайной функции понимают не конкретную реализацию, а всю совокупность возможных реализаций случайной функции.

Из теории случайных функций известно, что основными характеристиками случайной функции являются следующие величины:

математическое ожидание — это некоторая средняя неслучайная функция, около которой различным образом варьируют конкретные реализации случайной функции:

$$m_x(l) = M[X(l)].$$

Для упрощения вычислений и исследования характеристик пользуются часто центрированной случайной функцией

$$\overset{0}{X}(l) = X(l) - m_x(l),$$

дисперсия — функция, значение которой для каждого аргумента l равно дисперсии случайных величин, соответствующих данному аргументу случайной функции:

$$D_x(l) = D[X(l)].$$

Дисперсия характеризует ширину полосы разброса возможных реализаций случайной функции относительно среднего значения функции. Ширина полосы размаха более пределов -3σ — $+3\sigma$ маловероятна. Корень квадратный из дисперсии — есть среднее квадратическое отклонение случайной функции.

Корреляционная функция. Мерой связи (зависимости) между ординатами (сечениями) случайной функции при двух различных значениях аргумента l и l' служит корреляционный момент:

$$K_x(l, l') = M[\overset{0}{X}(l) \overset{0}{X}(l')],$$

т. е. математическое ожидание произведения центрированных величин. Выбирая l и l' разными способами, получают разные величины K_x , т. е. корреляционную или автокорреляционную функцию.

Корреляционной функцией называется функция двух аргументов $K_x(l, l')$, которая при каждой паре значений l и l' равна корреляционному моменту соответствующих сечений случайной функции.

Если $l=l'$, то K_x превратится в дисперсию. Корреляционная функция характеризует ширину полосы колебаний случайной функции и динамику — возможное изменение кривой от одного значения аргумента к другому.

Отмеченные величины являются минимально допустимыми для прикладной характеристики случайных функций.

В теории случайных функций особое внимание уделяется частному, но важному для практики классу функций — стационарным случайным функциям и однородным случайным полям.

Отличительной особенностью стационарной случайной функции является:

постоянство математического ожидания

$$m_x(l) = m_x = \text{const},$$

постоянство дисперсии

$$D_x(l) = D_x = \text{const},$$

зависимость корреляционной функции только от разности своих аргументов

$$K_x(l, l') = k_x(l' - l) = k_x(\Delta l),$$

т. е. корреляционная функция является функцией одного аргумента, а именно интервала или длины промежутка Δl между соседними аргументами, и не зависит от положения этого промежутка на оси l . Стационарная случайная функция, удовлетворяющая этим условиям, называется стационарной в широком смысле.

В узком смысле случайная функция называется стационарной, если ее n -мерный закон распределения зависит только от интервалов изменения аргументов l и l' и не зависит от положения интервалов в области изменения аргументов.

При изучении размещения различных свойств месторождения (залежи) применяют оба рода функций. Если данные опробования по выработке, например АГ (рис. 3.3, в), отвечают основным свойствам стационарной случайной функции, то в этом случае выработка очевидно проходит внутри слоя геохимического поля.

По выработкам АБ и АВ данные измерений, представленные на графиках рис. 3.3, а и 3.3, б, должны обрабатываться с использованием аппарата нестационарных случайных функций. Эти выработки, очевидно, пересекают слои геохимического поля. На рис. 3.3, г представлен план расположения горных выработок и изолиний размещения средних значений компонента на одном из горизонтов мощной рудной залежи.

На рис. 3.4, б схематично изображено размещение минеральных зерен на некотором исследуемом участке залежи.

Участок разделен на такие практически элементарные объемы, средние значения показателя в которых ($c_1, c_2, \dots, c_n$), отнесенные к их центрам, позволяют функцию размещения рассматривать в виде непрерывной и относительно плавной кривой M_x (рис. 3.4, б).

Каждый практически элементарный или просто практический объем со средним значением в нем показателя C_i можно представить состоящим из ряда более мелких объемов, равных или несколько больших средней величины минерального зерна. Естественно, что содержание компонента или степень заполнения объемов минеральными зернами в различных объемах будет сильно различаться: одни объемы будут полностью или частично заполнены минеральным зерном, в других совершенно

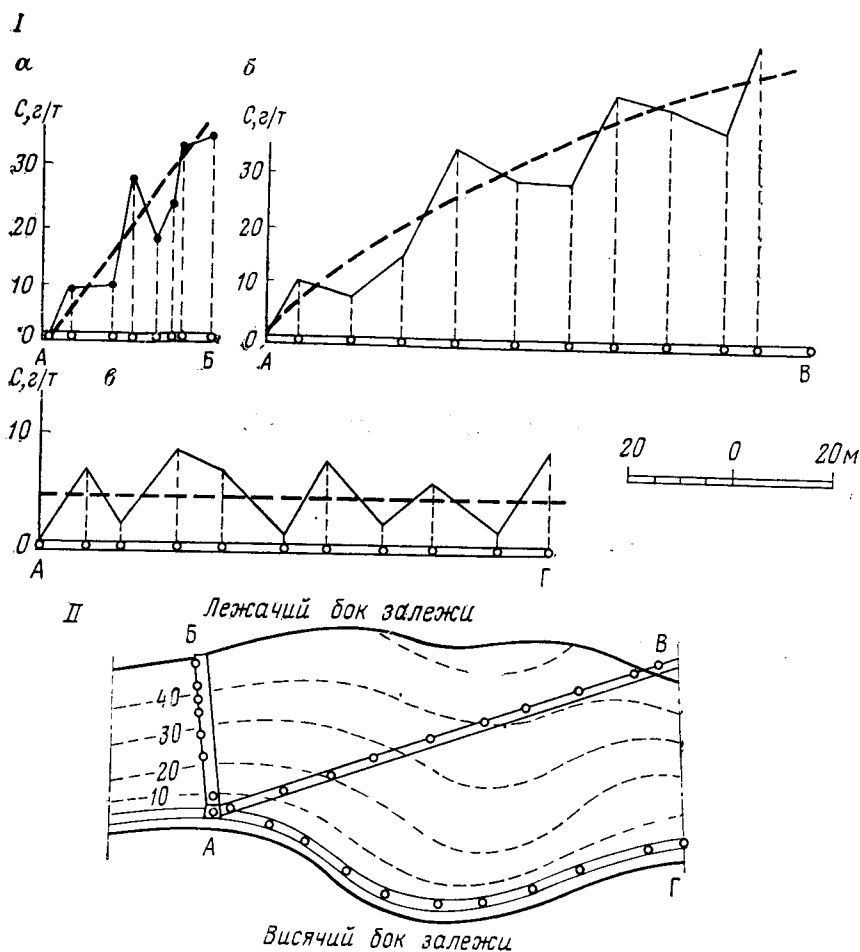


РИС. 3.3. Изменение содержания C компонента по выработкам (I) и схема их расположения на плане (II)

не окажется таких зерен и, следовательно, содержание компонента в них равно нулю.

Представим далее, что имеем ряд реализаций функции размещения показателя, причем в каждую реализацию стохастически попадает по одному элементарному объему из каждого практического объема.

Кривые таких реализаций $m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}$, построенные по значениям содержания показателя в этих объемах будут варьироваться относительно кривой M_x аналогично тому, как в случайных функциях различные ее реализации варьруют от-

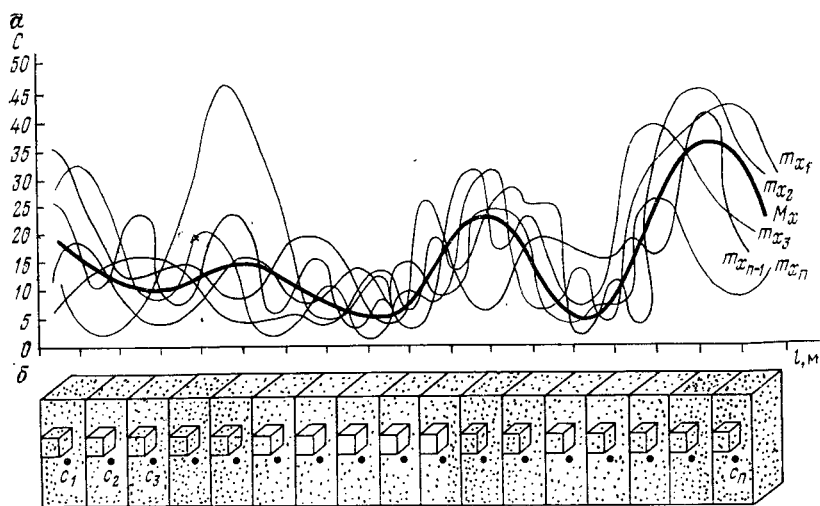


РИС. 3.4. Геометрическое выражение размещения минерализации на участке залежи:

а — случайная функция размещения; б — схема минерализации

носителем случайной функции или некоторой средней кривой — совокупности всех возможных реализаций.

При увеличении размеров объема изменчивость кривых реализаций будет уменьшаться и кривые реализаций будут ближе к кривой M_x . Нетрудно убедиться, что функция M_x размещения показателя залежи обладает такими же свойствами, какими обладает случайная функция.

Если показатель залежи не представляется действительной поверхностью, то, так же как случайную функцию, действительную функцию размещения показателей в недрах практически построить не всегда возможно. Прежде всего возникает вопрос, что понимать под действительной функцией размещения показателя? Если за эту функцию принимать такую, которая отражала бы влияние каждого минерального зерна, то в этом случае мы имели бы прерывистую, скачкообразную кривую, в построении и пользовании которой часто нет практической необходимости.

Практически измерение (опробование) показателя производят в объемах, значительно превышающих размер минеральных зерен, поэтому реализации представляются кривыми, относительно более плавными.

Вид кривой изменения показателя по выработке зависит не только от характера изменчивости показателя, но и от метода опробования, измерения, размера проб, густоты опробования, положения начальной точки при опробовании через определенный интервал и пр. Таким образом, в зависимости от условий

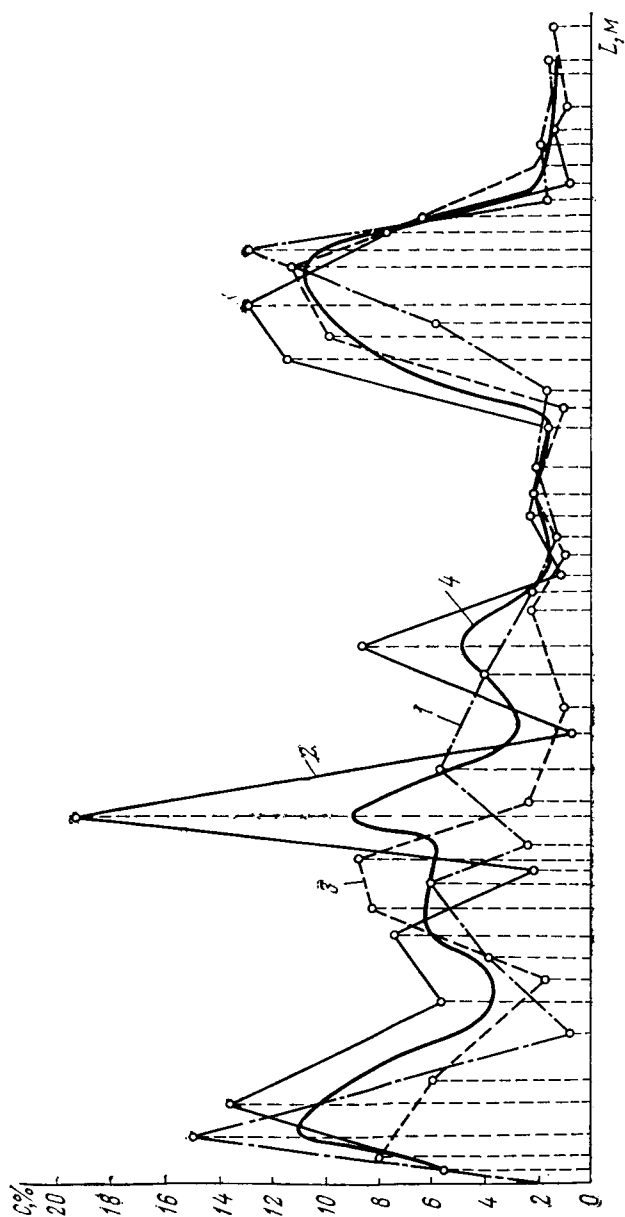


РИС. 3.5. Реализации 1, 2 и 3 функции размещения показателя по выработке при смещении опробования через один интервал и средняя 4 из полученных реализаций

и метода проведения опыта для одного и того же исследуемого участка могут быть получены различные по изменчивости реализации функции размещения.

На рис. 3.5 приведены кривые, построенные по данным экспериментального опробования содержания C на MgO по горной выработке одного из месторождений метаморфизованных известняков. Выработка пройдена в однородных породах.

Опробование проводилось сплошной бороздой по стенке выработки. В одну пробу включался материал из борозды длиной 4 м (в среднем). Значение пробы относилось к середине интервала.

В производственных условиях такой же метод опробования в подготовительных выработках производится через 12 м. На рис. 3.5 кривыми 1, 2, 3 представлены возможные реализации функции изменения показателя в зависимости от положения начальной точки опробования. Из рисунка видно, что кривые значительно отличаются друг от друга и охватывают довольно широкую полосу размаха. Аналогичная картина наблюдается на многих месторождениях с весьма неравномерным размещением показателя.

Из изложенного видно, что при одних и тех же условиях опыта, например методе опробования, конкретные реализации могут иметь различный по изменчивости вид.

Следовательно, действительная функция размещения показателя характеризуется не одной реализацией, а совокупностью реализаций так же, как своими реализациями представляется случайная функция.

Но так как вид реализации зависит от условий опыта, следовательно, от этого зависит и вид вскрываемой функции размещения показателя. Отсюда действительная функция размещения показателя есть понятие относительное, определяемое условиями опыта и требованиями технологии.

Под действительной функцией (кривой или поверхностью) размещения показателя по аналогии с определением случайной функции следует понимать не конкретную реализацию, а всю совокупность возможных реализаций показателя при определенных условиях опыта, т. е. кривые M_x .

Условия опыта определяются рядом теоретических и практических требований.

§ 11. Эргодическое свойство функции размещения и определение ее характеристик по одной реализации

Эргодическое свойство случайной функции состоит в том, что одна отдельная ее реализация на достаточно большом интервале оказывается эквивалентной большому числу наблюдений — всей совокупности возможных реализаций: другими словами, одна реализация может служить достаточным опытным материалом для получения характеристик случайной функции.

Не все случайные функции обладают этим свойством. Поэтому различают два подкласса функций — эргодические и неэргодические.

Если случайная функция обладает эргодическим свойством, то для нее среднее на достаточно большом участке наблюдений приближенно равно среднему по множеству наблюдений. То же будет верно для дисперсии и корреляционной функции. Следовательно, основные характеристики случайной функции — математическое ожидание, дисперсию, корреляционную функцию можно приближенно определять по одной реализации на довольно длинном интервале.

Достаточным, но не необходимым условием эргодичности функции является:

$$K_x(\Delta l) \rightarrow 0 \text{ при } \Delta l \rightarrow \infty,$$

т. е. убывание корреляционной связи между значениями случайной функции по мере увеличения интервала между аргументами.

Если при $\Delta l \rightarrow \infty$ функция $K_x(\Delta l)$ не стремится к нулю, а приближается к некоторому постоянному значению, то функция неэргодическая.

Примером такой функции могут служить реализации 1, 2, 3 (рис. 3.6). Средние значения каждой из этих реализаций и их дисперсии значительно расходятся с математическим ожиданием и дисперсией функции изменения показателя, изображенной сплошной линией, корреляционные функции реализаций не стремятся к нулю.

Действительная функция размещения может быть определена или по средним данным из группы проб представительного опробования, или путем усреднения (сглаживания) одной из ее реализаций, обладающей эргодическим свойством.

При этом размер статистического окна при сглаживании реализации следует принимать таким, при котором получаемая сглаженная кривая имела минимальное среднее квадратическое отклонение или совпадало с действительной функцией (математическим ожиданием) размещения при данных условиях опыта.

Под представительностью результатов опробования понимается степень соответствия значения показателя в данной пробе действительному значению показателя на участке, освещаемом этой пробой, или степень соответствия среднего значения пока-

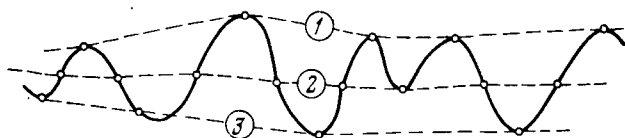


РИС. 3.6. Функция размещения показателя и ее 1, 2, 3 неэргодические реализации

зателя, установленного по группе проб и распространяемого на участок, действительному среднему значению показателя на этом участке.

Рассмотрим определение основных характеристик функции размещения показателя залежи на конкретном примере. На рис. 3.5 приведены возможные реализации при опробовании в горной выработке. Данные опробования по одной из трех реализаций приведены в графе 2 табл. 3.12.

Математическое ожидание функции можно принять приближенно равным среднему значению реализации:

$$C_{\text{ср}} \cong m_x^* = \sum_{i=1}^n c_i/n = 73,08/17 = 4,3 \text{ \%}.$$

Дисперсия признака:

$$D_x^{*1} \approx \sigma^2 = \sum (c_i - C_{\text{ср}})^2/n = 210,70/17 = 12,4 \text{ \%}.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \pm 3,52 \text{ \%}.$$

Найдем корреляционную функцию для значений интервала $l = m\Delta l$, придавая m последовательно значения 0, 1, 2, 3... и т. д.

Величина перемещения интервала $\Delta l = L/n$ определяется характером изменения кривой. На участках, где кривая изменяется плавно, Δl берется бóльшим, чем при частых колебаниях кривой.

Ориентировочно рекомендуется выбирать Δl так, чтобы на полный период самой частой гармоник функции приходилось 5—10 опорных точек. В нашем случае вычисление ведется по непосредственно полученным из опыта данным, без вспомогательных промежуточных точек, так как это не повышает точность результата.

Корреляционная функция вычисляется по формуле

$$K_x\left(\frac{L}{n} m\right) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \overset{0}{X}(l_i) \overset{0}{X}(l_i + m),$$

где $\overset{0}{X}(l_i)$ — разность между значениями в данной пробе и средним значением ее реализации. Вычисления сведены в табл. 3.12. Они производятся для $m=0, 1, 2, \dots$ последовательно вплоть до таких значений m , при которых корреляционная функция становится практически равной нулю или начинает совершать небольшие колебания около нуля. В нашем примере это наблюдается при $m=10$.

В табл. 3.12 в вертикальных колонках последовательно даны номер 1 и значение показателя 2, отклонение значения показателя от среднего 3, квадраты отклонений 4, произведения отклонений для значений показателя, удаленных друг от друга последовательно на один интервал 5, на два интервала 6, на три интервала 7 и т. д.

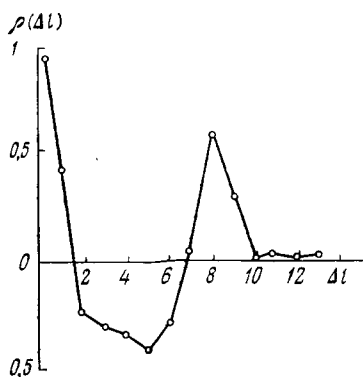


РИС. 3.7. Корреляционная функция по реализации 3, представленной на рис. 3.5

представлен график функции $\rho(\Delta l)$. Не вполне гладкий ход корреляционной функции объясняется сравнительно малым объемом данных. Если сгладить незакономерные колебания, то функция приближается к экспоненциально-косинусной вида

$$\rho(l) = e^{-\alpha |l|} \cos \omega l.$$

ТАБЛИЦА 3.12

№ п п	C, %	δ	δ^2	$\delta_i \delta_{i+1}$	$\delta_i \delta_{i+2}$	$\delta_i \delta_{i+3}$	$\delta_i \delta_{i+4}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	8,0	3,7	13,65				
2	6,0	1,7	2,90	6,29			
3	1,7	-2,6	6,75	-4,42	-9,62		
4	8,1	3,8	14,45	-9,88	6,46	14,06	
5	9,1	4,8	23,00	18,24	-12,48	8,16	17,76
6	2,3	-2,0	4,00	-9,60	-7,60	5,20	-3,40
7	0,9	-3,4	11,56	6,80	-16,32	-12,92	8,84
8	2,2	-2,1	4,40	7,14	4,20	-10,08	-7,98
9	0,9	-3,4	11,50	7,14	11,56	6,80	-16,32
10	2,0	-2,3	5,30	7,82	4,83	7,82	4,60
11	1,1	-3,2	10,20	7,36	10,88	6,72	10,88
12	9,5	5,2	27,00	-16,64	-11,96	-17,68	-10,92
13	11,0	+6,7	44,90	34,84	-21,44	-15,41	-22,78
14	6,2	1,9	3,65	12,73	9,88	-6,08	-4,37
15	2,1	-2,2	4,84	-4,18	-14,74	-11,44	7,04
16	0,7	-3,6	13,00	7,92	-6,84	-24,12	-18,72
17	1,2	-3,1	9,60	11,16	6,82	-5,89	-20,77
$\sum_m$	73,8	0,0	210,70	82,72	-46,37	-54,86	-56,14
$K_x(\Delta l m)$	—	—	0	1	2	3	4
$\rho(\Delta l)$	—	—	12,40	5,17	-3,09	-3,92	-4,32
	—	—	1,00	0,42	-0,25	-0,32	-0,35

Итак, функция показателя, реализацию которой мы рассматривали, является *эргодической*.

Следовательно, по этой одной реализации можно определять основные характеристики исходной функции.

В самом деле, среднее значение реализации отличается абсолютно на 0,1 % от генеральной средней; сглаженная кривая этой реализации близко подходит к действительной кривой размещения.

Вычисления корреляционных функций по реализациям 1, 2 показали неравномерные колебания функций, т. е. малую их эргодичность. И в действительности эти реализации меньше отражают как среднее исходной функции, так и действительную кривую при их сглаживании.

§ 12. Размер статистического окна при сглаживании реализаций

В зависимости от целей различают статистическое и геометрическое сглаживание. Первое производят с целью фильтрации исходных данных от случайной составляющей, второе — позволяет получить с определенной средней квадратической погрешностью вид размещения изучаемого показателя. При сглаживании реализаций размер окна принимают часто из практических

$\delta_i \delta_{i+5}$	$\delta_i \delta_{i+6}$	$\delta_i \delta_{i+7}$	$\delta_i \delta_{i+8}$	$\delta_i \delta_{i+9}$	$\delta_i \delta_{i+10}$	$\delta_i \delta_{i+11}$	$\delta_i \delta_{i+12}$	$\delta_i \delta_{i+13}$
9	10	11	12	13	14	15	16	17
—7,40								
—5,76	—12,58							
5,46	—3,57	—7,77						
—12,92	8,84	—5,78	—12,58					
—11,04	—8,74	5,98	—3,91	—8,51				
6,40	—15,36	—12,16	8,32	—5,44	—11,84			
—17,68	—10,40	24,96	19,76	—13,52	8,84	19,24		
—14,07	—22,78	—13,40	32,16	25,46	—17,42	11,39	24,79	
—6,46	—3,99	—6,46	—3,80	9,12	7,22	—4,94	3,23	7,03
5,06	7,48	4,62	7,48	4,40	—10,56	—8,36	5,72	—3,74
11,52	8,28	12,24	7,56	12,24	7,20	—17,28	—13,68	9,36
—16,12	9,92	7,13	10,54	6,51	10,54	6,20	—14,88	—11,78
—63,01	—42,90	+9,36	+65,55	—30,26	—6,02	+7,25	+5,18	+0,87
5	6	7	8	9	10	11	12	13
—5,25	—3,90	+0,94	+7,28	3,78	—0,84	1,21	1,04	0,22
—0,42	—0,31	+0,07	+0,59	0,30	—0,07	0,09	0,08	0,01

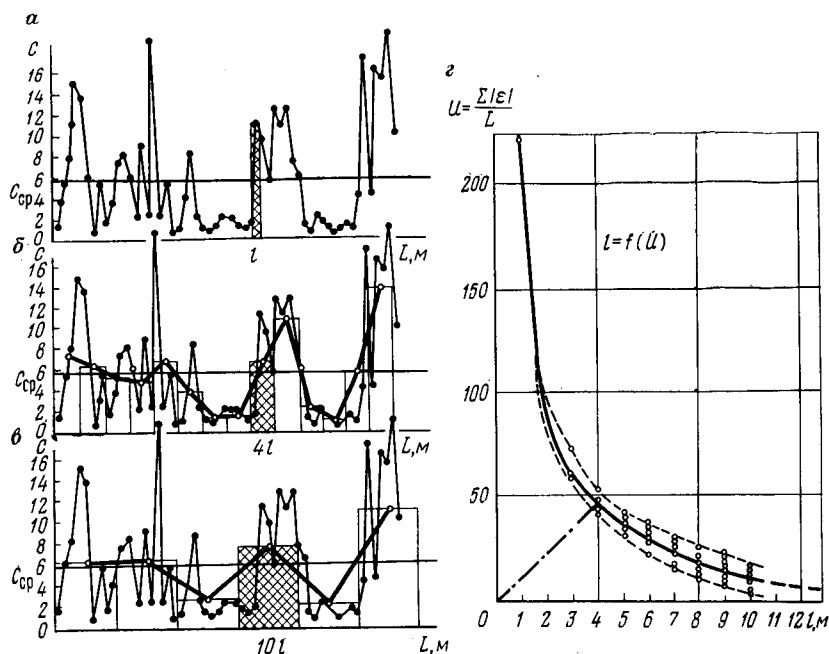


РИС. 3.8. К определению окна сглаживания:

а, б, в — сглаживание реализации соответственно «окнами» величиной l , $4l$, $10l$; з — зависимость между изменчивостью сглаженной кривой и размером окна l

соображений. Окно берут равным 4—6 средним интервалам опробования или задаются условием, чтобы частные отметки в пределах каждого окна не отклонялись от среднего более заданной величины. Иногда размер окна приравнивают размеру эксплуатационного блока (при объемном сглаживании). В ряде случаев сглаживание производят с помощью весовой скользящей средней. При этом системой весов учитывается генетическая сила связи между показателями в пределах среднего радиуса автокорреляции. Применяют экспоненциальное сглаживание, при которой относительный вес отдельного наблюдения убывает по мере удаления наблюдения по экспоненциальной функции.

При сглаживании реализаций функции размещения компонента размер окна следует принимать таким, при котором изменчивость U получаемой при сглаживании кривой была бы близка к изменчивости средней кривой M_x из возможных реализаций при данных условиях опробования (размер и ориентировка проб, вид, плотность опробования и т. п.).

Для этого по данным опробования сплошной бороздой на опытном участке строят кривую изменения компонента. Кривую сглаживают окнами разного размера (рис. 3.8, а, б, в). Опреде-

ляют изменчивость U сглаженных кривых. По устанавливаемой зависимости между размером окна l_i и изменчивостью U_i сглаженных кривых (рис. 3.8, г) определяют размер окна, с помощью которого следует сглаживать реализации функции размещения. В данном случае размер окна принят равным 4 м.

Величину окна сглаживания устанавливают также исходя из соотношения случайной и закономерной изменчивости с учетом автокорреляционной функции, радиуса автокорреляции и требуемой точности выделения закономерной составляющей по соотношению:

$$m = \frac{(1 - \eta_3^2) \eta_T^2}{(1 - \eta_T^2) \eta_3^2}, \quad (3.64)$$

где m — число проб в окне сглаживания; η_3^2 — корреляционное отношение по выборке; η_T^2 — корреляционное отношение, требуемое после сглаживания.

ГЛАВА 4

ФУНКЦИИ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПОРЯДКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ С ИХ ГРАФИЧЕСКИМИ ВЫРАЖЕНИЯМИ

§ 1. Общие положения

Поверхность топографического порядка аналитически выражается функцией $z = f(x, y)$, которая удовлетворяет свойствам конечности, однозначности, непрерывности и плавности. По частным численным значениям топографическая поверхность может быть изображена на плане в виде системы непересекающихся изолиний.

С графическими выражениями топографической функции можно производить сложение, вычитание, умножение, деление, извлечение корня и возведение в степень, дифференцирование, интегрирование, нахождение поверхности, являющейся функцией от данной, производить действия, связанные с преобразованием изолиний данной топографической поверхности в новой системе координат — ортогональное, аффинное, проективное и пр., проектировать данную поверхность на произвольную плоскость или другую поверхность.

Разработанный проф. П. К. Соболевским аппарат математических действий позволил разрешить многие практические вопросы горного и разведочного дела, в том числе такие, которые аналитически не могли быть решены.

Две или несколько поверхностей, над которыми необходимо производить математические действия, должны быть изобра-

жены в одной и той же плоскости проекции (но не обязательно на одном листе бумаги), в одном и том же масштабе.

При сложении и вычитании топографических поверхностей желательно, чтобы и изолинии были проведены через одну и ту же общую единицу сечения. Это значительно упрощает и ускоряет решение задач, так как изолинии искомой поверхности получаются через то же сечение, что и у исходных поверхностей. Если две поверхности, с которыми необходимо произвести математические действия, изображены на двух планах, то планы совмещают друг с другом так, чтобы совпали однозначные оси координатных сеток.

§ 2. Арифметические действия с поверхностями топографического порядка

Вычитание. На плане в изолиниях даны две поверхности, каждая из которых выражается функцией $z_1 = f_1(x, y)$ и $z_2 = f_2(x, y)$, удовлетворяющей условию конечности, однозначности, непрерывности и плавности (К.О.Н.П.).

В любой точке плана разность значений $z_1 - z_2 = z$ есть вполне определенная конечная величина и является некоторой функцией $z = f_3(x, y)$, также обладающей свойствами конечности, однозначности, непрерывности и плавности, т. е. выражается поверхностью топографического порядка.

При решении задач на вычитание топографической поверхности в пределах всего плана или отдельных участков могут возникнуть случаи, когда изолинии обеих поверхностей при их взаимном наложении пересекаются, образуя четырехугольники; не пересекаются и направлены в одну сторону или в противоположные стороны и изолинии исходных поверхностей на плане имеют сложную конфигурацию.

1. Изолинии пересекаются (рис. 4.1). Чтобы построить изолинии разности поверхности $R = P - Q$ берут какой-нибудь изолинейный четырехугольник, например $a_{10}b_{11}c_{10}d_9$. В вершине его — точках пересечения изолиний — по их отметкам находят разности, равные соответственно 10, 11, 10, 9.

Одинаковые значения разности двух противоположных точек четырехугольника соединяют диагональю — элементом изолинии искомой поверхности (пунктирная линия). Если при этом стрелкой отметить направление ее простираения (падение направляется в сторону меньшей отметки), то тем самым устанавливается последовательность отметок всех других изолиний искомой поверхности, а именно: изолинии результирующей поверхности пройдут последовательно по диагоналям изолинейных четырехугольников. Зная это правило, нет нужды определять разности во всех точках пересечения изолиний.

2. Изолинии не пересекаются. В этом случае также необходимо найти такие точки на плане, в которых разность отметок выражается целыми числами (рис. 4.2).

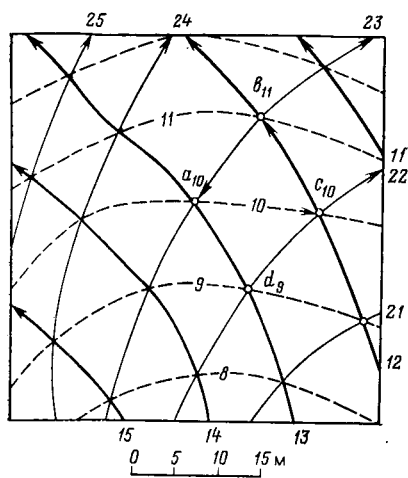


РИС. 4.1. Вычитание двух топографических поверхностей при взаимно пересекающихся изоглиниях

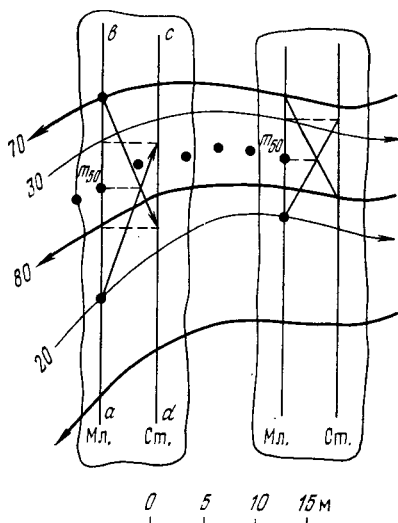


РИС. 4.2. Вычитание топографических поверхностей при непересекающихся изоглиниях

Для этого прибавляют к нижней или отнимают от верхней такое целое число, чтобы последовательно в интервалах двух изоглиний произошло воображаемое пересечение поверхностей.

На совмещенном плане проводят линию ab — след плоскости профиля примерно по перпендикуляру к изоглиниям. Затем на этой линии строят профиль обеих поверхностей в одинаковом масштабе и совмещают его с плоскостью чертежа. Точку пересечения профилей M сносят по перпендикуляру на линию ab и получают на плане точку m , где разность равна целому числу.

Отметка этой точки равна разности отметок младших или старших изоглиний двух данных поверхностей, между которыми построенные профили пересекаются. Прodelав ряд таких построений, получают точки, по которым проводят изоглинии разности.

Практически нет надобности строить профили непосредственно на плане. Достаточно для этого иметь трафарет, т. е. на восковке прочертить пару параллельных линий: «старшую» $cd_{(ст.)}$ и «младшую» $ab_{(мл.)}$ на произвольном расстоянии друг от друга (рис. 4.2). Наложив восковку на план по возможности перпендикулярно к изоглиниям, строят между линиями профили плоскостей, соединяя прямыми точки пересечения старших и младших линий трафарета с изоглиниями поверхностей.

3. Изоглинии исходных поверхностей на плане имеют сложную конфигурацию. В этом случае на плане двух топографических поверхностей находят разности отметок прежде всего

в узловых точках. Затем в «окнах» находят разности для вспомогательных точек, которые располагают по квадратной сетке. По полученным отметкам производят интерполирование и построение изолиний разности искомой поверхности.

Вычитание поверхностей топографического порядка практически применяют при построении:

плана изоглубин залегания полезного ископаемого и для нахождения линии выхода пласта на поверхность (вычитание из поверхности рельефа местности поверхности кровли залежи);

плана изомощностей залежи простого строения (вычитание из поверхности кровли залежи поверхности почвы залежи);

изомощностей чистых угольных пачек пласта сложного строения (вычитание из изолиний общей мощности пласта изолиний мощности породных прослоев);

изомощностей оставляемой при разработке части залежи в ее висячем и лежащем боках (путем вычитания из изолиний эксплуатационной мощности залежи изолиний, вынимаемой мощности или ее постоянной величины);

изорасстояний между маркирующими горизонтами (слоями) свит;

поверхности малоизученного пласта по плану детально изученного при соподчиненном их залегании (вычитание из поверхности детально изученного пласта изомощностей пород междупластия);

величины расхождения между детально изученной поверхностью и поверхностью, которая выявлялась при ее разведке сетью заданной плотности, а также при решении многих других задач.

При сложении, так же как и при вычитании, могут быть те же случаи взаимоположения изолиний.

Если изолинии обеих поверхностей пересекаются (рис. 4.3), то замыкающий вектор $a_{14}c_{14}$ (по диагонали) есть элемент изолинии суммарной поверхности S с отметкой 14. Остальные изолинии поверхности S следует проводить по диагонали соседних четырехугольников.

Если изолинии не пересекаются, то сложение их заменяют вычитанием:

$$S = P + T = P - (-T).$$

Для этого у отметок изолинии какой-либо одной слагаемой поверхности условно меняют на знаки обратные, старшие изолинии этой поверхности становятся младшими, а младшие — старшими (рис. 4.4).

Далее находят точки изолиний искомой поверхности с целыми отметками так, как это делают при вычитании при помощи трафарета или пары параллельных линий.

Если изолинии слагаемых поверхностей образуют на плане сложную конфигурацию, построение изолиний суммарной поверхности в этом случае производят при помощи вспомога-

ной квадратной палетки. Палетку накладывают на совмещенный план поверхностей, в точках палетки находят суммарные отметки по изолиниям данных поверхностей. По отметкам, задавшись сечением, строят изолинии искомой поверхности.

Вычитание из данной поверхности или прибавление к ней плоскости, т. е. поверхности с постоянной отметкой, производят путем уменьшения или увеличения на постоянную величину отметок изолиний исходной поверхности. Если в результате этого отметки изолиний получаются не кратными сечению, то путем графического интерполирования проводят изолинии с кратными сечению отметками. Аналогично поступают, если из плоскости необходимо вычесть или прибавить к ней поверхность.

Сложение поверхностей топографического порядка практически применяют при:

одновременном подсчете запасов нескольких залегающих друг над другом залежей по их изомощностям;

решении задачи о выборе места заложения ствола шахты, когда необходимо учитывать ряд факторов, изменения каждого из которых изображаются поверхностью топографического порядка;

решении задачи нахождения точки своза грузов из пунктов при минимальных транспортных расходах и т. д.

Произведение двух функций $K=f(x, y)$ и $L=\varphi(x, y)$, выраженных графически каждая в отдельности поверхностью топографического порядка.

Произведение этих функций в общем виде:

$$KL = f(x, y) \varphi(x, y) = F(x, y) = M.$$

Если для любой точки плана с координатами x_1 и y_1 каждое из значений функций K_1 и L_1 имеет конечное значение, то в той же точке плана $(x_1; y_1)$ произведение $K_1 L_1 = M$ имеет вполне определенное и также конечное значение.

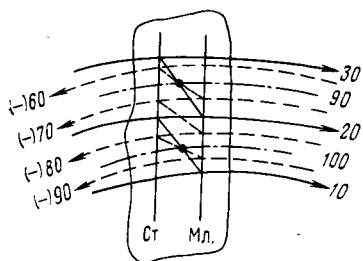


РИС. 4.4. Схема сложения двух поверхностей, когда их изолинии не пересекаются

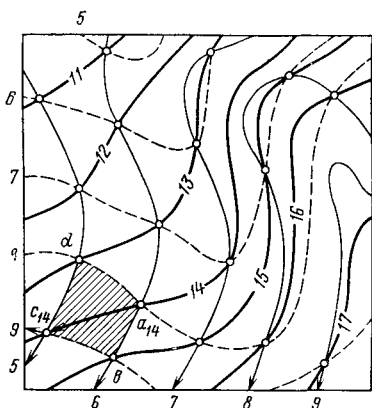


РИС. 4.3. Схема сложения двух поверхностей при взаимном пересечении их изолиний

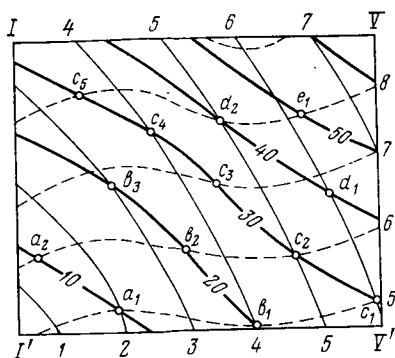


РИС. 4.5. Умножение двух поверхностей

Функция $M=F(x, y)$ также удовлетворяет отмеченным выше условиям однозначности, конечности, непрерывности и плавности и, следовательно, ее графическое выражение представляет собой поверхность топографического порядка.

Практически умножение двух таких поверхностей, определяемых функциями $K=f(x, y)$ и $L=\varphi(x, y)$, может быть произведено следующими методами.

Первый метод. Определяют сечение изолиний произведения двух данных поверхностей (рис. 4.5).

Для этого находят минимальное и максимальное значения произведения перемножаемых поверхностей (в нашем примере минимум составляет $2 \times 5 = 10$ и максимум $7 \times 8 = 56$), а также число изолиний каждой поверхности, изображенной на графиках (в нашем случае 7 и 5). Разность между максимальным и минимальным значениями произведения поверхностей делят на среднее число изолиний, т. е. на 6. Частное от деления ($56 : 6 \cong 10$), округленное до ближайшей цифры, оканчивающейся на ноль или на пять, и определит сечение изолиний суммарной функции M .

Отмечают точки пересечения изолиний, произведение в которых по величине кратно выбранному сечению; такими точками являются $a_1; b_1; c_1; d_1$, имеющие соответственно отметки 10, 20, 30 и 40. Произведения, равные 10, 20, 30 и т. д., могут быть получены и при пересечении промежуточных изолиний перемножаемых поверхностей.

На изолинии поверхности L (пунктирной), имеющей, например, отметку 7, устанавливают точку c_3 , в которой отметка изолиний поверхности K равна $30 : 7 = 4,3$. Последнюю изолинию строят интерполированием по изолиниям поверхности K . Затем таким же образом на изолинии 8 поверхности L находят точку c_5 , значение функции в которой равно $30 : 8 = 3,7$ и т. д.

Полученные точки $c_1, c_2, \dots, c_5$ соединяются плавной кривой (толстая линия), которая и будет изолинией поверхности с отметкой 30.

Аналогично определяют точки b_2, b_3 и проводят изолинию поверхности M с отметкой 20 и т. д.

Сущность второго метода состоит в проведении ряда профильных сечений $I—I$ и $V—V$ (рис. 4.6).

По каждому сечению строят логарифмическую кривую каждой из перемножаемых поверхностей; на оси X наносят точки

пересечения изолиний перемножаемых функций с проекцией профиля, а по оси Y откладывают в определенном масштабе логарифмы значений этих точек. На рис. 4.6 построены такие кривые по сечению I—I.

Ординаты построенных кривых складывают графически, получают ряд точек, через которые проводят кривую суммы

$$\lg K + \lg L = \lg M.$$

Полученную кривую потенцируют, т. е. находят ступенчатые отметки, кратные выбранному сечению изолиний поверхности произведения перемножаемых функций (в нашем случае кратные 10), и переносят их на план.

Если по линии профиля исходная поверхность имеет изолинии с отметками меньше единицы и больше нуля, то предварительно отметки всех изолиний по этому профилю умножают на целое число с последующим делением ступенчатых отметок суммарной логарифмической кривой на это же число.

Третий метод применяют в тех случаях, когда изолинии исходных поверхностей имеют на плане весьма сложную конфигурацию. На совмещенном плане в точках пересечения изолиний по их отметкам находят произведения и по отметкам производят интерполирование и построение изолинии поверхности произведения, предварительно определив, как и прежде, их сечение.

Умножение поверхностей топографического порядка применяют при решении многих горно-геометрических задач. Перемножая изолинии мощности залежи на изолинии средних содержаний металла, получают новые изолинии, перемножив которые на среднее значение плотности массы руды, получают поверхность, представляющую размещение запасов металла в залежи. Путем умножения изолиний гравитационного поля напряжений массива на изолинии остаточной сдвиговой деформации этого же массива получают изображение в изолиниях поля напряженного состояния анизотропного массива горных пород.

Все большее практическое применение умножение поверхностей получает при подсчете запасов нефти и газа путем умножения изомощностей нефтеносных (газоносных) слоев на коэффициенты пористости, насыщения, нефтеотдачи и пр., изменения значения которых в свою очередь представляются поверхностями топографического порядка.

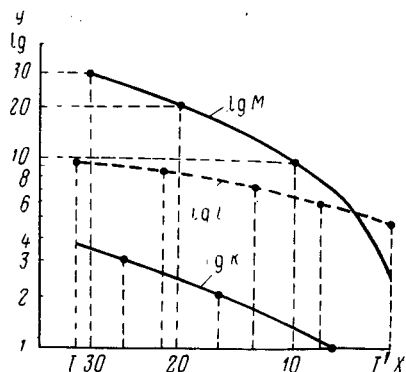


РИС. 4.6. Построение логарифмических кривых по линии I—I' (рис. 4.5)

Частное от деления двух поверхностей

$$L = M/K = P(x, y)/f(x, y) = \varphi(x, y)$$

графически представляется также поверхностью.

Поскольку значения функции K и L могут проходить через нуль, частное может в некоторых точках обратиться в бесконечность и новая функция не будет удовлетворять свойству конечности поверхностей топографического порядка.

Однако, если функция, стоящая в знаменателе, выражает конкретные свойства недр, деление поверхностей на этих участках теряет практический смысл, так как изолиния с нулевой отметкой ограничивает участок, в котором показатель залежи отсутствует.

Графическое деление поверхностей производят аналогично умножению. Делением поверхностей решаются такие вопросы, как определение среднего содержания компонента в месторождении; выявление соотношения между различными показателями залежи; определение изолиний коэффициента вскрыши при открытой разработке месторождений путем деления изомощностей наносов (изоглубин залегания) на изомощности залежи. Путем деления изосодержаний компонентов, например, определяют в изолиниях, сколько единиц одного компонента приходится на одну единицу содержания другого компонента. Аналогично определяют число единиц компонента, приходящихся на единицу мощности или единицу объема залежи, а также определяют соотношение между мощностями рудных и безрудных пачек и т. п.

§ 3. Алгебраические действия с поверхностями топографического порядка

Возведение в степень и извлечение корня. Если функция $S = F(x, y)$ обладает свойствами поверхности топографического порядка, то, очевидно, при возведении ее в степень

$$S_*^n = [F(x, y)]^n = \varphi(x, y)$$

или извлечении из нее корня

$$S^{1/n} = [F(x, y)]^{1/n} = f(x, y)$$

получим новые функции, которые, обладая теми же свойствами, являются поверхностями топографического порядка.

Возведение в степень или извлечение корня из поверхности топографического порядка, представленной на плане в изолиниях, производят путем возведения в степень или извлечения корня из отметки каждой изолинии. Полученные результаты подписывают у соответствующих изолиний.

Изолинии исходной поверхности с новыми отметками представляют искомую поверхность. Однако у новой поверхности

изолинии оказываются с переменным сечением. Чтобы провести их с постоянным сечением, выбирают сначала величину сечения. Для этого разность наибольшей и наименьшей новых отметок изолиний делят на число изолиний, которыми представлена исходная поверхность. Ближайшее к частному целое число принимают за величину сечения. Затем путем графического интерполирования между данными на плане изолиниями проводят изолинии с отметками, кратными выбранному сечению.

Практически возведение в степень поверхности применяют для определения размещения квадратных или иных степенных отклонений вскрытой поверхности показателя принятой сетью измерений (скважин) от истинной поверхности и при построении изолиний размещения второго показателя, связанного с первым степенной зависимостью и пр.

Дифференцирование. Топографическая поверхность $P = \varphi(x, y)$ имеет скалярный характер. Производная топографической поверхности $\partial\varphi/\partial S$ есть векторно-топографическая поверхность.

В некоторой точке m данной поверхности (рис. 4.7, а) функция P характеризуется рядом различных определений. Например, значение функции P в этой точке равно 12. По плану можно определить координаты x_m и y_m этой точки; измерить дирекционный угол направления линии наибольшего ската, проходящей через точку m , угол NmM^1 (рис. 4.7, б), вычислить угол наклона δ этой линии к горизонту $\text{tg } \delta = h/mc$ и т. д.

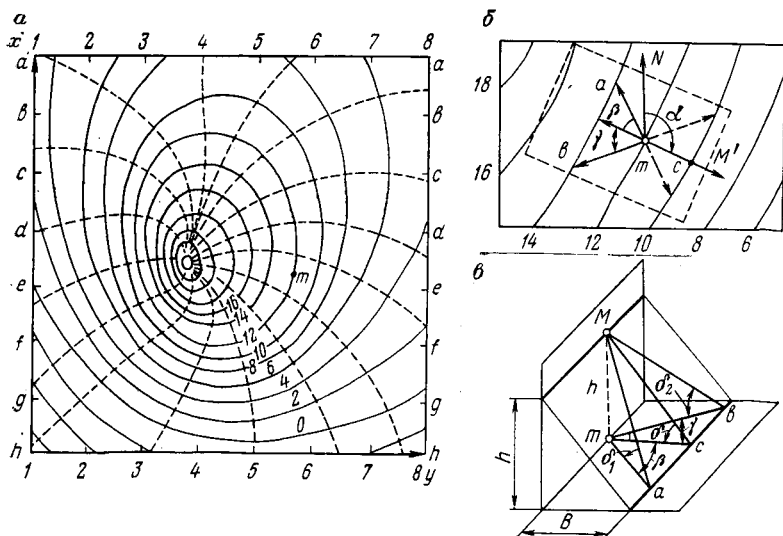


РИС. 4.7. Схема дифференцирования топографической поверхности

В числе прочих геометрических элементов, характеризующих топографическую поверхность в данной точке m , представляют особый интерес градиенты топографической поверхности и элементы кривизны нормальных сечений.

Градиентом топографической поверхности называют производную $\partial z/\partial S$, где z — высота; S — произвольное горизонтальное (азимутальное) направление.

Производная $\partial z/\partial S$ — тангенс угла, который касательная в данной на топографической поверхности точке m , взятая в азимуте α_s , образует с горизонтом. Геометрическое место таких касательных есть плоскость.

Градиент поверхности в данной точке — это вектор определенной величины и направления. Численно он равен тангенсу угла восстания и выражается на плане длиной отрезка в выбранном масштабе, а направление вполне определяется двумя углами — углом восстания и азимутом. При дифференцировании топографической поверхности на план наносят только градиенты восстания (положительные).

Градиент топографической поверхности в данной точке имеет ряд значений, изменяющихся от 0, когда направление совпадает с линией простираия, до максимума, когда оно совпадает с линией наибольшего ската.

Максимальное значение градиента в данной точке топографической поверхности называется главным градиентом, все остальные значения градиентов называются а з и м у т а л ь н ы м и.

Сумма квадратов двух произвольных в данной точке азимутальных градиентов, отличающихся по азимуту на 90° , есть величина постоянная, равная квадрату главного градиента.

Из рис. 4.7, в имеем: $\operatorname{tg} \delta = h/B$, но $B = m \cos \beta$; $B = m b \cos \gamma$: тогда

$$\operatorname{tg} \delta_1 = h/(ma) = h/B/\cos \beta = h/B = h/B \cos \beta;$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = h/(mb) = h/(B/\cos \gamma) = h/B \cos \gamma;$$

или

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \operatorname{tg} \delta \cos \beta; \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \operatorname{tg} \delta \cos \gamma.$$

Возведя в квадрат и складывая обе части, получим:

$$\operatorname{tg}^2 \delta_1 + \operatorname{tg}^2 \delta_2 = \operatorname{tg}^2 \delta (\cos^2 \beta + \cos^2 \gamma).$$

Полагая $\beta + \gamma = 90^\circ$, или $\beta = 90^\circ - \gamma$, получим:

$$\operatorname{tg}^2 \delta_1 + \operatorname{tg}^2 \delta_2 = \operatorname{tg}^2 \delta;$$

или

$$G = + \sqrt{g_\beta^2 + g_{90^\circ - \beta}^2},$$

или

$$(\partial z/\partial B)^2 = (\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2.$$

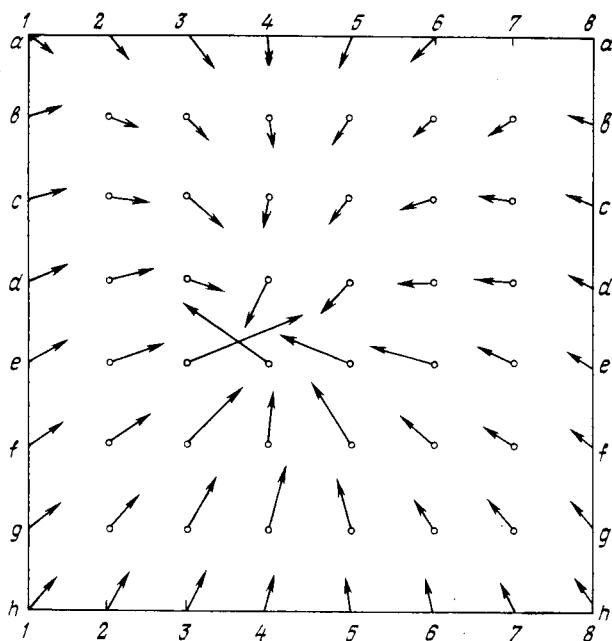


РИС. 4.8. План векторно-градиентного поля поверхности, изображенной на рис. 4.7

Таким образом, зная величины двух градиентов, отличающихся по азимуту на 90° , можно найти главный градиент.

На плане поверхности необходимо знать лишь главный градиент, так как любой азимутальный градиент может быть определен по формуле $g = G_0 \cos \beta$, где β изменяется от 0 до $\pm 90^\circ$.

Отсюда вытекает путь графического дифференцирования заданной поверхности.

В точках поверхности по заложению и сечению изолиний определяют численное значение тангенса угла наклона (восстания). Задавшись масштабом векторов, принимая, например, 0,001 или 0,01 значения тангенса равным 1 мм, находят длины векторов в мм и откладывают их от точек в сторону восстания. В результате получают векторное поле данной поверхности или ее дифференциал (рис. 4.8). Производная данной поверхности может быть выражена в изолиниях равных градиентов. Для этого по значениям тангенсов углов наклона у точек поверхности строят после интерполирования изолинии градиентов (рис. 4.9).

Топографическая поверхность и поверхность изоградиентов, наложенные друг на друга, определяют всю систему векторов градиентов. Первая дает координату и направление градиента, вторая — дает величину градиента (вектора).

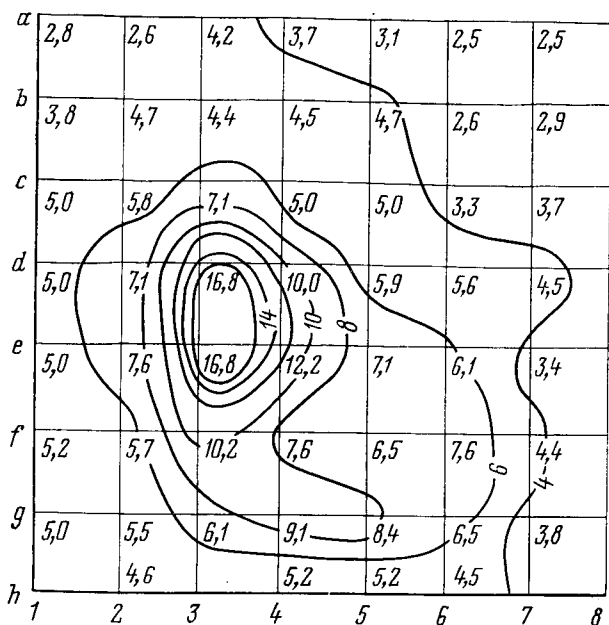


РИС. 4.9. План изогradientов поверхности, представленной на рис. 4.7

Точки при построении изогradientов поверхности, в которых определяют gradienty, располагают или равномерно (по сетке), или находят на плане такие, в которых величина gradienta кратна сечению изогradientов. Для этого определяют предварительно заложение, соответствующее данному gradientу, по формуле

$$a = h / \operatorname{tg} \delta,$$

где h — сечение исходной поверхности; $\operatorname{tg} \delta$ — значение gradienta, кратного сечению изогradientов.

По полученным заложениям находят точки с кратными gradientами. Векторы — gradienty данной поверхности — просто строить с помощью специальной шкалы уклонов гипсометрической линейки.

Интегрирование производят тогда, когда имеется векторно-топографическая поверхность. Интегрирование приводит к скалярной топографической поверхности. Оно основано на двух теоремах.

Если на векторно-топографической поверхности взять две точки $A(x, y, z)$ и $B(x_2, y_2, z_2)$, между которыми может быть проложен векторно-gradientный ход, то интеграл, взятый по произвольному векторному ходу между точками, не зависит

от фигуры векторного хода (от пути или формы контура) и равен разности высотных отметок этих точек:

$$\int g_s ds = \int_{z_1}^{z_2} df = z_2 - z_1.$$

2. Интеграл замкнутого векторного хода, проведенного по любому замкнутому контуру, равен нулю:

$$\int g_s ds = 0.$$

Первая теорема дает возможность найти необходимое и достаточное количество связанных между собой разностей Δz для восстановления в соответствующих изогипсах той топографической поверхности (скалярной), которая является интегралом в отношении обрабатываемой векторно-топографической поверхности.

Вторая теорема дает возможность вести контроль точности практических наблюдений и уравнивать накапливающиеся погрешности.

На рис. 4.8 представлен план векторно-градиентного поля, полученный в результате дифференцирования поверхности, изображенной на рис. 4.7. Изоградиенты этой поверхности изображены на рис. 4.9.

Если таким образом определено векторно-градиентное поле (рис. 4.8 и 4.9) поверхности, изображенной скалярно на рис. 4.7, то путем графического интегрирования векторно-градиентного поля можно построить скалярный график этой поверхности. Иными словами, графическое скалярное изображение поверхности на рис. 4.7 можно рассматривать как интеграл изображения той же поверхности в изоградиентах, данной на рис. 4.9.

Практически процесс графического интегрирования поверхности осуществляется следующим образом. Пусть некоторая поверхность определена своим векторно-градиентным полем, как показано на рис. 4.8 и 4.9. Чтобы построить ее интегральное изображение (см. рис. 4.7), необходимо прежде всего определить отметки нескольких ее точек. Выбирают на плане некоторое направление, определяемое точками c_1, c_7 поверхности, где точки $c_2, c_3, \dots$ являются промежуточными (рис. 4.10).

Превышение точки c_2 над точкой c_1 определяется соотношением

$$h_{2-1} = \overline{c_1 c_2} \operatorname{tg} \beta_1,$$

где β_1 — угол наклона прямой $c_1 - c_2$ к горизонту. Чем ближе друг к другу будут выбраны точки $c_1, c_2, c_3, \dots$, тем точнее будут определены их превышения.

На рис. 4.8 и 4.10 стрелками градиентов показано направление восстания поверхности. Если это направление положи-

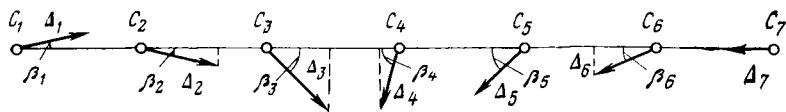


РИС. 4.10. Построение градиентов поверхности по линии C_1C_7 (см. рис. 4.8)

тельно, то превышение имеет положительное значение, при отрицательном направлении градиента превышение отрицательно. Значение $\text{tg}\beta$, обозначенное в векторной форме $\nabla\beta$, определяется в соответствии с масштабом градиентов, а c_1c_2 — в масштабе плана. Таким же образом находят Δh_{3-2} , Δh_{4-3} , ..., h_{7-6} .

$$\Delta h_{5-4} = \overline{c_4c_5} \nabla\beta_4 = 0,5 \text{ м};$$

$$\Delta h_{6-5} = \overline{c_5c_6} \nabla\beta_5 = 0,6 \text{ м};$$

$$\Delta h_{7-6} = \overline{c_6c_7} \nabla\beta_6 = 0,7 \text{ м}.$$

Тогда превышение точки c_7 над точкой c_1 равно $\Delta h_{7-1} = \sum h_i$.

Имея «условную отметку» какой-нибудь точки поверхности или «абсолютную отметку» одной из ее точек и определив положение для любого направления, намечают ступенчатые отметки в этих направлениях и по ним строят изолинии поверхности, изображенной на рис. 4.7, которая и будет интегралом по отношению к заданному векторно-градиентному полю.

Из вышеизложенного видно, что графическое интегрирование связано с вычислениями; эти вычисления хотя и просты, но при массовом определении превышений точек поверхности занимают много времени. Поэтому их заменяют более простыми операциями с применением специальных вычислительных гиперболических палеток или ЭВМ.

Практическое применение дифференцирования поверхностей и интегрирования векторно-градиентных полей имеет место при изучении процессов сдвижений поверхности участка месторождения и горных пород, происходящих вследствие горных разработок. Если данными наблюдений установлены величины перемещения группы точек поверхности участка месторождения и направления этих перемещений за определенный отрезок времени, то результаты сдвижения каждой точки можно представить векторами. Применив интегрирование векторно-градиентного поля, можно получить его интегральное изображение в виде поверхности топографического порядка.

Аналогично находят поверхность топографического порядка, характеризующую поток оруденения и трещинную тектонику рудного поля. На месторождении с резким проявлением трещин выбирают наиболее крупные трещины и определяют их

дирекционные углы и углы падения. Следовательно, каждая трещина может быть изображена вектором, а их проявление на исследуемом участке — векторным полем. Применяв интегрирование векторного поля, можно получить его характеристику в виде поверхности топографического порядка.

§ 4. Определение некоторых характеристик топографической функции по ее графическому выражению

Нахождение поверхности, являющейся функцией от данной. Этот вид математических действий с топографическими поверхностями заключается в переходе от изолиний данной поверхности к угловым изофункциям, определяющим характер изменения отметок или углов наклона поверхности в определенном направлении. К ним относится построение изонаклонов, изотангенсов, изосекансов, изоградиентов и пр. Если на данной поверхности найти частные значения функций, то получим ряд значений, удовлетворяющих условиям, предъявляемым к топографической поверхности, т. е. получим новую поверхность топографического порядка.

В качестве примера рассмотрим построение изосекансов углов наклона поверхности, представленной на плане в изогипсах.

Построения производят двумя путями.

1. На гипсометрическом плане между каждой парой смежных изогипс в характерных местах перемены заложения — изменения углов наклона поверхности проводят отрезки по нормали к изогипсам. По измеренным заложениям и сечению горизонталей вычисляют вначале тангенсы углов наклона, а затем с помощью таблиц натуральных тригонометрических функций находят соответствующие числовые значения секансов и выписывают их у середины отрезков. Задавшись сечением производят интерполирование отметок, а затем через точки с одинаковыми значениями проводят изосекансы углов наклона данной поверхности. Величину сечения изосекансов при сложной конфигурации изогипс на плане принимают такой, при которой число изолиний секансов получается примерно равным числу изогипс, которыми представлена на плане данная поверхность. Для этого в пределах плана определяют наибольшее и наименьшее значения секанса. Разность делят на число изогипс данной поверхности. Ближайшее к частному стандартное число принимают за величину сечения. При однообразном простираании и падении поверхности сечения изосекансов принимают через $3-5^\circ$ угла наклона данной поверхности.

2. Находят на гипсометрическом плане такие точки, в которых значение секанса угла наклона поверхности кратно выбранной высоте сечения изосекансов. Для построения изосекансов угла наклона данной поверхности этот способ не тре-

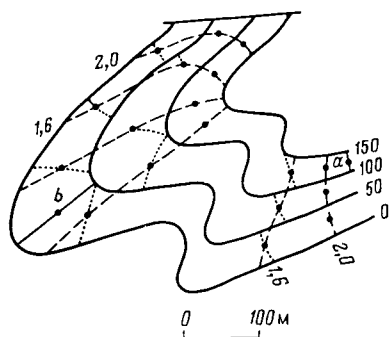


РИС. 4.11. Изогипсы (сплошные) и изосекансы (пунктирные) поверхности почвы пласта

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_a &= h/l_a = 50/25 = 2,0; \quad \sec \delta_a = 2,241; \\ \operatorname{tg} \delta_b &= h/l_b = 50/125 = 0,4; \quad \sec \delta_b = 1,077. \end{aligned}$$

Разность максимального и минимального значений секансов делят на число изогипс, которыми представлена исходная поверхность, и определяют сечение изосекансов:

$$\Delta = (2,241 - 1,077)/4 = 0,291; \quad \text{принимают } \Delta = 0,2.$$

Таким образом, для построения изосекансов на плане необходимо найти ступенчатые точки со значениями секансов, кратными 0,2, т. е. 1,2; 1,4; 1,6.

Для этих точек по плану определяют величину заложения по формуле $l = h \operatorname{ctg} \delta$, подставляя в нее такие значения $\operatorname{ctg} \delta$, которые в натуральных таблицах соответствуют ступенчатым значениям секансов углов наклона (табл. 4.1).

Взяв раствором циркуля или отметив на краю полоски бумаги расстояние l в масштабе плана, находят на плане между каждой парой смежных изогипс точки, в которых заложение равно l . При этом раствор циркуля или полоску бумаги прикладывают по нормали к изогипсам или по нормали к намечаемой средней между ними изогипсе; у середины заложений подписывают соответствующие отметки секансов. Соединяя точки с одноименными значениями секансов плавными кри-

ТАБЛИЦА 4.1

№ п п	Sec δ	ctg δ	h, м	l, м	Заложение (мм) на плане в масштабе (1 : 5000)
1	1,20	1,506	50	75,30	15,1
2	1,60	0,800	50	40,00	8,0
3	2,00	0,577	50	28,85	5,8

бует предварительного интерполирования отметок и определения секанса угла наклона в избыточном числе точек.

Сущность способа состоит в следующем. На плане поверхности в изогипсах (в нашем случае — сечением через 50 м в масштабе 1 : 5000) на рис. 4.11 в точках с наименьшим (a) и наибольшим (b) заложениями определяют сначала тангенсы, а затем с помощью таблиц натуральных тригонометрических функций секансы углов наклона:

выми, получают изосекансы углов наклона данной поверхности. Нахождение секансов углов наклона упрощается применением специальной линейки или шкалы.

С помощью изосекансов определяют истинную площадь поверхности, изображенной на плане в изогипсах при подсчете запасов пластообразных месторождений складчатой формы залегания, а также участков земной поверхности с выраженным рельефом.

Нахождение истинной площади S любого участка или блока производят по изосекансам с помощью палетки

$$S = \omega \sum_1^n \sec \delta_i,$$

где ω — площадь основания палетки в масштабе плана.

По изолиниям на плане *среднее значение топографической функции* определяют так.

Система изолиний, которыми на плане характеризуется изменение данного показателя, геометрически представляется поверхностью, ограничивающей сверху некоторое пространство V , у которого нижней границей является плоскость проекции, а с боков — цилиндрическая поверхность, проходящая через заданный контур по нормали к плоскости проекции. Отсюда средняя отметка поверхности или среднее значение показателя на участке площадью $Sh_{\text{ср}} = V/S$. Если объем V и площадь участка S по плану изолиний определять точечной палеткой с площадью основания ω в масштабе чертежа, получим:

$$V = \omega \sum_1^n h_i; \quad S = \omega \left(n_{\text{в}} + \frac{k}{2} \right) = \omega n;$$

отсюда

$$h_{\text{ср}} = \sum_1^n h_i / n,$$

где h_i — значение топографической функции в точке палетки, определяемое по изолиниям; n — число точек палетки, равное сумме внутриконтурных ($n_{\text{в}}$) и половине числа контурных (k) точек.

Из формулы вытекает практическое решение задачи. На план с изолиниями топографической функции произвольно накладывают точечную палетку. У точек палетки с точностью $1/4$ сечения определяют в пределах заданного контура частные значения показателя и суммируют их. Сумму делят на число точек палетки, равное числу внутриконтурных и половине контурных точек, и получают среднюю отметку или среднее значение топографической функции на данном участке.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ФОРМ ЗАЛЕЖЕЙ, РАЗМЕЩЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОЦЕССОВ

ГЛАВА 5

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗАЛЕЖИ, ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ДОКУМЕНТАЦИЯ

§ 1. Элементы залегания залежи и их определение

Залежь полезного ископаемого представляет собой вполне реальное физическое тело, которое занимает определенное положение в пространстве, ограниченном поверхностями раздела вещества полезного ископаемого от вмещающих его горных пород (поверхность кровли и почвы) имеет определенное внутреннее строение и морфологию. Для многих залежей поверхности раздела выделяются отчетливо. Если же отчетливой границы не наблюдается, то за поверхности, ограничивающие залежь, принимают условные с определенным содержанием компонента или свойства полезного ископаемого, устанавливаемые по точкам с индивидуальными или средними групповыми значениями опробования.

По геометрическому признаку выделяют три основных морфологических вида тел полезных ископаемых:

горизонтальные, пологие, наклонные и крутопадающие пласты и пластообразные залежи, жилы, линзы и другие плоские тела.

Этот вид тел имеет в природе наибольшее распространение и относится к простым формам (с одним коротким и двумя длинными размерами);

трубообразные и подобные им тела (с одним длинным и двумя короткими размерами);

тела изометрические или близкие к изометрическим. Это крупные штокверки и массивы или небольшие гнезда, карманы, погребя и другие мелкие тела.

Тела полезных ископаемых имеют простые и сложные внешние формы. В практике геологоразведочных работ обычно выделяют основную форму, характерную в целом для данного тела, а затем указывают на усложняющие ее морфологические детали (апофизы, раздувы, пережимы и т. д.), которые могут быть первого, второго и более мелких порядков.

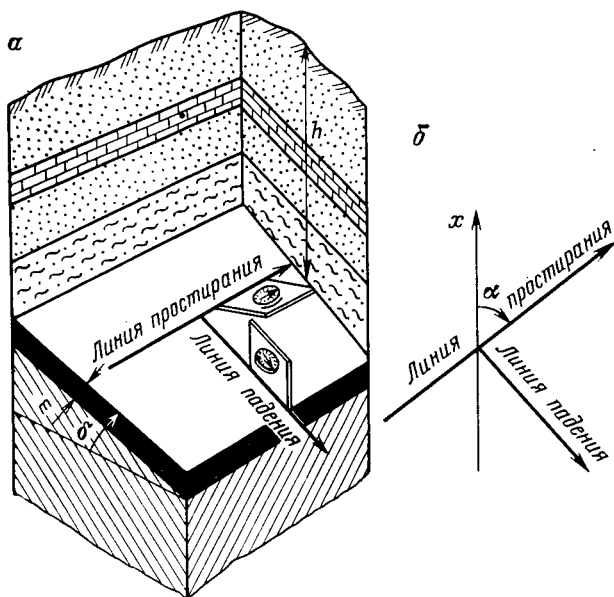


РИС. 5.1. Элементы залегания обнажения залежи в аксонометрии (а) и на плане (б)

Основная форма тела полезного ископаемого может быть как «первичной» (сингенетической), так и «вторичной» (эпигенетической) по отношению к его внутреннему строению. Основную первичную форму тела полезных ископаемых приобретают при своем рождении в процессе их генезиса, иногда сохраняя ее без существенных изменений. Нередко «основная первичная форма» нарушается последующими процессами эрозии, плинктивными и разрывными дислокациями и пр., что приводит к образованию у тела полезного ископаемого основной вторичной формы.

Представление о форме залежи и ее положении в недрах получают путем обобщения и изображения на планах, разрезах и других графиках результатов наблюдений (измерений) и изучения естественных и искусственных обнажений.

Геометрические величины, замеренные в отдельных местах обнажений, по которым можно представить пространственное положение залежи и дать ее изображение, называются элементами залегания.

К ним относятся следующие (рис. 5.1).

Простирание (α) — дирекционный угол, астрономический или магнитный азимут направления линии простирания (горизонтальной линии поверхности кровли или почвы залежи). За направление линии простирания принимают такое, относительно которого падение залежи будет справа.

Падение (δ) — угол между линией наибольшего падения поверхности залежи и горизонтальной плоскостью.

Мощность залежи (l) — кратчайшее расстояние между поверхностью висячего и лежащего бока залежи.

Глубина залегания (h) полезного ископаемого — расстояние по вертикали от земной поверхности до висячего бока залежи.

Для характеристики пространственного положения и морфологии тела полезного ископаемого в целом пользуются следующими геометрическими элементами. *Срединная поверхность* — условная поверхность, проходящая внутри тела на равном удалении от обеих поверхностей тела и пересекающаяся с ними по линии выклинивания. *Ось тела* — условная линия в теле отчетливо выраженной вытянутой формы, проходящая вдоль тела полезного ископаемого по его середине — через центры тяжести поперечных сечений. *Центр тела* — центр тяжести геометрической фигуры тела изометрического или близкого к нему вида. *Длина тела полезного ископаемого имеет* два понятия: длину тела и длину его плоского сечения. *Под длиной тела* понимают длину его оси. *Под длиной плоского сечения* (разреза) тела понимают длину линии пересечения средней поверхности тела конкретной плоскостью сечения (линия, проходящая через середины линий мощностей, лежащих в плоскости этого сечения).

Ширина тела вытянутой пластообразной формы — длина линии пересечения срединной поверхности плоскостью сечения тела, нормальной к оси тела; для тела невытянутой пластообразной формы — длина линии пересечения срединной поверхности нормальной к ней плоскостью, секущей тело через его центр.

Ширина тела как геометрический элемент отсутствует в телах трубообразной, веретенообразной и изометрической форм.

Показатель вытянутости тела — отношение его длины к максимальной ширине. *Залегание тела* — положение срединной поверхности, а при ее отсутствии — оси тела относительно горизонтальной плоскости, определяемое средним углом падения и азимутом направления падения.

Положение геометрических элементов тела полезного ископаемого определяется средневзвешенными по длине или площади влияния значениями элементов залегания, замеренных в разных местах залежи.

По величине угла падения рудные тела и пласты разделяют на горизонтальные, пологие (угол падения больше 0 и меньше 25°); наклонные (25—45°), крутопадающие (45—90°).

Падение рудных тел (пластов) существенно влияет на способ вскрытия, выбор системы разработки и средств механизации очистных и подготовительных работ.

Местоположение обнаженной залежи и вмещающих пород, наблюдаемых на земной поверхности или в неглубоких разве-

дочных выработках (канавах, расчистках, ямах, копанках и др.), определяют путем геодезической привязки их к точкам опорной геодезической или маркшейдерской сети.

Если залежь вскрыта разведочной выработкой значительной протяженности, то привязкой определяют координаты устья разведочной выработки, а координаты обнажения залежи в забое этой выработки определяют по расположению его относительно устья.

В горных выработках положение обнажения залежи определяют относительно точек маркшейдерской съемки. При документации обнажений, влияющих на ведение горных работ (смещения, размывы пласта и др.), привязку их производят путем прокладки теодолитного хода от ближайших маркшейдерских точек.

В зависимости от необходимой точности привязку обнажений на земной поверхности производят схематическим, глазомерным, полуинструментальным и инструментальным способами.

Погрешность определения координат устьев скважин или шурфов относительно исходных геодезических пунктов принимают не более $\pm 1,50$ м в открытых районах и ± 3 м в лесных районах, а по высоте $\pm 0,15$ м в равнинных районах и $\pm 0,3$ м в горных районах.

Простирание и падение непосредственно в натуре измеряют на месте горным компасом с точностью $1-2^\circ$ или висячими инструментами с точностью до $0,5^\circ$. В насыщенных механизмами горных выработках и забоях направления простирания и падения рекомендуется измерять с помощью специальных угломеров или гироскопического трещиномера системы ВИОГЕМ.

Для правильного составления графиков необходимо при пологом залегании залежей точнее измерять простирание, при крутопадающих залежах — угол падения.

Нанесение на план или карту измеренных линий по их азимутам производят с учетом магнитного склонения, т. е. по дирекционным углам, которые равны $\alpha = A_m + (\pm \delta) - (\pm \gamma)$, где A_m — магнитный азимут линии; δ — склонение магнитной стрелки; γ — сближение меридианов.

Склонение магнитной стрелки для данной местности определяют или по магнитной карте, или путем измерения азимута стороны, дирекционный угол которой известен. Разность между дирекционным углом и магнитным азимутом равна величине магнитного склонения. Восточное склонение берется со знаком плюс, западное — со знаком минус.

Сближение меридианов положительное для листов карты к востоку от осевого меридиана и отрицательное — к западу.

В горных выработках замеры инструментами с магнитной стрелкой (горным компасом, висячей буссолью) следует производить вдали от массивных металлических предметов; не ближе 5—10 м от горных машин и 1 м от рельсов.

Если непосредственное определение простирания и падения затруднительно или невозможно, то в натуре определяют другие величины, с которыми искомые находятся в определенной зависимости. Значения элементов залегания здесь находят по формулам аналитической геометрии или графически при помощи геометрических построений.

Графический способ в большинстве случаев предпочтительнее аналитического, так как при тщательном выполнении графика в соответствующем масштабе он дает не только достаточную точность получаемых результатов, соответствующую точности исходных данных, но и обеспечивает пространственное представление об определяемых величинах.

Косвенное определение простирания и падения залежи производят по методу перекрещивающихся шнуров по двум произвольным направлениям в плоскости залежи, проходящим примерно под прямым углом друг к другу. С помощью полукруга определяют углы наклона шнуров (δ_1 и δ_2), а с помощью всякого компаса — азимуты их направления α_1 и α_2 (рис. 5.2).

Все приведенные на рис. 5.2, а случаи могут быть представлены одной схемой (рис. 5.2, б).

Между измеренными величинами α_1 ; α_2 ; δ_1 ; δ_2 и искомым — простиранием плоскости α и падением δ имеется аналитическая зависимость:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\operatorname{ctg} \delta_1 \cos \alpha_1 - \operatorname{ctg} \delta_2 \cos \alpha_2}{\operatorname{ctg} \delta_1 \sin \alpha_1 - \operatorname{ctg} \delta_2 \sin \alpha_2};$$

$$\operatorname{ctg} \delta = \operatorname{ctg} \delta_1 \sin (\alpha_1 - \alpha),$$

или

$$\operatorname{ctg} \delta = \operatorname{ctg} \delta_2 \sin (\alpha_2 - \alpha).$$

Из графических способов наиболее просто следующее решение (рис. 5.2, в, г). На листе бумаги прочерчивают прямую линию — ось x -ов. Из точки O от положительного направления оси x -ов под измеренными углами α_1 и α_2 прочерчивают направления Ov и Oa — проекции линий видимого падения. В стороне от чертежа проводят две параллельные горизонтальные линии на произвольном расстоянии друг от друга. Линии соединяют перпендикуляром h . Из вершины перпендикуляра A под измеренными углами видимого падения δ_1 и δ_2 проводят две линии до пересечения с нижней прямой. Горизонтальные проекции этих прямых Ov и Oa откладывают на соответствующих направлениях от точки O . Соединив точки v и a прямой, получают линию простирания плоскости. Отметив стрелкой направление линии простирания плоскости, помня, что падение справа, измеряют транспортиром азимут линии простирания α .

Для определения угла падения из точки O опускают перпендикуляр OC на линию простирания. Длину его откладывают от точки O по нижней горизонтальной линии вспомогательного

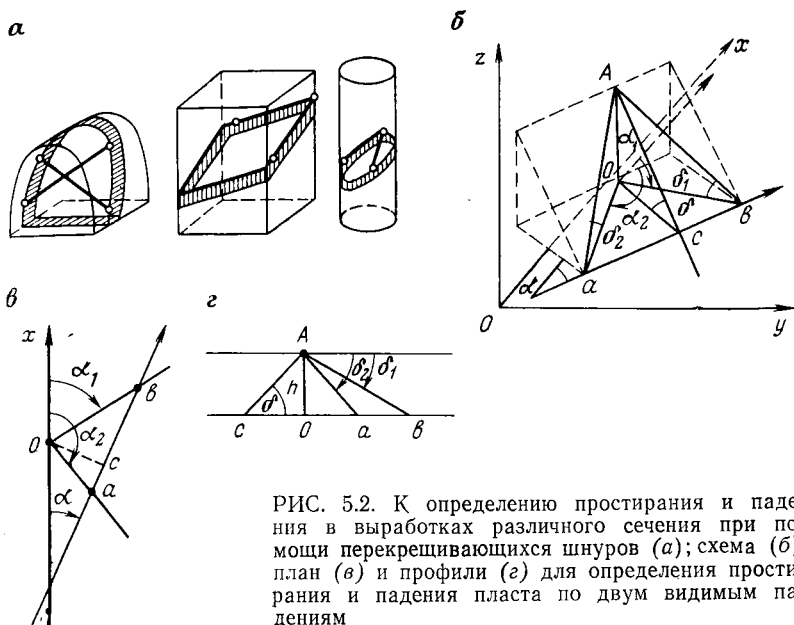


РИС. 5.2. К определению простирания и падения в выработках различного сечения при помощи перекрещивающихся шнуров (а); схема (б) план (в) и профили (г) для определения простирания и падения пласта по двум видимым падениям

чертежа. Соединив точку c с вершиной перпендикуляра A , получают угол $OсА$ — искомый угол падения δ , который измеряют транспортиром.

Определение простирания и падения по зарисовкам обнажений на стенках шурфа. По развертке двух смежных или четырех стенок шурфа $ABCD$ (рис. 5.3), выполненной в определенном масштабе, непосредственно определяют глубину залегания залежи и ее вертикальную мощность. Определение простирания и падения залежи производят с помощью дополнительных графических построений.

На развертке проводят две горизонтальные прямые на произвольном расстоянии h друг от друга так, чтобы пересекали кровлю пласта. Прямые представляют следы секущих горизонтальных параллельных плоскостей.

Точки пересечения прямых mn и kl с боком залежи переносят на план шурфа, стенки которого имеют определенный азимут. На плане через полученные точки проводят прямые — горизонтали бока залежи со старшей и младшей отметкой. По направлению горизонталей определяют его простирание, α по разности отметок h и заложению a горизонталей определяют угол падения δ . По углу падения и вертикальной мощности вычисляют нормальную мощность залежи.

Определение простирания и падения по планам горных и разведочных выработок. По плану горных выработок можно определить общий характер залегания полезного ископаемого. Размеры участков залежи, которые могут быть приняты за

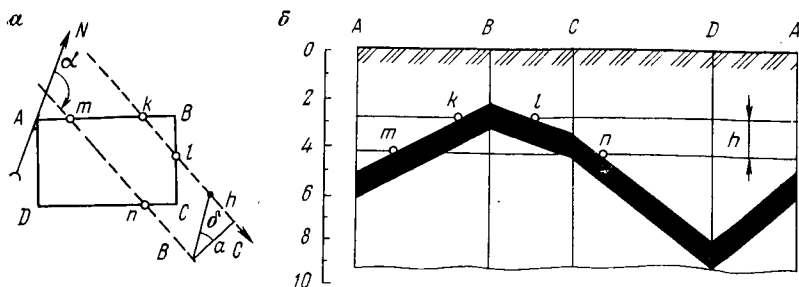


РИС. 5.3. К определению простирания и падения пласта по плану (а) и развертке (б) стенок шурфа

плоскость, зависят как от характера изменения простирания и падения осей выработок, так и от точности, которая необходима для решения.

В одних случаях плоские участки залежи бывают значительных размеров, оси горизонтальных выработок сохраняют свое простирание, а вертикальных — падение на больших расстояниях.

В других случаях простирание горизонтальных и падение вертикальных выработок на отдельных участках меняются, тогда простирание и падение залежи определяют для отдельных участков.

Все возможные случаи определения простирания и падения участков залежи по планам могут быть сведены к трем общим случаям определения простирания и падения плоскости:

I — по ее двум прямым; *II* — по одной прямой и точке вне прямой; *III* — по трем точкам, не лежащим на одной прямой.

Направление штреков на плане фактически совпадает с линией простирания залежи. Однако при пологом падении залежи оно может отличаться от линии простирания благодаря уклону, с которым проводят штреки. Это надо иметь в виду при определении простирания и падения залежи.

На рис. 5.4 изображена плоскость бока залежи *P* с пологим углом падения δ и линией простирания *АС*. Прямой *АВ* изображена ось штрека, *Ав* — ее проекция на плане. Угол θ — угол между простиранием штрека и простиранием залежи.

Зависимость между величиной угла θ , углом наклона δ' штрека (или уклоном i) и углом падения залежи δ выражается соотношением $\sin \theta = i \operatorname{ctg} \delta$.

Так, например, при угле падения залежи $\delta = 6^\circ$ и уклоне штрека $i = 0,005$ простирание штрека от простирания залежи отличается на угол $\theta = 2^\circ 50'$.

Угол падения залежи по плану определяют по кратчайшему расстоянию a между штреками в масштабе плана и разности их отметок h . Угол δ определяют или графически, или по формуле $\operatorname{tg} \delta = h/a$.

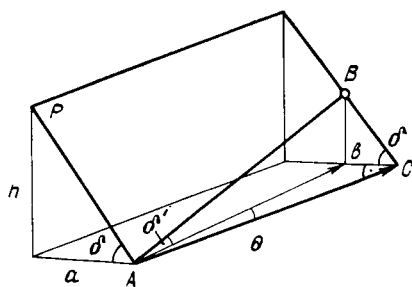


РИС. 5.4. К определению зависимости между направлением штрека и линией простирания пласта

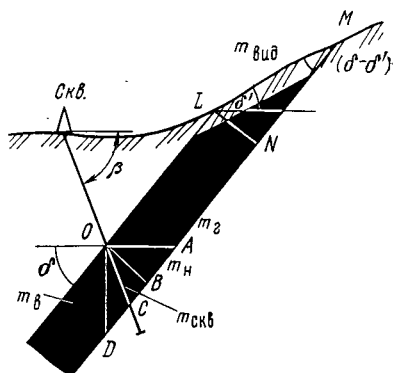


РИС. 5.5. Виды мощности залежи

Мощностью залежи полезного ископаемого или иной горной породы называется расстояние между поверхностями лежачего и висячего боков. Мощность определяют в естественных обнажениях и по горным и разведочным выработкам. Разведочные и горные выработки пересекают залежи и горные породы по различным направлениям. Поэтому мощность приходится определять также по разным направлениям, относительно простирания и падения залежи.

Различают следующие виды мощности залежи полезного ископаемого (рис. 5.5):

истинную или нормальную мощность m_n — расстояние по нормали между поверхностями лежачего и висячего боков залежи;

вертикальную мощность m_v — расстояние по вертикали между поверхностями висячего и лежачего боков залежи;

горизонтальную мощность m_g — кратчайшее расстояние в горизонтальной плоскости между поверхностями висячего и лежачего боков залежи;

видимую или кажущуюся мощность $m_{\text{вид}}$ — расстояние между поверхностями лежачего и висячего боков, измеренное по данному направлению.

Так как многие залежи полезного ископаемого, например каменные угли, состоят из отдельных слоев и содержат прослой пустых пород, при разведке и особенно при разработке месторождения различают, кроме перечисленных, следующие технологические виды мощности (рис. 5.6):

геологическая мощность $m_{\text{геол}}$ — расстояние по нормали между кровлей и почвой залежи или сумма мощностей всех пачек (слоев) и породных прослоек;

полная (общая) m_n , измеряемая от кровли (висячего бока) до почвы (лежачего бока) кондиционной залежи со

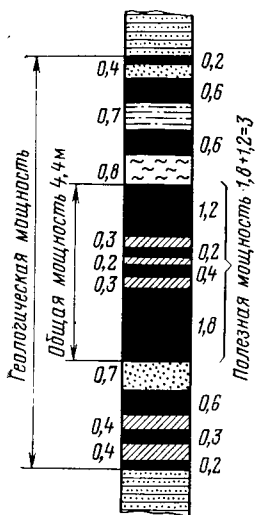


РИС. 5.6. Технологические виды мощности

всеми породными прослойками. Полная мощность залежи используется для общего представления о залежи и для сопоставления с полной полезной и с эксплуатационной мощностью залежи;

полная полезная мощность $m_{\text{пп}}$, равная сумме мощностей всех пачек (слоев) полезного ископаемого, имеющих в залежи, которые по мощности, зольности и положению в разрезе отвечают требованиям к балансовым запасам в пределах общей мощности пласта;

вынимаемая m_r (рабочая или эксплуатационная), равная сумме мощностей пачек (слоев) полезного ископаемого и прослоев породы, фактически вынимаемых при разработке, или расстояние от обнаженной кровли до обнаженной почвы вынутой залежи (даже если почвой и кровлей является полезное ископаемое);

вынимаемая полезная $m_{\text{в.п.}}$, равная сумме мощностей фактически вынимаемых пачек (слоев) полезного ископаемого, т. е. равна разности между вынимаемой мощностью и суммой мощностей прослоев пустой породы, не идущих в добычу.

По мощности различают следующие группы пластов и залежей: весьма тонкие—для угля менее 0,5 м; для руд менее 0,7 м; тонкие—для угля 0,5—1,3 м; для руд 0,7—2,0 м; средней мощности—для угля 1,3—3,5 м; для руд 5—20 м; мощные—для угля более 3,5 м; для руд—5—20 м; весьма мощные—для руд более 20 м.

Мощность полезного ископаемого в различных точках месторождения различна; при определении мощности значения ее относят к точкам всякого бока залежи.

Для решения технических задач в ряде случаев требуется по измеренной мощности в одном направлении определять значение мощности по другим направлениям. Для сложных форм залежей с изменчивой мощностью зависимость между значениями мощности определяют графически путем построения горизонтальных или вертикальных разрезов залежи или разрезов, составляемых по требуемому направлению в определенном масштабе.

Масштаб графика выбирают так, чтобы его точность соответствовала точности исходных данных.

Для простых форм залежей с плоскостными и параллельными боками между перечисленными видами мощности, углом падения залежи и направлением измерения мощности имеется аналитическая зависимость.

На рис. 5.5 представлен разрез вкрест простирания пластообразной залежи (угольного пласта), угол падения залежи δ , залежь пересечена скважиной, имеющей угол наклона β . По керну скважины измерена мощность $m_{\text{скв}}$. Из точки O проведены горизонтальная $m_{\text{г}}$, истинная $m_{\text{н}}$ и вертикальная $m_{\text{в}}$ мощности.

В треугольнике $ОВД$ угол $ДОВ$ равен δ .

Из прямоугольных треугольников $ОВА$ и $ОВД$:

$$\left. \begin{aligned} m_{\text{н}} &= m_{\text{г}} \sin \delta; \\ m_{\text{г}} &= m_{\text{н}} \operatorname{cosec} \delta; \\ m_{\text{н}} &= m_{\text{в}} \cos \delta; \\ m_{\text{в}} &= m_{\text{н}} \sec \delta. \end{aligned} \right\}$$

Если разведочная выработка (скважина) пересекла залежь вкрест простирания, но не по нормали к напластованию, то зависимость между истинной мощностью $m_{\text{н}}$ и мощностью, измеренной по скважине $m_{\text{скв}}$, определяется следующим соотношением.

В прямоугольном треугольнике $ОВС$ обозначим угол $ВОС = \gamma$, угол $АОС = \beta$ — углу наклона скважины, угол $АОВ = 90^\circ - \delta$, следовательно:

$$\gamma = \beta - (90^\circ - \delta);$$

из треугольника $ОВС$ имеем

$$m_{\text{н}} = m_{\text{скв}} \cos \gamma,$$

или

$$m_{\text{н}} = m_{\text{скв}} \cos [\beta - (90^\circ - \delta)].$$

Для горизонтальной и вертикальной мощности выражения примут вид:

$$m_{\text{г}} = m_{\text{н}} \operatorname{cosec} \delta = m_{\text{скв}} \cos [\beta - (90^\circ - \delta)] \operatorname{cosec} \delta;$$

$$m_{\text{в}} = m_{\text{н}} \sec \delta = m_{\text{скв}} \cos [\beta - (90^\circ - \delta)] \sec \delta.$$

Если залежь выходит на поверхность и мощность ее измерена по склону, угол наклона которого по линии вкрест простирания залежи δ' , то истинную мощность определяют по формуле, получаемой из треугольника LNM (см. рис. 5.5),

$$LN = LM \sin (\delta - \delta');$$

или

$$m_{\text{н}} = m_{\text{вид}} \sin (\delta \pm \delta')^*.$$

Если пластовая залежь разведана искривленными скважинами, то вначале по координатам точек пересечения скважин

* Знак +, когда пласт и склон падают в разные стороны; знак —, когда пласт и склон падают в одну сторону.

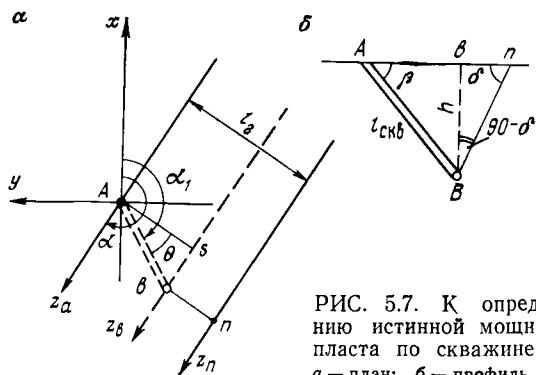


РИС. 5.7. К определению истинной мощности пласта по скважине:
а — план; б — профиль

с поверхностью почвы или кровли залежи строят гипсометрический план этой поверхности, определяют простирание и падение залежи, а затем находят ее истинную мощность.

Рассмотрим определение истинной мощности пласта, когда измерение мощности произведено по разведочной выработке, пересекающей пласт в косом направлении относительно его простирания и падения.

Пусть наклонная или искривленная скважина в точке A , координаты которой известны, вошла в полезное ископаемое и в точке B на расстоянии $l_{\text{скв}}$ от точки входа вышла из полезного ископаемого. Известны: угол наклона β , под которым скважина пересекла пласт и азимут ее направления α , а также простирание α и падение δ пласта.

Приводим графическое решение, сопровождая его выводом аналитической зависимости (рис. 5.7).

На плане, выбрав масштаб, проводим оси координат. С центром осей совмещаем точку A — точку входа скважины. Через точку A проводим горизонталь висячего бока залежи под дирекционным углом α имеющую отметку, равную отметке точки A .

Под дирекционным углом α_1 проводим проекцию направления оси скважины, на которой от точки A откладываем горизонтальную проекцию измеренной по скважине мощности, равную отрезку Ab (рис. 5.7, а).

$$Ab = l_{\text{скв}} \cos \beta.$$

Через точку b проводим горизонталь лежачего бока залежи параллельно горизонтали z_a . Отметка этой горизонтали z_b меньше отметки горизонтали z_a на величину $h = l_{\text{скв}} \sin \beta$.

Следовательно, $z_b = z_a - l_{\text{скв}} \sin \beta$. Найдем далее проекцию такой горизонтали лежачего бока залежи, отметка которой была бы равна отметке горизонтали z_a висячего бока.

Для этого из точки b восстанавливаем перпендикуляр к горизонтали z_b , на котором откладываем отрезок bn , равный

заложению лежачего бока при угле его наклона δ и высоте сечения h :

$$bn = h \operatorname{ctg} \delta;$$

или, подставляя значение h ,

$$bn = l_{\text{скв}} \sin \beta \operatorname{ctg} \delta.$$

Через точку n проводим горизонталь z_n параллельно горизонтали z_a . По условию простирания обе горизонталы имеют одинаковые отметки, но относятся одна к висячему, а другая к лежачему боку залежи. Следовательно, кратчайшее расстояние между горизонталями соответствует горизонтальной мощности l_r залежи в масштабе плана.

Для аналитического выражения значения горизонтальной мощности обозначим через θ острый угол, который на плане составляет проекция оси скважины с проекцией линии падения залежи.

$$\text{Горизонтальная мощность } l_r = As + bn,$$

где

$$As = Ab \cos \theta.$$

Подставляя выведенные ранее значения для Ab и bn , получаем

$$l_r = l_{\text{скв}} \cos \beta \cos \theta + l_{\text{скв}} \sin \beta \operatorname{ctg} \delta;$$

или, вынося $l_{\text{скв}}$ за скобки, получаем:

$$l_r = l_{\text{скв}} (\cos \beta \cos \theta + \sin \beta \operatorname{ctg} \delta).$$

Для истинной l_n и вертикальной l_v мощности после некоторых преобразований получим следующие соотношения:

$$l_n = l_{\text{скв}} \cos \delta \cos \beta (\operatorname{tg} \delta \cos \theta \operatorname{ctg} \beta),$$

$$l_v = l_{\text{скв}} \cos \beta (\operatorname{tg} \delta \cos \theta + \operatorname{tg} \beta).$$

Приведенные соотношения между различными видами мощности залежи справедливы как для полной мощности, так и для отдельных выделяемых слоев, пачек. При этом имеется в виду, что залежь ограничена параллельными плоскостями висячего и лежачего боков.

Определение мощности полезного ископаемого в обнажениях и в выработках. Мощность полезных ископаемых, имеющих четкие контакты с вмещающими породами, измеряют непосредственно по обнажениям на поверхности (на выходах) и в горных выработках при их документации с точностью до одного сантиметра и записывают в специальные журналы наблюдений. Если полезное ископаемое представлено различными по сортам слоями, то измеряют мощность каждого слоя.

В естественных обнажениях иногда возможно непосредственно измерить истинную мощность полезного ископаемого по нормали к плоскостям напластования.

Если же истинную мощность замерить не удастся, то измеряют видимую мощность по возможности вкрест простирания пласта. В этом случае определение истинной мощности упрощается.

Переход от измеренной — видимой мощности к истинной может быть выполнен путем вычислений или проще — графически по разрезу, в крупном масштабе по линии вкрест простирания пласта.

В горных и разведочных выработках, вскрывающих залежь полностью, истинную мощность измеряют непосредственно рулеткой с точностью до одного сантиметра.

По мере проходки выработки замеры мощности производят через определенный промежуток, приурочивая их к местам взятия проб, а также в местах изменения мощности — раздувов, пережимов залежи и т. п.

Мощность тел полезных ископаемых, не имеющих отчетливых границ с вмещающими породами, т. е. постепенно переходящих в безрудные вмещающие породы, определяют по данным опробования. Пробы наносят на план или разрез. По предельному содержанию компонента в залежи устанавливают границы залежи со стороны лежачего и висячего боков, между которыми по графику определяют соответствующую мощность.

Наряду с систематическими измерениями мощности полезного ископаемого во всех естественных и искусственных обнажениях производят определение мощности горных пород, вмещающих полезное ископаемое.

Мощностью свиты пластов называется кратчайшее (по нормам) расстояние между маркирующими горизонтами (пластами) свиты. Маркирующими пластами являются пласты горных пород, наиболее выдержанные по площади с характерными признаками или остатками в них растительного и животного мира.

Одна или несколько свит пластов составляют продуктивную толщу.

Мощность свиты и толщи определяют обычно по геологическим разрезам, составляемым вкрест простирания свиты пластов в масштабе от 1 : 1000 до 1 : 10 000.

Глубина залегания является геометрическим элементом, дающим представление о расположении залежи в недрах относительно земной поверхности и определяется расстоянием по вертикали от земной поверхности до кровли залежи.

Условились на планах, картах и разрезах значения глубин залегания залежи относить к соответствующим точкам поверхности рельефа местности.

Знание глубины залегания полезного ископаемого необходимо при решении многих вопросов геологоразведочного и горного дела. Проведение разведочной выработки на залежь требует предварительного определения глубины ее залегания в данной точке.

С учетом предварительно установленной глубины выбирают начальные диаметры разведочных скважин, число бурильных труб, тип бурового станка и пр.

В различных точках земной поверхности значения глубин до полезного ископаемого различны. На плане это изображается в изоглубинах.

§ 2. Документация обнажений залежи и ее унификация на перфокартах

Все наиболее характерные естественные и искусственные обнажения горных пород и залежей полезных ископаемых документируют. Документация обнажений представляется их маркшейдерской съемкой и описанием, зарисовкой или фотографированием, выполняемым в процессе изучения обнажений.

Зарисовки забоев горных выработок разделяются на массовые и специальные.

Массовые зарисовки производят во всех забоях выработок через определенный интервал их подвигания или по боковой стенке выработки. На зарисовках фиксируют важнейшие черты месторождения и приводят их краткое описание.

Специальные зарисовки применяют для документации забоев с важными и сложными особенностями месторождения. Производятся они специалистами. В забоях зарисовываются детали строения отдельных тектонических нарушений, развитие трещин, кливажа в полезном ископаемом и вмещающих породах, зарисовываются текстуры рудного тела и фациальных замещений и пр. По полевым наблюдениям составляют чистовые зарисовки забоев в туши, в условных знаках. Масштаб зарисовок принимают в пределах от 1 : 10 до 1 : 200.

В результате документации забоев и стенок подготовительных и очистных горных выработок накапливается огромный материал, который служит основой для геометризации месторождения. Современная скорость проходки горных выработок требует быстрых и объективных методов горно-геологической документации забоев и ее обработки. Такими методами являются фотографирование забоев и унификация документации на перфокартах.

Фотодокументация забоев. Для фотосъемки забоев и стенок горных выработок шахт и рудников применяют светосильные фотоаппараты, позволяющие получать фотоснимки в масштабах, соответствующих масштабам массовых (1 : 20—1 : 100) и детальных (1 : 10—1 : 20) зарисовок.

Этим требованиям отвечают малоформатные фотоаппараты типа «ФЭД», «Зоркий», «Киев», «Зенит» с широкоугольными объективами, а также камера типа «Любитель» и др.

В комплект аппаратуры должны входить: складной штатив или трубины для закрепления фотоаппарата на распорке или штативе маркшейдерского инструмента; источник света, тесмя-

ная рулетка для привязки снимков; однометровая рейка с сантиметровыми делениями на верхнем дециметре для определения масштаба получаемых фотоснимков; накладной уровень для приведения фотокамеры в горизонтальное положение; набор цифр и букв на карточках, прикрепляемых к забю для нумерации снимка и выделения монотонных разновидностей горных пород на снимке; горный компас для установки фотоаппарата так, чтобы задняя его стенка была параллельна плоскости забю.

На рудниках освещение забю возможно импульсной фото вспышкой с плоским отражателем для более равномерного освещения.

В шахтах, опасных по газу и пыли, в качестве источника света используют люминесцентные светильники ЛАС-6а с газоразрядными трехваттными лампами с питанием от переносных батарей, импульсные лампы «Луч», аккумуляторные шахтерские лампы и технадзорки с рефлекторами. Источники света при фотографировании располагают сзади фотоаппарата, чтобы исключить попадание в поле объектива прямого света и образование бликов на снимках. При освещении забю световое пятно, которое образует лампа, необходимо постепенно и равномерно перемещать по всей площади фотографируемого забю. Чувствительность пленки должна быть высокой 130—250 ед. ГОСТа. В запыленных забюх следует пользоваться пленкой с инфракрасным слоем.

Обработку фотопленки и изготовление снимков производят в небольших фотолабораториях с обычным оборудованием.

Работы сводятся к получению одиночных крупномасштабных снимков, фотомонтажа, дешифрированию, измерению фотоснимков и изготовлению первичной геологической документации.

Фотомонтаж осуществляют из фотоснимков, приведенных к одному масштабу и имеющих продольные и поперечные перекрытия.

Фотоснимки накладывают последовательно так, чтобы идентичные контуры или точки на смежных снимках совпадали друг с другом. Смонтированные снимки обрезают по средней линии перекрытия соседних снимков.

Обрезанные снимки приклеивают к основе малодеформирующим клеем.

Дешифрирование и измерение фотоснимков фотомонтажей производят по дешифровочным признакам объекта — цвету, форме, размерам и др.

Различные горные породы, отличаясь по внешнему виду друг от друга, на фотопленке также изображаются различными тонами. Имея эталоны типичных изображений основных горных пород, например угля, песчаника, известняка, глинистых сланцев, можно различать их также и на снимках. До приобретения достаточного навыка вначале пользуются условными обозначе-

ниями пород в виде начальных букв (У — уголь, С — сланец и т. п.), которые помещают в соответствующих местах непосредственно перед съемкой одновременно с номером снимка на забое и убирают после съемки.

Дешифрованные фотоснимки, фотомонтаж и кальки с них являются первичными геологическими документами, с которых необходимые геологические данные переносят на геологические разрезы выработок и сводные геологические планы и разрезы.

Так как грамотно составленная зарисовка является обобщением и отражает толкование зарисовщиком характера данного обнажения, не следует полностью отрицать необходимость зарисовок в шахтных условиях. Фотоснимок и зарисовка забоя являются в ряде случаев дополняющими друг друга документами. Во многих случаях целесообразно прибегать к стереосъемке.

Стереосъемка забоев позволяет получить более правильное и выразительное представление об объекте при помощи объемного изображения этого объекта. Она также позволяет получить обширную количественную информацию о мощности отдельных геологических тел, процентном соотношении площадей, занимаемых рудой и боковыми породами, количестве, протяженности и элементах залегания различных систем трещин, плоскости сместителя и напластований горных пород и т. п.

При рассмотрении пары снимков детали фотоизображения выступают более отчетливо, что позволяет обнаружить также характерные черты геологической структуры, которые недостаточно четко проявляются на плоских снимках.

Стереосъемка может быть изобразительная, имеющая целью дать только объемное изображение, и измерительная, для решения некоторых метрических задач по паре снимков. Во всех случаях целесообразно использовать масштабные эталоны в забое в виде линейчек или треугольников и маркирующие обозначения в виде букв, обозначающих различные горные породы.

Стереосъемка в горных выработках является весьма короткобазисной, производится короткофокусными камерами. Для стереосъемки фотоаппараты устанавливают на базисную линейку или на шарнирное устройство (рис. 5.8).

Измерения по снимкам производят простыми устройствами в виде координатометров и параллаксометров. Для рассматривания снимков достаточно иметь любой стереоскоп (например, циклоп).

Точность линейных измерений по фотоснимкам и фотосхемам колеблется от ± 2 до 10 % измеряемой величины. Углы падения трещин, пластов и пр. измеряются с точностью ± 2 —5 % величины измеряемого угла. Определение по стереосъемке видимой мощности и элементов залегания с учетом коэффи-

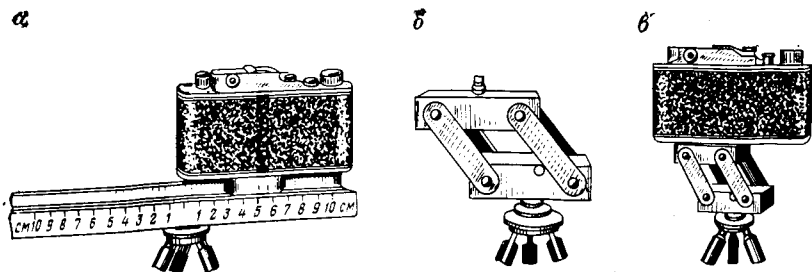


РИС. 5.8. Линейка (а) и шарнирное устройство (б, в) для стереофото съемки забоев

циента неровности поверхности составляет $\pm 1—3\%$ замеренной в натуре мощности тела и $\pm 3—6\%$ величины замеренных углов.

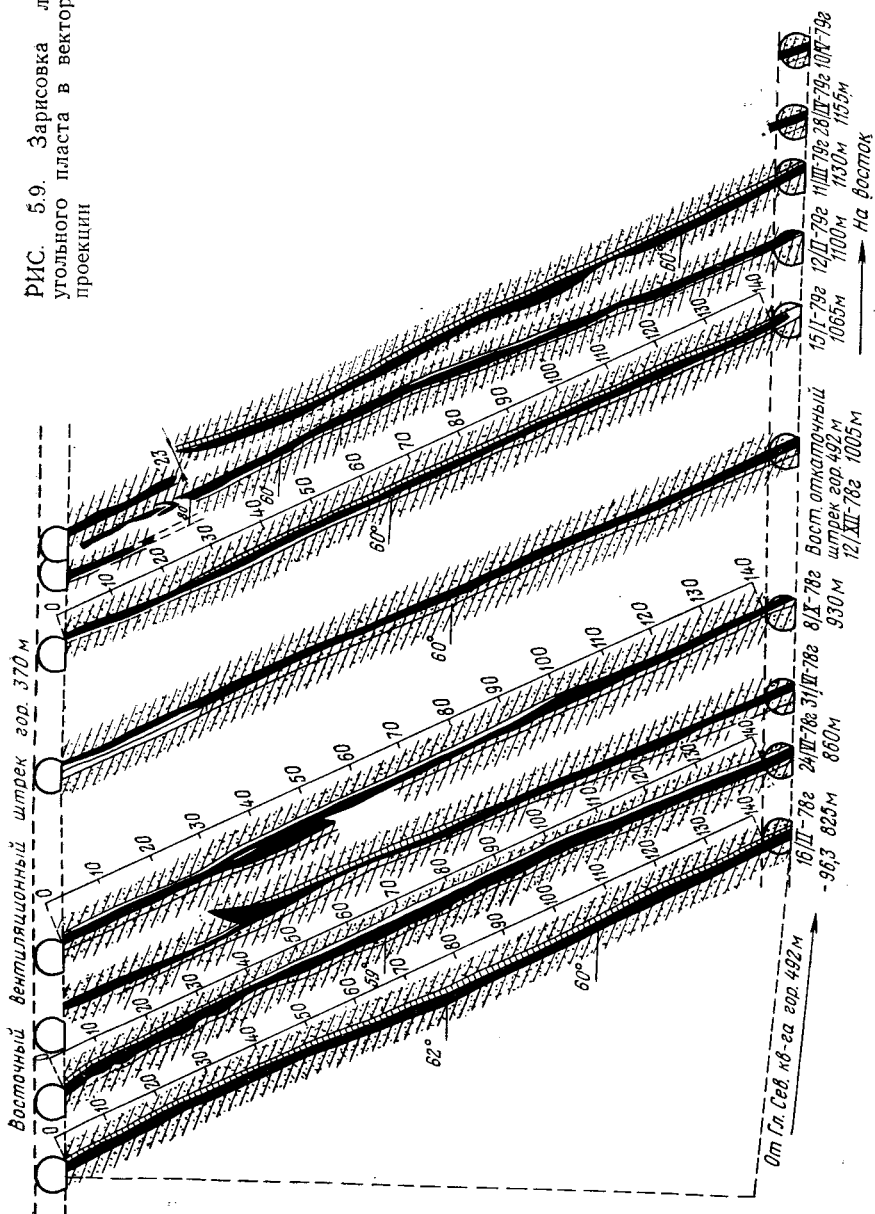
Наиболее удобными для геологической документации забоев горных выработок являются стандартные перфокарты К-4 размером 297×207 мм и К-5 размером 207×147 мм. На перфокарте по данным наблюдений, зафиксированным в полевой книжке, или после дешифрирования фотоснимков строят в туши и условных знаках зарисовку забоя в крупном масштабе ($1:10—1:200$), отмечают его местоположение, дают краткое геологическое описание, элементы залегания, качественную и количественную характеристику горных пород и полезного ископаемого и пр. Фотографию забоя иногда прикрепляют к перфокарте. При документации используют обе стороны перфокарты.

В результате геологической документации на перфокартах забоев и стенок горных выработок, забоев, лав и пр. создается информационно-поисковая система (ИПС), которая позволяет весьма быстро находить для использования и пополнения новыми данными маркшейдерско-геологическую документацию забоев и наиболее полно использовать всю имеющуюся информацию при анализе, обобщении и геометризации разрабатываемого месторождения. Перфокарты хранятся в обычных ящиках-коробках. Для ручного поиска заключенной в них информации или для пополнения сведений, внесенных в карты, эти перфокарты вынимают определенными порциями не более 250—500 шт. и переносят в специальное селекторное приспособление. В зависимости от объема массива (числа карт) применяют ручную, полумашинную или машинную сортировку карт.

Для относительно небольших массивов карт (до 25 000) целесообразно использовать ручные методы поиска необходимой информации из массива карт.

По мере накопления материала производится сведение его воедино для получения общей картины геологического строения месторождения. Обобщения зарисовок производят на

Восточный вентшляцонный штрек гор. 370 м



маркшейдерских планах горных работ, разрезах и других графиках.

На рис. 5.9 в векторной проекции представлены сводные зарисовки очистного забоя лавы угольного пласта.

Такое расположение зарисовок лавы на чертеже создает наглядное изображение строения пласта на данном участке. Оно удобно для пополнения новыми зарисовками вначале забоя штрека, а затем лавы по мере их подвигания и просто для перехода от зарисовок к плану и обратно. Отдельные профильные сечения лав в векторной проекции (зарисовки) строят в одном и том же масштабе и представляют по сути вертикальные сечения пласта, сдвинутые друг от друга по направлению штрека, пропорционально расстоянию между сечениями лавы в определенном масштабе. По зарисовкам просто определяются простирание и падение плоскостей разрывов. Сводные зарисовки исключают условия для составления ошибочных зарисовок лав по их длине, что имеет место иногда при документации лавы в отдельности.

§ 3. Съемка и документация скважины

Скважина — горная выработка цилиндрической формы глубиной более 5 м и диаметром более 75 мм, пройденная в горной породе или полезном ископаемом механическим или немеханическим способом бурения. Начало скважины называется устьем, дно (торцевая часть) — забоем, внутренняя боковая поверхность — стенками. Геометрическое место точек, равноудаленных от стенок скважины, называется осью скважины. По своему назначению скважины разделяются на разведочные, предназначенные для поиска полезных ископаемых, определения их запасов, формы, качества и условий залегания; эксплуатационные — предназначенные для добычи жидких (нефть, минеральные соли), газообразных полезных ископаемых, а также для разработки залежей геотехнологическими способами (выпаривание, выщелачивание, подземная газификация и пр.); вспомогательные — к ним относятся лесопускные, породопускные, вентиляционные, водоотливные, электрокабельные, дегазационные, тампонажные и др.; взрывные, предназначенные для размещения в них зарядов ВВ; водопонижительные, предназначенные для осушения месторождения в период эксплуатации; водяные, предназначенные для добычи воды из водоносного горизонта.

Механические способы бурения скважин разделяются на ударный, вращательный, ударно-вращательный, вращательно-ударный. Из немеханических способов бурения известны: термическое, взрывное, электроимпульсное, ультразвуковое, электрогидравлическое, электромагнитное и т. п. Бурение может осуществляться кольцевым (керновое бурение) и сплошным (бескерновое бурение) забоем. При кольцевом забое в скважине

остается неразрушенной порода в ее центральной части — керн, который входит в бурильную трубу и периодически поднимается и извлекается из нее. При бескерновом бурении забой разрушается полностью. Удаление разрушенной породы из скважины производится водой или сжатым воздухом, подаваемым через сальник и штангу на забой. При ударном бурении разрушение пород происходит лезвием долота. При вращательном бурении разрушение забоя скважины производится коронками, армированными резцами из твердого сплава, металлической дробью (дробовое бурение), шарошечными долотами, армированными зубками из твердого сплава (шарошечное бурение), коронками, армированными алмазами (алмазное бурение). Разведочные скважины проходят, как правило, путем кернового бурения. Они также подвергаются геофизическим исследованиям — каротажу.

Все разведочные и технические скважины являются скважинами направленного бурения. По методике проходки они разделяются на неуправляемые, когда ограничиваются установлением положения осей скважин в недрах, и управляемые, когда в процессе бурения проверяют с помощью специальных приборов — инклинометров положение забоя скважины и при его уходе от проектного с помощью специальных отклонителей выправляют положение забоя.

По числу проходимых стволов скважины бывают одноствольными и многоствольными. По углу заложения скважины разделяют на вертикальные, наклонные, горизонтальные и восстающие. По характеру кривизны ствола скважины разделяют на прямолинейные, плоскоискривленные, пространственно-искривленные, многозабойные и веерные.

Большинство разведочных и технических скважин под влиянием ряда факторов геологического, технического и технологического характера в той или иной мере отклоняются от заданного направления, т. е. искривляются.

Величина искривления нередко достигает значительных размеров. Так, например, горные выработки одной из шахт Донбасса подсекли скважину, которая на глубине 340 м отклонилась от проектной точки на 67 м.

К геологическим причинам отклонения скважин от заданного направления относятся: встреча буровым инструментом валунов, твердых включений, трещин и пустот и пересечение скважиной различных по твердости и наклонно расположенных по отношению к буровому наконечнику слоистых пород.

При встрече скважиной косо расположенного относительно оси скважины твердого включения, валуна или слоя на сторонах наконечника создаются различные нагрузки, под действием которых скважина отклоняется в сторону твердого тела.

При весьма остром угле ψ буровой наконечник может скользить по поверхности твердого слоя, искривление скважины происходит по падению залежи.

Механическими причинами искривления скважин являются бурение искривленными штангами и колонковыми трубами, неправильная установка бурового станка, бурение штангами малого диаметра относительно диаметра скважины, чрезмерная промывка в мягких породах и т. д.

В практике буровых работ установлено, что скважины вращательного бурения искривляются больше, чем скважины ударного бурения. Наклонные скважины искривляются чаще и значительнее, чем вертикальные. Наибольшую тенденцию к искривлению имеют наклонные скважины дробового бурения.

Ось скважины, заданной под острым углом к падению и простирацию слоистых пород различной крепости, стремится направиться под прямым углом к напластованию пород, изменяя не только угол наклона, но и простираение, или, как отмечено, может скользить по поверхности твердого слоя. Поэтому во избежание сильных искривлений наклонные скважины стремятся задавать вкрест простираения слоистости или трещиноватости и по возможности перпендикулярно к падению пород.

Естественные искривления разведочных скважин при бурении обычно выявляются, но не исправляются. Систематические замеры элементов искривления позволили выявить закономерности в искривлении скважин, в результате чего найдены способы не только учета кривизны и борьбы с ней, но и разработаны методика и способы бурения скважин по заданному направлению и с заданной кривизной особенно при многозабойном бурении.

Многозабойное бурение (рис. 5.10) геологоразведочных скважин находит все большее применение, так как оно позволяет уменьшать объем бурения во вмещающих толщах, сократить затраты времени и средства на монтаж, демонтаж и транспортирование бурового оборудования.

Многозабойное бурение широко применяют при разработке нефтяных месторождений. Особую перспективность оно приобретает при разведке полезных ископаемых, залегающих на больших глубинах.

Направленное и многозабойное бурение также требует быстрого и точного измерения кривизны скважин.

Отсутствие или неточность данных об искривлении буровых скважин может привести к неправильным выводам о геологическом строении участка и запасах полезного ископаемого, к ошибкам при проектировании направления скважины и производственных объектов. Неточные сведения об искривлении разведочных скважин являлись нередко причиной аварий в результате неожиданного подсечения горными выработками заполненных водой скважин и т. п.

Много средств уходит на поиски горными выработками технических скважин — кабельных, водоотливных, воздухопроводных и пр., искривившихся в процессе бурения и отклонившихся от проектного положения.

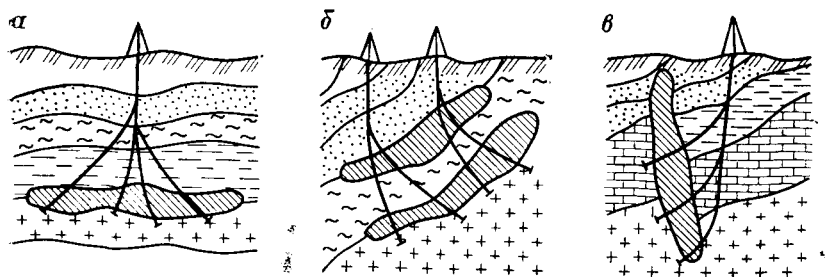


РИС. 5.10. Многозабойное бурение скважин при горизонтальном (а), наклонном (б) и крутом (в) залегании залежи

Поэтому при бурении разведочных и технических скважин, помимо изучения по керну и каротажу проходимых горных пород, производят съемку осей скважин, т. е. замеряют элементы их искривления.

Работу по измерению искривления разведочных и технических скважин выполняют обычно каротажные отряды геолого-разведочных партий. Маркшейдерам и шахтным (рудничным) геологам в своей практике приходится пользоваться результатами измерений не только при интерпретации данных разведки, но и составлять проекты доразведочных и технических скважин с учетом естественного искривления скважин в данных конкретных условиях, знать точность определения положения оси скважины при инструментальных съемках и приборы для съемки скважин, решать вопросы поиска скважины из горных выработок.

Метод и приборы для измерения искривления скважин. Ось искривленной скважины в недрах в общем случае является пространственной кривой. Если азимут оси скважины постоянный или незначительно (до 10°) отклоняется от первоначальной азимутальной плоскости, то считают, что скважина искривлена в одной вертикальной плоскости.

Положение оси скважины OM в пространстве может быть определено, если последовательно для ряда точек оси на определенных расстояниях $l_1, l_2, \dots, l_n$ от устья измерены: зенитные углы $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n$, т. е. отклонения касательных к оси скважины от вертикали; азимуты $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$ направления падения касательных к оси скважины (рис. 5.11). В этом случае вид действительной кривой оси скважины заменяется ломаной линией.

Получаемый по данным измерения пространственный полигон отражает пространственную кривую оси скважины тем ближе, чем точнее измерены углы, расстояния от устья и чем меньше кривизна оси между точками измерения.

Замеры углов искривления скважины производят от устья через каждые 10, 20, 25 или 50 м с помощью специальных при-

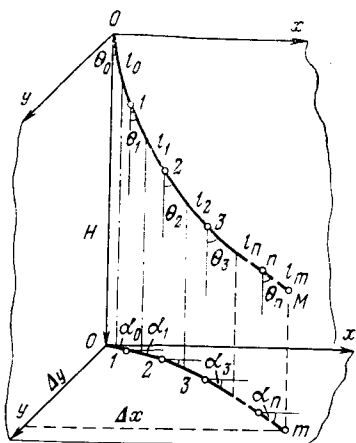
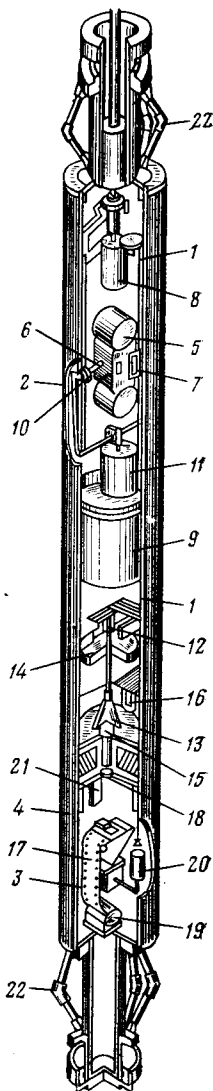


РИС. 5.11. Пространственное положение оси искривленной скважины и ее проекция на горизонтальную плоскость

РИС. 5.12. Схема устройства инклинометра И-560-Ф:

1 — внутренний корпус (корпус измерительной части); 2 — наружный корпус; 3 — корпус фотокамеры; 4 — нижняя (съемная) часть наружного корпуса; 5 — гиromоторы (ГМА-4П); 6 — ось прецессии гиromоторов (горизонтальная); 7 — датчик угла прецессии (РДУ-5); 8 — исполнительный двигатель (ДГ-2ТА); 9 — место расположения усилителя сигналов датчика угла прецессии; 10 — подшипники трехколенчатые специальные; 11 — двигатель (ДИД-1ТА) качалки средних колец подшипников; 12 — карданный подвес маятника; 13 — шкала на маятнике; 14 — жидкостный успокоитель колебаний; 15 — пластинка с маркой (крест); 16 — ламповая вспышка (ИСК-10); 17 — 35 мм перфорированная негативная киноплёнка; 18 — объектив фотокамеры; 19 — магазинная и приемная кассеты фотокамеры; 20 — двигатель (МН-145А) лентопротяжного механизма; 21 — импульсный счетчик кадров; 22 — роликовые центрирующие устройства



боров — инклинометров, опускаемых в скважину на штангах, канате или кабеле. В процессе бурения скважин замеры вновь пробуренных участков производят с перекрытием в 2—3 точках ранее замеренного интервала.

Из двух углов — зенитного θ и азимутального α — более просто и точно осуществляется измерение зенитных углов, так как всегда имеется возможность использовать гравитационное поле земли для самоориентирования чувствительных элементов при-

боров и, в частности, горизонтальность уровня жидкости или свойство отвеса-маятника.

В современных приборах измерение зенитного угла основано на фиксировании вертикально располагающегося маятника-отвеса. Угол между осью прибора, совпадающего с осью скважины, характеризует зенитный угол скважины.

Измерение азимута значительно сложнее. Его определяют непосредственным или косвенным способами.

В первом случае применяют приборы с магнитной стрелкой и гироскопические; во втором — с поверхности ориентированно опускают прибор для измерения угла наклона оси скважины и определяют величины, функционально связанные с искомым азимутом.

В существующих приборах положение измерительных частей относительно уровня жидкости, отвеса, магнитной стрелки и т. д. фиксируется химическим, электромагнитным, электролитическим, механическим, фотографическим или термическим способами во время остановок прибора.

В настоящее время созданы приборы, непрерывно дающие показания во время их равномерного спуска или подъема в скважине. При этом показания фиксируются или самим прибором или передаются по электрокабелю на поверхность (рис. 5.12).

Ведутся работы по созданию приборов с телеметрической передачей измерений кривизны скважин на поверхность. Точность измерения угловых величин различными приборами различна. Зенитные углы измеряются с точностью до $\pm 15'$, азимутальные — от 3° до $7-8^\circ$. При отклонениях от вертикали до 5° все инклинометры дают низкую точность, особенно азимутальных углов.

К наиболее совершенным инклинометрам относятся приборы системы «Зенит», разработанные ВНИИОМШСом и заводом «Геологоразведка», а для измерений в сверхглубоких скважинах при повышенной температуре — инклинометр И-7, разработанный ОКБ геофизического приборостроения МГ СССР, и др.

Инклинометр повышенной точности «Зенит» (ИГ-2М) предназначен для замера кривизны обсаженных скважин и контроля направления бурения замером в буровой колонне. Прибор смонтирован в каротажном подъемнике на базе вездехода ЗИЛ-151.

Высокие требования по точности измерения зенитных и азимутальных углов предъявляются к инклинометрам для съемки замораживающих скважин. Искривление замораживающих скважин глубиной до 100 м измеряют теодолитом или лотаппаратом. Более глубокие скважины замеряют гироскопическими приборами Аншютц-Мартинсена, Наутика, Лусинга, Сперии, ИГ-2, «Шахтер» и др.

Наиболее совершенной конструкцией является инклинометрическая станция И-560-Ф, разработанная ВНИМИ. Станция размещена в кузове спецавтомашины на шасси ЗИЛ-157.

Станция предназначена для съемки вертикальных замораживающих скважин по обсадной или буровой колонне труб с внутренним диаметром 127 мм, зенитным углом не более $5,5^\circ$ и глубиной до 700 м при температуре $\pm 30^\circ\text{C}$.

При проходке стволов шахт способом искусственного замораживания горных пород вертикальные скважины служат для замораживания пород и образования вокруг ствола ледопородного цилиндра. Отклонение скважин от проектного направления требует бурения дополнительных скважин, а неточная съемка может вызвать аварию при проходке ствола в водоносных горизонтах.

Скважины снимают как в процессе бурения, так и после проходки на всю глубину. В процессе бурения скважину замеряют по буровой колонне труб, если позволяет ее внутренний диаметр, или по специально опущенной в скважину замерной колонне. После проходки скважины на всю глубину замер производят по обсадной колонне труб до конца колонны. Продолжительность замера скважины глубиной 700 м, включая получение готового плана, составляет 5 ч.

Съемка в процессе бурения служит для определения отклонения забоя скважины от вертикали, проходящей через устье скважины. Скважину исправляют, если величина отклонения больше допустимой. Периодичность съемок в процессе бурения зависит от методов бурения и условий, в которых бурят скважину.

После проходки скважины на всю глубину и установки обсадных труб производят контрольную съемку и получают план оси обсадной колонны с отметками глубины. Этот план в дальнейшем используют для различных расчетов и построений.

Результаты съемки скважины инклинометром фиксируются на фотопленке. Координаты точек на оси скважины через 10 м глубины получают суммированием приращений координат, считанных с пленки. В прямоугольной системе координат, ориентированной для каждого замера по-разному, строят план оси скважины. Приведение планов скважины, полученных из различных замеров, в единую систему производят графически по координатам устья скважины и ориентирному направлению.

Положение оси скважины в плане на глубине 700 м определяют инклинометром со средней погрешностью $\pm 0,33$ м. Средний «уход» измерительной части инклинометра (гироазимута) в час равен $2-3^\circ$. Погрешность глубины, измеряемой оборотами мерного шкива (блока), не более 0,5 % от глубины.

Весьма актуальной задачей является создание инклинометров для точного измерения вертикальных скважин специального назначения, скважин малого диаметра, пробуренных алмазами в магнитных и слабо магнитных средах, а также для горизонтальных и восстающих скважин.

Документация буровых скважин является весьма ответственной операцией. На каждую пробуриваемую скважину

заводят специальное дело, в котором сосредоточивается вся первичная документация по скважине: описание керна в специальном геологическом журнале; акты на перебурку залежи; акты на тампонаж и ликвидацию скважины; каротажные диаграммы; данные об искривлении скважины; паспорта проб и химических анализов; геологический разрез по оси скважины в масштабе 1 : 200—1 : 1000. На разрезе подписывают наименование организации, производившей бурение, номер скважины, место расположения скважины, координаты устья x , y , z скважины, заданный угол наклона и дирекционный угол (азимут) для наклонных скважин, масштаб разреза по оси скважины, глубину от устья скважины до почвы каждого характерного слоя в метрах, отмечают водоносные горизонты, газопроявление, углы искривления скважины, технический разрез и тампонаж скважины.

Показывают мощность пород и выход керна при бурении, стратиграфические горизонты, синонимы пластов, углы падения пластов, вычерчивают структурную колонку залежи в масштабе 1 : 50 по данным бурения и каротажа, приведенной к нормальной мощности. Отмечают химический анализ пробы полезного ископаемого.

Чтобы в горные выработки при подработке буровых скважин не поступала вода, все скважины, пересекающие залежь или подошедшие к ней, обязательно тампонируют на расстоянии не менее сорокакратной мощности залежи. Тампонаж производят с помощью деревянных пробок, глиной или цементом. При ликвидации скважин составляется специальный акт.

При разведке месторождений, особенно состоящих из нескольких залежей или свиты пластов, весьма рационально документацию результатов бурения производить на перфокартах (типа К-5). С помощью перфокарт можно наиболее полно учесть имеющуюся информацию и подметить такие особенности месторождения, которые при обычных методах обработки нередко остаются незамеченными.

§ 4. Определение координат точки пересечения скважины с залежью и геометризация оси скважины

Координаты x , y точки пересечения вертикальной скважины с залежью имеют те же значения, что и координаты x_0 , y_0 ее устья. Отметки z точек входа и выхода получают путем вычитания из отметки устья соответственно значения глубин до висячего или лежащего бока залежи.

Для определения координат точек пересечения наклонной скважины с залежью (рис. 5.13) вначале находят горизонтальную l_r и вертикальную h проекции оси скважины графически (рис. 5.14) или аналитически по формулам:

$$\left. \begin{aligned} h &= l \cos \theta = l \sin \beta, \\ l_r &= l \sin \theta = l \cos \beta, \end{aligned} \right\}$$

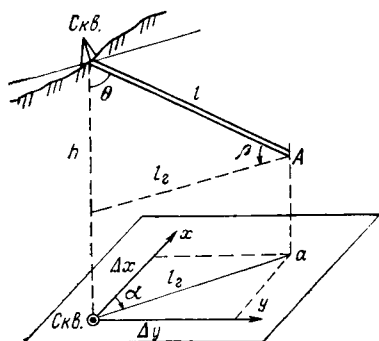
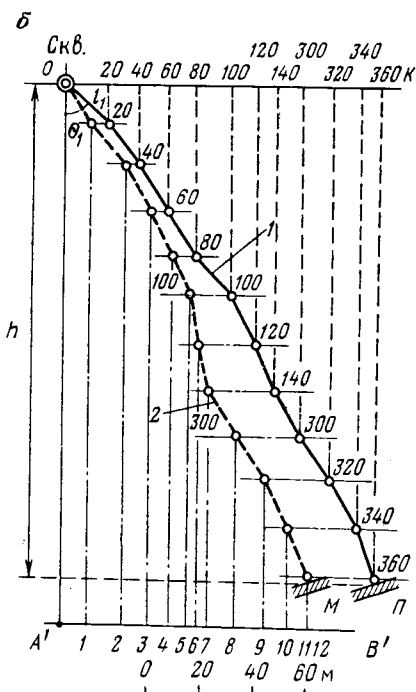
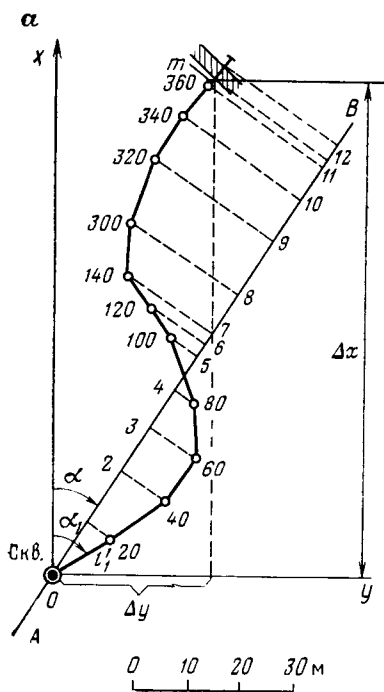


РИС. 5.13. Геометрические элементы наклонной скважины

РИС. 5.14. Графическое определение координат точек оси скважины:

a — инклинограмма; *б* — профиль *l* и проекция оси скважины *2* на вертикальную плоскость *AB*



где *l* — наклонная длина скважины от устья до точки входа (или выхода); θ — зенитный угол оси скважины; $\beta = 90^\circ - \theta$ — угол наклона оси скважины к горизонту ($\beta = 90^\circ - \theta$).

Координаты точки *A* пересечения наклонной скважины с за-
лежью определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_a &= x_0 + l \sin \theta \cos \alpha; \\ y_a &= y_0 + l \sin \theta \sin \alpha, \\ z_a &= z_0 - l \cos \theta. \end{aligned} \right\}$$

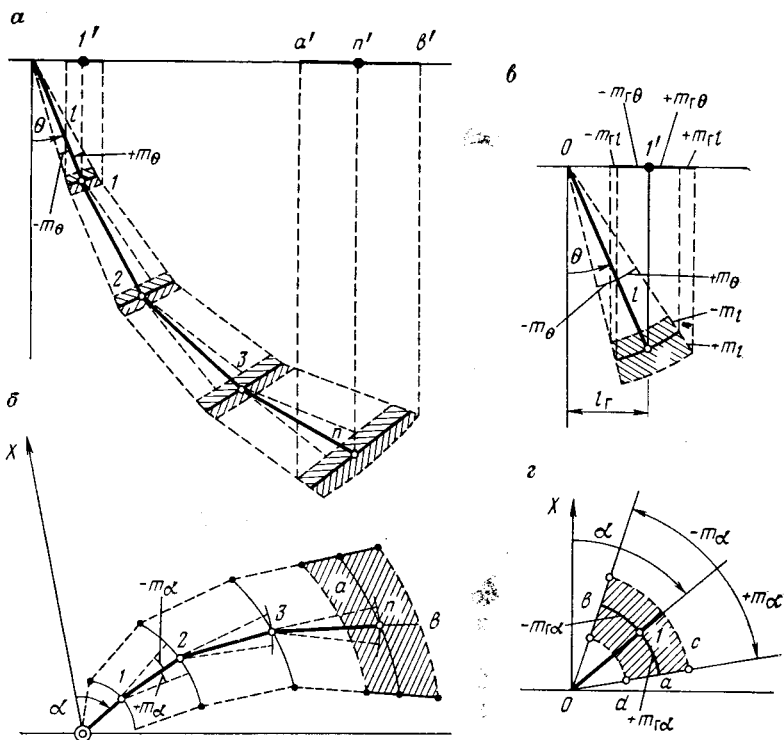


РИС. 5.15. Положения точек оси скважины с учетом погрешности измерений: а и в — в профиле; б и г — в плане

Координаты точки пересечения искривленной скважины с залежью определяют графическим или аналитическим способами.

Различают два случая, когда ось скважины искривлена только в одной вертикальной плоскости и имеет постоянный азимут или отклоняющийся до $8-10^\circ$ от первоначального, и когда ось скважины является пространственной кривой.

В обоих случаях возникает вопрос о методах распространения зенитных углов θ (или углов наклона $\beta = 90^\circ - \theta$) и углов простираия α , так как замеренные углы фактически отражают искривление только в тех участках оси скважины, в которых производились замеры.

Экспериментальным путем установлено, что минимальная погрешность в определении положения оси скважины получается при распространении значения измеренных углов от точки замера вверх и вниз на половину интервала между точками измерения искривления (первый способ).

Этому способу уступает по точности второй способ, когда интервалы проводят под углами, средними из замеренных на концах интервала, и третий, еще менее точный, когда замеренные

углы распространяются на весь интервал между точками измерения вниз, начиная от устья скважины и до забоя или вверх от забоя до устья.

При небольших интервалах измерения (до 25 м) расхождения в положении осей скважин, построенных тремя способами, не выходят за пределы точности инклинометрических измерений (рис. 5.16).

При графическом способе координаты точек оси скважины определяют по профилю и плану в крупном масштабе 1 : 200—1 : 2000 (рис. 5.14).

Профиль (рис. 5.14, б) строят путем последовательного откладывания интервалов измерения $l_1, l_2, \dots, l_m$ в масштабе под соответствующими зенитными углами, начиная от некоторой точки O .

На плане (рис. 5.14, а) ось скважины наносят от устья O , откладывая последовательно горизонтальные проекции интервалов l_i под соответствующими азимутами α .

Координаты x_m, y_m точки m определяют графически, прибавляя приращения координат Δx и Δy , снятые с плана, к координатам устья скважины.

Отметку z_m определяют по профилю, вычитая из отметки устья вертикальную проекцию h оси скважины в масштабе профиля.

Аналитически координаты встречи скважины с залежью вычисляют как координаты вершин полигона:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + \sum_1^n l_i \sin \theta_i \cos \alpha_i; \\ y &= y_0 + \sum_1^n l_i \sin \theta_i \sin \alpha_i; \\ z &= z_0 - \sum_1^n l_i \cos \theta_i, \end{aligned} \right\}$$

где x_0, y_0, z_0 — координаты устья скважины; l_i — интервал измерения; θ_i и α_i — зенитные и азимутальные углы наклона интервалов, принимаются обычно как средние из замеров на концах интервала.

Точки пересечения скважины с пластами по координатам наносят на гипсометрические планы и вертикальные разрезы.

Кроме профилей искривленных скважин, при построении вертикальных геологических разрезов приходится строить проекции скважин на вертикальную плоскость, совпадающую с плоскостью искривления скважины, или с плоскостью меридиана, или с плоскостью геологического разреза, проходящего под некоторым азимутом α .

Если вертикальная плоскость проекции совпадает с плоскостью искривления скважины, то профиль оси скважины и ее

вертикальная проекция совпадают. В противном случае это разные линии.

Построения вертикальной проекции производят по координатам точек графически или графоаналитически в зависимости от исходных данных.

Если исходным графиком является инклинограмма, то вначале строят профиль оси скважины. Для этого на линию OK (рис. 5.14) профиля переносят с плана все точки с отметками инклинограммы (отметки глубин по скважине), сохраняя горизонтальные расстояния между ними. Из полученных точек производят отвесные линии.

Начиная от точки O (устья скважины) радиусом, равным интервалу измерения в масштабе чертежа, последовательно делают засечки. Из точки O делают засечку на отвесной линии 20. Из полученной точки 20, как из центра, радиусом, равным следующему интервалу (в нашем примере интервалы одинаковы и равны 20 м), делают засечку на соседней отвесной линии, получают точку 40 и т. д. до забоя скважины.

Соединяя найденные точки отрезками прямых, получают профиль оси скважины OP (рис. 5.14, б).

Проекциями точек 20, 40, 60 и т. д. инклинограммы на след вертикальной плоскости AB на плане (см. рис. 5.15, а) соответственно являются точки 1, 2, 3 и т. д.

Высотное положение точек 1, 2, 3 и т. д. на отвесной плоскости проекции AB , как и точек 20, 40, 60 и т. д. инклинограммы, соответственно одинаково и не зависит от азимута плоскости AB . Если эти точки перенести без изменения на линию $A'B'$ профиля (рис. 5.14, б), провести через них отвесные линии и найти точки пересечения их горизонтальными линиями, проведенными через соответствующие точки профиля OP , то ломаная пунктирная линия OM , проходящая через найденные точки, — есть проекция оси скважины на вертикальную плоскость AB .

Точнее получают изображение оси графоаналитическим способом. Здесь вначале для каждого интервала оси вычисляют вертикальную Δh и горизонтальную Δl составляющие относительно вертикальной плоскости проекции по формулам:

$$\Delta l = l \sin \theta \cos \varphi,$$

$$\Delta h = l \cos \theta,$$

где l — наклонная длина интервала; θ — зенитный угол интервала; φ — разность азимутов интервала и плоскости проекции (для профиля $\varphi = 0^\circ$).

Затем по составляющим, как по приращениям, вычисляют координаты угловых точек и наносят их на плоскость проекции по координатным осям — горизонтальной OK и вертикальной OA (см. рис. 5.14).

При построении геологических разрезов по искривленным скважинам необходимо учитывать, что профиль залежи на дан-

ном разрезе не обязательно должен проходить через проекцию точки искривленной скважины с залежью. Профиль залежи проходит через проекцию точки лишь на разрезах вкрест протирания.

§ 5. Погрешность определения положения точек пересечения скважины с залежью

Погрешность определения координат x , y , z любой точки 1, 2, 3, ..., n оси скважины, в том числе и точки пересечения ее с залежью, зависит от погрешности определения координат устья скважины; измерения углов искривления θ и α и глубины L ; графических построений и погрешности аналогии — замены кривой оси скважины прямыми отрезками.

На профиле (рис. 5.15 а) и плане (рис. 5.15, б) показаны области возможного положения конечной точки оси скважины из-за погрешности инклинометрических измерений. На основании экспериментальных работ, сравнения двойных измерений скважины и подсечения скважин горными выработками установлено следующее.

Координаты устья скважины определяются геодезической съемкой с высокой степенью точности. Поэтому их можно считать безошибочными или принимать, согласно инструкции, $\pm 1,5$ м в открытых районах и ± 3 м — в закрытых, а по высоте — соответственно $\pm 0,15$ и $\pm 0,3$ м.

При небольших интервалах измерения (до 25 м) замена искривленной оси скважины прямыми отрезками незначительно влияет на погрешность ее положения.

Погрешность планового положения точки оси скважины, обусловленная погрешностями графических построений, определяется по формуле

$$M_{г.гр} = \pm m_{г.гр} \sqrt{n},$$

где $m_{г.гр}$ — среднеквадратическая погрешность наложения отдельной точки инклинограммы, которая в зависимости от масштаба графика изменяется от 0,07 (1 : 100) до 0,7 м (1 : 1000); n — число интервалов построения.

Наибольшее влияние на положение точек оси скважины в плане оказывают погрешности измерения углов искривления (особенно азимутальных) и глубины. При этом действие каждой из этих ошибок различно.

Систематические погрешности инклинометрических измерений зависят от прибора и обычно даются в паспорте инклинометра. Исследованиями маятниковых приборов установлено, что средняя квадратическая погрешность измерения зенитных углов в среднем равна 30—40' и не зависит от величины угла, а погрешность измерения азимута зависит от величины зенитного угла: при углах отклонения скважины от вертикали до 2° за-

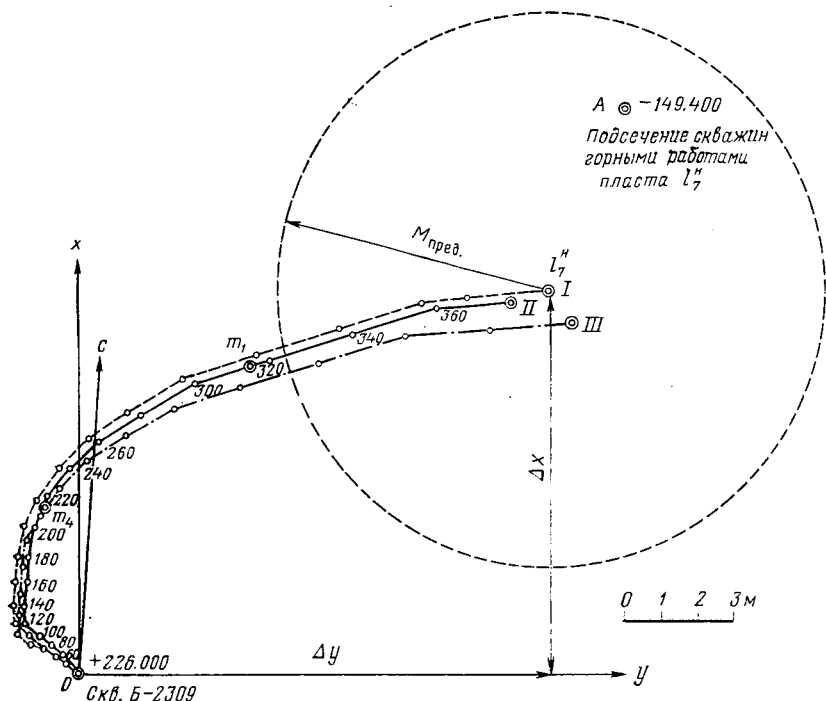


РИС. 5.16. Инклинограмма оси скважины и предельная погрешность определения забоя

меры азимутов недостоверны, при малых углах отклонения (от 2 до 5°) точность замеров является низкой. Средняя квадратическая погрешность составляет $+15 \div 20^\circ$. При зенитных углах до $15 \pm 8 \div 10^\circ$ и только при зенитных углах больше 15° погрешность измерения азимута становится постоянной и равна 4—5°.

Учитывая это при построении инклинограмм, интервалы с зенитными углами до 1° следует принимать за вертикальные.

Расчет погрешности положения точек оси скважины в плане производится по следующим формулам.

1. Погрешность, обусловленная ошибками измерения зенитных углов и глубин. Рассмотрим отдельный интервал скважины (рис. 5.15, в).

Горизонтальная проекция интервала определяется по формуле.

Дифференцируя эту формулу и переходя к ошибкам, получаем:

$$m_r^2 = \sin^2 \theta m_l^2 + l^2 \cos^2 \theta m_\theta^2.$$

Первый член является квадратом погрешности, обусловленной ошибкой измерения длины интервала, или

$$m_{r_l} = \sin \theta m_l.$$

Практически эта погрешность значительно меньше угловой и ею можно пренебречь.

Второй член является квадратом погрешности, обусловленной погрешностью измерения зенитного угла, или

$$m_{\gamma\theta} = l \cos \theta m_{\theta}.$$

Если принять среднюю квадратическую погрешность измерения зенитных углов инклинометрами $\pm 30'$

$$m_{\gamma\theta} = \frac{m'_{\theta}}{\rho} l \cos \theta,$$

то формула примет вид

$$m_{\gamma\theta} = 0,01 l \cos \theta.$$

По этой формуле определяют погрешность положения точки в плане, обусловленную погрешностью измерения зенитных углов и глубин.

2. Погрешность, обусловленная погрешностью измерения азимутов.

Из рис. 5.15, *г* видно, что погрешность в измерении азимута смещает точку *1* по дуге *ab* на величину $\pm m_{\gamma\alpha}$. Эта величина определяется как длина хорды:

$$m_{\gamma\alpha} = 2l_{\gamma} \sin \frac{m_{\alpha}}{2}.$$

3. Для определения общей погрешности положения конечной точки отдельного интервала в плане рассмотрим рис. 5.15, *г*.

В треугольнике *с1а* сторона *1с* — общая.

Погрешность $m_{\gamma\alpha}$ определяется как сторона косоугольного треугольника, у которого сторона *а1* — погрешность $m_{\gamma\alpha}$, сторона *ас* — погрешность $m_{\gamma\theta}$.

$$m_{\gamma\alpha}^2 = m_{\gamma\alpha}^2 + m_{\gamma\theta}^2 - 2m_{\gamma\alpha} \cdot m_{\gamma\theta} \cos \nu,$$

где ν — угол между сторонами *са* и *а1*, величина которого зависит от погрешности измерения азимута. В зависимости от расположения точки (в точке *с* или *б*):

$$\nu = 90^\circ + \frac{m_{\alpha}}{2} \quad \text{и} \quad \nu = 90^\circ - \frac{m_{\alpha}}{2}.$$

4. Погрешность положения любой точки оси скважины в плане, обусловленная погрешностями инклинометрических измерений, определится по формуле

$$M_{\gamma\alpha} = \pm \sqrt{\sum_1^n m_{\gamma\alpha}^2}.$$

Суммарная погрешность положения любой точки оси в плане, обусловленная погрешностями инклинометрических измерений $M_{ги}$ и графических построений:

$$M_r = \pm \sqrt{M_{ги}^2 + M_{г\text{гр}}^2}.$$

Точность определения высотной отметки точки пересечения зависит от погрешности определения отметки устья скважины m_y , погрешности определения глубины m_l , погрешности отбивки залежи на каротажной диаграмме, m_h погрешности определения суммарной поправки за кривизну $M_{кр}$, погрешности положения точки на плане M_r и определяется по формуле

$$M_h = \pm \sqrt{m_y^2 + m_l^2 + m_h^2 + M_{кр}^2 + M_r^2}.$$

Величина погрешности $m_y = \pm 0,1-0,2$ м; $m_h = \pm 0,2-0,3$ м.

Относительная погрешность измерения глубины находится в пределах 1:120 при глубине скважины до 200 м, до 1:450 при глубине 900—1000 м, составляя в среднем 1:200: средняя квадратическая — $m_l = +0,8$ м (для глубин 1000—2000 м).

Средняя квадратическая погрешность поправки за кривизну, являющаяся функцией l и θ , для отдельного интервала определяется по формуле

$$m_{кр} = 2l \sin \theta m_\theta.$$

Погрешность суммарной поправки за кривизну определяется как погрешность суммы независимых величин

$$\tilde{m}_{кр} = \pm \sqrt{\sum_1^n m_{кр_i}^2}.$$

Погрешность отметки точки пересечения скважины с залежью зависит также от погрешности положения этой точки на плане и угла наклона залежи и определяется по формуле

$$m_h = M_r \operatorname{tg} \delta,$$

где M_r — погрешность положения точки пересечения скважины с залежью в плане; δ — угол падения залежи.

Из этой формулы видно, что точность определения отметки залежи по искривленным скважинам резко снижается при увеличении угла падения залежи и погрешности положения точки на плане.

В табл. 5.1 приведены относительные погрешности планового определения точек пересечения скважин с пластами по данным инклинометрических измерений и подсечения скважин горными выработками.

Из табл. 5.1 видно, что точность инклинометрических измерений невысокая. Из-за близости горных выработок с магнитными аномалиями она уменьшается.

ТАБЛИЦА 5.1

№ п.п	№ скважины	Глубина по сква- жине, м	Расхождение в плане между забоями по каротажу и горным выработкам, м		Относитель- ная погрешность в плане	Инклино- метр
			фактическое	предельное по расчету		
1	Б-2308	375,4	4,6	7,62	1 : 80 (50)	ИШ-2
2	415	274,2	3,8	7,89	1 : 72 (35)	ИФ-2
3	398	367,0	5,2	9,36	1 : 70 (40)	ИШ-2
4	В-2862	456,1	4,1	—	1 : 111	ИШ-2
5	421	294,1	5,6	6,54	1 : 52 (45)	ИШ-4

Для повышения точности определения положения скважин в недрах необходимо применять более точные приборы, свободные от влияния магнитных аномалий, и проводить повторные контрольные измерения.

§ 6. Проектирование направленных скважин и поиски их из горных выработок

Нередко требуется проводить скважину так, чтобы она достигла или пересекла заданную точку в недрах. Эта задача возникает постоянно при бурении вспомогательных (водоотливных, кабельных, зайловочных, лесоспускных, воздухопроводных, замораживающих и др.) скважин, когда задаваемая с поверхности скважина должна пересечь залежь или горную выработку в определенном месте.

В противном случае — при значительных отклонениях скважина или теряет свое назначение, или требуются дополнительные затраты на поиски ее с проведением лишних горных выработок.

При бурении разведочных скважин обычно ограничиваются выявлением их искривления, которое учитывают затем при определении элементов залегания и построении структурных планов.

Однако и здесь нередко требуется задавать и бурить скважины так, чтобы они пересекли залежь в намеченных точках. В одних случаях этими точками являются предполагаемые аномальные места: флексуры, зоны интенсивной трещиноватости, разрывные нарушения, зоны фациальных изменений и т. п.; в других — места с наиболее характерными представительными и устойчивыми показателями залежи.

Направление бурения, как уже отмечалось, находит все большее применение при разведке залежей на глубоких горизонтах.

Наиболее важными вопросами при проектировании направленных скважин являются: определение надежного и дешевого способа достижения забоем скважины заданной точки в недрах

и наиболее достоверного пространственного положения оси скважины.

Первый вопрос решается с учетом как геологических особенностей данного участка, так и технических возможностей.

Для определения способа проведения скважин и производства горно-геометрических расчетов их искривления необходимы следующие геологические и технические данные: топографический план и геологическая карта; нормальный геологический и профильные разрезы; структурные планы пластов или маркирующих горизонтов, планы поверхностей предполагаемых нарушений, стратиграфических несогласий, зон интенсивной трещиноватости, флексур и т. п., составляемых на основе геологических наблюдений, обобщений и прогнозов; сведения о закономерностях «естественного» искривления скважин в данном районе; тип применяемых отклонителей; темп набора кривизны и изменения азимута и другие сведения.

Второй вопрос решается путем применения более точных инклинометров, в частности гироскопических, или путем повторных и тройных измерений. Точное определение положения оси скважины позволяет уверенно решать многие задачи проектирования и разработки месторождения. От этого зависят, в частности, затраты на проведение горных выработок в поисках скважины, уверенность в том, что, например, заилочная водоотливная или скважина замораживания выполнила свое назначение — пересекла залежь или горные выработки в заданном месте.

Проектирование ствола скважины ведут снизу вверх от заданной точки. Точка дается тремя координатами, т. е. определяется на планах и профилях.

Горно-геометрический расчет вертикальной скважины сводится к определению координат ее устья и глубины.

Координаты (x , y) устья скважины определяются координатами заданной точки. Глубина равна разности отметок заданной точки и устья скважины.

При проектировании составляют детальный поперечный геологический разрез, проходящий через проектную точку.

В зависимости от угла падения пород, перемежаемости слоев и глубины бурения выбирают начальный диаметр скважины, тип бурового оборудования и режим работы. При отклонении ствола скважины от проектного положения своевременно в процессе бурения вносят соответствующие исправления с тем, чтобы скважина пересекла заранее намеченную точку.

Практически строго вертикальных разведочных скважин не бывает, поэтому при расчетах за вертикальные скважины принимают произвольно искривленные разведочные скважины, направление искривления которых непостоянно и не превышает $1-2^\circ$. Если на данном участке выявлена закономерность естественного ухода скважины от вертикали и по азимуту, то при задании новых скважин эта закономерность должна учитываться.

Горно-геометрический расчет наклонно-прямой скважины начинают с построения вертикального геологического разреза, проходящего через заданную точку по направлению предполагаемой оси скважины. На разрезе намечают заданную точку, проводят через нее ось скважины, сообразуясь с углом падения пород. Ось скважины стараются направить по нормали к плоскости напластования.

При наличии в разрезе разрывных нарушений и участков с крутым и пологим падением пластов ось скважины намечают под оптимальным углом встречи (угол между направлением оси и плоскостью наслоения пород). Для конкретных условий бурения существует своя величина критического угла. Она зависит от характера перемежаемости пород, конструкции и типа долота, режима бурения и пр. Так, например, для роторного бурения в Старо-Грозненском районе она составляет около 30° . Если угол встречи превышает критическое значение, скважина искривляется, стремясь стать по нормали к напластованию пород.

Если же угол встречи меньше критического, долото как бы скользит по поверхности наслоения, скважина искривляется в сторону падения твердого слоя.

По разрезу определяют устье, зенитный угол и погонную длину оси скважины. С разреза устье переносят на план, определяют его координаты и азимут оси скважины. Если устье на земной поверхности оказалось в неудобном для бурения месте, его переносят поблизости в другое. После этого расчеты скважины исправляют.

При разведке и разработке нефтяных месторождений успешно применяют направленно-искривленные скважины. Все большее применение метод направленного и многоствольного бурения находит и при разведке глубокозалегающих твердых полезных ископаемых. Проектирование и проходку направленно-искривленных скважин производят или на основе вскрытых закономерностей естественного искривления или с применением специального бурового оборудования.

Поиски отклонившихся скважин из горных выработок сопряжены с большими трудностями. Из-за погрешности инклинометрических измерений и графических построений скважины часто не встречаются с направленными на них горными выработками и тогда их местоположение остается неопределенным, а затраты на проведенные вспомогательные выработки — бросовыми.

Более точно положение оси скважины определяют повторными или тройными инклинометрическими измерениями. Не вскрытые горными выработками скважины определяют путем прослушивания из горных выработок шума, создаваемого в скважине буровым наконечником, или специальными акустическими приборами.

Созданы приборы — излучатели ультразвука, акустических или радиоволн, электромагнитного поля, опускаемые в скважины, и приемные станции, помещаемые в горных выработках,

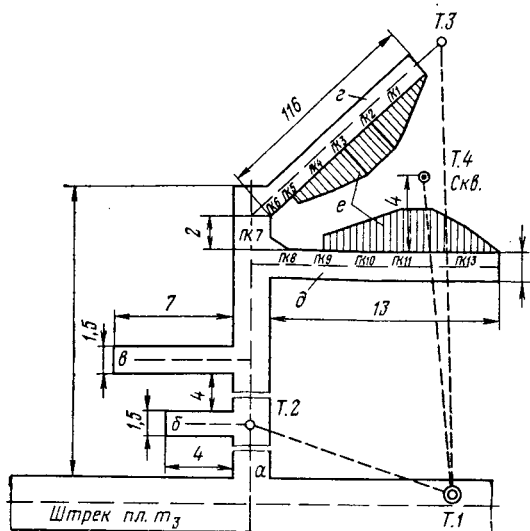


РИС. 5.17. Схема поиска скважины из горных выработок .

расположенных в районе предполагаемого местоположения скважины. Приемную станцию перемещают по выработке. По изменению интенсивности принимаемой энергии определяют с учетом структуры, отклоняющей волны, местоположение источника и скважины.

Поиск потерянных скважин с использованием геофона состоит в следующем. В скважину после извлечения из нее бурового става опускают источник стандартных звуковых сигналов, а в районе предполагаемого местонахождения скважины производят прослушивание массива. Контролируемая геофоном амплитуда является показателем близости или удаления места удара от места установки геофона, т. е. от искомой скважины.

На рис. 5.17 приведен пример поиска скважины на шахте 12—13 «Красногвардейская» малогабаритным прибором ППС-1м по диаграммам интенсивности сигналов.

Дегазационная вертикальная скважина длиной 294 м и диаметром 300 мм пробурена с поверхности и должна пересечь штрек пласта m_3 в точке 1, но не пересекла его в этом месте.

По инклинометрическим замерам скважина предполагалась в точке 2. Однако проведенные поисковые восстающие а, просеки б, а затем в, скважину не обнаружили. После прохождения 32 м восстающего и проведения каротажа наметилась точка 3, на которую прошли просек г. Прослушивание по стенке просека г показало, что скважина находится в точке 4. Это подтвердилось прослушиванием по стенке просека д, из которого разведочной выработкой по пласту в заданном направлении на расстоянии 4 м от стенки просека в точке 4 встречена скважина.

§ 7. Определение параметров залежи по данным разведочного бурения

Чтобы определить простирание и падение залежи по керну, необходимо знать его ориентировку в скважине.

Специальный прибор — керноскоп К-5 позволяет получить ориентированный керн из скважин любого наклона, глубины и диаметра (не менее 76 мм), пробуренных как с поверхности, так и из горных выработок. Он представляет собой погружной измерительный прибор, автоматически высверливающий две ориентирующие метки — лунки на торце не оторванного от забоя керна — и одновременно фиксирующий положение рабочих инструментов отметчиков (сверл) относительно вертикальной плоскости, в которой лежит ось наклонной скважины. Угол наклона и азимут оси скважины измеряются инклинометром, соединенным с керноскопом с точностью $\pm 3^\circ$.

С помощью специального приспособления — кернорвателя керн захватывается, отрывается от забоя скважины, удерживается в колонковой трубе при подъеме бурового снаряда и извлекается из скважины на поверхность.

На поверхности керн закрепляют внутри прибора — кернометра с помощью дуговых шкал по измеренному азимуту и углу наклона оси скважины ориентируют в пространстве, а по плоскостям напластования пород замеряют их простирание и падение. Данные кернометрии и инклинометрии позволяют с большей точностью построить геолого-геометрическую графику.

Так, например, до применения керноскопии считалось, что структуры Березовского и Карьерного месторождения Иртышской зоны смятия имеют юго-восточное простирание и пологое падение, а рудные тела — юго-восточное падение. Ориентированный керн, взятый из двух пробуренных скважин, показал северо-западное падение залежей под углом $15\text{--}20^\circ$, подтвердившееся последующей разведкой.

На другом участке Березовского месторождения залегание пород изображалось очень пологим. После поднятия ориентированного керна из скважины, показавшего крутое падение пород, была изменена структурная карта района и пересмотрены направление и объем дальнейших геологоразведочных работ.

Аналогично считалось, что в районе сопряжения Лениногорского грабена с Успенско-Карелинской зоной имеет место горизонтальное залегание карбоновой толщи при широтном простирании пород. По полученным данным кернометрии Лениногорской ГРЭ была построена антиклинальная структура и установлено северо-западное простирание пород.

Наличие на этом участке складчатых структур, ранее не предполагавшихся, существенно отразилось на выявлении рудо-контролирующих структур и промышленных залежей руд.

Простирание и падение по трем скважинам находят так же, как элементы залегания плоскости по координатам трех ее то-

чек, не лежащих на одной прямой. Для этого вычисляют координаты точек пересечения скважин с поверхностью почвы залежи. По координатам x, y точки наносят на план в выбранном масштабе, по отметкам z строят плоскость в горизонталях и определяют ее элементы залегания (см. гл. 2).

Мощность полезного ископаемого при бурении определяют прямыми и косвенными способами.

При колонковом бурении мощность по вынимаемому керну измеряют линейкой с точностью до одного миллиметра.

При ударном бурении мощность определяют по уходу буровой колонны и изменению цвета или состава шлама. Точность измерения мощности здесь мала, поэтому применяют косвенный способ — каротаж скважин. Каждая разведочная скважина подвергается комплексным геофизическим исследованиям.

С помощью каротажа, опуская в скважину специальные приборы, получают диаграмму электрических, магнитных, радиоактивных, упругих и других аномалий слоев продуктивной толщи, различных по своим физическим свойствам — по электропроводимости и сопротивлению, радиоактивности, плотности и пр.

В зависимости от физических свойств пород продуктивной толщи применяют различные виды каротажа: электрический, магнитный, радиоактивный, каротаж плотности, гамма-каротаж, нейтронный и др.

Измерения физических свойств горных пород в скважине производят при помощи зондов (рис. 5.18).

Например, электрический зонд состоит из трех (реже двух) электродов A, M, N (или A, B и M). Четвертый электрод B (или N) устанавливают на поверхности вблизи устья скважины. Через электроды A и B пускают электрический ток, создающий между электродами M и N разность потенциалов. Изменения разности потенциалов при опускании зонда в скважину регистрируются самопишущими потенциометром или осциллографом в виде диаграмм сопротивлений ρ_k или естественных потенциалов PS (рис. 5.18, б). При интерпретации каротажных диаграмм необходимо знать последовательность расположения электродов. Зонды обозначаются последовательным сочетанием буквенных наименований электродов сверху вниз с обозначением расстояний между электродами в метрах.

Глубину H залегания границ пласта и его мощность определяют по диаграмме сопротивления по формулам:

$$H_{\text{кровли}} = H\rho_{k \text{ max}} \pm MN^*/2,$$

$$H_{\text{почвы}} = H\rho_{k \text{ min}} \pm MN/2,$$

$$m = H_{\text{почвы}} - H_{\text{кровли}},$$

где $\rho_{k \text{ max}}$; $\rho_{k \text{ min}}$ — глубинные отметки максимальных и минимальных точек по кривой сопротивления: MN — расстояние

* (+) — каротаж последовательным градиент-зондом; (—) — каротаж обратным градиент-зондом.

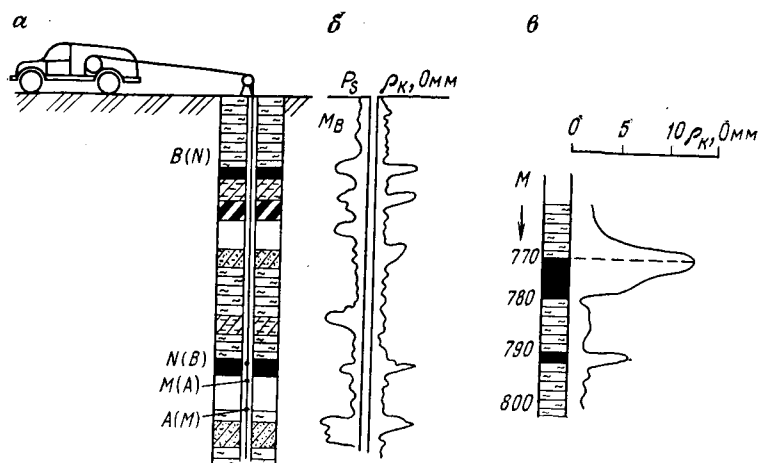


РИС. 5.18. Схема электрокаротажа (а), диаграммы при электрокаротаже (б) и диаграмма кажущегося сопротивления (в)

между сближенными электродами зонда (изменяется от 0,05 до 1 м).

Для пояснения приводится пример определения положения кровли и почвы пласта и его мощности по диаграмме сопротивления ρ_k , приведенной на рис. 5.18, в.

Каротаж произведен обращенным градиент-зондом В 0,25 А 2,5 м.

По кривой определяют глубинные отметки точек максимума, снося их на ось глубин:

$$H_{\rho_k \max} = 771,1 \text{ м и } H_{\rho_k \min} = 780,25 \text{ м;}$$

$$H_{\text{почвы}} = H_{\rho_k \min} - \overline{AB}/2 = 780,25 - 0,125 = 780,1 \text{ м;}$$

$$H_{\text{кровли}} = H_{\rho_k \max} - \overline{AB}/2 = 771 \text{ м.}$$

По полученным глубинам вычисляют мощность пласта:

$$m = H_{\text{п}} - H_{\text{к}} = 780,1 - 771,0 = 9,1 \text{ м.}$$

Если продуктивный пласт четко выявляется на каротажной диаграмме благодаря отличным от вмещающих пород своим физическим свойствам (электросопротивлению), то мощность по такой диаграмме определяется достаточно точно. Границы пласта при каротаже определяют по нескольким диаграммам.

За окончательное значение мощности полезного ископаемого по скважине принимают значение, полученное из сопоставления и сравнения результатов нескольких определений.

Точность определения мощности при каротаже зависит от типа установки, ее конструкции, масштаба регистрации кривых и разности физических свойств полезного ископаемого и боковых горных пород.

Мощность угольных пластов при соблюдении технических условий проведения каротажных работ определяется с точностью ± 5 см по четким кривым в масштабе 1 : 50, на которых отсутствуют плавные перегибы (плавные кривые нередко получаются из-за повышенных скоростей перемещения зонда), и с точностью ± 20 см по кривым в масштабе 1 : 200. Прослои мощностью до 10 см отбиваются часто условно. Определение мощности пластов и породных прослоев с более высокой точностью производят по кривым радиоактивного каротажа в сочетании с другими кривыми.

Сравнением мощности, принятой по скважине (включая каротаж), с данными горных работ в Донбассе и Подмосковном бассейне установлено, что в Донецком районе средняя погрешность определения мощности пласта по скважине равна $\pm 0,1$ м; в Донецко-Макеевском районе $+0,13$ м, в Чистяково-Снежнянском $\pm 0,10$ м.

В Подмосковном бассейне 22 % скважин (из 178) имеют расхождения, не превышающие $\pm 0,25$ м и 62 % скважин имеют расхождения, не превышающие 0,5 м. При средней мощности пласта 2,5 м величина расхождения составляет, как видно, не более 20 %. По отдельным скважинам мощность пласта определялась с погрешностью 2 м и более.

В Стахановском районе Донбасса из 26 скважин, подсеченных горными выработками, средняя погрешность определения мощности оказалась равной $\pm 0,10$ м, при этом в 17 скважинах расхождения не превышали этой величины. В отдельных скважинах расхождения достигали 0,4 м.

Величину средней погрешности определения мощности по скважине следует учитывать особенно при оконтуривании участков с предельной минимальной мощностью по кондиции.

ГЛАВА 6

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЛЕЖИ И СЛОЖНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

§ 1. Общие положения

Под *изменчивостью* геологических показателей понимают обусловленное генезисом месторождения изменение значений показателей от точки к точке, от направления к направлению, подчиненное определенным тенденциям, связанным со структурой массива.

Под сложностью, характеризующей геологическое строение участка или всего месторождения, понимают интегральную оценку совместного влияния множества геологических факторов

на решение конкретных прикладных задач разведки и разработки месторождений.

Изменчивость показателей оказывает большое влияние на методику геологоразведочных работ, геометризации месторождений, а также на подсчет запасов. С изменчивостью показателей связывают определение плотности разведочной сети, густоты точек опробования (измерения), необходимой для выявления пространственного размещения свойств залежи и подсчета запасов с требуемой степенью точности.

Изменчивость и сложность месторождения обычно определяется по тем показателям, с которыми связаны наибольшие погрешности определения запасов полезного ископаемого, или по показателям, изменчивость которых существенно влияет на технологию разработки месторождения.

Как изменчивость, так и сложность оцениваются количественно и качественно. Количественная оценка определяет интенсивность изменчивости или сложности; качественная — их характер.

§ 2. Количественная оценка изменчивости

Имеется свыше 20 определений количественной оценки изменчивости.

Все они делятся на вероятностные и детерминированные. Вероятностные оценки основаны на вариационной статистике и теории случайных функций, детерминированные — на аппарате различных областей математики с непременным участием геометрического элемента. Имеются также композиционные методики, использующие как вероятностные, так и детерминированные элементы.

Наиболее распространенными показателями (коэффициентами) изменчивости, основанными на теории вариационной статистики, являются среднеквадратическое отклонение от среднего и коэффициент вариации (см. гл. 3). Однако они, как показатели изменчивости, обладают рядом недостатков. Они — статистические характеристики и не учитывают геометрии размещения показателей. Такими же недостатками обладают и коэффициенты, основанные на первых и вторых разностях.

На рис. 6.1 представлены по данным эксплуатационного опробования по три реализации размещения компонентов для каждого из трех законов распределения: правоасимметричного, нормального и левоасимметричного. Все три реализации с одним и тем же законом распределения имеют одинаковые статистические характеристики. Однако характер размещения компонентов у всех реализаций различный. Из рисунка также видно, что по планам размещения показателей статистические характеристики и закон распределения значений показателя может быть определен. По законам же распределения и статистическим характеристикам установить геометрию размещения показателя и его изменчивость не представляется возможным.

Уподобляя реализацию геологического признака реализации некоторой случайной функции, изменчивость оценивают с помощью корреляционной функции или ее производных (см. гл. 3, § 10).

К композиционным коэффициентам в качестве примера можно отнести предложение В. А. Прокина определять изменчивость методом градиентов по формуле

$$k_c = q_c / C 100,$$

где k_c — коэффициент изменчивости; q_c — средний градиент содержания полезного ископаемого в данном направлении; C — среднее содержание полезного ископаемого в рудном теле.

Средний градиент содержания полезного ископаемого определяется по ряду параллельных сечений:

$$q_c = \Sigma \Delta c / \Sigma l,$$

где $\Sigma \Delta c$ — арифметическая сумма первых разностей в соседних выработках; Σl — сумма расстояний между выработками.

Различные рекомендации разработаны применительно к решению отдельных конкретных задач методики разведки и геометризации месторождений. Наиболее общей методикой, могущей служить основой решения целого комплекса задач, в том числе и задачи выявления пространственного размещения геологического признака, является геометрическая методика.

Размещение любого параметра месторождения (рис. 6.1) по направлению или на плоскости может быть изображено кривой либо поверхностью более или менее сложного колебательного характера. При исследовании такой кривой или поверхности различают природную (объективную) и субъективную составляющие изменчивости, которые, соединяясь, дают наблюдаемую изменчивость. Природная изменчивость не связана с методами наблюдения, она определяется генезисом месторождения. Наблюдаемая изменчивость есть отражение природной изменчивости в нашем сознании через результаты наблюдений. На последующих этапах она принимает вид математической или геометрической модели, обобщающей результаты геологической разведки месторождения. По мере сгущения разведочной сети субъективное восприятие размещения параметров месторождения приближается к объективному, но полное их совпадение невозможно. Поэтому всегда при разведке месторождения существует некоторая степень неопределенности в знании закономерности размещения того или иного параметра, которая уменьшается по мере увеличения числа скважин и уменьшения между ними расстояния. Наступает такой момент, когда в результатах наблюдений параметра появляется закономерность, выявляется тренд. Разведочный интервал, при котором это происходит, называется *критическим* или *радиусом корреляции* l_k (рис. 6.2).

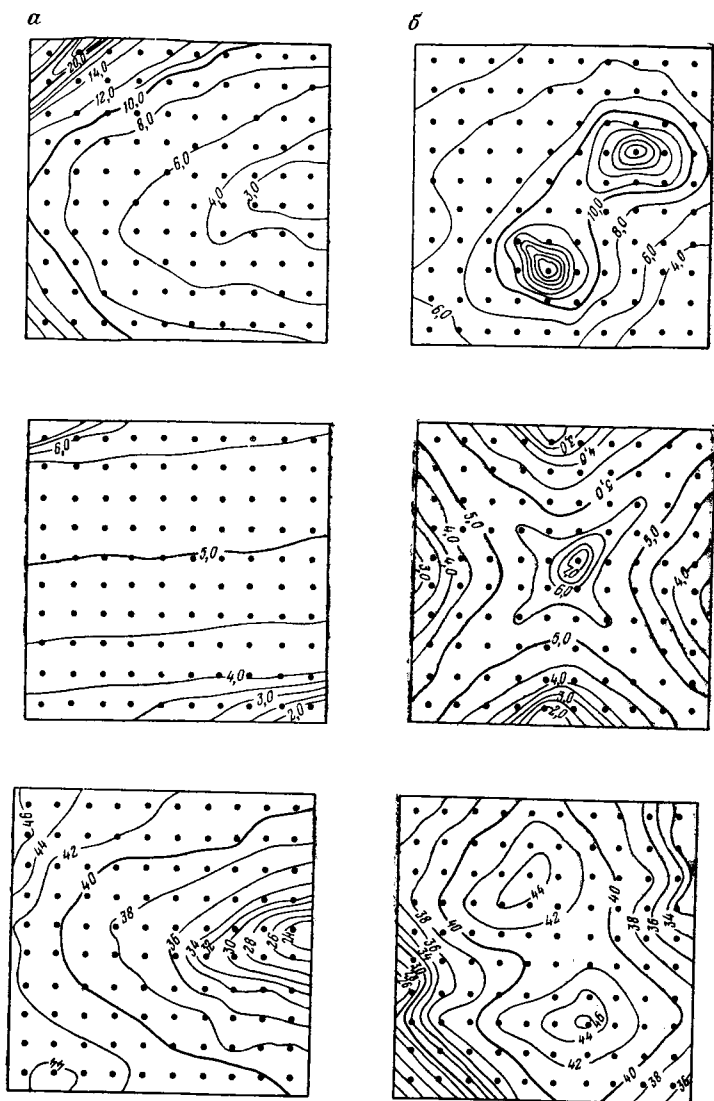
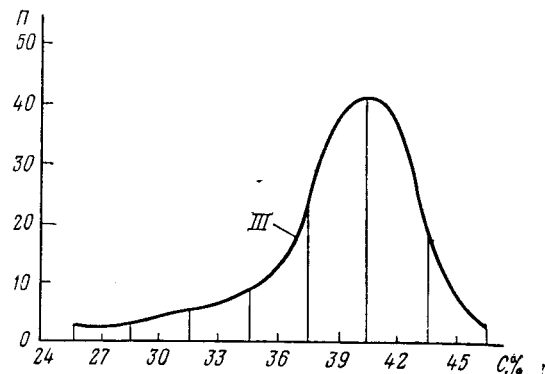
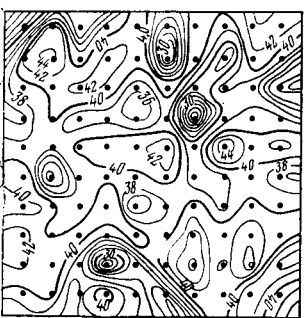
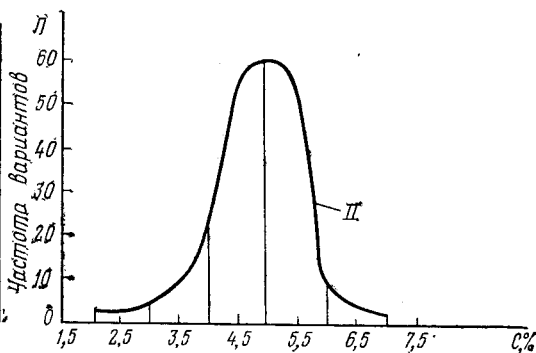
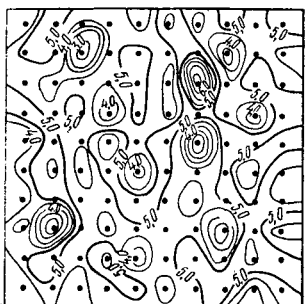
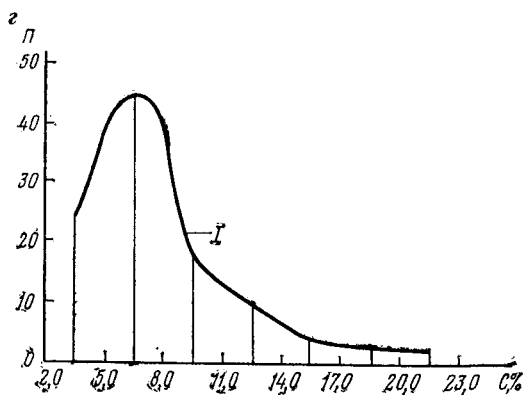
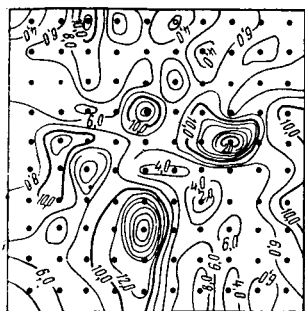


РИС. 6.1. Различные виды размещения показателей (а, б, в) при одинаковых законах распределения: правоасимметричном (I₂), нормальном (II₂), левоасимметричном (II₂)

Для численного определения l_h используют нормированную автокорреляционную функцию, отдельные значения которой вычисляют по формуле

$$\rho_x(l) = k(l) = \frac{1}{\sigma^2(L-l)} \int_0^L (u_{i+1} - u)(u_i - \bar{u}) dl, \quad (6.1)$$



где $\bar{u}$ — среднее арифметическое ряда наблюдений параметра;

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum u_i;$$

σ^2 — дисперсия этого ряда; l — интервал разведки; L — длина разреза.

Первое существенно отличное от нуля значение нормированного коэффициента автокорреляции при уменьшении интер-

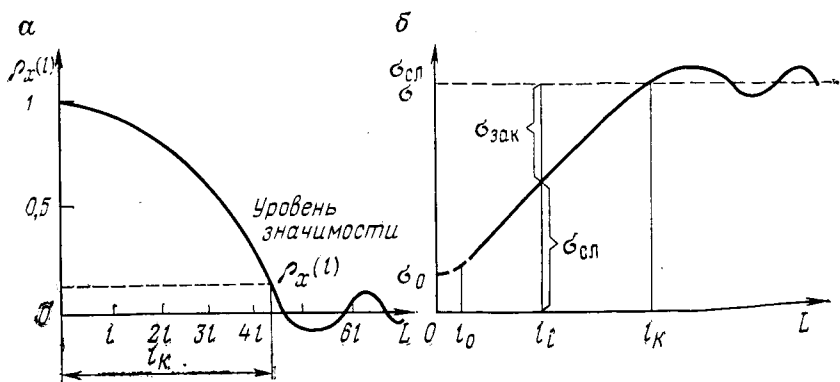


РИС. 6.2. К определению критического интервала разведки (а) и зависимость случайной и закономерной составляющих от интервала разведки (б)

вала от L до 0 укажет на величину критического интервала (рис. 6.2, а).

Наблюдаемую изменчивость разделяют на случайную и закономерную. Выделение таких типов основывается как на трактовках философских категорий случайного и закономерного, так и на математических критериях.

Соотношение между случайной и закономерной составляющими от интервала разведки показано на рис. 6.2, б. Из этого рисунка видно, что пределом меры случайности (неопределенности) является величина стандарта σ значений изучаемого параметра. При интервалах разведки, превышающих l_k , закономерность не выявляется. При интервалах разведки, меньших критических ($0 < l_i < l_k$) в размещении параметра, закономерная $\sigma_{зак}$ и случайная $\sigma_{сл}$ составляющие находятся в определенном соотношении. Следует отметить, что даже при достаточно малых интервалах опробования l_0 в размещении присутствует случайная составляющая σ_0 вследствие наличия технических ошибок измерения, обусловленных методом измерения, видом полезного ископаемого, геометрией пробы и т. п.

Итак, под закономерной (координированной, пространственно коррелированной) понимают изменчивость, характеризующуюся плавным изменением признака и постоянством знака приращения и обеспечивающую возможность определения величины признака в промежуточных точках между точками наблюдения. Под случайной понимают изменчивость, характеризующуюся отсутствием какой-либо зависимости между значениями признака в двух различных пунктах и от расстояния между этими пунктами и от расстояния до всякой другой точки, могущей быть принятой за начало отсчета (начало координат). Таким образом, если речь идет о случайной и закономерной изменчивости показателя, то под первой следует понимать изменчивость реализации при данных условиях опыта, а под второй—

изменчивость функции размещения показателя (математического ожидания случайной функции).

Под условиями опыта понимается метод измерения или опробования, размер пробы или участка, для которого определено значение показателя, относимое к центру этого участка, густота точек наблюдений, измерений, опробования, расстояние между ними и их расположение по геометрической сетке или неравномерно.

Следует отметить, что несмотря на значительное многообразие математических критериев выделения случайной составляющей из общей оценки изменчивости, проблема качественной оценки изменчивости при делении последней на случайную и закономерную далека от удовлетворительного решения.

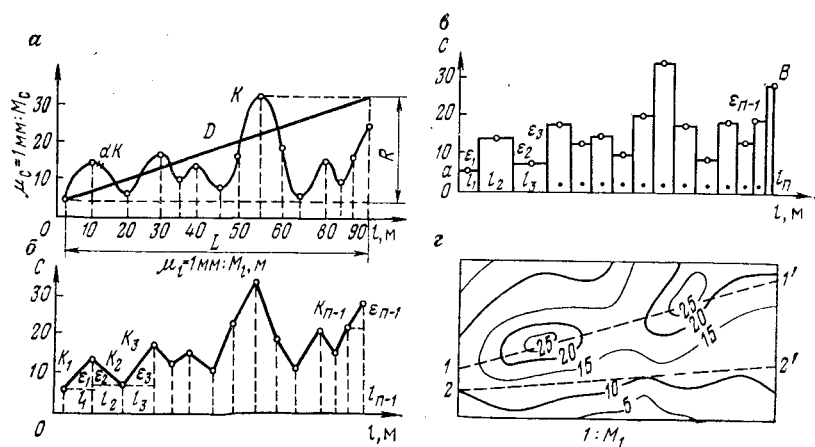
§ 3. Коэффициент изменчивости

Коэффициентом изменчивости геологического признака называется константа, отражающая прямо или опосредованно степень изменения признака по линии и площади при определенном интервале опробования и размере проб.

Учитывая зависимость изменчивости не только от разности значений показателя в соседних точках, но и от расстояния между точками, напишем общее выражение коэффициента изменчивости при эквивалентных масштабах по осям ($g=1$ ед/м) (рис. 6.3):

$$u_{g=1} = \int_{(k)} dk / D - 1, \quad (6.2)$$

где $\int_{(k)} dk$ — криволинейный интеграл первого типа, взятый по кривой K в заданном интервале (длина кривой), мм; D — гипо-



тенуза прямоугольного треугольника с катетами, равными длине проекции кривой и размаху, мм:

$$D = \pm \sqrt{(\mu_l L)^2 + (\mu_c R)^2}; \quad (6.3)$$

μ_l — масштаб по оси интервалов (1 мм соответствует M_l , м):

$$\mu_l = 1 : M_l;$$

L — длина проекции кривой, м; R — размах реализации — разность максимального и минимального значений показателя на данном профиле, ед.; μ_c — масштаб по оси значений показателя (1 мм соответствует M_c единицам показателя):

$$\mu_c = 1 : M_c.$$

При условии $\mu_c R < 0,1 \mu_l L$ ($\alpha < 6^\circ$) можно принять $D = \mu_l L$, тогда выражение (6.2) принимает вид

$$U_{g=1} = \int_{(k)} dk / (\mu_l L) - 1. \quad (6.4)$$

Напишем выражение коэффициента изменчивости для реализации по профилю, представленной различными способами.

Реализация в виде плавной кривой (рис. 6.3, а). Коэффициент изменчивости определяется по формулам (6.2) и (6.4). При этом интеграл заменяют длиной кривой K и определяют курвиметром, а L и D — линейкой в миллиметрах.

Реализация представлена в виде полигональной кривой (рис. 6.3, б). Коэффициент изменчивости после замены в формуле (6.2) интеграла суммой $\sum_{i=1}^{n-1} k_i$.

$$U_{g=1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(\mu_l L_i)^2 + (\mu_c \varepsilon_i)^2}}{\sqrt{(\mu_l L)^2 + (\mu_c R)^2}} - 1. \quad (6.5)$$

При аналогичной замене интеграла в формуле (6.2) получаем выражение

$$U_{g=1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(\mu_l L_i)^2 + (\mu_c \varepsilon_i)^2}}{\mu_l L} - 1. \quad (6.6)$$

Числители и знаменатели в формулах (6.5) и (6.6) определяют по графику линейкой или круговым масштабом в миллиметрах.

Реализация представлена в виде гистограммы, построенной по осям в масштабах μ_l и μ_c (рис. 6.3, в). Воспользуемся фор-

мулой (6.2). Длина интегральной кривой в этом случае равна $\sum_{i=1}^{n-1} k_i$ длине ломаной линии ab . $\mu_l L$ — проекция линии ab (мм).

$$\sum_{i=1}^{n-1} k_i = l_1 \mu_l + \varepsilon_1 \mu_c + l_2 \mu_l + \varepsilon_2 \mu_c + \dots + \varepsilon_{n-1} \mu_c + l_n \mu_l,$$

или

$$\sum_{i=1}^{n-1} k_i = \mu_l \sum_{i=1}^n l_i + \mu_c \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_i| = \mu_c L + \mu_c \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_i|.$$

Подставляя значение $\sum_{i=1}^{n-1} k_i$ в формулу (6.4), получим

$$U = \frac{\mu_l L + \mu_c \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_i|}{\mu_l L} - 1,$$

или

$$U = \frac{\mu_c \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_i|}{\mu_l L}. \quad (6.7)$$

Из формулы (6.7) видно, что изменчивость реализации зависит от масштабов по осям; она прямо пропорциональна масштабу по оси значений показателя μ_c и обратно пропорциональна масштабу по оси интервалов μ_l . Поэтому изменчивость необходимо определять при одинаковых масштабах по осям.

При соотношении масштабов, равном единице ($\mu_c/\mu_l=1$), выражение (6.7) принимает вид

$$U_{g=1} = r \frac{\mu_c \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_i|}{\mu_l L},$$

где

$$r = \mu_l / \mu_c,$$

или

$$U_{g=1} = \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_i| / L, \quad (6.8)$$

т. е. коэффициент абсолютной изменчивости реализации (при условии $\alpha < 6^\circ$) равен отношению суммы абсолютных значений первых разностей (в единицах значений показателя) ко всей длине профиля.

При равных интервалах опробования

$$l = l_1 = l_2 = \dots = l_n; \quad L = nl$$

уравнение (6.12) принимает вид

$$U_{g=1} = \sum_{i=1}^{n-1} |\epsilon_i|/(nl) = |\bar{\epsilon}|/l, \quad (6.9)$$

т. е. в частном случае коэффициент изменчивости гистограммы равен среднему значению первых разностей показателя в соседних точках, приходящемуся на единицу длины интервала.

Коэффициент изменчивости, как это видно из формулы (6.9), численно равен тангенсу некоторого угла и изменяется от нуля до бесконечности.

Если коэффициент изменчивости u найден по графику, выполненному не в эквивалентных масштабах по осям, то изменчивость реализации, приведенной к эквивалентным масштабам, определяется по формуле

$$U_{g=1} = ru,$$

где $r = \mu_l/\mu_c$ — поправочный коэффициент, примерно равный (для гистограммы — равный) отношению масштабов по осям.

Зависимость коэффициента изменчивости от масштаба аргумента позволяет, подбирая масштаб, представлять сильно варьирующую функцию в виде плавной кривой и, наоборот, плавное изменение показателя представлять изменчивой кривой. В обоих случаях просто находится изменчивость при приведенном масштабе.

Относительный коэффициент изменчивости $U_{\text{отн}}$ определяется как отношение коэффициента абсолютной изменчивости к среднему значению $C_{\text{ср}}$ показателя:

$$U_{\text{отн.}} = U_{g=1}/C_{\text{ср.}}$$

Коэффициент изменчивости характеризует среднюю изменчивость признака. На разных участках реализации он может быть разным.

Изменчивость замкнутых контуров. Пусть на плане контур длиной L (см) является границей некоторой изометрической фигуры, площадь которой S см². В равновеликом ей круге, как и в любом круге, между длиной окружности L_0 и площадью круга S имеется зависимость

$$L_0 = 2\sqrt{\pi S_0} = 3,54\sqrt{S_0}. \quad (6.10)$$

Приняв $S = S_0$ и подставив L в формулу (6.8), получим

$$U = L/L_0 - 1 = 1/(3,54\sqrt{S}) - 1. \quad (6.11)$$

Согласно формуле (6.3), выражение коэффициента изменчивости контура с учетом размаха h его отклонений от некоторой средней окружности L_0 имеет вид

$$U = \frac{L}{\sqrt{L_0^2 + h^2}} - 1. \quad (6.12)$$

Учитывая, что $h = L_0 \operatorname{tg} \delta$, выражение (6.12) можно представить в виде

$$U = L/(L_0 \sec \delta) - 1,$$

или, учитывая (6.10),

$$U = L/(3,54 \sec \delta \sqrt{S}) - 1, \quad (6.13)$$

где L — длина контура, измеряется курвиметром, см; S — площадь в пределах контура, измеряется планимером, см²; δ — некоторый угол, получаемый из соотношения $h = L_0 \operatorname{tg} \delta$.

Изменчивость контура, близкого к эллипсу, оценивается с помощью формулы

$$U_{эл} = \frac{Lb}{2S \left(1 - \frac{l^2}{4}\right)} - 1, \quad (6.14)$$

где L — длина контура, см; b — малая полуось эллипса, см; S — площадь фигуры в пределах контура, см²; e — эксцентриситет

$$e = \sqrt{a^2 - b^2}/a,$$

a — большая полуось эллипса, см.

Реализация представлена на плане в изолиниях (рис. 6.2). Коэффициент абсолютной изменчивости показателя в пределах всего плана или отдельного его участка определяется из выражения

$$U_{g=1} = \mu_c^2 F / (\mu_i^2 S) - 1, \quad (6.15)$$

где F — площадь топографической поверхности в пределах плана (участка), м²; S — площадь проекции топографической поверхности, м².

На плане любой элементарной площадке ω соответствует свой плоский элемент поверхности реализации Ω , составляющий угол δ с плоскостью проекции.

Соотношение между ними с учетом масштабов имеет вид

$$\mu_c^2 \Omega_i = \mu_i^2 \omega \sec \delta_i.$$

Площадь всей топографической поверхности

$$\mu_c^2 F = \sum_{i=1}^n \mu_c^2 \Omega_i = \mu_i^2 \omega \sum_{i=1}^n \sec \delta_i. \quad (6.17)$$

Подставляя (6.17) в выражение (6.15) и заменяя $S = n\omega$, где n — число элементарных площадок, после преобразований получим

$$U_{g=1} = \sum_{i=1}^n \sec \delta_i / n - 1.$$

Угол δ_i (и его секанс) в данной точке может быть определен по тангенсу угла, численно равному отношению сечения поверхности в абсолютных значениях показателя ε_i к заложению l_i (в метрах):

$$\operatorname{tg} \delta_i = \varepsilon_i / l_i.$$

Практически решение сводится к следующему. На плане в местах изменения заложения намечают ряд характерных точек. Вычисляют тангенсы углов. С помощью таблиц натуральных значений тригонометрических функций находят соответствующие значения секансов, которые подписывают около точек. По отметкам, задавшись сечением, строят изосекансы, по которым с помощью палетки находят $\sum_{i=1}^n \sec \delta_i$, где n — число точек палетки, и определяют по формуле (6.18) коэффициент изменчивости.

Коэффициент изменчивости топографической функции, представленной изолиниями, может быть определен как среднее арифметическое из коэффициентов изменчивости по профилям, ориентированным во взаимно перпендикулярных направлениях. По линиям с помощью шкалы гипсометрической линейки непосредственно по плану определяют длины профилей поверхности и их проекции, и по формуле (6.2) или (6.4) вычисляют U . Задача может быть решена и так.

Формула (6.8), выражающая изменчивость реализации, применима и к характеристике изменчивости показателя по намеченным на плане линиям.

Если в знаменатель формулы (6.8) подставить длину профиля на плане в метрах, а в числитель $\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i| = nh + \Delta h$, где h — высота сечения в единицах значения показателя; n — число заложений с полной высотой сечения; Δh — суммарная дополнительная высота сечения, состоящая из превышений на участках с нецелочисленными отметками, то формула (6.8) принимает вид

$$U_{g=1} = (nh + \Delta h) / L. \quad (6.19)$$

Как видно, определение коэффициента изменчивости в этом случае сводится к простейшим операциям, измерению длины линии в метрах, подсчету числа целых и дробных заложений и вычислению по формуле (6.19).

Изменчивость топографической функции по разным направлениям различна и изменяется от нуля, когда направление совпадает с изолинией топографической поверхности или с прямолинейным равномерным изменением показателя, до максимального, когда направление совпадает с линией наибольших изменений крутизны топографической поверхности.

Для поверхностей с вытянутой системой изолиний следует различать изменчивость показателя по простираанию и по падению. В первом случае коэффициент изменчивости определяется как удлинение изолиний относительно их некоторого среднего (генерального) направления в плане; во втором — удлинение линии профиля функции относительно длины средней линии ее падения в данном направлении.

Величина коэффициента изменчивости, определяемого по формуле (6.2), при достижении некоторой длины профиля начинает незначительно варьировать вокруг своего среднего положения. Это позволяет упростить эту формулу и представить в виде выражения

$$U = \sqrt{1 + \bar{\varepsilon}^2 / \bar{l}^2} - 1,$$

где $\bar{\varepsilon}$ — среднее значение первых разностей признака в пределах изучаемого профиля, определяемое по формуле

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|;$$

$\bar{l}$ — среднее значение интервала опробования

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i.$$

Физический смысл коэффициента U состоит в следующем. Величина U выражает относительное удлинение среднего звена полигональной кривой реализации по сравнению с его проекцией, вызванное разностью значений (т. е. изменением) признака в соседних точках. Таким образом, коэффициент изменчивости опосредованно отражает степень изменения признака при определенном интервале опробования. Коэффициент имеет размерность градиента.

§ 4. Показатель сложности

Геологическая сложность V_j j -й геологоразведочной ячейки участка, ограниченного геологоразведочными выработками, определяется как сумма сложности v_{ij} этого участка по каждому i -му геологическому фактору или показателю:

$$V_j = \sum_{i=1}^N v_{ij}.$$

Сложность v_{ij} j -го участка по i -му фактору находится из выражения

$$v_{ij} = a_i \rho_{ij} J_i,$$

где a_i — информационный вес i -го геологического фактора. Определяется он на основе экспертных оценок. Изменяется от 0 до 1. При отсутствии данных принимается равным единице; ρ_{ij} — коэффициент разнообразия i -го геологического фактора в j -той ячейке. Определяется из выражения

$$\rho_q = \frac{\sum_{n=1}^{n_q-1} |X_i - X_{i+1}|_q}{n_q - 1} = \frac{\bar{\Delta}_q'}{\bar{\Delta}_{\max}},$$

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^{n-1} |X_i - X_{i+1}|}{n - 1} \right)_{\max}$$

где q — номер геологической ячейки ($q = 1, 2, \dots, k$); n — число значений изучаемого геологического показателя в ячейке ($i = 1, 2, \dots, n$); X_i, X_{i+1} — i — ($i + 1$)-е значения показателя; $\bar{\Delta}_q'$ — средняя первая разность в q -й ячейке; $\bar{\Delta}_{\max}$ — средняя максимальная разность по изучаемому участку (горизонту, месторождению); J_i — информативность i -го геологического фактора, определяемая из выражения

$$J_i = - \sum_{\lambda=1}^k p_{\lambda} \log_2 p_{\lambda} + (k-1)/M,$$

где k — число классовых промежутков ($\lambda = 1, 2, \dots, k$): p_{λ} — вероятность λ -го интервала значений i -го геологического фактора; M — общее число значений i -го фактора на изучаемом участке; $(k-1)/M$ — поправка за несовместимость значения общей энтропии геологического показателя.

Для пластовых месторождений коэффициент сложности (кс) определяют из выражения

$$\text{кс} = (\Sigma i + \Sigma n) / \Sigma m p,$$

где Σi и Σn — общее число породных и угольных интервалов по пересечениям; $\Sigma m p$ — суммарная мощность угольных интервалов по пересечению.

Этот коэффициент характеризует число переходов между угольными пачками и прослойками породы, приходящимися на единицу мощности угля в комплексе, и представляет собой суммарное число пачек угля и прослоев породы, отнесенное к общей мощности угольной массы.

ПЛОТНОСТЬ, РАСПОЛОЖЕНИЕ ТОЧЕК И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕАЛИЗАЦИЙ ФУНКЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЛЕЖИ

§ 1. Общие замечания

Проблема определения оптимальной плотности разведочной сети, густоты наблюдений, измерений, опробования при выявлении пространственного размещения горно-геологических, физико-химических и других показателей месторождения на разных стадиях его освоения является актуальной и в настоящее время. Ее значение возрастает в связи с применением сложных добычных машин, агрегатов, комплексной механизации и автоматизации процесса добычи, планированием добычи полезных ископаемых в режиме усреднения, когда к разведанности и изученности разрабатываемого месторождения предъявляются особые требования. Оптимальные параметры сети точек наблюдений определяют, как правило, по наиболее изменчивому основному показателю или признаку месторождения. Однако это не всегда справедливо. Оптимальным может быть решение в том случае, если учитывается не один, а совокупность показателей. Задача сводится к тому, чтобы установить и обосновать последовательность показателей конкретного месторождения по их важности для освоения месторождения и выразить значения показателей количественно в совокупности используя, например, коэффициент информативности. Далее по каждой разведочной выработке представительного участка дать количественное выражение совокупного коэффициента информативности или сложности, построить по полученным значениям изолинии топографической функции, и, осуществив эксплуатационную «разведку», определить оптимальную плотность разведочной сети. Для разных месторождений признаки по геометрическому их выражению могут быть объединены в две группы:

I — когда пространственное размещение наиболее изменчивого признака представляется топографической функцией (поверхность кровли, почвы, изомощности, изосодержания и пр.). К этой группе относятся также рудные поля со сложным внутренним строением.

II — когда наиболее изменчивым является контур, устанавливающий форму и размер рудных площадей.

В первой группе погрешность вскрытия топографической функции признака зависит от всех разведочных выработок (точек наблюдений); во второй — от числа наблюдений в приконтурной зоне.

Задача об определении оптимальной сети точек наблюдений при изучении различных месторождений не имеет еще достаточно математически обоснованного решения. Рассмотрим эту задачу для обеих групп.

§ 2. Оценка точности реализации размещения показателя, представленного топографической поверхностью

Существуют три основных способа определения параметров разведочной сети: аналитический, способ разрежения сети и способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации.

При аналитическом способе оптимальное число наблюдений одни авторы основывают на методах математической статистики, выражая это число через коэффициент вариации признака, погрешность выборочной средней и коэффициент вероятности; другие — число наблюдений связывают с изменчивостью признака, определяя последнюю через первые или вторые разности или показатель неравномерности, третьи уточняют предложенные формулы, вводя соответствующие коэффициенты.

Аналитические способы дают удовлетворительное решение вопроса в том случае, если бы от плотности сети требовалось определение среднего значения показателя с требуемой точностью. Но главная задача разведки заключается в выявлении характера изменения показателей месторождения в отдельных его участках.

В предложенных формулах не учитывается размер объекта, для которого определяется число наблюдений. Число наблюдений ставится в зависимость от таких показателей изменчивости признака, которые не отражают характера его пространственного размещения.

Способ разрежения сети состоит в определении изменения средних значений показателя при сетках разной величины относительно среднего, принятого за эталон и полученного по наиболее густой разведочной сети.

Способ широко использовался, но не давал желаемых результатов, так как часто средние, получаемые при более редкой сети, оказывались точнее, чем средние по более густой сети.

Способ сравнения данных разведок с данными эксплуатации является наиболее точным и в сочетании со способом разрежения позволяет более обоснованно решать вопрос о целесообразной густоте разведочной сети для месторождений того или иного типа.

Критерием достаточной плотности считают соответствие затрат на разведку и проведение горных выработок из-за неточного выявления показателя.

Однако одним из недостатков этого способа является отсутствие количественного выражения между изменениями

вскрываемой функции и сближением или разрежением точек наблюдений.

Из изложенного следует, что в настоящее время в этом деле преобладают эмпирические подходы и еще нет научно обоснованных способов определения оптимальной плотности точек наблюдений пространственного размещения показателя.

Другой недостаток большинства предложенных способов — сравнение реализацией показателя при той или иной плотности сети точек с функциями или их средними значениями, которые сами не имели достаточно точной оценки.

Ниже приводится *графоаналитический способ* количественной оценки влияния плотности сети точек наблюдений на точность вскрываемой функции размещения показателя методом разрежения сети с применением математических действий с топофункциями и (ЭВМ).

Отличие предлагаемого способа от известного метода разрежения следующее:

исследуемый показатель на детально разведанном и изученном участке месторождения характеризуется не средним значением, а топографической функцией размещения в изолиниях, принимаемой за исходную;

оценка реализации методом разрежения производится не путем сравнения средних, исходной функции и ее реализации, когда среднее по реализации более редкой сетью бывает точнее, чем при сгущенной, а величиной среднего квадратического отклонения реализации по данной сети от исходной топографической функции;

топографическая функция в изолиниях квадратических отклонений реализации от исходной отражает в границах участка размещение квадратических ошибок и позволяет с помощью палетки определять среднюю квадратическую погрешность не только для всего, но и для части участка в любых заданных границах.

На рис. 7.1, а представлены изолинии одного и основных показателей детально разведанного и изученного участка месторождения. Наиболее точно с наименьшим числом точек эта функция выявляется при расположении точек в ее характерных местах.

Однако эти места скрыты от наблюдателя, поэтому точки при реализациях размещают равномерно по квадратной сетке.

Выявление связи ошибки реализаций от плотности равномерной сети точек наблюдений произведено экспериментально по следующей схеме. На кальке заготавливают по 4—6 вариантов точечных квадратных палеток со стороной квадрата 1, 2, 3 см и т. д.

С исходным планом топографической функции случайно совмещают первый вариант палетки. У точек с плана выписывают отметки, по которым строят изолинии — первую реализацию (рис. 7.1, б). Последующие реализации этого же размера

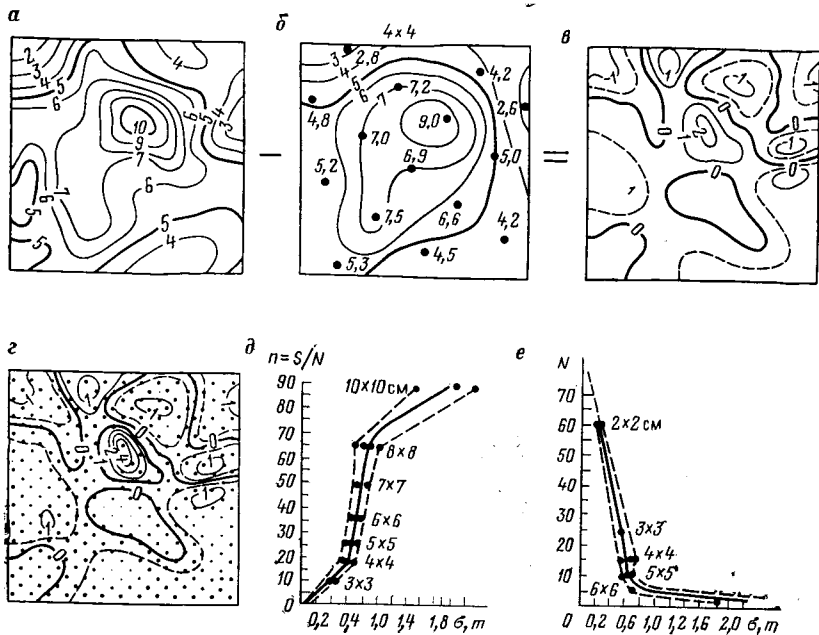


РИС. 7.1. Оценка реализаций топографической функции

сетки повторяют со смещением сетки на 0,25—0,5 стороны квадрата. Таким образом, сеткой одного и того же размера получают 4—6 реализаций исходной топографической функции. Вычитанием топографических поверхностей находят в изолиниях разности реализаций с исходной топографической поверхностью (рис. 7.1, в). Поверхность разности возводят в квадрат и по изолиниям квадратической поверхности (рис. 7.1, г) с помощью палетки определяют сумму квадратов отклонений.

Для каждой реализации вычисляют ее среднее квадратическое отклонение от исходной функции

$$m = \pm \sqrt{\sum_1^n \delta^2 / n}, \quad (7.1)$$

где n — число точек палетки.

На рис. 7.1, д представлен график зависимости средних значений средних квадратических отклонений реализаций от плотности сети точек, понимая под последней площадь, приходящуюся на одну точку. Из графика видно, что при одном и том же размере сетки ошибка реализаций имеет ряд значений от минимального до максимального, причем размах отклонений возрастает с увеличением размера сетки.

На рис. 7.1, е показана зависимость между средним значением средних квадратических отклонений реализации и чис-

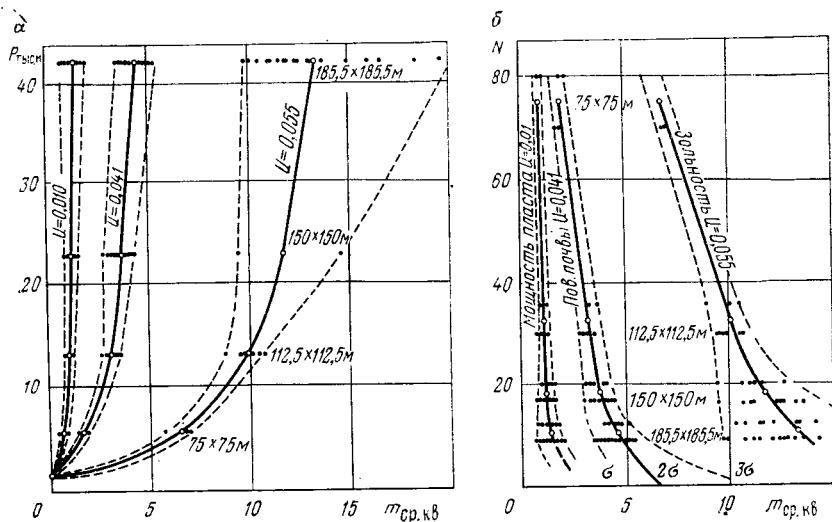


РИС. 7.2. Зависимость между плотностью разведочной сети и точностью реализации при различной изменчивости исходной топографической функции

лом равномерно расположенных на данном участке точек измерения. Пунктирными линиями показаны границы минимальных и максимальных погрешностей реализаций от исходной функции.

Аналогичные кривые получаются при выявлении ошибок по приведенной схеме с топографическими поверхностями различной сложности и изменчивости.

Так, на рис. 7.2, а показана зависимость погрешности реализаций трех различных по изменчивости поверхностей при различных сетках.

На рис. 7.2, б приведена зависимость погрешности реализаций от числа равномерно расположенных точек этого же участка.

С помощью ЭВМ оценка точности реализаций исходной топографической функции при разных размерах квадратной сетки осуществляется следующим образом.

Составляют цифровую матрицу исходной топографической функции. Для этого с исходным планом в изолиниях совмещают точечную квадратную палетку со стороной квадрата, равной половине расстояния на плане между любыми двумя ближайшими точками перегиба топографической функции; у точек палетки выписывают значения показателя.

Цифровые значения матрицы кодируют. Распределяют оперативную память машины, т. е. каждому исходному значению и каждому результату присваивают определенную ячейку памяти. Затем составляют программу для расчета по формуле (7.1) и вводят исходные данные в машину.

Размер сети реализаций принимают кратным интервалу матрицы и берут через два, три, четыре и т. д. интервала. Программой предусматривается вначале определение средних квадратических отклонений по каждой строке матрицы, а затем для всего участка.

В каждой точке строки матрицы находят разность между вычисленными значениями показателя по интерполяции между точками, совпавшими с сеткой, и исходными значениями в промежуточных точках.

Для этого между каждой парой точек сетки находят разность значений. Разность делят на число интервалов, получают добавку на один интервал. Затем к меньшему числу прибавляют добавку на один интервал, получают интерполяционное значение во второй точке, к последней прибавляют добавку, получают значение в третьей точке и т. д.

Разность интерполяционного и исходного значений в каждой точке находят для каждого случайного положения данной сетки путем смещения ее на один интервал.

Разность возводят в квадрат и суммируют. Полученную сумму делят на число интервалов, получают среднюю квадратическую погрешность для одного ряда. Ход вычислений сохраняется для других рядов матрицы. Затем вычисляют среднюю квадратическую погрешность отклонений для всего участка.

При этом программой предусматривается получение значений максимальной и минимальной ошибки реализаций сеткой каждого размера.

На основании экспериментальных исследований устанавливается следующее.

Ошибка реализации исходной топографической функции при той или иной сети точек, характеризуемая средними квадратическими отклонениями для исследуемой площади топографической функции, изменяется от нуля до некоторого максимального значения. Характер пространственного размещения отклонений и их квадратов представляется соответствующими поверхностями.

По мере разрежения сети кривая средних погрешностей средних квадратических отклонений реализаций от исходной функции, как это видно из рис. 7.1, *д* и 7.2, изменяется неравномерно. Для различных топографических функций кривая, сохраняя свой общий вид, изменяется в зависимости от характера исходной функции, ее изменчивости, соотношения размещения экстремальных точек исследуемой топографической функции и размера сетки.

На всех кривых выделяются участки с незначительным изменением ошибок реализаций от разрежения сети, т. е. когда сгущение сети точек наблюдений практически не увеличивает точность выявления исходной топографической функции.

По мере разрежения сети размах ошибок реализаций увеличивается. Однако в некоторых случаях при соответствии размера сети точек расположению характерных точек топографической функции размах ошибок может быть меньше, чем при более густой сети точек.

На крутом участке кривой зависимости отдельные реализации по разрежению сети точнее отражают исходную функцию, чем реализации по более густой сети точек. Так, например, минимальная ошибка реализации по сетке 8×8 см (рис. 7.1, д) равна максимальной ошибке реализации по сетке 4×4 см, т. е. при сгущении сети в 4 раза. Распределение ошибок показывает возможность более точного вскрытия топографической функции при меньшем числе наблюдений, если применять прогнозно-динамический метод исследования функции.

При дальнейшем разрежении сети, когда на участке окажется единственная точка и реализация представится плоскостью, ошибка реализации будет минимальной и равной стандарту при совпадении точки со средним значением исходной функции, и максимальной — при совпадении точки с наиболее отклоненным от середины значением топографической функции.

Между средними квадратическими отклонениями реализации от исходной топографической функции и числом равномерно расположенных по площади точек имеется линейная зависимость, начиная от 10 наблюдений. Ошибки реализации при меньшем числе точек для топографической функции с изменчивостью более 0,05 не оцениваются из-за большого размаха ошибок. Точка перегиба кривой зависимости средних ошибок реализаций от числа точек находится в районе 5—20 точек наблюдений. Эта величина не зависит от размера участка по площади, а зависит от сложности и изменчивости топографической функции. Чем меньше изменчивость топографической функции, тем меньшему числу наблюдений соответствует точка перегиба, и наоборот.

Чем больше изменчивость исходной топографической функции, тем больше наклон прямого участка кривой зависимости ошибок от числа точек наблюдений. Для малоизменчивых топографических функций прямая имеет крутой угол наклона, т. е. увеличение числа наблюдений практически не повышает точность реализаций исследуемой топографической функции.

Практически размер разведочной сети или густоту опробования и оценку точности реализации следует устанавливать в каждом конкретном случае в соответствии с требованиями горной технологии по кривой зависимости, определяемой экспериментально по наиболее изученному и изменчивому или совокупному показателю представительного участка. Эта кривая может рекомендоваться и для определения оптимальной плотности сети при изучении однотипных по морфологическим особенностям месторождений.

§ 3. Оценка точности реализации размещения показателя, представленного контуром

В этом случае ошибка оконтуривания зависит от изменчивости контура и числа приконтурных точек наблюдения.

Существует несколько способов оконтуривания залежи. Наиболее распространенным из них является способ проведения контура посередине между соседними рудными и безрудными скважинами. При этом способе оконтуривания общую ошибку в определении площади залежи при выдержанных сторонах a и b сетки В. М. Гудкова выражает формулой

$$M_S = \pm (ab \sqrt{n})/6, \quad (7.2)$$

где n — число приконтурных «рудных» точек;

В. И. Кузьмин и В. Н. Зарайский эту зависимость выражают формулой

$$m_{\text{ок}} = l_{\text{ср}} P \cdot 100/6S, \quad (7.3)$$

где $l_{\text{ср}}$ — среднее расстояние между рудными и безрудными скважинами; P — периметр контура площади залежи; S — площадь подсчетного контура.

Формулами (7.2) и (7.3) устанавливается зависимость ошибки определения площади залежи при ее оконтуривании от размера разведочной сети, но в них не учитывается изменчивость контура. Для простых и сложных (извилистых) контуров при одинаковой разведочной сети погрешность получается одинаковой, хотя очевидно, что чем сложнее контур площади, тем больше диапазон отклонений и величина погрешности оконтуривания этой площади.

И. И. Пастушенко зависимость размера сетки l (от средней относительной погрешности площади оконтуривания $\Delta_{\text{ср}}$) выражает формулой

$$l = k \sqrt{\Delta_{\text{ф}}},$$

где k — морфологический коэффициент, величина которого зависит от сложности формы и размеров рудной площади. Значение коэффициента принимается тем меньше, чем сложнее внешний и внутренний контуры рудной площади и меньше ее размер. В этой формуле хотя и вводится коэффициент изменчивости, но величина его не имеет объективной оценки.

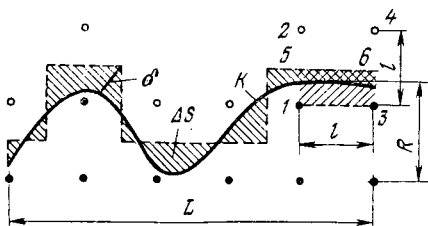
Так, например, для рудных площадей со значительным включением пустот рекомендуется принимать $k = 6 \div 8$.

Для разведываемого месторождения его получают по аналогии с разведанным типом месторождения.

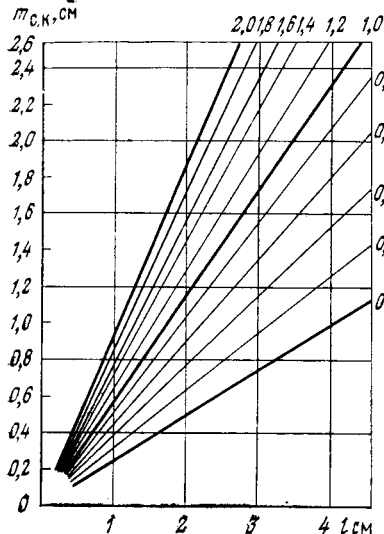
Найдем зависимость между размером квадратной сетки l , изменчивостью контура U и квадратической погрешностью отклонения контуров, т. е.

$$l = f(U, m).$$

а



б
 $m_{с.к.}, \text{см}$



в
 $m_{с.к.}, \text{см}$

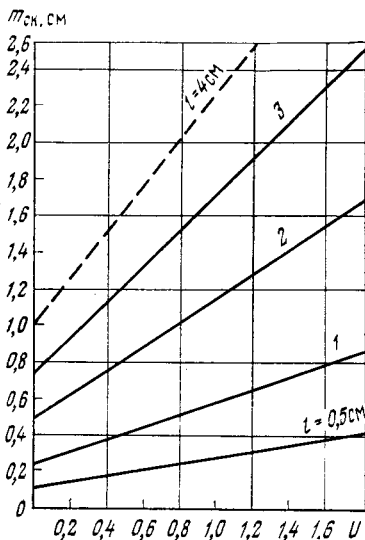


РИС. 7.3. Плотность сети и погрешность оконтуривания:

а — схема оконтуривания; б, в — зависимости вероятной средней квадратической погрешности оконтуривания соответственно от размера сетки и изменчивости контура

Эта зависимость определяется экспериментально графоаналитическим способом.

В рассматриваемом случае погрешность оконтуривания связывается не с погрешностью площади оконтуривания, когда она может быть малой при значительных отклонениях контуров, а с величиной средних квадратических отклонений пространственного контура при данном положении разведочной сети от исходного действительного. При этом величина отклонения в каждой точке определяется отрезками между контурами по нормали к исходному.

На плане наносят несколько контуров различной сложности и изменчивости, например с изменчивостью от $U=0,15$ до $U=1,90$.

На каждый контур в различных положениях накладывают 4—6 вариантов палеток сначала с одной и той же стороной

квадрата. Посередине между «рудными» и «безрудными» точками для каждого варианта проводят контур.

На рис. 7.3 приведен вариант для одного контура. Через каждые 0,5 или 1 см по длине контура определяют отклонения и их квадраты. Аналогично поступают с сетками других размеров. Затем для каждого варианта сеток вычисляют среднюю квадратическую погрешность отклонения контура от исходного по формуле (7.1).

Эта ошибка изменяется от минимальной (при благоприятном расположении точек сети относительно контура) до максимальной (при неблагоприятном взаиморасположении).

Из них вычисляют среднюю квадратическую $m_{ск}$, которая является наиболее вероятной погрешностью оконтуривания при данном размере сетки.

Изменчивость:
вытянутого контура:

$$U = \frac{K}{\sqrt{L^2 + R^2}} - 1; \quad (7.4)$$

замкнутого кругового или изометрического контуров:

$$U_{кр} = K/(3,54 \sqrt{S}) - 1; \quad (7.5)$$

замкнутого эллиптического контура:

$$U_э = \frac{Kb}{2S \left(1 - \frac{e}{4}\right)} - 1, \quad (7.6)$$

где K — длина действительного контура, измеряемая курвиметром или иным способом, см; L — длина проекции контура, см; R — размах кривой контура, см; S — площадь участка в пределах контура, см²; b — малая полуось эллипса, см; e — эксцентриситет эллипса.

Между погрешностью $m_{ск}$, длиной стороны квадратной сетки l для каждого по изменчивости контура U выявляется прямолинейная зависимость: $m_{ск} = a_U l$, где a_U — коэффициент, зависящий от изменчивости исходного контура. Например, при $U = 0, 1, 2$ соответственно $a = 0,25; 0,58; 0,92$.

На рис. 7.3, в приведен график зависимости средней квадратической погрешности $m_{ск}$ от изменчивости контуров при реализациях сетью с одной и той же стороной квадрата.

Для каждого размера сетки

$$m_{ск} = kU + b, \quad (7.7)$$

где k — угловой коэффициент прямой, зависящий от размера сетки; b — средняя квадратическая погрешность оконтуривания при изменчивости контура $U = 0$.

На прямолинейном участке 5—6 действительный контур K не выйдет за пределы участка 1, 5, 6, 3. При этом наибольшая и наименьшая ошибки отклонения

$$m_{\max} = \frac{l}{2}; \quad m_{\min} = 0.$$

Принимая, что возможные ошибки подчиняются нормальному распределению, получим

$$b = \frac{m_{\max} + m_{\min}}{2} = \frac{l}{4}. \quad (7.8)$$

Тогда формула (7.7) примет вид

$$m_{\text{с. к. } l_i} = kU + l_i/4. \quad (7.9)$$

Численные значения величин, входящих в формулу (7.10) для различных размеров сеток l_i , следующие:

l_i , см	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
k	0,17	0,34	0,66	0,98	1,27
b , см	0,12	0,25	0,50	0,75	1,0

Аналогичный вид имеют графики зависимости средней погрешности m отклонения контуров от его изменчивости и размера сетки (рис. 7.4). Средняя погрешность просто и достаточно точно определяется планиметром и курвиметром по формуле

$$m = (S_n - S_b)/K = \Delta S/K,$$

где S_n и S_b — площади в пределах наружного и внутреннего контуров, см^2 ; K — длина исходного контура, см.

Из приведенных на рис. 7.3 и 7.4 графиков, построенных по результатам опыта, видно, что вероятная средняя квадратическая ошибка оконтуривания зависит от размера сети и изменчивости исходного контура (чем больше изменчивость исходного контура, тем больше ошибка оконтуривания при одной и той же плотности сети точек). С увеличением размера сети точек пропорционально увеличивается размах ошибок оконтуривания.

В качестве примера определим:

1. Вероятную среднюю квадратическую погрешность оконтуривания по сетке 2×2 см, если ориентировочно известна изменчивость контура $U = 0,22$ (рис. 7.3, а):

$$m_{\text{ск}} = kU + B = 0,66 \cdot 0,22 + 0,50 = \pm 0,65 \text{ см.}$$

2. Ошибку оконтуривания площади

$$m_S = m_{\text{ск}} K = 0,65 \cdot 10 = \pm 6,5 \text{ см}^2,$$

где K — длина контура, см.

Фактическая ошибка $\Delta S = 5,6 \text{ см}^2$.

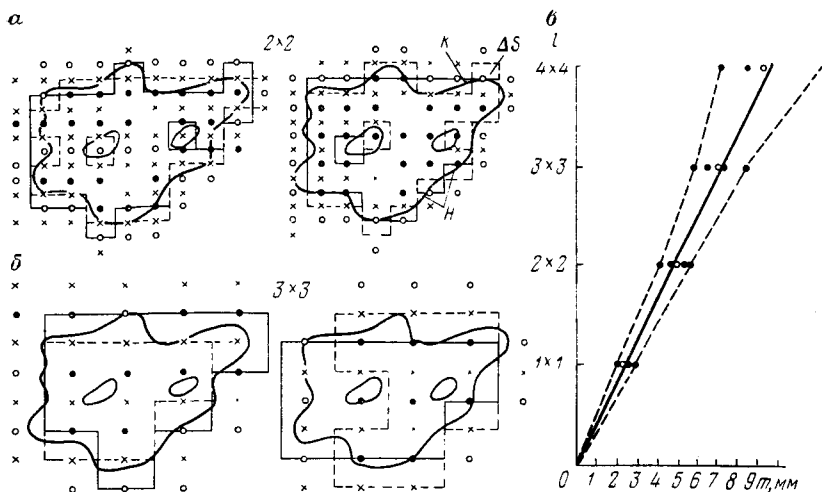


РИС. 7.4. Варианты оконтуривания при различных положениях и размерах сетки (а, б), зависимость средних погрешностей оконтуривания от размера сетки (в)

3. Размер окна сетки, чтобы вероятная средняя квадратическая погрешность оконтуривания не превышала 1,4 см при изменчивости контура 0,22.

Из графика 7.3, б имеем $l=4$ см.

Таким образом, пользуясь графиками (см. рис. 7.3), можно по изменчивости контура, устанавливаемой по аналогии с изученным участком, и размеру сетки определить вероятную погрешность площади при ее оконтуривании, учитывая при этом масштаб плана, а также определить плотность равномерной сети точек, необходимую для оконтуривания залежи с заданной степенью точности.

ГЛАВА 8

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ФОРМЫ, УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ЗАЛЕЖИ В НЕДРАХ

§ 1. Понятие о структуре месторождения и ее геометрических элементах

Структура массива — комплексный термин, с помощью которого оценивают строение, порядок, размер, форму, взаимное расположение, тип контактов между элементарными ячейками (структурными блоками) и силы сопротивления сдвигу и отрыву по ним.

В горном массиве выделяют геологические тела как обособленные в определенных границах части пространства недр, которые могут быть охарактеризованы составом (свойствами), формой и структурой.

Исследования геологических тел связаны с понятиями система, структура, иерархия. Система включает представление о некотором объединении объектов (элементов) и отношений между ними, воспринимаемом как целостный объект. Каждая система имеет определенное устройство, организацию, упорядоченность, которые определяются характером взаимоотношений элементов системы.

Совокупность внутрисистемных связей определяется структурой. Структура системы может изучаться в отвлечении от субстанции данной системы. Структура не равна объекту (системе) в целом, она есть совокупность отношений и связей между элементами независимо от природы самих элементов.

Системы, в которых элементы связаны соподчинением друг другу, образуя разные ранги объектов, называются *иерархиями*.

Выделяют пять уровней иерархии геологических объектов согласно известной формуле: из химических элементов (химия) слагаются минералы, из минералов — агрегаты, породы, из пород — геологические формации, из геологических формаций — комплексы формаций, из комплексов — геосфера (из геосферы — планета Земля, но это уже объект изучения астрономии).

Соответственно пяти уровням иерархии выделяют пять типов геологических тел (минерал, порода, геотел, геоконгломерат, геосфера). Считают, что геологические тела, как объект исследований на данном уровне иерархии, слагаются из элементарных ячеек.

При структурном анализе от состава пород обычно отвлекаются и рассматривают тела только с точки зрения их формы и структуры.

При изучении строения тела полезного ископаемого всегда удастся выделить ряд последовательно сменяющих друг друга «уровней», которые отражают различные степени детальности в его строении. Каждый такой уровень представляет собой определенный комплекс отдельных геологических элементов или отдельных геологических тел. В свою очередь каждый геологический элемент имеет индивидуальные черты, присущие только этому элементу, позволяющие выделить его из окружающих геологических элементов. В свою очередь он также состоит из целого ряда мелких элементов, представляющих следующий, более детальный, уровень в строении тела полезного ископаемого.

Таким образом, пространственное взаиморасположение отдельных более мелких геологических элементов в рамках более крупного геологического элемента будет представлять

собой геологическую структуру последнего, т. е. структуру геологического элемента на конкретном уровне. Следовательно, под структурой тела полезного ископаемого понимают пространственное взаиморасположение отдельных составляющих его геологических элементов, выделяемых на уровне данного геологического объекта.

Число уровней в строении данного тела полезных ископаемых, количественный и качественный состав геологических элементов и их структура в рамках каждого конкретного уровня будут характеризовать специфику строения тела и присущие ему закономерности в его строении.

Аналогичен подход и к характеристике формы тел. Здесь также можно выделить основную форму тела, а затем усложняющие ее морфологические элементы первого порядка, внутри которых в свою очередь наблюдаются еще более мелкие морфологические элементы второго порядка, и т. д.

Любую форму геологического тела по соотношению линейных размеров L (длина), l (ширина) и h (толщина) можно свести к плоской линейной и изометрической форме.

Структуру месторождений и форму залежей по результатам непосредственных и косвенных измерений выражают как аналитически, так и геометрически на планах, проекциях, разрезах и других графиках в масштабах, соответствующих требованиям данной «иерархии».

§ 2. Геологические разрезы и профили, методы их построения

Геометризация горизонтальных, трубообразных и ряда других месторождений осуществляется геологическими разрезами и профилями по различным, но характерным направлениям. На геологические разрезы наносят контуры и строение всех литологических разновидностей, попавших в плоскость разреза. На профилях строят лишь необходимые контуры поверхности залежи и земной поверхности, чем они и отличаются от разрезов.

Форма залежи определяется серией горизонтальных или вертикальных, а иногда и тех и других взаимно увязанных разрезов, выполненных в определенном масштабе. Для наглядности их строят в векторной или иной проекции.

Геологические разрезы составляют по каждой разведочной линии. Построение вертикального разреза начинают с нанесения высотной сетки-системы горизонтальных параллельных линий, профиля рельефа земной поверхности по данному сечению и выходов полезного ископаемого и маркирующих горизонтов. Затем наносят устья и оси горных и разведочных выработок, находящихся в плоскости общего разреза. По осям разведочных выработок последовательно наносят в масштабе по точкам встреченные горные породы, полезные ископаемые, тектонические разрывы с учетом углов падения и выдержан-

ности нормальных расстояний между ними. После этого соответственные точки, принадлежащие одной залежи, соединяют. При этом построение начинают со слоя, имеющего наибольшее число фактических данных. Изображение горных пород на разрезе оформляют в красках или условных знаках по стандарту.

Масштаб разрезов принимают равным масштабу геологической или структурной карты. Вертикальный и горизонтальный масштабы обычно берут одинаковыми. Однако в некоторых случаях для выделения на разрезе литологических разновидностей вертикальный масштаб принимают в несколько раз крупнее горизонтального. В этом случае на разрезе искажаются углы падения залежи и слоев горных пород.

Горизонтальные разрезы обычно строят на уровне отметок подземных горных выработок. Данные для их построения получают при проведении горизонтальных горных выработок или по ряду вертикальных разрезов.

При построении разрезов свиты пластов по данным разведочных скважин или квершлагных горных выработок требуется иногда строить разрезы по разным направлениям.

Так, например, по вертикальному геологическому разрезу квершлага требуется составить разрез по нормали и напластованию слоев свиты с углом падения δ . Для этого из некоторой точки O на оси квершлага OA под углом $90 - \delta$ к ней проводя линию OB . Далее на эту линию проектируют значения мощности слоев с линии OA перпендикулярно к линии OB . Обозначив слои в условных знаках, получают графически нормальный разрез свиты пластов.

Аналогично поступают при построении разреза по линии OC — горизонтальной линии, составляющей некоторый угол θ с осью квершлага. Значения мощности слоев в этом случае с линии OA на линию OC проектируют перпендикулярно к OA .

Геологические разрезы, гипсометрические планы и геологическая карта составляются одновременно и взаимно увязываются как по координатам X , Y , Z , так и по элементам изображаемого объекта.

§ 3. Гипсометрические планы залежи, методы построения и практическое значение

Форма залежи полезного ископаемого в недрах определяется поверхностями раздела полезного ископаемого от вмещающих его боковых горных пород — поверхностью лежачего и висячего бока, поверхностью тектонических разрывов или поверхностью с минимальным промышленным содержанием компонентов для тех случаев, когда полезное ископаемое постепенно переходит в безрудные боковые породы.

В общем случае эти поверхности являются поверхностями топографического порядка. На плане они изображаются *изо-*

гипсами или *горизонталями*. Геометрические графики называют *гипсометрическими* или *структурными планами* (картами).

Построение гипсометрических планов по данным разведки производят непосредственным и косвенным способами.

Месторождения платформенного типа со слабо наклонным или почти горизонтальным залеганием разведуют обычно сетью вертикальных разведочных скважин, располагаемых более или менее равномерно по площади участка — в ряде случаев по геометрической сетке (квадратной, прямоугольной, ромбической). Гипсометрические планы в этом случае строят непосредственно по данным разведочных скважин — абсолютным или относительным отметкам почвы и кровли залежи. Изолинии строят по методу многогранника или с использованием инвариантных линий.

Если по одним и тем же исходным данным можно построить системы горизонталей, значительно отличающиеся одна от другой, и исходные показатели являются к моменту составления графика окончательными, то горизонтали рекомендуется проводить с учетом характера изменения других показателей, с которыми изображаемый показатель связан зависимостью.

Для этого на разведуемом и хорошо изученном участке необходимо проследить изменения всех характерных показателей месторождения, в результате попытаться подменить зависимость между изменениями отдельных показателей как между собой, так и с изменением общей структуры месторождения. Вдумчивый и серьезный анализ имеющихся данных всегда поможет найти правильное решение из двух возможных вариантов. Построение изогипс поверхности кровли или почвы залежи всегда начинают с наиболее изученной и разведанной части месторождения.

При этом необходимо помнить, что процесс построения изолиний не есть чисто механический и простой. Он требует внимательности и учета всех исходных геологических данных о месторождении, внимания к обоснованному выбору сечения изолиний.

Месторождения с наклонным и крутым залеганием разведуют по разведочным линиям, которые располагают обычно вкрест простирания залежи.

Гипсометрические планы в этом случае строят или непосредственно по отметкам скважин, или косвенно, используя геологические разрезы (профили) залежей по разведочным линиям.

На листе бумаги наносят координатную сетку, разведочные линии, все разведочные скважины с отметками поверхностей напластования и мощности залежи, линию выхода залежи на поверхность (или под наносы), границу или контур залежи в недрах. Контур залежи на плане проводят посередине между

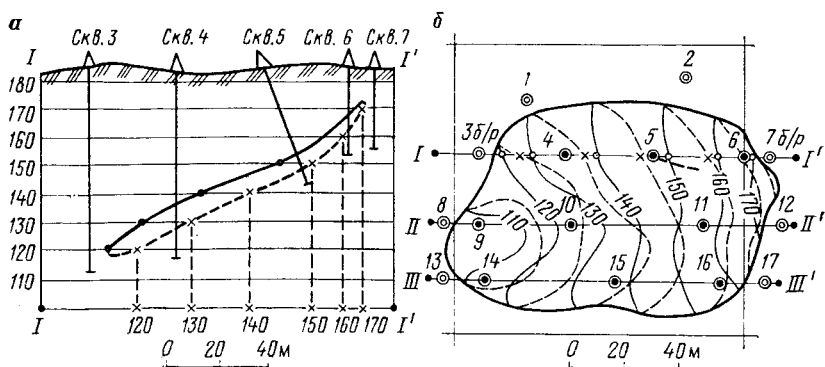


РИС. 8.1. Построение профиля и гипсометрического плана залежи:
а — разрез по линии I—I'; б — план поверхности кровли и почвы залежи

безрудными и рудными скважинами или по изолинии нулевой мощности залежи. В ряде случаев нулевой контур залежи вначале определяют на профилях или вертикальных разрезах по разведочным линиям, а затем переносят его на план (рис. 8.1).

На геологических разрезах или профилях залежи точки пересечения линий высотной сетки с профилем поверхности залежи проектируют на одну из линий сетки и подписывают соответствующие отметки. С разрезов эти точки переносят на план по соответствующим разведочным линиям. На рис. 8.1, а эти точки нанесены лишь по разведочной линии 1—1'.

Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, проводят горизонтали поверхности залежи, при этом учитывают характер залегания залежи по геологическому плану (карте). На рис. 8.1, б сплошными изолиниями изображена поверхность кровли, а пунктирными — поверхность почвы земли. На контурной линии изолинии поверхности кровли переходят в одноименные изолинии поверхности почвы залежи. Контур, составленный изолиниями кровли и почвы с одинаковой отметкой, представляет на плане горизонтальное сечение залежи на данном горизонте.

Если на участке между разведочными линиями имеются отдельные разведочные выработки, то горизонтали поверхности залежи проводят с учетом отметок этих выработок.

Для уточнения положения горизонталей изображаемой поверхности между разрезами (разведочными линиями) дополнительно строят иногда разрезы — профили пластов по способу нормалей.

Гипсометрические планы, построенные по данным горных работ, проведенным по полезному ископаемому, более точно отображают поверхность залежи, чем планы, построенные ранее по данным разведки, и используются при прогнозировании

показателей залежи и решении текущих задач по разработке соседних участков.

Построение изогипс поверхности малоразведанного пласта по плану детально разведанного. В процессе разведки и разработки свиты пластов нередко одни пласты оказываются достаточно изученными и разведанными, другие же недостаточно разведанными. В таких случаях по плану поверхности бока разведанного пласта в изогипсах и известном расстоянии между пластами можно построить план поверхности другого соседнего малоразведанного пласта. При построении пользуются следующими способами в зависимости от изменчивости мощности пород между пластами.

Нормальная мощность пород между пластами постоянная. На гипсометрическом плане намечают ряд профильных сечений вкрест простирания и по ним строят профили поверхности данного пласта. Затем проводят профиль поверхности второго пласта на расстоянии, равном нормальной мощности пород между пластами.

Все точки пересечения построенного профиля с горизонтальными линиями высотной сетки проектируют вначале на горизонтальную, а затем на план по соответствующим линиям. Через точки с одинаковыми отметками проводят изогипсы поверхности малоразведанного пласта на плане.

Построение возможно также следующим способом.

На гипсометрический план детально разведанного пласта накладывают лист кальки. В местах изменения заложения изогипс проводят перпендикуляры к изогипсам в сторону восстановления пласта длиной, равной $l_2 = l_n \cos \delta$ в масштабе плана, l_n — расстояние по нормали между поверхностью почвы данного пласта и искомой поверхностью; δ — угол падения пласта, определяемый по заложению и сечению изогипс для каждого перпендикуляра.

Через концы перпендикуляров проводят изолинии, отметки которых такие же, как и изогипс, из которых восстановлены перпендикуляры.

В результате получают гипсометрический план искомой поверхности. Перпендикуляры, нанесенные карандашом, убирают, а изогипсы закрепляют тушью.

Таким же образом решают задачу, когда даны изогипсы одного бока мощного пласта при постоянной его мощности и требуется построить изогипсы его другого бока.

Мощность пород между пластами переменная. Для ряда осадочных месторождений мощность отложений и отдельных пачек свиты является величиной переменной (рис. 8.2, а). При этом возникает необходимость в построении гипсометрии поверхности нижнего пласта К, разведанного недостаточным числом скважин, тогда как верхний пласт М свиты разведан большим числом скважин и план поверхности его может быть построен более точно. В таких случаях построение гипсомет-

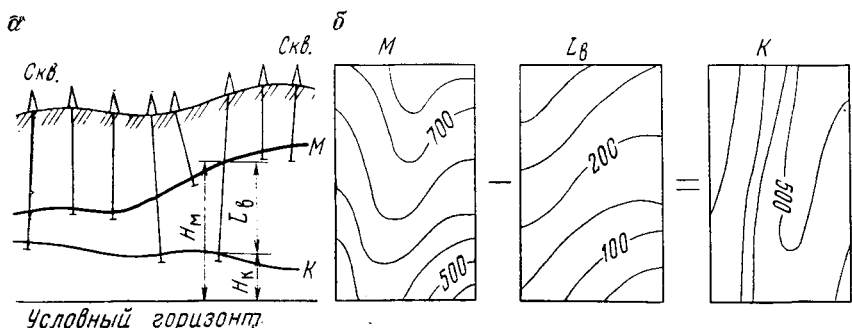


РИС. 8.2. Схема построения гипсометрического плана малоразведанного пласта K :

a — вертикальный разрез; b — вычитание топографических поверхностей

рии поверхности нижнего пласта (K) производят косвенным способом — путем вычитания из поверхности верхнего пласта M изолинии вертикальной мощности свиты между данными пластами L_b (рис. 8.2, б).

План изолиний вертикальных мощностей L_b иногда называют *картой схождения*. Из закона соподчинения, по которому изменение нормальной мощности свиты осадочных пород происходит в общем случае более равномерно, чем изменение осложненных складчатостью поверхностей напластования, вытекает, что по малой информации характер изменения мощности междупластья вскрывается более точно, чем поверхность пласта. Следовательно, используя закон соподчинения и математические действия с поверхностями, искомая поверхность точнее выявляется косвенным способом, чем непосредственно по скважинам.

§ 4. Гипсометрический план изоповерхности с заданным значением показателя

Залежи многих полиметаллических метасоматических или россыпных, вкрапленных и других месторождений постепенно переходят в боковые безрудные породы. Граница раздела при этом часто визуальнo не определяется, а устанавливается по результатам опробования. Она представляется поверхностью почвы и кровли залежи с определенным по кондиции содержанием основного компонента. Если эти поверхности являются топографическими относительно плоскости проекции, то их называют *изотопографическими*. Изогипсы изотопографических поверхностей раздела на плане дают полное представление о форме залежи и ее положении в пространстве. Они необходимы для решения многих вопросов вскрытия и разработки месторождения.

На рис. 8.3 дано построение гипсометрического плана изотопографических поверхностей для участка кобальто-никеле-

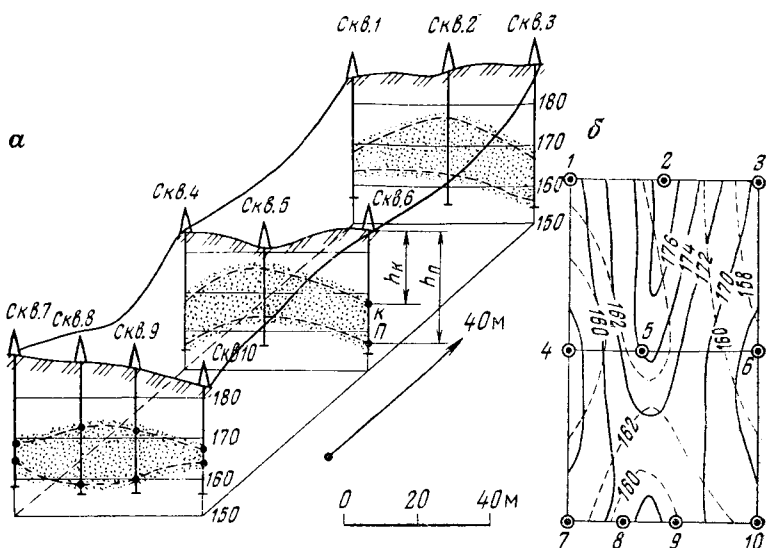


РИС. 8.3. Разрезы (а) и план в изогипсах (б) поверхности почвы и кровли залежи с одинаковым средним значением содержания компонента

вого месторождения. Месторождение приурочено к древней коре выветривания серпентинитового массива. Рудные тела пластообразные и линзообразные с неправильной формой, извилистыми очертаниями, пережимами, карманообразными раздувами, обусловленными развитием различных типов коры выветривания. Месторождение разведано равномерной сетью шурфов и скважин. По данным опробования размещение компонентов в коре выветривания весьма неравномерное.

Оконтуривание рудных тел как по площади, так и по мощности производится только по содержанию компонентов в результате опробования.

Построение изопографических поверхностей залежи производят или по точкам проб с минимальным промышленным содержанием компонента, или по точкам с минимальным средним для определенного объема содержанием компонента.

В первом случае по данным опробования каждой выработки у почвы и кровли отмечают крайние пробы (чаще в результате интерполирования) с минимальным промышленным содержанием компонента. По отметкам устья и глубине вычисляют для них высотные отметки и подписывают их на плане у выработки. По отметкам обычным способом строят изолинии поверхности раздела залежи от боковых пород.

Во втором случае по каждой выработке строят кривые изменения содержания компонентов. Установив размер окна, производят сглаживание реализаций. На сглаженной кривой у почвы и кровли залежи вначале отмечают точки со средним

минимальным по кондиции содержанием компонента. Затем от этих точек в сторону боковых пород откладывают отрезки, равные половине статистического окна, принятого при сглаживании кривых. Для намеченных таким образом точек вычисляют высотные отметки и выписывают их на плане у проекций этих точек. По отметкам строят изолинии обычным способом.

На рис. 8.3, *а* представлены вертикальные разрезы залежи по разведочным линиям в векторной проекции. На каждой скважине по данным опробования отмечены точки с минимальным промышленным содержанием, через которые проведены профили изотопоповерхностей кровли и почвы залежи.

На рис. 8.3, *б* эти поверхности изображены на плане в изогипсах. Построение изогипс произведено с помощью градуирования профилей на разрезах.

Точность, с которой выделяются рудные тела от боковых пород, зависит от изменчивости показателя, густоты опробования, представительности проб и точности химических анализов. Особое внимание густоте и точности опробования уделяют тогда, когда содержание компонента близко к бортовому или минимально кондиционному.

При наклонном и крутом падении гипсометрические планы изотопографических поверхностей почвы и кровли залежи строят в проекции на наклонную и вертикальную плоскость.

При построении используют данные опробования как по разведочным, так и по горно-подготовительным выработкам.

Практическое значение гипсометрических планов изотопографических поверхностей такое же, как и любых гипсометрических планов залежей. Особое значение они имеют при разработке месторождений открытым и дражным способами, когда граница перехода полезного ископаемого в безрудную массу визуально не наблюдается и экскаваторщик без вынесенных отметок не может определить, когда он снимает вскрышу, а когда полезное ископаемое.

Если пространственно координировать движение рабочего органа экскаватора или драги с профилем изотопографической поверхности по направлению хода машины и запрограммировать это движение с помощью профилей, то возможна автоматизация процесса вскрышных работ и добычи полезного ископаемого.

Графики с изогипсами поверхности почвы и кровли залежи или с изогипсами одной из поверхностей для месторождения с более постоянной мощностью дают изображение формы залежи с той степенью точности, которая соответствует данной стадии разведанности и изученности месторождения. Поэтому такие графики необходимы как для производства последующей детальной разведки, так и для разработки месторождения.

Прослеживание выходов угольных пластов на участках с выраженным рельефом и большими наносами при детальной

разведке и геологическом картировании производят часто путем проведения скважин или шурфов. Чтобы не ошибиться в месте для закладки шурфа или скважины, необходимо предварительно найти линию выхода пласта под наносы. Для этого необходим гипсометрический план кровли пласта, который строят по ранее проведенным выработкам. Этот план совмещают с планом рельефа местности, находят линию выхода пласта на поверхность и с поправкой за глубину наносов отмечают место для закладки разведочной выработки.

Гипсометрические планы дают возможность читать элементы залегания пласта в любой его точке. Они необходимы при составлении проекта вскрытия месторождения и особенно при выборе направлений капитальных подготовительных горных выработок.

Так, в условиях Подмосковского бассейна стволы шахты стараются закладывать в местах с наименьшими отметками поверхности почвы пласта.

Определить такое место можно лишь по гипсометрическому плану поверхности почвы пласта. По гипсометрическому плану намечают направления главных откаточных штреков, которые необходимо проходить так, чтобы выдерживался их уклон без подрывки боковых неустойчивых пород.

При разработке угольных пластов складчатой формы залегания изогипсы почвы пластов предопределяют на плане направление и конфигурацию откаточных штреков, идущих по пласту.

Для таких месторождений подсчет запасов по категориям разведанности и изученности производят по гипсометрическим планам пластов.

Составление объема работ при перспективном и текущем планировании горных работ производят по гипсометрическим планам с учетом других показателей залежи.

По таким планам решают вопросы по заданию направлений горным и геологоразведочным выработкам до залежи полезного ископаемого и по полезному ископаемому, о подработке различных объектов и сооружений, расположенных на земной поверхности.

Во многих случаях они служат объективным материалом для объяснения тектоники месторождения и генезиса образования структурно-тектонических форм, определения вида и геометрических элементов складок и разрывных нарушений. По такому плану решают вопросы о рациональном направлении и длине выработки на смещенную часть залежи, а также составляют прогнозы распространения нарушения на соседние пласты и нижние горизонты.

§ 5. Мощность залежи полезного ископаемого и ее изображение

Мощность залежи полезного ископаемого в различных точках часто различна, поэтому при определении мощности ее значение относят к определенным точкам — к точкам висячего бока залежи.

Изменения мощности полезного ископаемого, вмещающих его боковых пород, водоносных или водоупорных горизонтов, а также изменения мощности отдельных свит или пачек, слоев горных пород между соседними залежами — отображаются в изолиниях мощности.

Изомощность — геометрическое место точек с одинаковыми значениями мощности по нормали к плоскости проекции (см. гл. 5).

Система изомощностей на плоскости проекции представляет изображение поверхности топографического порядка.

Эта поверхность реально в природе не существует. Геометрически она представляет поверхность, которая образуется, если мысленно всю массу полезного ископаемого разделить на элементарные столбики и осадить их на плоскость проекции (рис. 8.4).

Если поверхность осажженной залежи рассеять горизонтальными плоскостями, отстоящими на одинаковом расстоянии друг от друга, и линии пересечения спроектировать на горизонтальную плоскость $O—O$, то получаемые при этом горизонтали поверхности тождественны изолиниям равной мощности залежи. Изомощности залежи строят непосредственным и косвенными способами.

Непосредственный способ состоит в построении изолиний по отметкам равной мощности на плане. При геометрическом анализе отметок необходимо учитывать наличие зон раздува, размыва, пережима — зон с измененной мощностью, имеющими, как правило, резкие границы. Поэтому нельзя производить интерполяцию между скважинами, попавшими в эту зону. Зоны следует предварительно оконтуривать.

Построение изомощностей начинают с участков, вскрытых горными выработками или наиболее изученных.

В проекциях на вертикальную плоскость изолинии мощности строят аналогичным образом.

Косвенный способ построения изолиний мощности имеет две разновидности:

1) с использованием геологических разрезов или профильных сечений залежи. На плане отмечают линии разрезов. С помощью раствора циркуля или линейки последовательно устанавливают отрезки по величине кратные выбранному сечению.

На разрезах находят точки с равной мощностью залежи по нормали к плоскости проекции. Точки вначале проектируют на горизонтальную линию разреза, а затем переносят на план и

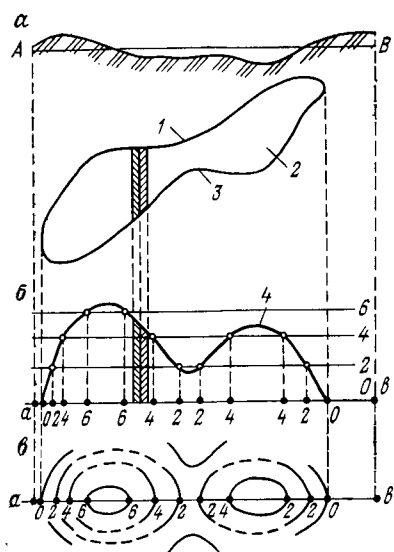


РИС. 8.4. Схема построения изомощностей залежи:

а — вертикальный разрез; *б* — залежь, осажденная на горизонтальную плоскость; *в* — изомощности залежи: 1 — поверхность кровли; 2 — залежь; 3 — поверхность почвы; 4 — поверхность осажденной залежи

подписывают соответствующие целочисленные отметки. Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, получают изомощности залежи.

2) путем графического вычитания из поверхности висячего бока залежи поверхность лежащего бока. Этот способ является единственным при построении изомощностей, когда залежь сложной формы разведана сочетанием вертикальных, наклонных и искривленных скважин, когда по скважинам трудно определить нормальную к плоскости проекции мощность. В этом случае по данным бурения проще построить гипсометрические планы висячего и лежащего боков залежи и через них построить изомощности.

Этот способ является также единственным при увязке по информации ряда взаимосвязанных показателей залежи.

На рис. 8.5, *а* представлен пример из практики — план участка,

разведанного вертикальными скважинами с отметками кровли, мощности и почвы залежи, и вертикальный разрез залежи по линии II—II' (рис. 8.5, *б*).

Построение изомощностей непосредственно по данным бурения приводит к двум системам изолиний — двум реализациям m_1 (рис. 8.5, *в*) и m_2 (рис. 8.5, *г*).

При построении изомощностей с помощью разрезов получают те же две возможные реализации. Следовательно, для однозначного решения задачи по этим двум способам необходимы дополнительные данные наблюдений.

В то же время построение гипсометрических планов поверхностей кровли (К) и почвы (П) залежи по информации тех же скважин приводит к однозначным топографическим функциям.

Разность между этими поверхностями дает единственную систему изомощностей m_2 , которая, очевидно, и является искомой.

Таким образом, косвенный способ построения изолиний с помощью математических действий с топографическими поверхностями позволяет по информации комплекса взаимосвязанных показателей производить взаимную увязку между то-

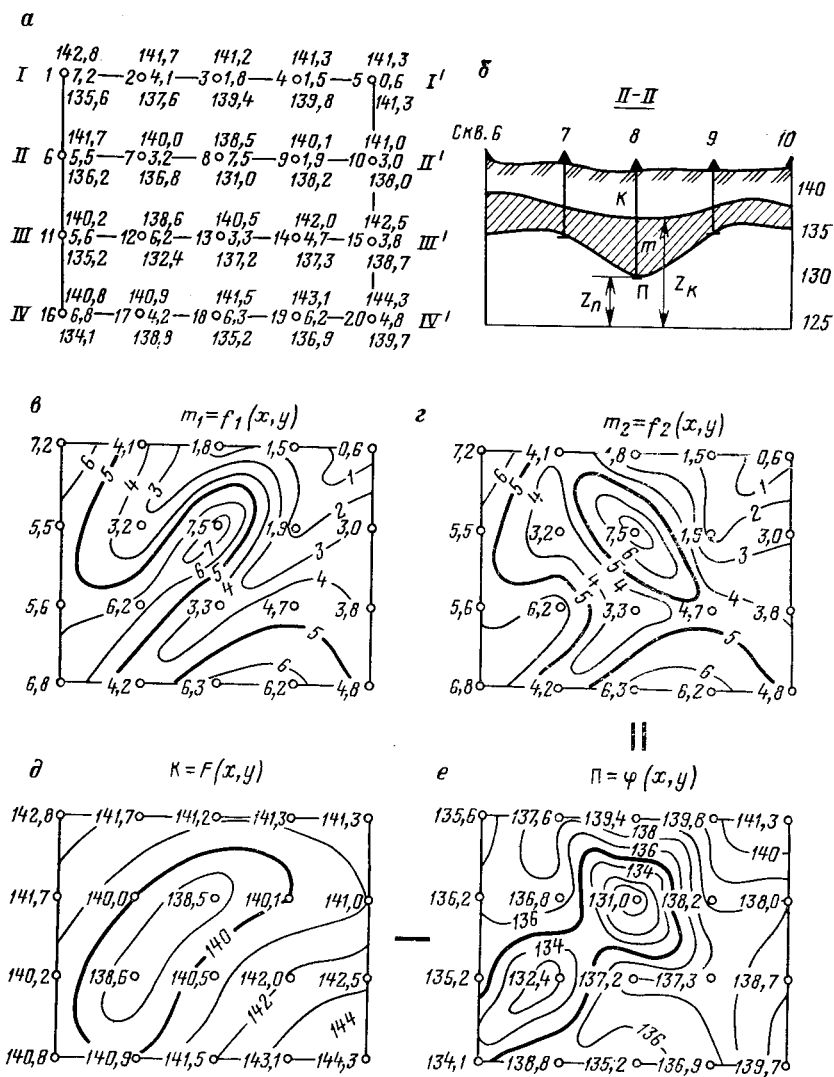


РИС. 8.5. Схема построения изоощностей по комплексу данных разведки: а — план; б — разрез по II—II; в, г — возможные планы изоощностей; д — план поверхности кровли; е — план поверхности почвы залежи

пографическими функциями и исключать двойственность в решении задачи.

Он является также контрольным при построении непосредственным способом планов изолиний комплекса взаимосвязанных показателей.

При построении изомощностей линзообразной залежи изолинии мощности не могут пересекать нулевой контур залежи, а представляются замкнутыми кривыми линиями. Если залежь нарушена смещением, то изомощности ее также, как изогипсы кровли или почвы залежи, прерываются у линии обреза залежи смесителем.

По изолиниям мощности полезного ископаемого устанавливают границы залежи, выделяют контуры промышленных участков залежи: пользуясь объемной палеткой Соболевского, определяют запасы полезного ископаемого в пределах любого по контуру участка с точностью, соответствующей точности исходных данных.

Изомощности залежи используют при планировании горных работ, планировании добычи и потерь при разработке полезного ископаемого и решении других вопросов разработки месторождения.

§ 6. Глубина залегания полезного ископаемого и ее изображение

Глубина залегания залежи — расстояние по вертикали от земной поверхности до кровли залежи.

В разных точках земной поверхности полезное ископаемое залегает на разных глубинах. Геометрическое место точек на земной поверхности с одинаковыми значениями в них глубин называют *изоглубиной*. Изоглубины залегания есть не что иное, как изомощности покрывающей залежь толщи пород. Поэтому определения и способы построения изоглубин аналогичны построениям изомощностей.

При косвенном способе изоглубины строят, вычитая из плана поверхности рельефа план поверхности кровли залежи.

Практически график изоглубин дает возможность быстро прочесть по изолиниям глубину залегания в любой точке земной поверхности. Изоглубина с определенной отметкой может быть границей открытых разработок.

По изоглубинам, как по изомощностям вскрыши (покрывающей толщи пород), определяют с помощью объемной палетки Соболевского объемы вскрышных работ при открытых разработках.

Изоглубины строят для определения коэффициентов вскрыши путем деления изоглубин залегания на изомощности залежи.

Изоглубина с отметкой нуль есть *линия выхода висячего бока залежи* на земную поверхность.

На плане линия выхода определяется как линия пересечения одноименных горизонталей земной поверхности и висячего бока залежи.

Если на данном участке месторождения имеются наносы с определенной средней глубиной, то изоглубина залегания по-

лезного ископаемого с отметкой, равной средней глубине наносов, есть *линия выхода всячего бока залежи под наносы*. Знать эту линию необходимо при задании разведочных шурфов или скважин для уточнения выхода залежи под наносы.

§ 7. Геометризация условий залегания полезных ископаемых

К условиям залегания полезного ископаемого относятся горно-геологические, геолого-гидрогеологические и тектонические факторы, которые оказывают влияние на горнотехнические условия разработки месторождения.

Это данные, характеризующие залегание и контакты полезного ископаемого с вмещающими породами — резкие контакты или постепенный переход в пустые породы, а также строение, литологический состав и элементы залегания вмещающих (боковых) пород, устойчивость, крепость пород всячего бока, способность пород к вспучиванию, наличие ослабленных зон, трещиноватости, карстовых пустот или пещер, тектонических нарушений.

Гидрогеологические условия определяются наличием водоносных и водоупорных горизонтов, уровнем грунтовых вод, происхождением, составом подземных вод, условиями питания и дренажа водоносных горизонтов ожидаемым притоком вод в горные выработки, замещением водоупорных глин песками и т. п.

Многие из перечисленных факторов представляют собой геологические тела, форма которых и положение в недрах отображаются графиками, построение которых аналогично графикам, характеризующим залежь полезного ископаемого.

Так, например, по зондировочным скважинам, проводимым из подготовительных горных выработок, на шахтах Подмосковского бассейна определяют строение непосредственной кровли и в том числе определяют мощность надугольных глин, которые препятствуют проникновению вод в горные выработки.

При выемке угольного пласта слой глины напор подземных вод удерживает при определенной мощности. График изомощностей надугольных глин, построенный по зондировочным скважинам, позволяет выделить опасные участки и принять профилактические меры к предотвращению внезапного прорыва подземных вод в выработки.

Аналогично по данным разведочных и специальных гидрогеологических скважин строят планы в изогипсах почвы водоносных и водоупорных горизонтов, а также изомощности этих горизонтов.

Ряд изменяющихся в пространстве недр факторов отображают на планах в виде изолиний с одинаковыми числовыми значениями показателя.

Например, определив в различных точках числовые значения коэффициента фильтрации какого-либо водоносного слоя, строят для данного слоя *изокоэффициенты фильтрации*.

По числовым значениям таких показателей, как крепость пород всякого бока, устойчивость, трещиноватость изучаемого объекта, выявленным или вычисленным для различных точек, могут быть построены на плане соответствующие изолинии, наглядно представляющие изменение данного показателя.

Некоторые факторы достаточно полно представляют изображением на плане в виде векторов-градиентов или соответствующих изогradientов.

§ 8. Применение ЭВМ и графопостроителей при геометризации месторождений

Технические средства машинной графики представляют собой периферийные устройства ЭВМ различных типов, позволяющие вводить в ЭВМ и выводить из нее информацию в графической форме и производить с их помощью необходимые преобразования изображений. Эти устройства разделяются на *пассивные*, такие как графопостроители, алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ), и *активные* — графические дисплеи, которые позволяют горному геометру вести диалог с ЭВМ. Они дают возможность создать в памяти ЭВМ специальный банк данных и при необходимости вывести эти данные на экран дисплея или планшет графопостроителя для использования в работе над созданием горно-геометрической модели.

Наиболее распространенным устройством для вывода графической информации является АЦПУ, позволяющее печатать буквенные и цифровые данные на бумажной ленте с шириной строки в 128 символов. Комбинируя определенным образом эти символы на рабочем поле ленты АЦПУ, можно получить картину пространственного размещения изучаемого показателя. Переход к графику в изолиниях осуществляют вручную путем проведения линий по границам участков с однородными символами.

Специальным устройством для выдачи графической информации с соблюдением существующих требований точности является графопостроитель. В настоящее время существуют графопостроители, размер рабочего поля которых составляет 3×10 м. Лучшие из них имеют скорость вычерчивания до 1000 мм/с при точности, измеряемой долями миллиметра.

В СССР при обработке геологических данных распространение получили графопостроители типа «Атлас», ДРП-3м, ДГУ, ЭМ-703, Cartimat, Benson—France и др.

Основу графопостроителя составляют двухкоординатный построитель планшетного или рулонного типа и электронная система приема и переработки информации. Специальное устройство обеспечивает перемещение пишущего узла в двух на-



РИС. 8.6. Краткая блок-схема программы построения изолиний на графопостроителе

правлениях, соответствующих направлениям прямоугольных декартовых осей координат. Система приема и переработки информации состоит из устройства для чтения перфокарт, перфолент, магнитных лент и транслятора, который преобразует входную информацию в серию команд сервомоторам чертежной головки. Графопостроители могут выводить на бумагу, пленку и т. п. геометрические образы любых конфигураций: дуги окружностей, пунктирные и штрихпунктирные линии, различного характера кривые, текстовые надписи. В зависимости от типа графопостроителя может иметь горизонтальный, вертикальный или наклонный столы. Чертежная головка имеет вращающийся держатель, содержащий различного цвета перья или карандаши, которые выбираются в соответствии с инструкциями программы.

Использование технических средств машинной графики требует наличия соответствующего программного обеспечения. В настоящее время для этой цели разработано несколько программ как на языках общего описания типа ФОРТРАН, АЛГОЛ и др., так и на базовых графических языках Атлас, ОГРА-1, ГРАФОР, ФАП-КФ, Контур-Атлас и другие. С помощью этих программ решаются различные графические задачи. Одной из типовых задач при горно-геометрическом моделировании является задача вычерчивания изолиний размещения изучаемого показателя в пространстве. Исходными данными при этом служит числовая модель участка, записанная по оп-

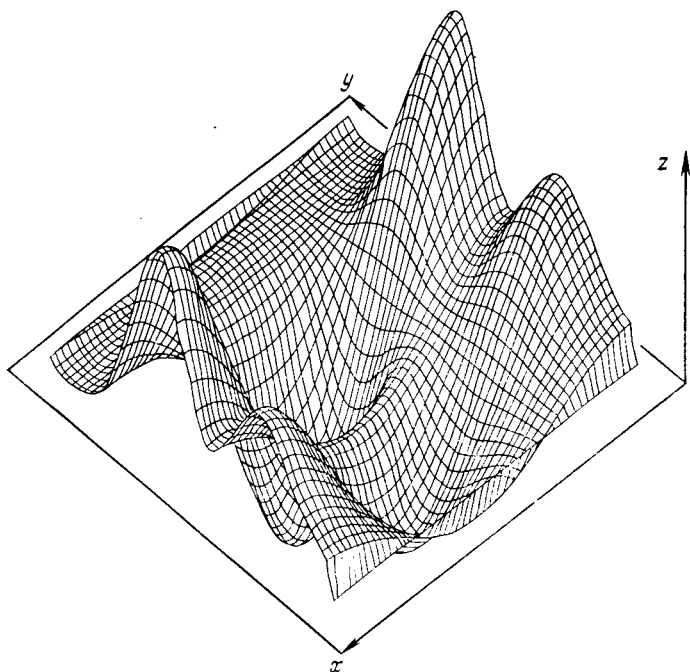


РИС. 8.8. Объемное изображение топографической поверхности с помощью графопостроителя

скую информацию на черно-белом или цветном телеэкране. Характерной особенностью взаимодействия ЭВМ и дисплея является возможность оперативного синтеза и коррекции изображения на экране по директивам оператора и, следовательно, динамичность графической информации.

При построении графиков в изолиниях дисплей позволяет визуально подобрать оптимальную густоту изолиний и затем перенести изображение на планшет графопостроителя. Особенно полезен дисплей при построении объемных изображений в различных проекциях. С его помощью можно, оперативно изменяя коэффициенты искажения по осям или направление проектирования, подобрать наиболее удобный ракурс для изображения с минимальным перекрытием и вырожденностью элементов изображения. При создании объемных изображений сетей горных выработок каждый горизонт может быть показан своим цветом. При этом важно и то, что информация может оперативно пополняться. Откорректированное на дисплее изображение по команде с пульта может быть выдано на графопостроитель в необходимом масштабе и в соответствующем цветовом исполнении. В качестве примера объемного изображения топографической поверхности, построенной с помощью дисплея на графопостроителе, может служить чертеж, приведенный на рис. 8.8.

Развитие машинной горно-геометрической графики несомненно перспективно, так как она освобождает горного геометра от выполнения рутинных расчетов и чертежей и позволяет соединить воедино творческие способности и опыт специалиста с техническими возможностями современной электронной аппаратуры.

ГЛАВА 9

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ СКЛАДОК

§ 1. Складчатость и ее генезис

По современным представлениям на основании геофизических исследований — изменению скоростей продольных упругих волн, сейсмических волн, электропроводности, затуханию поперечных волн и другим свойствам в Земле выделяют кору 1, верхнюю 3 и нижнюю 5 мантию, внешнее 6 и внутреннее 7 ядро (рис. 9.1). Средняя мощность твердой оболочки Земли — земной коры — 32 км, причем на континентах она изменяется от 20 до 75 км, в океанах — 5 до 15 км. При среднем радиусе земного экватора из 46 500 измерений 13-ю спутниками, равном 6378, 169 км $\pm$ 8 м, она представляется тонкой оболочкой. Верхняя мантия отделяется от земной коры поверхностью раздела Мохоровичича (Мохо 2). На глубине 700—900 км верхнюю мантию сменяет нижняя мантия. Их разделяет слой Голицина 4 (нижний слой верхней мантии) толщиной в среднем 400 км. На глубине около 2900 км нижняя мантия граничит с внешним ядром Земли, характеризующимся жидким агрегатным состоянием вещества. На глубине 5100 км внешнее ядро сменяется внутренним ядром, которое считают твердым, а по составу металлическим. Земная кора и верхняя мантия образуют так называемую тектоносферу — область проявления в Земле тектонических процессов.

В пределах верхней мантии выделяют некоторый слой, называемой стеносферой, более пластичный и подвижный по отношению к выше- и нижележащим слоям. Под материками этот слой выделяется на глубинах от 100 до 250 км. Обладая сравнительно малой вязкостью и высокой пластичностью, астеносфера оказывается слоем, на котором как бы плавает вышележащая часть верхней мантии и земная кора. Это приводит к явлению изостазии — относительно равновесному состоянию земной коры. Астеносфера является областью затухания движений, связанных с перераспределением масс на поверхности земной коры. Она одновременно служит и амортизатором по отношению к движениям, исходящим из более глубоких слоев мантии, и мощным генератором движений земной коры, так

как в ней происходит магмообразование, а ее подъем вызывает перемещение блоков земной коры.

В пределах земной коры выделяют по сейсмическим характеристикам три основных слоя: верхний — осадочный максимальной мощностью 10—15 км (в отдельных местах до 25 км), гранитный мощностью 30—40 км, и нижний — базальтовый мощностью 15—20 км.

Земную кору и часть верхней мантии до границы с астеносферой объединяют и называют литосферой.

В тектоническом строении и развитии земной коры особое значение принадлежит глубинным планетарным разломам, которыми она расчленена на большие по размерам тысячекилометровые глыбы. Каждая такая глыба расчленяется в свою очередь на блоки региональными разломами более низких порядков. В пределах глыб и блоков развиты складчато-разрывные деформации более низких порядков.

Таким образом, в целом земная кора имеет глыбово-волно-вое строение.

Глубинные разломы и разрывы земной коры являются естественными швами, по которым происходили тектонические движения. Эти движения проявляются и в настоящее время в виде медленных до 10 мм/год поднятий (Балтийский и Канадский кристаллические щиты и др.) и опусканий (берега Северного моря и др.) и быстрых, скачкообразных, связанных с землетрясениями.

Тектонические движения имеют сложный характер развития в пространстве и во времени. Напряженное состояние земной коры в общем случае определяется действием двух независимых силовых полей: гравитационного, обусловленного действием закона всемирного тяготения, и тектонического, обусловленного неравномерным распределением в пространстве скорости тектонических движений и скорости деформаций земной коры, т. е. наличием градиента тектонических движений.

Выделяют две группы факторов, влияющих на тектонические процессы в земной коре:

внутренние, которые обусловлены внутренней тепловой, гравитационными центробежными и инерционными силами, электромагнитными связями между материальными частицами горных пород;

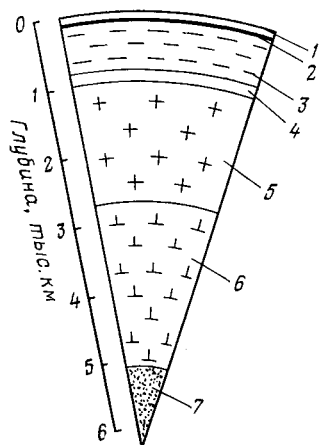


РИС. 9.1. Схема внутреннего строения Земли

внешние, которые связаны с внешними воздействиями на Землю Солнца и Луны (теплота, солнечная радиация, приливно-отливные движения и пр.).

Внутренние факторы вызывают сложные и грандиозные явления: вулканические, сейсмические, дислокационные. Они изменяют как внутреннее, так и внешнее строение земли. Процессы, вызываемые внутренними факторами, называются процессами внутренней динамики.

Влияние внешних факторов посредством качественных и количественных переходов выражается в приливно-отливных движениях литосферы, солнечной радиации, изменениях электромагнитных связей в структуре горных пород, в деятельности атмосферы, гидросферы и биосферы. Последними разрушаются созданные или создаваемые внутренними силами горные сооружения, поверхность земли сглаживается. Эти процессы называются *денудацией*, или *процессами внешней динамики*.

Таким образом, в истории Земли прослеживается история борьбы двух противоположных сил.

При совместном действии внутренних и внешних факторов горные породы деформируются. Первоначальные более простые, плоскостные формы слоистых осадочных отложений приобретали сложную волнистую форму, с разрывами, смещениями, трещиноватостью. Большинство рудных месторождений, формирование которых обязано тектоническим процессам, также изменяло свою начальную форму в результате последующих тектонических процессов.

Изменения в залегании слоистой толщи горных пород называются *дислокациями* или *тектоническими нарушениями*. Различают дислокацию пликативную и дизъюнктивную.

Пликативной дислокацией называют такие нарушения в залегании слоистых, осадочных или эффузивных горных пород, при которых образуются волнообразные изгибы без разрыва их сплошности, происшедшие в результате пластической деформации горных пород (рис. 9.2, а).

Дизъюнктивной дислокацией называют нарушения в залегании горных пород, дислокация (перемещение) отдельных частей которых сопровождалась разрывом сплошности пород (рис. 9.2, б).

Кроме пликативных и дизъюнктивных нарушений нередко наблюдаются формы нарушений, которые по своему характеру являются переходными от пликативных и дизъюнктивных. Такие нарушения называют *флексурами* (рис. 9.2, в). Флексуры иногда проявляются и как самостоятельные формы.

Вопросы о характере тектонических сил, вызвавших пликативные и дизъюнктивные дислокации, излагаются в геотектонике, структурной геологии и тектонофизике, рассматривающей физическую теорию тектонических процессов.

При изучении недр в процессе разведки и разработки наблюдают только следствие происходивших в прошлой геологи-

ческой жизни земли тектонических процессов. Эти следствия выражаются в виде разного рода форм пликтивных, дизъюнктивных нарушений и трещиноватости горных пород. При этом морфология нарушений определяется сочетанием системы внешних сил, длительностью их действия и механическими свойствами среды.

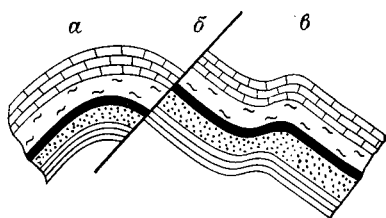


РИС. 9.2. Нарушения в залегании свиты пластов

Отсюда последовательность изучения этих процессов логически вытекает от изучения последствий деформации толщи к установлению характера причин и механизма образования различных наблюдаемых структур.

На рис. 9.3 представлена интерпретация образования складки по наблюдаемой на ее крыльях трещиноватости. В результате измерений в горных выработках выявлены шесть систем трещин скола $s—I—VI$, образующих три пары сопряженных систем $VII—IV$, $I—II$, $IV—V$, и одна пара трещин отрыва. Наличие шести систем трещин скола на первый взгляд находится в противоречии с постоянным направлением $C—C$ максимальных сжимающих напряжений, когда возможно образование не более двух систем трещин скола.

Образование трех пар сопряженных систем можно объяснить наличием трех тектонических этапов $a, б, в$ в формировании структуры, для каждого из которых характерна своя определенная ориентировка осей главных нормальных напряжений.

По расположению трещин в пространстве можно восстановить направление осей напряжений $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, вызвавших

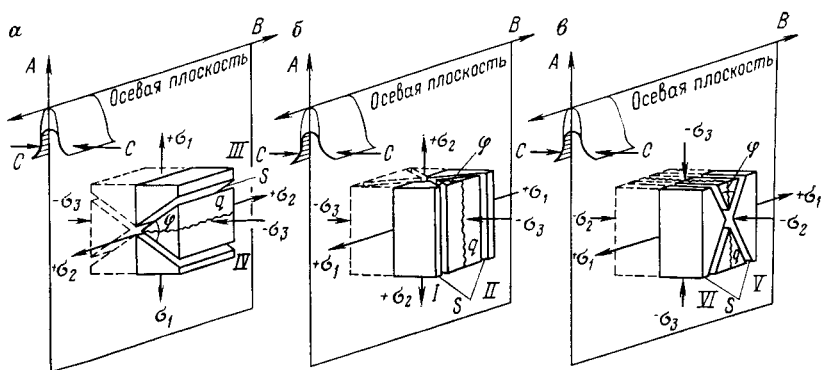


РИС. 9.3. Схема расположения осей пластических деформаций и напряжений при образовании складки, трещин скола и отрыва

появление этих трещин. Линия пересечения сопряженных трещин скалывания параллельна промежуточной из трех осей главных нормальных напряжений, т. е. оси σ_2 . Остальные две оси напряжений σ_1 и σ_3 перпендикулярны к ней и находятся в плоскости, перпендикулярной к обоим направлениям скалывания. Ось алгебраически минимальных напряжений σ_3 , т. е. напряжений наибольших сжатий, является биссектрисой острого угла между трещинами скалывания. Ось алгебраически максимальных напряжений σ_1 , т. е. наибольших из растягивающих, перпендикулярна к трещинам отрыва. Установление в каждой точке наблюдения по сопряженным системам трещин ориентировки главных нормальных напряжений позволяет восстановить тектоническое поле.

Ориентировка осей главных нормальных напряжений и их расположение относительно геометрических элементов складки в каждом из трех этапов ее формирования приведены на рис. 9.3.

Анализ тектонических полей напряжений позволяет сделать определенные выводы об относительной величине напряжений, действовавших в различные этапы формирования структур и их изменениях на разных участках исследуемого района.

Основные движения, которые происходят на участке земной коры, разделяют на две генетические группы:

радиальные, когда внутренние силы имеют радиальное направление, противоположное действию силы тяжести, и породы подвергаются действию разности сил, направленных кверху, радиально;

тангенциальные, когда действие внутренних сил направлено по касательной, перпендикулярно направлению действия силы тяжести.

В общем случае направление действия внутренних сил составляет угол с направлением действия силы тяжести, и породы подвергаются действию нормальной и тангенциальной составляющих.

Если деформацией охватываются сравнительно небольшие участки земной коры и при этом преобладает нормальная составляющая сил, то появляются формы структур в виде выпуклостей, куполов, валов, брахиантиклиналей и т. п. Перечисленные формы обусловлены радиальным движением и относятся к положительным формам структур (складок).

Положительным структурным формам противопоставляются отрицательные: опускания, котловины, чаши, воронки, брахисинклинали и т. п.

Если преобладает тангенциальная составляющая внутренних сил, то появляется типичная структурная форма — складка.

По способу образования выделяют следующие главные типы складок и соответствующих структур: складки продольного изгиба, складки поперечного изгиба, складки скольжения или скалывания и складки трения.

Структурные формы складок, валов, куполов и т. п. являются результатом пластической деформации горных пород — пликативными дислокациями. Образования и размеры каждой из этих форм зависят от интенсивности и продолжительности действия сил, физико-механических свойств пород в момент деформации и размеров участков, на которые распространяется деформация. Складкам обычно предшествует образование густой сети трещиноватости. Последняя интенсивнее развивается в местах наибольшего изгиба пород. Таким местом в складке является зона осевой поверхности.

Под влиянием продолжающегося действия сил образуются разрывы, по которым происходит перемещение разорванных частей пород; появляются нарушения с разрывом сплошности — дизъюнктивные дислокации. Разрывы обычно закладываются с использованием уже готовой сети трещиноватости.

Таким образом, деформация участков земной коры выражается в образовании трещиноватости, пликативных и дизъюнктивных форм нарушений. Между этими формами дислокаций существует тесная связь и проявляются взаимные переходы. Разрывы, возникшие в процессе складкообразования на фоне трещиноватости горных пород, участвуют в дальнейшем развитии толщи и, будучи вовлеченными в это движение, могут получить коренное превращение своей первоначальной геометрической формы.

Связь пликативных и дизъюнктивных нарушений часто характеризуется сохранением величины угла между поверхностями трещин смещения и напластования пород.

На рис. 9.4 представлена гипсометрическая карта маркирующего пласта известняков, смятого в антиклинальную складку, осложненную разрывными нарушениями. Процесс образования дизъюнктивных нарушений на крыльях складки по своему характеру может быть отнесен ко времени образования самой складки. Исключение составляют нарушения, отмеченные цифрой 4. Они образовались, вероятно, в более поздний период.

Сложные геометрические отношения в залегании пород имеют мелкие смещения. Здесь не наблюдается указанного соответствия между элементами залегания трещин смещения и элементами залегания пластов. Объясняется это особенностями складкообразования.

Дислокации, образованные тангенциальными усилиями, разделяют на дислокации в результате разрешения:

I — напряжений на больших участках и крупных полосах, перпендикулярных к направлению давления;

II — частных напряжений, ограниченных некоторой группой слоев горных пород.

Дислокации группы I называют дислокациями от региональных напряжений, дислокации группы II — дислокациями от внутрислойных напряжений.

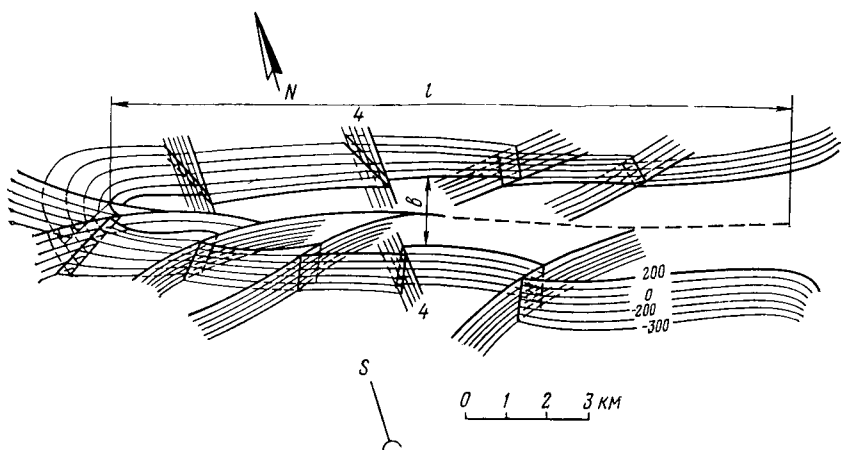


РИС. 9.4. Гипсометрическая карта складки и разрывов

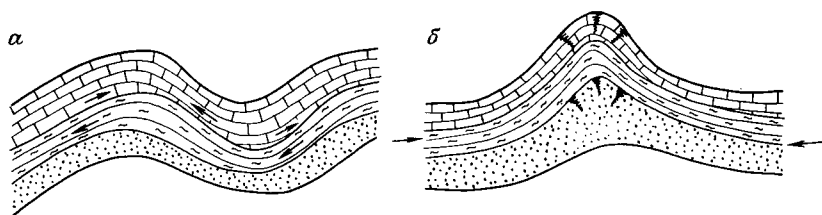


РИС. 9.5. Схема образования складок

Складкообразование могло сопровождаться взаимным перемещением слоев по поверхностям напластования (рис. 9.5, а). Могло быть так, что пласты оказывались сблокированными. Так как толщи осадочных пород состоят из слоев с различными физико-механическими свойствами, при изгибе одни слои, более устойчивые, образуют скелетные дуги складок, другие, более пластичные, разрешая внутрислойные напряжения, образуют мелкую складчатость (рис. 9.5, б). В твердых верхних слоях, кроме этого, возникают трещины разрыва. В своде складки образуются седловидные ослабленные участки. При наличии водоупорных горизонтов эти участки являются наиболее благоприятными местами для отложения руд.

Классическим примером такого типа структуры служат железорудные тела Криворожского месторождения, месторождения гидротермальных полиметаллических руд, например Лениногорского на Алтае, где богатые сульфидные руды и руды типа вкрапленников (микрокварциты) образовались в сводах антиклинальной складки под водонепроницаемым слоем глинистых сланцев.

Дислокации от региональных внутрислойных напряжений сопровождают друг друга. Поэтому практически важно отделять формы внутрислойных, более мелких нарушений, захватывающих один или несколько слоев, от формы региональных, основных нарушений. Внутрислойные дислокации определяют детали строения месторождения.

Пликативные и дизъюнктивные дислокации осложняют строение месторождений полезных ископаемых. Рациональная разведка и разработка осложненными нарушениями месторождений в значительной степени зависит от знания форм тектоники. Поэтому одной из задач геометризации недр и является применение наряду с геологическими методами геометрических методов изучения и изображения встречаемых нарушений в залегании горных пород и полезных ископаемых.

§ 2. Геометрические элементы и параметры складки

Складка как физическое и геометрическое тело, образованное в результате пликативных дислокаций, имеет свои геометрические элементы и параметры. Геометрическими параметрами складки называют линейные и угловые величины, характеризующие форму, размер и положение складки в недрах. К ним относят: элементы залегания крыльев, оси (шарнира), осевой плоскости и угол складки, а также длину, ширину, высоту и амплитуду складки.

На рис. 9.6 изображена поверхность одного из пластов свиты на участке складки.

Боковые части этой поверхности $АВА_1В_1$ и $СДС_1Д_1$, приближающиеся к плоскостям, называют *крыльями* складки.

Криволинейная часть поверхности складки $ВС$, по которой происходит постепенный переход одного крыла в другое, называется *замком* складки. Пространство, заключенное внутри складки, называется *ядром* складки.

Линия $ЕЕ_1$, по которой пересекаются продолженные крылья складки, называется *шарниром* складки.

Угол $АЕД$ — двугранный угол между крыльями складки, называется *углом складки* V . Углом складки V характеризуется размах крыльев в данном поперечном сечении складки.

Поверхность $ФЕЕ_1F_1$, проходящая через биссектрисы углов и шарнир складки, называется *осевой*, или *биссекторной поверхностью* складки. Эта поверхность проходит внутри складки через точки, равноудаленные от обоих крыльев каждого пласта.

Линия, по которой осевая поверхность пересекается с поверхностью замка складки, называется *осевой линией* складки. Если поверхность замка складки превращается в линию, то складка называется *шарнирной*.

На ограниченных участках крылья складки принимают за плоскость. Тогда оси и шарнир складки являются *прямыми*, а осевая поверхность — *плоскостью*.

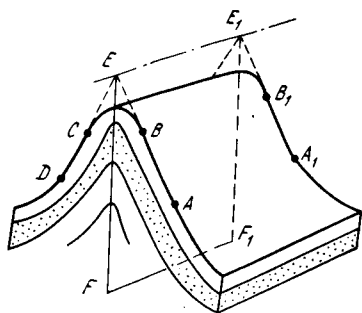


РИС. 9.6. Геометрические элементы складки

В общем случае крылья складки, точнее поверхности тех или иных пластов на крыльях складки, являются кривыми поверхностями, ось и шарнир — кривыми линиями, осевая плоскость — кривой поверхностью.

Длиной складки l (рис. 9.4) называется расстояние вдоль оси складки между контурами одного и того же стратиграфического горизонта (слоя), замыкающегося в данном горизонтальном срезе. Ее определяют как расстояние от одного до другого окончания складки, вы-

раженного переходом ее в участки с недислоцированным залеганием слоев или причленением к другой складке, или как расстояние вдоль оси складки, ограниченное контуром почвы или кровли любого из маркирующих слоев, образующих складку, но обязательно того же, по которому измерялась в данном случае ширина складки.

Шириной или горизонтальным размахом складки b называется расстояние между срединными частями крыльев складки, измеренное по одному и тому же слою, или расстояние между осевыми линиями двух соседних антиклиналей или синклиналей.

Высотой складки h или ее вертикальным размахом называется расстояние по вертикали между замком антиклинали и замком смежной с ней синклинали, определяемое по одному и тому же слою.

Амплитудой складки a называется кратчайшее расстояние между касательными плоскостями к верхнему и нижнему замкам одного и того же слоя двух соседних складок, измеряемое по осевой плоскости складки.

Для общей характеристики и геометрического сопоставления складок различной величины пользуются соотношениями размеров складки.

При $\frac{l}{b} \approx 1$ складки принято называть куполами, при $\frac{l}{b} < 5$ — брахискладки, при $\frac{l}{b} > 5$ — линейные, при $\frac{h}{b} < 1$ — складки низкие, плоские, при $\frac{h}{b} > 1$ — высокие.

По своим размерам относительно величины шахтного поля складки разделяют на четыре группы:

I — весьма крупные; образуют основные структуры районов и выявляются на стадии поисковой и предварительной разведки.

На каждом крыле складки может располагаться несколько шахтных полей.

II — крупные; определяют тектоническое строение одного или нескольких шахтных полей. Форма складок выявляется на стадии детальной разведки.

III — средние; являются частью структуры шахтного поля и осложняют складки второй группы, не всегда выявляются на стадии детальной разведки. Форму их определяют в результате наблюдений в ряде горноподготовительных выработок. Крылья этих складок могут разрабатываться независимо друг от друга.

IV — мелкие; форму складок и характер их проявления выявляют изучением их в одной очистной выработке. Мелкие складки значительно усложняют работу в лаве комплексной механизации и управление кровлей.

При разработке осложненных складками месторождений маркшейдеру и шахтному (рудничному) геологу приходится изучать и документировать главным образом складки III и IV группы, вскрывать их геометрическую форму, характер и размеры на фоне крупных складок и учитывать все это при составлении перспективных и текущих планов разработки месторождения, имея в виду при этом, что к мелкой складчатости приурочиваются зоны интенсивной трещиноватости, внезапных выбросов угля и газа, суфлярные выделения; в районе мелкой складчатости осложняется управление кровлей, процесс сдвижения горных пород и пр.

При геометризации складчатых структур особое внимание уделяют выявлению осевой поверхности и поверхности замка складки. Вблизи осевой поверхности горные породы подвергались наибольшему деформациям и представляются в разрушенном, смятом, раздробленном состоянии, с повышенной трещиноватостью. Знание расположения этой зоны важно как зоны возможного сдвижения горных пород и зоны со сложными условиями проведения горных выработок. В замковых участках складки, как правило, создаются наиболее благоприятные условия для оруденения и обнаруживаются рудные месторождения в виде рудоносных столбов, линз и пр. Иногда наблюдается складчатость внутри угольного пласта, сопровождаемая изменением его мощности. Возле разрывных нарушений нередко образуются складки волочения и подгибы, как результат вторичных пластических деформаций, состоящие из антиклинали и синклинали. На пластах пологого и наклонного залегания нередко наблюдаются флексур — как самостоятельные формы или как формы, переходящие в разрывные нарушения. Флексур характеризуются резким изменением элементов залегания пласта, уменьшением его мощности в соединительном крыле флексур, что приводит при разработке пласта часто к нарезке новой лавы.

§ 3. Формы складок и их классификация

Разнообразные формы складок, наблюдаемые в недрах, являются результатом различных процессов складкообразования и их отдельных стадий.

В значительной степени формы складок зависят от интенсивности складкообразования, литологического состава и физико-механических свойств горных пород. Так, песчаники образуют складки с большим радиусом кривизны, в то время как более пластичные породы, например сланцы, под тем же давлением дают сложные по своей конфигурации складки.

Наблюдаемые в недрах формы складок иногда сравнивают с формой предметов, часто встречающихся в обиходе. Так, например, складки с широким плоским сводом и крутыми крыльями, напоминающие по форме сундук, получают наименование «сундучных», веерных, стулообразных, коробчатых и т. п.

Различают три главных направления в изучении складок: геолого-геометрическое изучение формы складок, геологическое изучение происхождения складок (причин их проявления, т. е. геологических процессов, протекающих главным образом вне складки и порождающих те внешние силы, которые непосредственно создают складку); физическое изучение механизмов формирования складок, т. е. развивающихся внутри складок деформаций, разрывов и напряжений с привлечением методов моделирования и полевых наблюдений.

С каждым из этих направлений исследования связана самостоятельная классификация складок: морфологическая (геометрическая), физико-генетическая и геолого-генетическая. Совокупность их составляет общую генетическую классификацию складок.

Физико-генетическая классификация систематизирует механизмы формирования складок с учетом кинематических и динамических особенностей процесса, связана с методами определения напряженного состояния пород внутри складок и установлением системы внешних сил, создающих складки. В основу классификации приняты следующие механизмы образования складок: продольное сжатие, поперечный изгиб, шовные нарушения, оползание, гравитационное всплывание, диапировое внедрение, геометрическое искривление.

Геолого-генетическая классификация отражает причины появления сил, создающих складку с указанием места развития складки земной коры и геологических процессов, которые могут сопровождать развитие складки. По этой классификации выделяют складки внутриспокровные, глубинные и подпокровные.

Физико-генетические и геолого-генетические классификации рассматриваются в тектонофизике, геотектонике, структурной геологии и др.

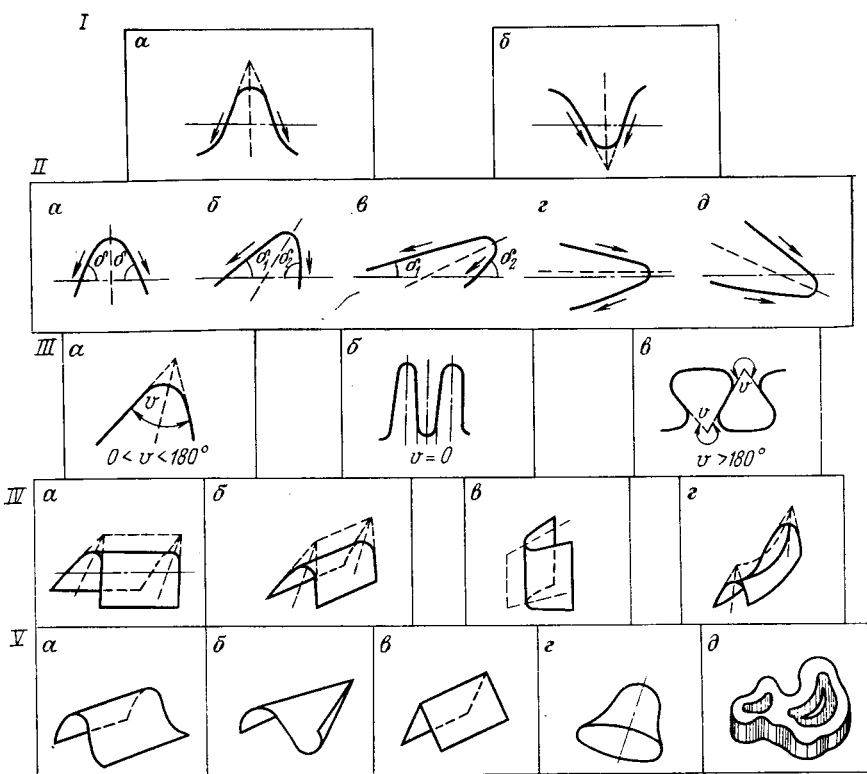


РИС. 9.7. Геометрическая классификация основных форм складок

Ниже приводится систематизация форм складок исходя из взаиморасположения и соотношения геометрических элементов, характеризующих форму складки, ее положение в недрах и стратиграфии пород, слагающих складку (рис. 9.7).

I. По направлению падения крыльев относительно шарнира (оси) складки различают антиклинальные и синклиналичные.

Антиклинальной складкой (рис. 9.7, I, а) называют изгиб слоев горных пород, обращенный замковой частью вверх. Падение крыльев и осевой плоскости направлено от шарнира складки. У антиклинальных складок породы в ядре имеют более древнее происхождение, чем породы на периферии.

Синклиальной складкой (б) называют изгиб слоев, обращенный замковой частью вниз.

Падение крыльев и осевой плоскости направлено в сторону шарнира складки, а породы ядра являются более молодыми, чем породы периферии складки.

У антиклинальной складки замковая часть называется седлом, у синклинальной — мульдой.

Антиклинальные и синклинальные формы складок, у которых длина складки в 2—5 раз больше ее ширины, носят название соответственно брахиантклиналь и брахисинклиналь.

У брахисинклинальной складки породы в центральной части являются более древними, чем на периферии.

У брахисинклинальной складки — наоборот — породы центральной части (ядра) относятся к более молодым отложениям, чем на периферии.

II. По углу наклона осевой плоскости и падению крыльев различают складки (рис. 9.7, II):

прямые или симметричные (рис. 9.7, II, а), крылья которых падают в разные стороны под равными углами; осевая плоскость занимает вертикальное и симметричное положение по отношению к плоскостям крыльев;

косые наклонные или асимметричные (рис. 9.7, II, б), крылья которых падают в разные стороны и имеют разные углы наклона;

опрокинутые (рис. 9.7, II, в), у которых крылья и осевая плоскость падают в одну сторону. Они являются дальнейшим развитием косых складок в результате усиления влияния тангенциального давления;

лежачие (рис. 9.7, II, г), характеризующиеся почти горизонтальным положением осевой плоскости.

перевернутые (рис. 9.7, II, д), у которых осевые плоскости падают в сторону движения стресса. Лежачие и перевернутые складки образуются как производные крупных дизъюнктивных перемещений шарьяжного типа.

III. По величине угла V (рис. 9.7, III):

нормальные (рис. 9.7, III, а), у которых угол V больше 0° и меньше 180° , ядро и шарнир расположены по разные стороны относительно замка складки;

изоклинальные (рис. 9.7, III, б), у которых угол V равен нулю, крылья складки параллельны между собой;

веерообразные (рис. 9.7, III, в), у которых угол V больше 180° , ядро и шарнир расположены по одну сторону относительно замка складки.

IV. По углу наклона оси (шарнира) к горизонту (рис. 9.7, IV): горизонтальные (рис. 9.7, IV, а), наклонные (рис. 9.7, IV, б), вертикальные (рис. 9.7, IV, в) и комбинированные (рис. 9.7, IV, г).

V. По форме поверхности замка (рис. 9.7, V): цилиндрические (рис. 9.7, V, а), конические (рис. 9.7, V, б), шарнирные (рис. 9.7, V, в), куполообразные (чашеобразные) (рис. 9.7, V, г) и сложные (рис. 9.7, V, д). Отнесение поверхностей замков складок к цилиндрическим или коническим основано на свойствах этих поверхностей.

У цилиндрической поверхности все образующие этой поверхности параллельны между собой. Цилиндрическая поверхность в пространстве вполне определяется элементами образующей и направляющей. При этом за направляющую может быть принята кривая линия поверхности по поперечному разрезу складки. Применительно к поверхности тел залегания поверхность замка складки может быть отнесена к цилиндрической, если образующая параллельна шарниру складки. За образующие принимают линии пересечения касательных плоскостей к поверхности складки.

Если образующие поверхности замка складки пересекаются в одной точке O (или вблизи ее) с общей для всех этих линий отметкой, то это служит признаком замка складки, имеющего коническую поверхность.

Поверхность замка складки уподобляют геометрически правильной поверхности и принимают за цилиндрическую или коническую лишь для небольших участков и при недостаточном числе данных, которые характеризовали бы действительную форму поверхности.

В некоторых случаях за коническую или цилиндрическую может быть принята поверхность некоторой средней, характерной для замка фигуры. У шарнирной складки поверхность замка превращается в линию и совпадает с шарниром складки.

Куполо- и чашеобразные складки имеют изометричные очертания и округлую, округло-эллиптическую форму, длина и ширина которых одинакова. Сложные складки — складки осложненные второстепенными изгибами.

§ 4. Определение геометрических параметров и элементов складки

Геометрические элементы и параметры складки определяют *непосредственным* и *косвенным* методами.

Если горные выработки вскрывают складку полностью, то ее элементы могут быть определены по данным непосредственных измерений.

Разведочными и горными выработками вскрываются обычно отдельные части складки. В этом случае ее элементы и параметры определяются с помощью горно-геометрических построений по результатам геометризации — гипсометрическим планам поверхностей отдельных слоев (пластов), разрезам, блок-диаграммам и пр.

Исходными данными для определения геометрических элементов складки являются элементы залегания ее крыльев.

Пусть на некотором участке крылья косой антиклинальной складки представлены плоскостями, простирание и падение которых в точке $A(x_1, y_1, z_1)$, α_1, δ_1 и в точке $B(x_2, y_2, z_2)$, α_2, δ_2 (рис. 9.8).

Для определения элементов залегания шарнира через точки пересечения горизонталей крыльев с одинаковыми отметками

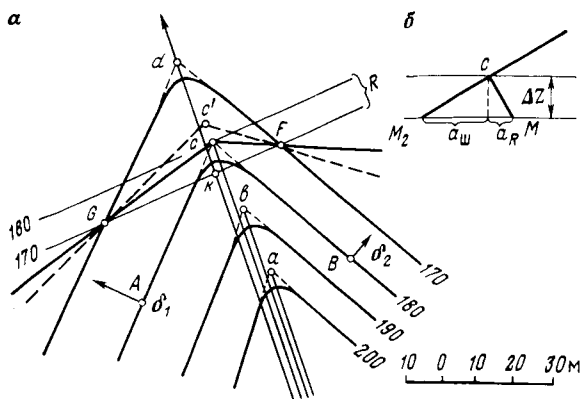


РИС. 9.8. К определению геометрических элементов складки

проводят на плане проекцию шарнира ad складки. По отметкам определяют и отмечают стрелкой направление погружения шарнира. Дирекционный угол шарнира определяют по плану транспортиром. Угол наклона шарнира определяют аналитически по формуле

$$\operatorname{ctg} \delta = a / \Delta z, \quad (9.1)$$

где a — заложение отрезка шарнира в масштабе плана; Δz — разность отметок концов этого отрезка; или графически транспортиром по профилю шарнира (рис. 9.8, б).

Двугранный угол складки V лежит в плоскости R , перпендикулярной к шарниру. Для его определения через точку c с отметкой 180 м, перпендикулярно к проекции шарнира проводят горизонталь плоскости R и вторую горизонталь этой плоскости с отметкой 170 м на расстоянии a_R от первой. Это расстояние, равное заложению плоскости R , может быть определено аналитически из соотношения

$$a_R = (\Delta z)^2 / a_{\text{ш}} \quad (9.2)$$

или графически — отрезок cM (см. рис. 9.8, б).

Проекцию угла V образуют прямые, соединяющие точку c с точками G и F — точками пересечения одноименных горизонталей плоскости R с плоскостями крыльев складки.

По проекции угла V находят его истинную величину вращением плоскости R вокруг ее горизонтали 170 м до совмещения с горизонтальной плоскостью проекции. Вершина угла — точка c — переместится при этом в точку c' на расстояние cM_2 от оси вращения. Соединяя точку c' с точками G и F , получают угол $Gc'F$, равный истинной величине угла складки V . *Осевая плоскость складки* проходит через шарнир и биссектрису угла складки.

Для построения этой плоскости на плане проводят биссектрису $c'K$ угла V . Так как точка K биссектрисы имеет одинаковую отметку 170 с точкой d шарнира, то прямая, соединяющая эти точки, есть проекция горизонтали осевой плоскости. Следующие горизонталь осевой плоскости, параллельные первой, проводят через ступенчатые точки c , b , a и т. д. шарнира. Отметив направление горизонталей осевой плоскости, с помощью транспорта определяют дирекционный угол ее линии простирания, а по заложению горизонталей — угол наклона осевой плоскости к горизонту.

Ось складки для каждого горизонта представляется на плане соответствующей горизонталью осевой плоскости. По средним значениям простирания и падения крыльев элементы складки более просто и с достаточной степенью точности определяют с помощью меридиональной стереографической сетки.

§ 5. Изображение складок

Наиболее распространенными методами изображения складчатых форм залегания полезных ископаемых являются: геологические карты или планы; геологические разрезы; гипсометрические или структурные планы; блок-диаграммы.

Геологические карты, вертикальные и горизонтальные разрезы и гипсометрические планы во многих случаях составляют одновременно и взаимно корректируются.

Геологическая карта (план) месторождения — карта выходов коренных пород и полезных ископаемых на земную поверхность или под рыхлые наносы. Геологическую карту составляют на топографической основе по данным инструментальной съемки обнажений и их обобщений.

Детальность изображения геологического строения района месторождения зависит от масштаба карты, сложности геологического строения месторождения и рельефа местности. Более подробны и точны карты крупного масштаба. При разработке угольных месторождений пользуются геологическими картами в масштабах 1:5000 — 1:25000, а при разработке рудных месторождений более крупным — в масштабах 1:1000 — 1:10000.

О геологической структуре местности, изображенной на геологической карте, судят по очертаниям выходов пород (поверхности напластования) и их взаимному расположению.

Очертания выходов и их взаимное расположение на земной поверхности зависят от рельефа местности и формы или структуры залегания горных пород. Поэтому при чтении геологической карты необходимо учитывать масштаб карты и рельеф местности, иначе можно вынести ложное представление о строении участка.

На рис. 9.9 представлен план участка выходов пород на поверхность. По характеру обнажений строение участка представляется в виде антиклинальной наклонной складки (в ядре

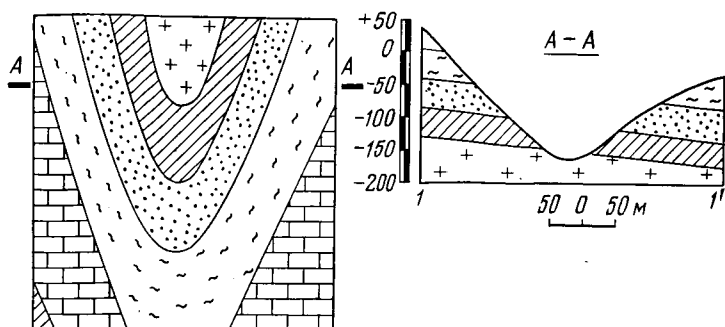


РИС. 9.9. Геологический план

складки более древние породы). На самом же деле в пределах участка пласты залегают почти горизонтально и обнажены на двух склонах долины (разрез внизу).

Если на карте линия выхода пласта проходит параллельно горизонтали рельефа или совпадает с ней, то залегание пласта, очевидно, близко к горизонтальному, так как горизонталь — есть проекция линии пересечения горизонтальной плоскости с рельефом.

Мощность пласта в этом случае определяется по профилю, который строят по линии наибольшего ската рельефа. На профиль переносят с карты точки кровли и почвы пласта (слоя). Вертикальное расстояние между этими точками в масштабе чертежа равно нормальной мощности пласта, залегающего горизонтально.

Если линия выхода пласта изображена на карте кривой, пересекающей горизонтали рельефа, то поверхность напластования слоя или пласта в пространстве может быть представлена или вертикальной поверхностью, с переменным простиранием, или в виде наклонной плоскости или поверхности. По мере получения новых данных геологические карты корректируются.

Геологические карты не всегда дают ясное и наглядное представление о структуре залегания горных пород и полезных ископаемых на глубину. Поэтому их обычно дополняют *геологическими разрезами*. По мере детализации разведки и изучения месторождения геологические разрезы также детализируются, уточняются. Они используются для построения гипсометрических планов, подсчета запасов, при проектировании горных работ и эксплуатации месторождения в целом или отдельных его частей. Поэтому разрезы должны максимально точно отражать действительную структуру массива горных пород в плоскости разреза.

Точность геологических разрезов зависит не только от сложности строения и тектоники месторождения, но и от способа

разведки, расположения разведочных выработок и параметров разведочной сети, а также от степени и характера искривлений разведочных скважин, точности каротажа, инклинометрических съемок и степени уклонения искривленных скважин от плоскости разреза.

Геологические разрезы строят: вертикальные вкрест простиранию складок; вертикальные по косому относительно простирания направлению; вертикальные по простиранию складок и горизонтальные.

Вертикальные разрезы вкрест простиранию складки или ее крыла строят по линии разведочных скважин, задаваемой обычно вкрест простирания складки. Разрезы выполняют в масштабах геологической карты или планов горных работ. Для отображения деталей структур горных пород на разрезах последние строят в более крупном масштабе.

На рис. 9.10 представлен вертикальный разрез вкрест простирания крыльев складки. Разрез выполнен по данным разведочных скважин и горной выработки.

Построение разреза на листе бумаги начинают с построения высотной сетки и профиля рельефа по данному сечению. Затем наносят выходы пород согласно геологической карте, устью и проекции осей разведочных выработок — шурфов скважин и осей горных выработок в плоскости общего разреза. По осям выработок изображают горные породы.

Положение контактов горных пород на разрезе определяют по расстоянию их от устья скважин или вычисленной высотной отметке.

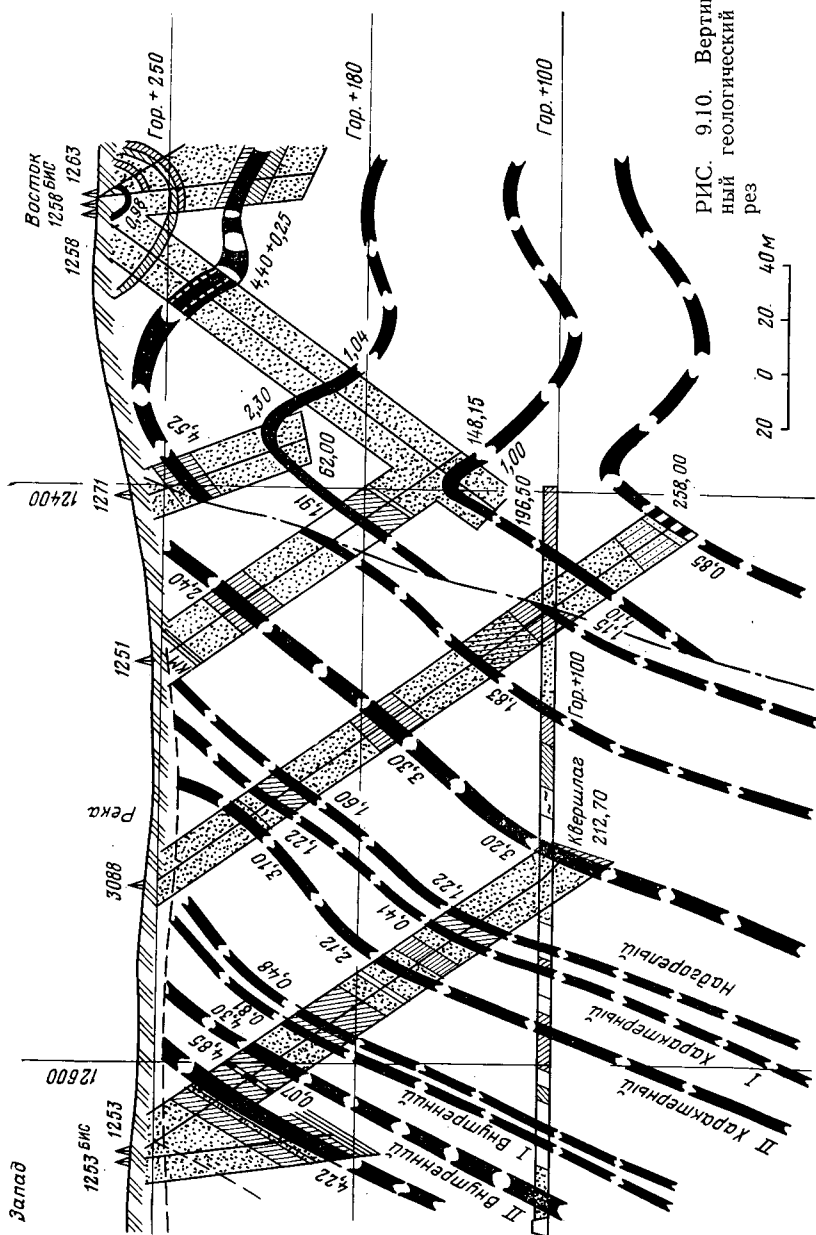
Мощности пластов пород или литологических толщ откладывают последовательно вдоль осей скважин такими, какими они были определены по керну или каротажу. Данные для построения выбирают из полевых журналов документации разведочных выработок. После этого между выработками производят увязку пород вначале по характерным слоям — маркирующим горизонтам, а затем проводят линии контактов, принадлежащие каждому слою.

Изображение пород на разрезе оформляют в красках или условных знаках по стандарту.

Если обнажения пород на поверхности отсутствуют, то породы на разрезе экстраполируют (распространяют) до земной поверхности или под наносят с теми данными мощностей и углов падения, которые получены на разрезе. Аналогично ведут экстраполяцию горных пород на разрезе на нижние горизонты.

По вертикальным разрезам вкрест простирания измеряют нормальную, горизонтальную и вертикальную мощности горных пород и углы их падения.

При построении вертикальных разрезов по разведочным скважинам, искривленным и отклонившимся от плоскости разреза, на проекциях осей таких скважин в плоскости разреза



откладывают значения мощности пластов, вычисляемые по формуле:

$$m' = m \sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \gamma}, \quad (9.3)$$

где m' — проекция мощности пласта на плоскость разреза, м; m — мощность пласта по скважине, м; θ — зенитный угол оси скважины на данном участке, градус; γ — горизонтальный угол отклонения оси скважины от плоскости разреза, градус.

Пересчет мощностей производят на тех участках оси скважины, в которых $\theta > 15^\circ$ и $\gamma > 15^\circ$.

На вертикальном разрезе по косому направлению к линии простирания пластов по осям скважин, находящимся в створе разреза, контакты и мощности горных пород изображают по данным бурения, каротажа и инклинометрической съемки скважин. После геометрической увязки стратиграфически однородных слоев, пластов и залежей, с учетом углов падения пород и их тектонической нарушенности, получают вертикальный разрез толщи пород. При этом вначале производят построение маркирующих геологических горизонтов, по которым имеется наибольшее количество фактического материала.

На разрезах по косому направлению контакты пластов изображаются под углами видимого падения δ' более пологими, чем углы их истинного падения δ на разрезе вкрест простирания. Между этими углами и острым углом γ , который линия данного разреза на плане составляет с линией наибольшего падения пластов, имеется соотношение

$$\operatorname{tg} \delta' = \operatorname{tg} \delta \cos \gamma. \quad (9.4)$$

Пользуясь этой формулой, определяют угол падения пласта на вертикальном разрезе по направлению, составляющему с линией истинного падения угол γ (рис. 9.11).

В ряде случаев требуется, наоборот, по измеренному углу видимого падения пласта δ' определить его истинный угол падения δ . При $\gamma \leq 15^\circ$ практически принимают $\delta' = \delta$.

Нормальная мощность m'_n пластов на таком разрезе

$$m'_n = m_n \cos \delta' / \cos \delta, \quad (9.5)$$

где m_n — истинная мощность пласта, м; δ' — угол видимого падения пласта, градус; δ — истинный угол падения пласта, градус.

Следовательно, на разрезе по косому направлению падение пластов изображается более пологим, горизонтальные и истинные мощности увеличенными по сравнению с изображением их на разрезах вкрест простирания и только вертикальная мощность пласта на косом разрезе и разрезе вкрест простирания остается неизменной. В тех случаях, когда скважины ис-

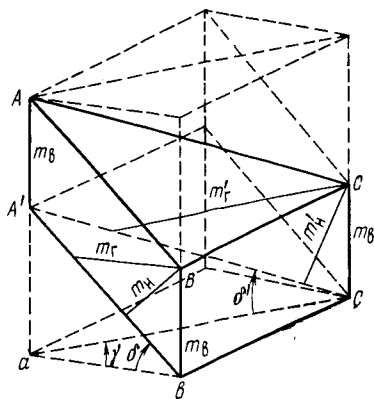


РИС. 9.11. Вертикальные разрезы наклонного пласта:

AB — по линии падения; AC — по косому к простиранию направлению; BC — по простиранию

чек, в которых скважины встретили пласт, на плоскость вертикального разреза производят по направлению изогипс. Проекцию мощности пласта по скважине на плоскость разреза по косому направлению определяют по формуле

$$m'' = m_{\text{скв}} \sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta \cos^2 \gamma (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma'')}, \quad (9.6)$$

где m'' — нормальная мощность пласта на плоскости разреза; $m_{\text{скв}}$ — мощность пласта по скважине, м; θ — зенитный угол скважины, градус; γ — горизонтальный угол уклонения скважины от плоскости разреза, градус; γ'' — горизонтальный угол, который плоскость разреза образует с линией истинного падения пласта, градус.

Вертикальные разрезы по оси складки или параллельно ей делают для выяснения угла ее погружения и изменения пород по их простиранию.

Изображение складок с помощью геологических карт и разрезов применяют в основном для изображения складок первого и второго и реже — третьего порядка, при значительных размерах залежи или шахтного поля. Складки третьего и четвертого порядка, особо влияющие на условия разработки залежи, изображают на погоризонтных геологических планах — горизонтальных разрезах.

Геологические планы обычно строят на уровне горных выработок данного горизонта. В зависимости от сложности геологического строения месторождения их составляют в масштабах 1 : 500—1 : 2000. При весьма сложном строении залежи и интенсивной нагруженности участка геологические планы строят в масштабе 1 : 200.

искривлены и отклонились от плоскости разреза на величину $\gamma > 15^\circ$ или расположены не в створе разведочного профиля, построение вертикального разреза производят совместно с построением гипсометрического плана поверхности кровли или почвы одного или нескольких характерных пластов, имеющих наибольшее число разведочных данных. Изогипсы поверхностей строят путем интерполяции между высотными отметками точек, в которых пласт встречен разведочными скважинами по разведочным линиям.

При построении изогипс учитывают выявленные разрывные нарушения. Проектирование то-

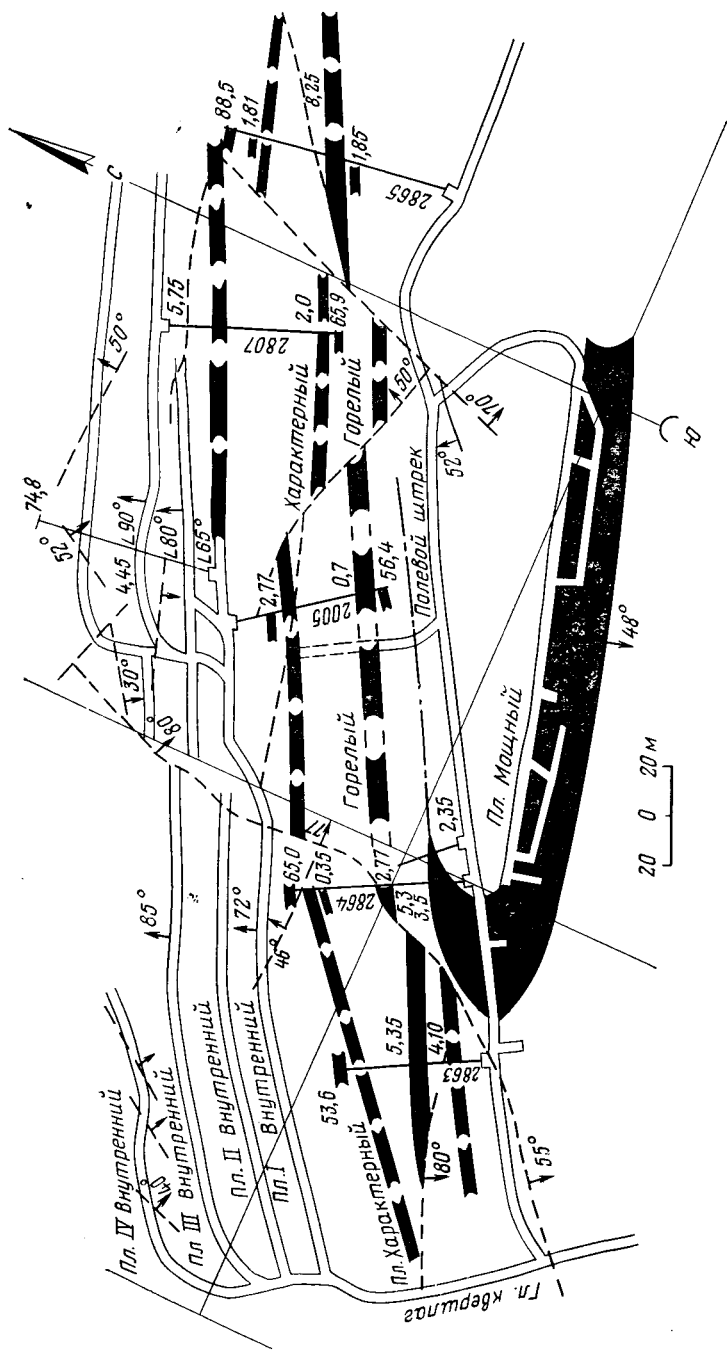
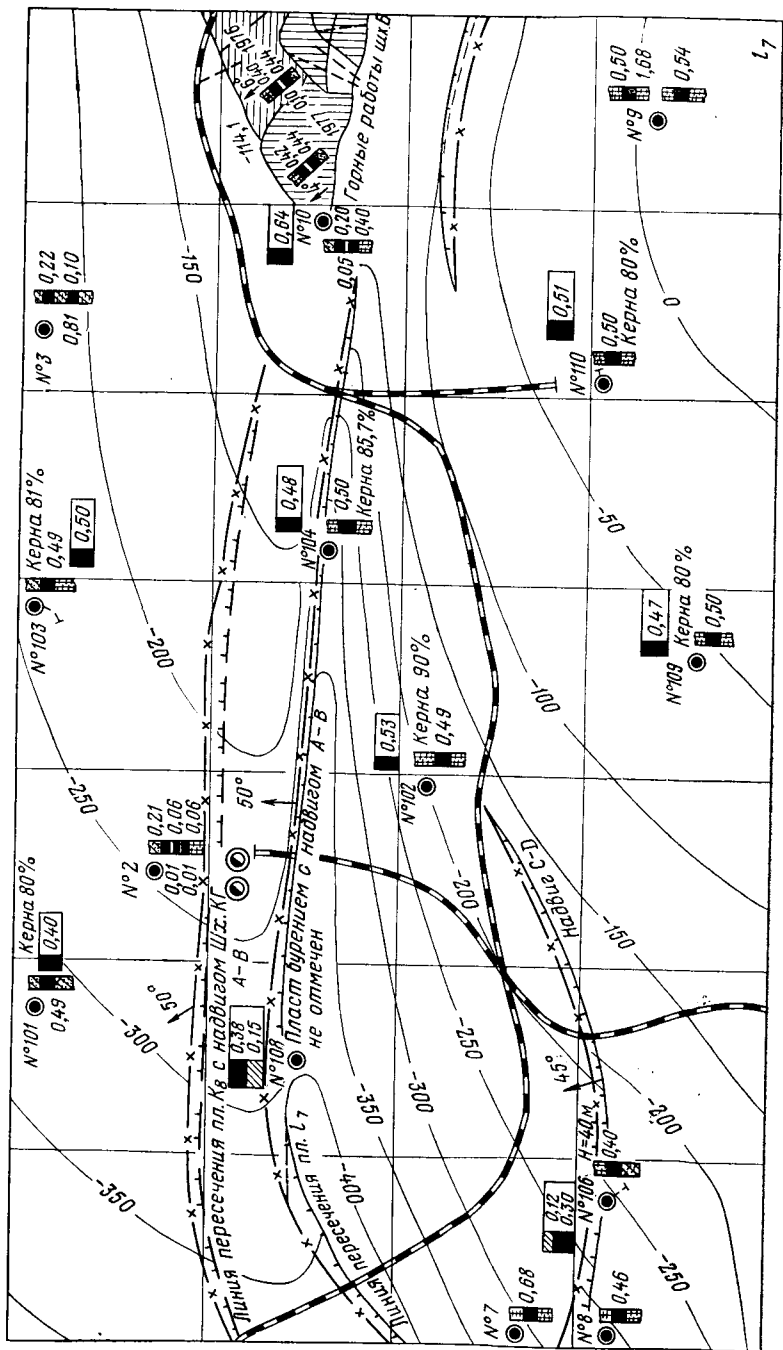


РИС. 9.12. Геологический план горизонта горных работ



На рис. 9.12 показан геологический план — горизонтальный разрез, совмещенный с планом горных выработок на горизонте 250 м. Этот разрез выражает сложную тектонику разрабатываемого участка на данном горизонте. Сплошными толстыми линиями показаны горизонтальные скважины, проведенные из горных выработок для уточнения местоположения угольных пластов. Для изображения участков со сложными формами геологических структур по горизонтальным разрезам нескольких горизонтов строят разрезы в вертикальных плоскостях по требованию направлению.

Гипсометрические планы являются основными структурными графиками, которыми характеризуются в изогипсах поверхность кровли или почвы залежей складчатых форм залегания. На гипсометрическом плане отображают изменения элементов залегания пласта, выражаемые в изменениях углов простираения и падения пласта, наличие перегибов, флексур, разрывов, что видно по изменению направлений горизонталей и их заложения; показывают контуры выработанных участков, а также участков с рабочей и нерабочей мощностью и категорий запасов, показывают структуру пласта с указанием нормальной мощности полезного ископаемого и породных прослоев в местах их замера; отмечают техническую границу шахтного поля, составляют проекты вскрытия и отработки пластовой залежи.

На рис. 9.13 показан гипсометрический план почвы пласта складчатой структуры. Гипсометрические планы строят, используя все имеющиеся материалы, полученные как в процессе разведки, так и при эксплуатации месторождения. По мере получения новых данных гипсометрические планы уточняются.

В зависимости от наличия исходных данных гипсометрические планы строят различными способами.

При отработке разведочного бурения построение гипсометрических планов сопровождается построением вертикальных геологических разрезов, на которых отражается последовательность напластования и характер вмещающих пород.

В процессе разведки и разработки пластов полезного ископаемого, входящих в свиту, нередко одни пласты оказываются достаточно изученными и разведанными, другие же недостаточно разведанными. В таких случаях по плану поверхности почвы разведанного пласта в изогипсах при известном расстоянии между пластами можно построить план поверхности другого соседнего малоразведанного пласта. При построении пользуются различными способами в зависимости от изменения мощности пород между пластами и углов падения.

Если нормальная мощность пород между пластами постоянная, то изогипсы малоразведанного пласта на плане, повторяя конфигурацию детально разведанного, строят смещенными на величину, равную горизонтальной мощности пород

РИС. 9.13. Гипсометрический план угольного пласта

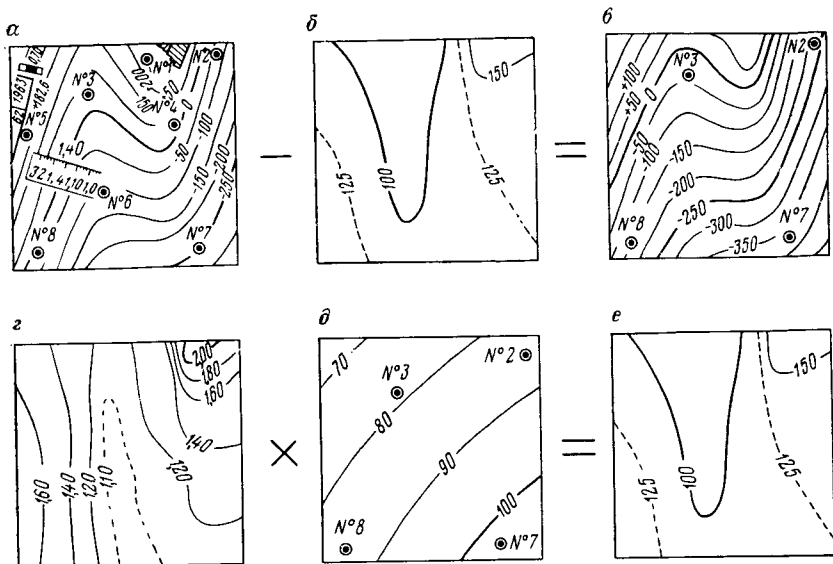


РИС. 9.14. Построение гипсометрического плана малоразведанного пласта k : a — детально разведанная поверхность верхнего пласта l ; $б$ — изолинии вертикальной мощности пород между пластами; $в$ — искомая поверхность пласта k ; $г$ — изосекансы поверхности пласта l ; $д$ — изолинии нормальной мощности пород между пластами; $е$ — изолинии вертикальной мощности пород между пластами l и k

между пластами. Построения производят с помощью вертикальных разрезов или непосредственно по плану. В последнем случае на плане от изогипс разведанного пласта в сторону малоразведанного намечают перпендикуляры длиной m_r , равной горизонтальной мощности пород между пластами,

$$m_r = m_n \sin \delta, \quad (9.10)$$

где m_n — нормальная мощность пород между пластами; δ — угол падения пластов.

Если свита складчатой формы залегания и углы падения изменяются, то для любой точки малоразведанного пласта справедливо выражение

$$Z_k = Z_L - m_n \sec \delta, \quad (9.11)$$

где Z_L — высотная отметка пласта L детально разведанного; m_n — нормальная мощность междупластья; δ — угол падения пластов на данном участке.

Переходя к поверхностям, получим

$$f_k(x, y) = f_L(x, y) - f_{m_n}(x, y) f_{\sec \delta}(L). \quad (9.12)$$

На рис. 9.14 показан не требующий пояснения конкретный пример получения плана в изолиниях малоразведанного пласта k .

Для ряда осадочных месторождений мощность отложений и отдельных пачек свит является величиной переменной. В таких случаях построение гипсометрии поверхности нижнего пласта K производят косвенным способом — путем вычитания из поверхности верхнего пласта L изолинии вертикальной мощности свиты между данными пластами.

План изолиний вертикальных мощностей m_v иногда называют картой схождения. Из закона соподчинения, по которому изменение нормальной мощности свиты осадочных пород происходит в общем случае более равномерно, чем изменение осложненных складчатостью поверхностей напластования, вытекает, что по малой информации характер изменения мощности междупластья вскрывается более точно, чем поверхность пласта. Следовательно, при использовании закона соподчинения и математических действий с поверхностями искомая поверхность точнее выявляется косвенным способом, чем непосредственно по скважинам.

Изображение складок в виде блок-диаграмм применяют главным образом для наглядного, объемного представления о структуре месторождения. Блок-диаграммы строят в аксонометрической, аффинной, перспективной и векторной проекциях блоков части или целого участка месторождения с изображением на ней структуры участка месторождения.

Исходными графиками для построения блок-диаграммы служат взаимно перпендикулярные геологические разрезы, карты и планы.

ГЛАВА 10

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУР (ДИЗЬЮНКТИВОВ)

§ 1. Общие сведения о дизъюнктивах

В результате тектонических движений в земной коре возникают напряжения, которые при превышении предела прочности пород приводили к нарушению сплошности и образованию в них разрывов. Разрывы сплошности пород проявляются вначале в виде трещин скола или отрыва. При дальнейшем действии сил трещины, на концах которых обычно концентрируются напряжения, объединялись и перерастали в разрывные нарушения (смещения).

Таким образом, под разрывным нарушением, дизъюнктивной дислокацией или смещением понимают результат тектонических напряжений, при котором горные породы разорваны по некоторой поверхности Q на блоки P_d и P_v и смещены относительно друг друга (рис. 10.1). Поверхность разрыва и последующего перемещения блоков называется *сместителем*, а разъединенные

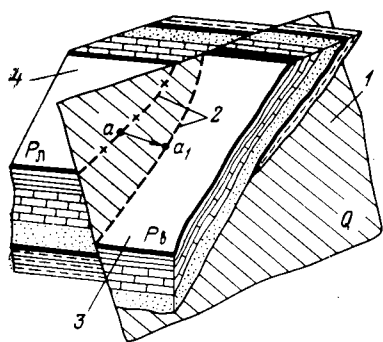


РИС. 10.1. Элементы разрывного нарушения:

1 — сместитель; 2 — линия скрещения;
3 — висячее крыло; 4 — лежащее крыло

блоки — лежащим $P_{\text{л}}$ и висячим $P_{\text{в}}$ крыльями разрывного нарушения. Расстояние a , a_1 между двумя бывшими ранее смежными точками, измеренное в плоскости разрыва, называется *полной амплитудой перемещения*.

С генетической точки зрения различают разрывы, образовавшиеся в условиях растяжения, и разрывы, образовавшиеся в условиях общего (генерального) сжатия земной коры. В связи с этим различают две основные группы смещений: раздвиги и разрывы со скольжением.

У раздвигов перемещение происходило от сместителя, у разрывов со скольжением — параллельно сместителю.

На угольных и многих осадочных месторождениях, как правило, развиты разрывные нарушения второй группы.

Разрывные нарушения возникают в условиях тектонического поля напряжений в земной коре. Величина и ориентировка разрывов зависит от характера первоначального поля напряжений, анизотропии физико-механических свойств массива горных пород, направления и интенсивности действия внешних сил, создающих последующее напряженное состояние. Появление разрыва в свою очередь изменяет существовавшее естественное поле напряжений, происходит перераспределение величины напряжений на участках вблизи и между разрывами. На фоне общего поля напряжений создаются частные поля, приуроченные к зонам образовавшихся разрывов с наибольшими напряжениями на концах разрывов.

Напряженное состояние массива в каждой точке, как известно, характеризуется тремя главными нормальными напряжениями, действующими в трех взаимно перпендикулярных сечениях. Ориентировкой осей главных нормальных напряжений при прочих равных условиях определяется положение трещин (сместителей) в пространстве данной зоны.

Однако исторически неоднократные и нередко различные по направлению тектонические усилия на фоне ранее образовавшихся частных тектонических полей создает сложные условия, приводящие к образованию разных по ориентировке, углу падения, размерам и частоте разрывов. Последующие воздействия тектонических сил с иной ориентировкой приводили к образованию в одних случаях новых разрывов, в других — к разрешению напряжений по ослабленным зонам, путем перемещения крыльев по ранее образовавшимся разрывам и по направлению, нередко отличному от первоначального.

При перемещении крыльев мелкие разрывы постепенно увеличивались, сливаясь друг с другом, образуя единое более крупное нарушение. Часть же разрывов, положивших начало новому (крупному), консервировалась и сохранялась в лежащем или висячем боку нового разрыва, являясь его уменьшенным отражением.

В процессе развития крупных разрывов в боках его действовали огромные скалывающие напряжения, приводившие к частичному разрушению участков толщи пород, прилегающей к сместителю. Так появлялись апофизы, непосредственно связанные с основным нарушением, в определенной мере повторяющие его форму.

Сместитель в момент его возникновения в общем случае являлся изломанной трещиной. По мере роста движения крыльев сместитель выравнивался, приближаясь к какому-то среднему положению в виде плоскости, изогнутой поверхности. Неровности и крупные выступы сглаживались, истирались, полировались до зеркального блеска.

Вместо беспорядочного расположения выступов появлялись пологие, вытянутые в направлении перемещения борозды с выступами и впадинами. Перемещение блоков при последующих подвижках вкрест образовавшимся выступам приводило к их дроблению, увеличению на отдельных участках мощности сместителя.

Сместитель представляется часто зоной раздробленных пород значительной мощности, иногда с нечетко выраженными границами. В зонах разрыва обнаруживается тектоническая брекчия крупнообломочная, мелкообломочная, а иногда перетертая до состояния пыли порода. На обломках пород разрывной зоны и на породах крыльев, примыкающих к зоне, наблюдаются следы скольжения: борозды, царапины, штрихи, заусенцы, выбоины и т. п.

Нередко сместитель является проводником течения различного рода вод, которые в одних случаях способствовали цементированию разнообразных кусков различных пород и образованию брекчий трения или образованию «глинки» из сильно перетертых пород.

В других случаях растворы минерализованных вод в зоне раздробления образовывали скопления минералов — жильные месторождения. И наконец, сместитель иногда представляется резервуаром, наполненным водой.

Таким образом, сместитель может быть представлен трещиной смещения, когда крылья плотно прилегают друг к другу, или зоной раздробленных, иногда сцементированных или оруденых пород различной мощности.

На жильных месторождениях различают разрывные нарушения *дорудные*, когда сам сместитель был объектом оруденения, и *пострудные*, когда образовавшаяся по сместителю залежь нарушена последующими тектоническими процессами.

На производство горных работ отрицательное влияние оказывают все разрывные нарушения. Однако степень их влияния неодинакова и зависит от многих факторов — амплитуды и формы нарушения, физико-механических свойств пород в зоне нарушения горнотехнических условий разработки и др. Весьма крупные, крупные и многие средние разрывы выявляются детальной разведкой и учитываются заранее при проектировании горных работ. К крупным разрывам обычно приурочивают естественные границы шахтных полей, отдельных участков.

Особое место среди разрывных нарушений занимают средние и мелкоамплитудные нарушения, так как они многочисленны и вскрываются горными выработками обычно неожиданно. Это приводит к нарушению установившегося режима горных работ, остановке лавы и ухудшению безопасности труда. На угольных месторождениях геосинклинального типа детальной разведкой выявляются 10—30 % малоамплитудных разрывов. Остальные 70—90 % вскрываются горно-подготовительными и очистными выработками. К местам малоамплитудных разрывов или участкам затухания более крупных разрывов приурочены выбросы угля и газа, суфлярные выделения, внезапные обрушения кровли выработок. Разрывные нарушения затрудняют ведение очистных работ, ограничивают размеры выемочных участков, осложняют применение высокопроизводительных проходческих горных машин и очистных комплексов, оказывают влияние на полноту выемки угля из-за оставления целиков угля у нарушений, приводят к бросовым работам. Вблизи разрывов понижена прочность горных пород, что осложняет проходку и поддержание горных выработок.

Разрывные нарушения оказывают влияние на распределение горного давления, особенно на участках очистных забоев, изменяют характер сдвижения горных пород при подземной разработке, ухудшают устойчивость бортов карьеров, особенно при разности простираций сместителя и борта карьера меньше 45° и углом падения сместителя в сторону карьера меньше принятого угла наклона борта карьера.

Геометрическое изучение разрывных нарушений на стадии разведки и эксплуатации месторождений позволяет установить ряд закономерностей в изменении формы, размеров и размещения их в пределах шахтного (рудного) поля. С учетом геометрии общей структуры месторождения, физико-механических свойств массива горных пород удастся восстанавливать тектонические поля напряжений и направления действовавших сил, породивших наблюдаемые структуры, т. е. определять истинный вектор направления перемещения, соединяющий две соответственные точки, соприкасающиеся друг с другом до момента разрыва, генезис их образования. Все это имеет прямое отношение к планированию наиболее эффективного развития геологоразведочных и горных работ.

§ 2. Признаки и методы выявления разрывных нарушений

Основным признаком разрывного нарушения является наличие трещины смещения и стратиграфическое несоответствие горных пород по обе стороны сместителя.

Разрывные нарушения выявляют при геологическом картировании, геофизических методах разведки и при разработке месторождений непосредственным, геометрическим и геофизическим методами. *Непосредственным методом* разрывные нарушения выявляют при геологическом картировании или при построении на карте выходов маркирующих пластов. Трещины смещения иногда отчетливо прослеживаются на земной поверхности, особенно в крутых скалистых обнажениях, оврагах, выемках, бортах карьеров и т. п. В тех случаях, когда трещины смещения закрыты наносами и непосредственно на поверхность не выходят, их выявляют при прослеживании и увязке на топографической карте выходов маркирующих горизонтов и пластов.

Геологической съемкой и космосъемкой выявляют обычно крупные нарушения — разломы земной коры. Они дают лишь общее представление о нарушениях и их положении в пространстве недр.

Более подробные сведения о разрывных нарушениях получают геолого-геометрическими методами путем увязки данных разведочного бурения при построении геологических разрезов по разведочным линиям и гипсометрических планов поверхности почвы (кровли) залежей.

При разведочном бурении признаками разрывного нарушения являются (рис. 10.2): встреча скважиной сместителя I—I — слоя горных пород, не характерного для данной свиты; стратиграфическая непоследовательность пород, обнаруживаемая по керну при бурении; резкое изменение углов падения маркирующих пластов при построении геологических разрезов по сравнению с измеренным падением пластов по кернам скважин; значительное уменьшение мощности пород между маркирующими слоями или отсутствие определенного слоя пород по скважине.

Несоответствие линии выхода пласта и изогипс пласта при их построении на плане путем интерполяции между разведанными участками также может быть признаком разрывного нарушения.

Геофизические методы основываются на различии физических свойств горных пород. Информацию о состоянии горного массива получают из наблюдений аномалий естественных физических полей или возбуждаемых искусственно. Геофизические методы широко используются при поисках и разведке полезных ископаемых, каротаже буровых разведочных скважин. В настоящее время все большее внимание уделяют разработке геофизических методов и аппаратуры для эксплуатационной разведки с использованием методов электро- и магниторазведки, грави-

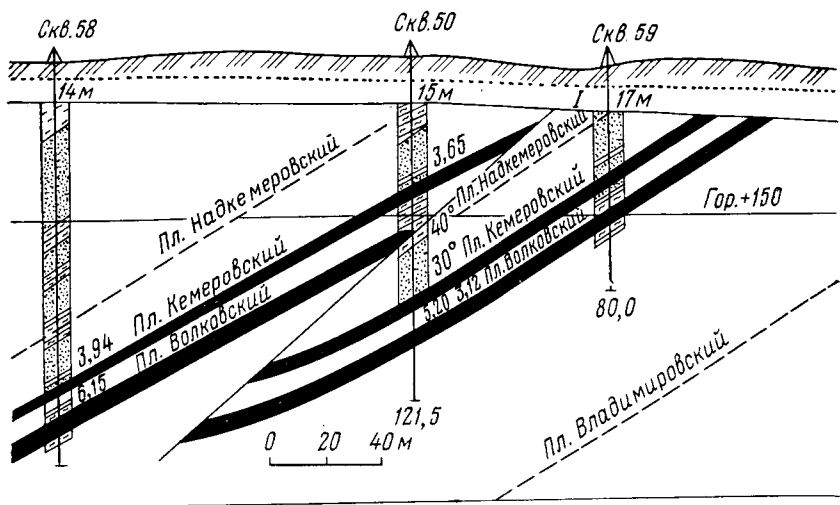


РИС. 10.2. Вертикальный разрез дизъюнктива по линии разведочных скважин

тационные, радиационные, ультразвуковые, сейсмические, радиолокационные и др. Каждый из названных методов успешно решает определенный круг задач, имеет свои достоинства и недостатки, поэтому полную и достоверную информацию о разведываемых показателях месторождений получают при комплексном использовании различных методов. При эксплуатационной разведке применяют методы *просвечивания*, когда излучатель и приемная станция находятся по разные стороны исследуемого массива, и *локационный*, в основе которого лежит явление отражения волн с последующим их приемом в условиях одностороннего подхода к объекту исследования.

§ 3. Геометрические элементы и параметры разрывных нарушений

Геометрическими параметрами разрывного нарушения называются угловые и линейные величины, характеризующие форму, взаимное расположение элементов, размеры и положение разрывной структуры в недрах.

У разрывных нарушений с наклонным и горизонтальным сместителем различают *висячее* и *лежащее* крылья. Блок пород, прилегающий к сместителю со стороны его висячего бока, т. е. находящийся над сместителем, называют *висячим крылом*, а прилегающий к сместителю со стороны его лежащего бока, т. е. находящийся под сместителем, — *лежащим крылом разрыва* (см. рис. 10.1).

У разрывов с вертикальным сместителем относительно поднятое крыло называют *висячим*, а относительно опущенное — *лежащим*.

Геометрически разрывное нарушение представляется комплексом трех пар взаимно пересекающихся поверхностей, относящихся к поверхностям залежи (слоя) на крыльях разрыва и сместителя. Линии пересечения крыльев со сместителем называют *линиями скрещения*.

Форма и характер разрывных нарушений складываются из наблюдений в точках встречи нарушений разведочными и горными выработками. Нарушение на участке, в пределах которого поверхности сместителя и крыльев принимаются за плоскости, будем называть *единичным*. Полную геометрическую характеристику дизъюнктива в целом получают путем увязки угловых и линейных величин, измеренных для единичных разрывов. К угловым параметрам относятся: простирание и падение крыльев и сместителя; соотношение между направлениями падения пласта и сместителя; направление относительного перемещения крыльев; двугранный угол между плоскостью пласта и сместителя; угол между линией скрещения и линией простирания пласта.

Угол падения сместителя оказывает влияние на технологию перехода нарушения и величину эксплуатационных потерь угля. При пологопадающих сместителе и пласте даже при небольшой амплитуде сброса требуется проведение квершлага или уклона большой длины. По углу падения сместителя разрывные нарушения разделяют на горизонтальные ($0-15^\circ$), пологие ($15-45^\circ$) и крутые ($45-90^\circ$).

По направлению падения пласта и сместителя нарушения называют *согласнопадающими*, если падения направлены в одну сторону, в противном случае — *несогласнопадающими* (см. рис. 10.3). Несогласнопадающие разрывы сопровождаются более мощной зоной мелких трещин и ослабленных пород, чем согласные.

В зависимости от расположения всячего крыла относительно лежащего разрывные нарушения называют сбросами I, когда висячее крыло опущено, и взбросами II, когда висячее крыло приподнято относительно лежащего (рис. 10.3). Взбросы с углом падения сместителя до 25° называют *надвигами*. Направление относительного перемещения крыльев и угол падения сместителя, как правило, отражают характер существовавших напряжений в горном массиве.

Двугранный угол γ между сместителем и пластом влияет на зону нарушенных пород в крыльях, а также на величину зоны перекрытия (+) или зияния (—) крыльев по нормали и крыльям. При уменьшении угла встречи зона от сместителя по простиранию нарушенных пород увеличивается. В частности, при очень остром двугранном угле смещение становится близким к послойному, и площадь пласта, попадающая в зону нарушения, резко увеличивается.

По величине угла между линией простирания залежи (пласта) и линией скрещения различают смещения продольные

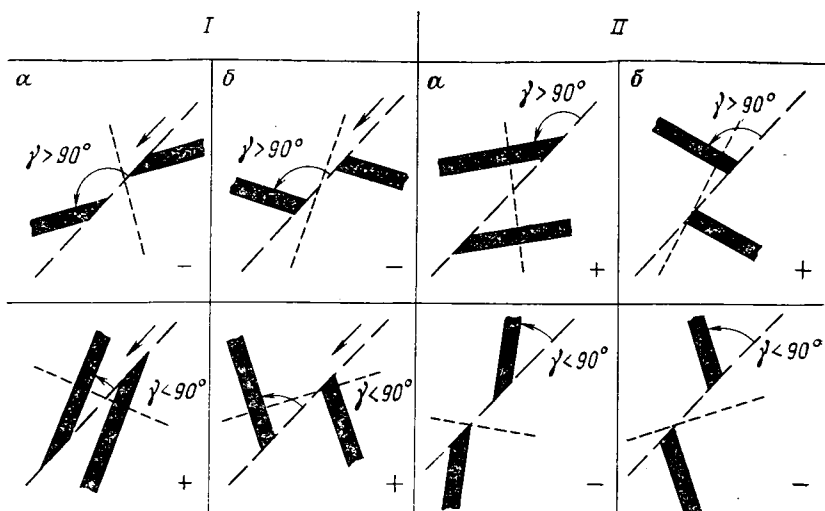


РИС. 10.3. Основные формы разрывов в разрезе *I* сбросы; *II* — взбросы: *а* — согласные; *б* — несогласные

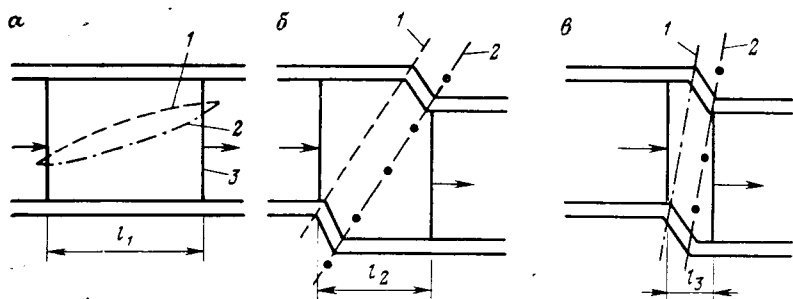


РИС. 10.4. Протяженность отрицательного влияния разрыва на работу очистного забоя при положении сместителя:

а — продольном; *б* — диагональном; *в* — поперечном: 1 — линия пересечения лежащего крыла со сместителем; 2 — линия пересечения висячего крыла со сместителем

(рис. 10.4, *а*) (угол 0—15°), диагональные (рис. 10.4, *б*) (15—75°) и поперечные (рис. 10.4, *в*) (90±15°) (рис. 10.4).

Величина этого угла в значительной мере влияет на рациональное расположение выемочных столбов, протяженность участка l_1 — l_3 , на котором осуществляется переход лавы через нарушение, т. е. эффективность очистных работ. Наиболее отрицательное влияние оказывают продольные разрывы, наименьшее отрицательное влияние (при прочих равных условиях) — поперечные разрывы.

Важным признаком формы разрыва является перекрытие (повторение) пласта в сечении, перпендикулярном к плоскости

пласта, или отсутствие перекрытия (зияние). Разрывы с перекрытием пласта увеличивают запасы полезного ископаемого на участке, с зиянием — уменьшают их.

Относительно земной поверхности сместители бывают открытыми, выходящими на земную поверхность или под наносы, и закрытыми, расположенными внутри толщи пород.

Таким образом, по форме и взаимному расположению геометрических элементов разрывные нарушения могут быть: продольными, диагональными или поперечными; пологими или крутыми, представленными трещиной или зоной; сбросами или взбросами; с перекрытием или зиянием; согласнопадающими или несогласными, а по положению относительно земной поверхности — открытыми или закрытыми.

На рис. 10.5 представлен план участка горных выработок по пласту k_8 с разрывным нарушением пласта.

Нарушение является диагональным, наклонным ($\delta_{\text{разрыва}} = 54^\circ$), взбросовым, согласнопадающим, с перекрытием крыльев. Сместитель, открытый, представлен зоной раздробленных пород мощностью 3 м.

Линейными параметрами, характеризующими величину дизъюнктива, являются амплитуда дизъюнктива, протяженность (длина) сместителя и зона влияния сместителя. Местоположение дизъюнктива определяется координатами точек (x, y, z), к которым относятся перечисленные выше геометрические параметры, определяемыми маркшейдерской съемкой.

Характер проявления сместителя — трещина или зона дробления — определяет условия проведения горных выработок. Относительно благоприятны условия, если сместитель представлен закрытой трещиной.

При наличии открытых трещин условия поддержания выработок ухудшаются. Наименее благоприятны условия проходки и крепления выработок, если сместитель представлен мощной зоной раздробленных пород.

Для единичного нарушения в зависимости от направления, по которому определяют расстояние между крыльями, различают следующие амплитуды (рис. 10.6):

стратиграфическую или нормальную (N — расстояние по нормали между крыльями залежи);

вертикальную (h — расстояние между крыльями или их продолжением по вертикали)

$$h = N / \cos \delta_p; \quad (10.1)$$

горизонтальную (l — кратчайшее горизонтальное расстояние между крыльями, измеряемое вкост простирания крыльев)

$$l = N / \sin \delta_p; \quad (10.2)$$

по простиранию сместителя (L — горизонтальное расстояние между смещенными крыльями, измеряемое в плоскости сместителя)

$$L = l / \sin \omega = N / (\sin \delta_p \sin \omega), \quad (10.3)$$

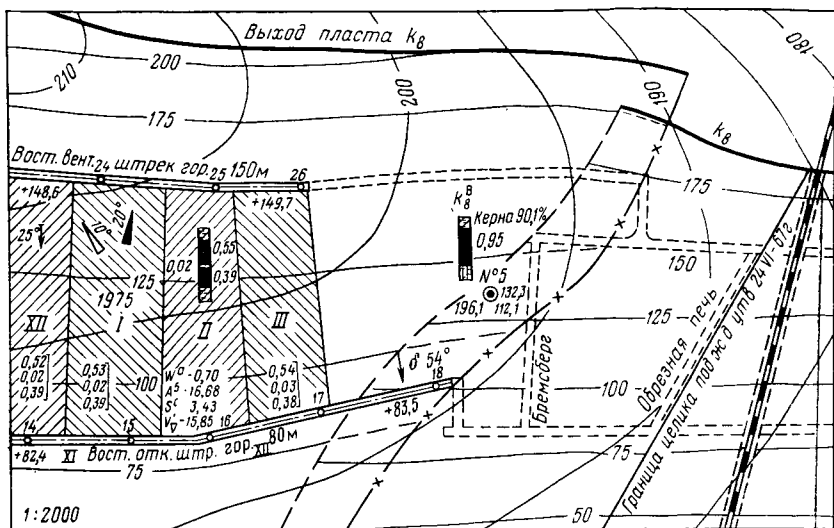


РИС. 10.5. План горных работ и разрывного нарушения пласта k_8

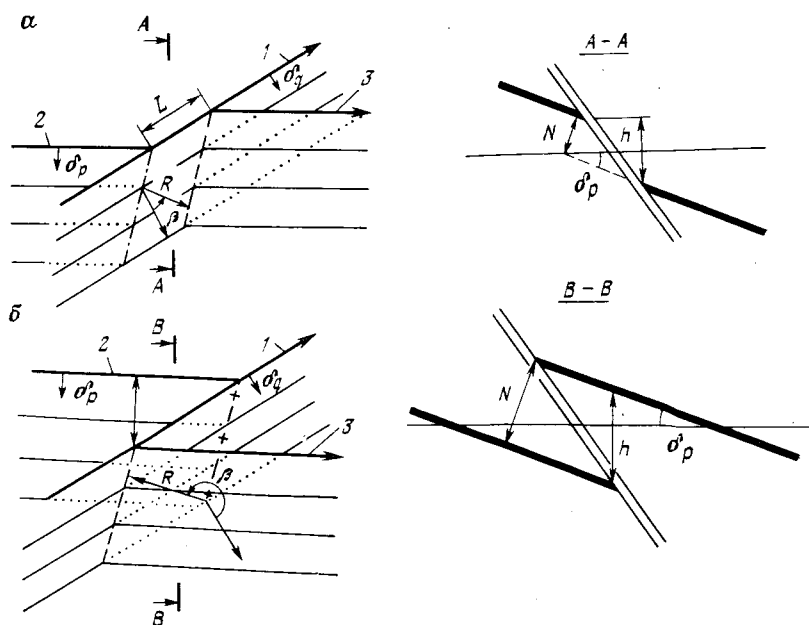


РИС. 10.6. Виды амплитуд смещения:
а — с зиянием; б — с перекрытием крыльев

где ω — разность простираций плоскости крыла и сместителя; δ_p — угол падения крыльев; δ_q — угол падения сместителя; R — кратчайшее расстояние между смещенными крыльями в плоскости сместителя.

Дизъюнктив — это замкнутая система дифференциальных смещений горных пород относительно сопряженных точек.

Каждый сместитель имеет определенную длину и амплитуду, изменяющуюся от нуля до некоторого максимума. В центральной части сместителя амплитуда смещения R обычно имеет наибольшую величину и, постепенно уменьшаясь к периферии, достигает нулевого значения (рис. 10.7). По характеру распределения амплитуд мало- и среднеамплитудных смещений закрытый сместитель (рис. 10.7, б) имеет, как правило, удлиненную, близкую к эллипсу форму, открытый (рис. 10.7, а) — часть эллипса.

На эпюре (рис. 10.7, б), представляющей поверхность сместителя в изогипсах, совмещенную с горизонтальной плоскостью, изолиниями изображены действительные относительные амплитуды R перемещения крыльев. Нулевая изоамплитуда оконтуривает сместитель и определяет его форму и размеры. Длинная ось L сместителя, которая не всегда совпадает с горизонталью сместителя, располагается вдоль оси максимальных тектонических напряжений σ_2 , короткая ось H сместителя — по направлению перемещения, определяемому в плоскости сместителя углом β от линии падения сместителя (см. рис. 10.6).

Между максимальной амплитудой R и размерами закрытого дизъюнктива существует зависимость:

$$L = nR; \quad H = mR, \quad (10.4)$$

где n и m — постоянные для отдельных геотектонических районов (для Кузбасса $n=60$, $m=20$; для Донбасса $n=70$, $m=22$; для Карагандинского $n=80$, $m=22$).

Разделение и наименование тектонических разрывов по их величине приведены в табл. 10.1.

Зона влияния дизъюнктива — это область массива горных пород, примыкающая к сместителю, в пределах которой в результате тектонических деформаций под действием напряжений

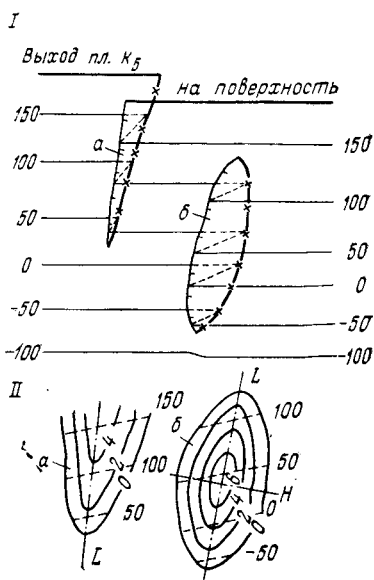


РИС. 10.7. Гипсометрический план пласта k_5 с нарушениями (I) и эпюры сместителей (II)

Класс разрыва по величине	Стратиграфическая амплитуда, м	Дополнительные параметры		Геолого-промышленное значение	Способы разведки
		протяженность разрыва	соотношение стратиграфич. амплитуд к мощности пласта		
1. Очень крупные	>1000	>100 км	Не учитывается	Границы месторождений, районов, бассейнов	Геологическая съемка, космосъемка
2. Крупные	100—1000	10—100 км	То же	Границы месторождений, шахтных полей	Геологическая съемка, буровая разведка, геофизическое профилирование
3. Средние	10—100	1—10 км	»	Границы шахтных полей, блоков, панелей, не переходимые комплексом	Опорные (гущенные) профили разведочных скважин
4. Мелкие	3—10	100—1000 м	Более 1 0,5—1	Не переходимые комплексом Переходимые при выполнении определенных технологических операций	Горные выработки, подземная сейсморазведка, опорные разведочные профили
5. Очень мелкие	До 3	3—500 м, десятки, сотни метров	Не более 0,5 >1 0,5—1	Переходимые комплексом Непереходимые комплексом Переходимые при выполнении определенных технологических операций	Горные выработки, подземная сейсморазведка

наблюдаются изменения физико-механических, технологических и других свойств пород. Ширина зон, выделяемых по этим показателям, различна. Так, тектоническая трещиноватость, формирующаяся совместно с дизъюнктивом, образует относительно широкую зону влияния. Изменение же технологических свойств пород вблизи того же дизъюнктива заметно лишь на участках в непосредственной близости от сместителя.

Ширина зоны B усиленной трещиноватости по нормальной в общем случае находится в параболической зависимости от амплитуды дизъюнктива.

Для мелких нарушений с амплитудами до 10 м эта зависимость близка к прямолинейной

$$B_{тр} = 10N; \quad (10.5)$$

для крупных нарушений в Кузнецком и Карагандинском бассейнах она имеет вид

$$B_{тр} = 16\sqrt{N}. \quad (10.6)$$

Ширина зоны влияния дизъюнктива на крепость и другие физико-механические свойства пород и угля B_ϕ от амплитуды N имеет общее выражение

$$B_\phi = aN^n, \quad (10.7)$$

где a , n — коэффициенты, присущие отдельным параметрам, месторождениям или структурам.

В общем случае, приближенно $B_{крепости} = (1,5—2)\sqrt{N}$. Ширина зоны B определяется по нормали к плоскости сместителя, Во вмещающих породах она меньше, чем в угле.

Средняя нарушенность угольных пластов в зоне влияния крупных разрывов в 7—10 раз выше, чем на удаленных от него участках. Обычно более интенсивно нарушены у сместителей висячие крылья.

§ 4. Классификация разрывных нарушений

Разрывные нарушения пластовых и жильных месторождений разнообразны как по форме, так и по величине.

Чтобы описывать и называть смещения в процессе их изучения, возникла необходимость их систематизации или классификации.

Очевидно, в основу такой классификации необходимо положить какой-нибудь характерный признак или принцип, позволяющий расположить рассматриваемые формы смещений в определенном порядке.

Крупные разрывные нарушения, вскрываемые геологическим картированием и детальной геологической разведкой, изучаются в курсах геотектоники, тектонофизики и структурной геологии. Там эти нарушения имеют свои классификации, увязываемые

с их генезисом, механизмом и возрастом их образования. Наиболее обстоятельно эти вопросы изложены в работах В. В. Белоусова, М. В. Гзовского и других.

Однако для детальных исследований структуры рудных и шахтных полей эти классификации не учитывают особенностей геометрических взаимоотношений пласта и сместителя в пространстве, оказывающих существенное влияние на разработку нарушенного месторождения.

При разработке нарушенного месторождения наибольшие осложнения вносят средние и мелкие разрывные нарушения.

Вопросу классификации разрывных нарушений и методов поисков смещенной части залежи посвящен ряд работ в иностранной литературе, главным образом в американской (Кушинг, Толмен, Рид, Хилс и др.) и немецкой (Горнох, Гауссе и др.).

Однако вследствие многих недостатков и громоздкости классификации иностранных авторов не нашли у нас практического применения.

В отечественной литературе впервые классификацию разрывных нарушений предложили П. М. Леонтовский, а затем В. И. Бауман.

Широкую разработку этот вопрос получил в трудах советских ученых акад. М. А. Усова, В. В. Белоусова, профессоров П. К. Соболевского, И. А. Молчанова, А. А. Белицкого, А. А. Трофимова, И. Н. Ушакова, М. В. Гзовского, канд. геол.-минерал. наук А. С. Забродина, кандидатов технических наук М. И. Пугачева, А. С. Микеладзе, В. Е. Григорьева, И. С. Гарбера, Н. И. Мишина и др.

Одни авторы выделяют типичные формы исходя из действительного направления перемещения крыльев, с учетом условий образования смещения, т. е. по генетическим признакам, другие — по геолого-геометрическим.

Правильнее нарушения именовать исходя из генезиса их образования. Однако действительное перемещение разорванных крыльев часто определить не представляется возможным, поэтому генетические классификации в маркшейдерско-геологической практике еще не получили распространения. Ряд авторов, создавая свою классификацию, стремились учесть «действительное» перемещение с геометрическими элементами, характеризующими расположение сместителя и крыльев в пространстве и на разрезах.

Но это стремление учитывать большое число признаков приводило к сложным классификациям, мало пригодным для практики.

Из геометрических классификаций наиболее простой является классификация П. К. Соболевского. Модификация этой классификации практически положена в основу Единой классификации тектонических разрывов угольных пластов по их морфологическим признакам и величинам, разработанной комис-

сией стран — членов СЭВ и приказом Минуглепрома СССР введенной в нашей стране с 01.01.82 г.

Геометрическая модель элементарного разрывного нарушения по П. К. Соболевскому может быть представлена двумя независимыми между собой геометрическими образами: скрещением и смещением.

Скрещением определяется взаимное положение в пространстве двух пересекающихся плоскостей — сместителя Q и пласта — висячего P_v или лежащего — P_l крыла. Смещением определяется взаимное положение крыльев разрывного нарушения.

В общем виде модель разрыва χ вполне определяется выражением

$$\chi = f \left(\frac{\varphi, t_0(t_w), \gamma}{M_{x,y,z} A_\varphi} + \beta, R \right), \quad (10.8)$$

где φ — угол восстания оси скрещения к горизонту, изменяющийся от 0 до 90°; $t_0(t_w)$ — угол, определяющий положение плоскости сместителя относительно отвесной плоскости, проходящей через ось скрещения соответственно справа или слева от нее; γ — угол между плоскостью крыла P и плоскостью сместителя Q ; $M_{x,y,z}$ — некоторая точка на оси скрещения с известными координатами; A_φ — азимут оси скрещения в сторону восстания; β — угол, который вектор перемещения от лежащего крыла к висячему, составляет с линией падения сместителя; R — длина вектора перемещения, или амплитуда перемещения.

Пусть P — плоскость поверхности пласта, жилы; Q — плоскость трещины (сместителя). Плоскости P и Q пересекаются по оси скрещения ML . Плоскость Q рассекает плоскость P на две части — висячее крыло P_v и лежащее крыло P_l . Через некоторую точку M оси скрещения проведем горизонтальную H и вертикальную P_2 плоскости, проходящие через ось скрещения (рис. 10.8).

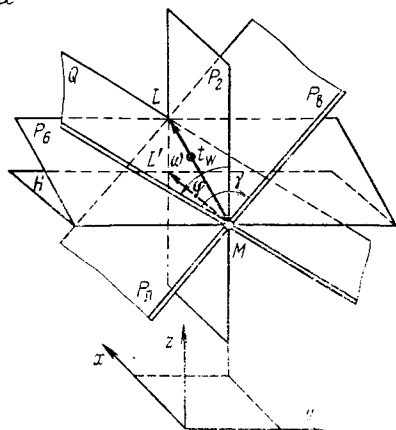
Условимся устанавливать модель скрещения перед наблюдателем так, чтобы ось скрещения имела направление вверх и вперед от наблюдателя. Этим вносится ясность и исключается двойственность в определении модели скрещений.

Угловые элементы φ , $t_0(t_w)$, γ вполне определяют модель скрещения (рис. 10.8).

Вид модели несколько не зависит от действительного азимута оси скрещения ML и координат (x, y, z) какой-либо точки M , связанной с физическими элементами скрещения. Координаты некоторой точки скрещения и азимут оси скрещения определяют лишь положение скрещения в недрах, но не касаются типа скрещения как такового.

Перемещение одного крыла относительно другого по сместителю образует смещение. Смещение может образоваться при перемещении крыльев в одном направлении, но с разными

а



б

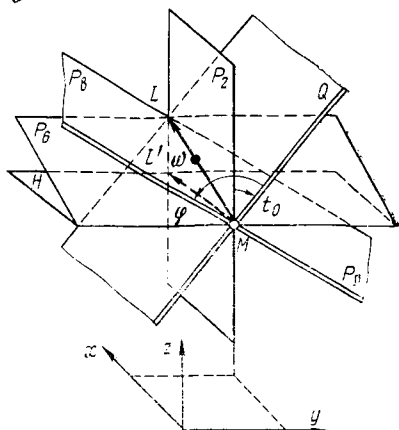


РИС. 10.8. Геометрические элементы скрещения:

а — правые; б — левые

скоростями, или по разным направлениям, или, наконец, одно крыло перемещается, а второе находится в относительном покое. Определить это не всегда возможно. Поэтому условно принято, что разрыв образован перемещением висячего крыла и притом поступательно, оставаясь параллельным самому себе, а лежащее крыло находилось в относительном покое. За направление перемещения принимается условный вектор, лежащий в плоскости сместителя и идущий от лежащего крыла к висячему по нормали к линии скрещения (обреза) залежи.

Модель разрывного нарушения и его название зависит от величины угла β , который условный вектор перемещения $0,1, 0,2, \dots, 0,8$ составляет с линией падения Od_q сместителя Q , считая от этой линии против хода часовой стрелки.

В аксонометрической проекции (рис. 10.9, а) и в плане (рис. 10.9, б, в, г, д) приведены восемь типов смещений по Соболевскому:

Смещение		Смещение	
$\beta_1 = 0$	сброс	$\beta_5 = 180$	взброс
$0 < \beta_2 < 90$	сбрососдвиг	$180 < \beta_6 < 270$	взбросоперсдвиг
$\beta_3 = 90$	сдвиг	$\beta_7 = 270$	персдвиг
$90 < \beta_4 < 180$	взбрососдвиг	$270 < \beta_8 < 360$	сбросоперсдвиг

Плоскость сместителя Q на рисунке изображена двумя горизонталями (сплошной линией показано пересечение лежащего, прерывистой — два возможных положения висячего крыла после перемещения).

Разрывное нарушение вполне геометрически определяется, если найдены угловые элементы скрещения $\varphi, t_w(t_0)\gamma$, азимут линии скрещения A_φ , направление вектора перемещения β , ли-

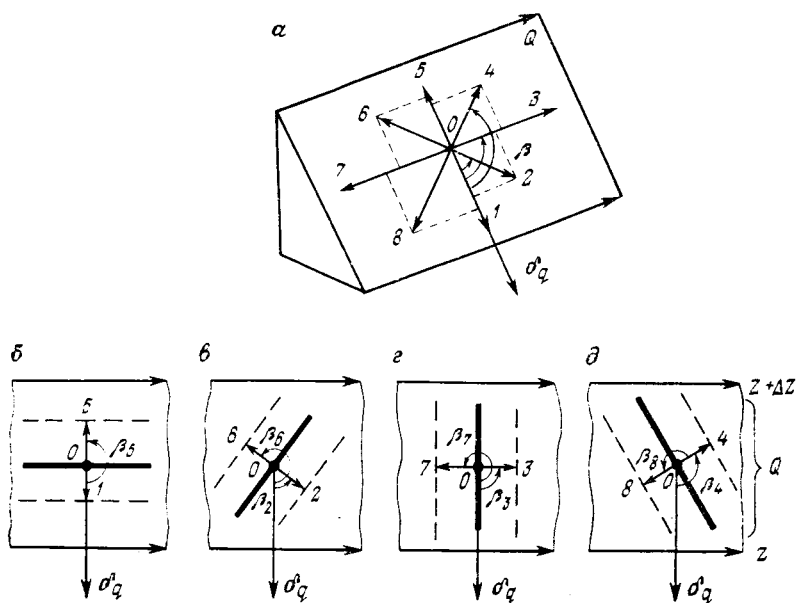


РИС. 10.9. Типовые смещения по П. К. Соболевскому

нейная величина перемещения или амплитуда R и координаты (x, y, z) местоположения единичного нарушения.

Угловые величины скрещения и смещения по замеренным в натуре элементам залегания пласта и сместителя определяют или графически в проекциях с числовыми отметками, или проще — с помощью меридиональной стереографической сетки.

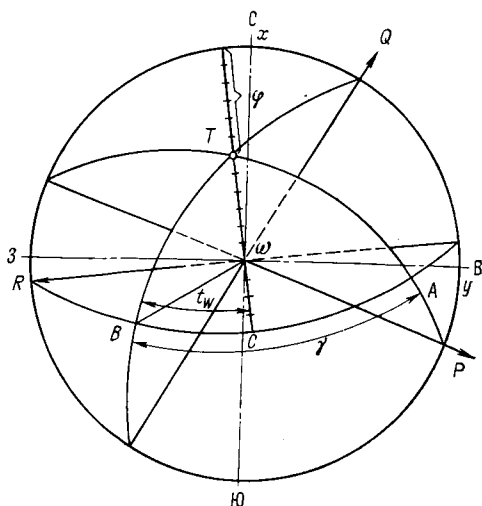
В проекциях с числовыми отметками решение задачи сводится к построению плана двух пересекающихся плоскостей P и Q в горизонталях по замеренным элементам их залегания и определению соответствующих угловых величин φ , t и γ .

Масштаб плана и сечение горизонталей выбирают исходя из удобства решения задачи.

Истинную величину β определяют после вращения плоскости вместе с осью скрещения вокруг одной из ее горизонталей (z) до совмещения с горизонтальной плоскостью проекции.

Угловые величины модели скрещения по элементам залегания пласта и сместителя более просто определяют с помощью стереографической сетки. При этом одновременно решают задачу определения разрывного нарушения в проекциях с числовыми отметками.

Пусть простирание и падение пласта и сместителя, встреченного горной выработкой в точке $M_{x,y,z}$, равны: $\alpha_p = 110^\circ$, $\delta_p = 40^\circ$, $\alpha_q = 30^\circ$, $\delta_q = 50^\circ$.



На стереографическую сетку накладывают кальку, на которой отмечают исходные точки — центр ω (изображение точки M) и точку C сетки вне круга.

На кальке при помощи сетки строят пересекающиеся плоскости пласта P и сместителя Q по их элементам залегания (рис. 10.10). Точку T пересечения дуг меридианов соединяют с центром ω . Отрезок ωT является проекцией линии пересечения плоскостей — осью скрещения. Ось скрещения совмещают с диаметром В-З сетки. Отсчет по диаметру сетки от периферии до

РИС. 10.10. К определению геометрических элементов скрещения с помощью стереографической сетки

точки T выражает угол наклона φ оси скрещения к горизонту.

Углы t и γ лежат в плоскости R , перпендикулярной к оси скрещения. Чтобы построить эту плоскость, от точки T по диаметру В-З через центр сетки отсчитывают 90° и проводят соответствующую дугу меридиана по сетке. Эта дуга является дугой плоскости R . Она пересекает проведенные ранее дуги плоскостей в точках A и B . В точке C она пересекает отвесную плоскость. Если от точки C по этой дуге отсчитать число градусов до точки B , то получают величину искомого угла t_w . Отсчет по этой же дуге от точки B до точки A соответствует величине искомого угла γ . Если, вращая кальку, установить ее в исходное положение и ось скрещения продолжить до пересечения с окружностью сетки, то отсчет по часовой стрелке от точки C сетки до оси скрещения выразит величину азимута A_φ направления оси скрещения по восстанию.

Таким образом, наблюдаемое скрещение, его вид, ориентировка и положение в пространстве при отнесении координат точки наблюдений M к ее изображению на графике — точке ω — вполне определяются полученными величинами

$$\varphi = 36^\circ, t_w = 53^\circ, \gamma = 126^\circ.$$

$$M(x, y, z) A_\varphi = 352^\circ$$

По такой модели скрещения весьма просто определяют положение плоскостей наибольшего и наименьшего ската, проходящих через ось скрещения. Это в свою очередь отчетливо опре-

деляет видимые крылья пересекающихся плоскостей от невидимых крыльев на фоне плоскости наименьшего ската, т. е. плоскости, угол наклона к горизонту которой равен углу φ . Модель дает ясное представление о расположении висячего и лежащего крыльев относительно плоскости сместителя, что облегчает понимание формы разрывного нарушения. Вид смещения определяется величиной угла β .

Линия ωB является проекцией одного из двух взаимно противоположных векторов относительно перемещения висячего крыла, точнее, его линии пересечения со сместителем. Эта линия лежит в плоскости сместителя и перпендикулярна к линии пересечения ωT . Угол β между направлением падения сместителя и направлением вектора ωB определяют по сетке.

Для этого совмещают дугу плоскости сместителя с соответствующей дугой меридиана сетки, отсчитывают против хода часовой стрелки от точки Q до точки B по дуге этого меридиана число градусов и прибавляют 90° . В первом случае угол $\beta_6 = 140 + 90^\circ = 230^\circ$. Если висячее крыло переместилось по линии ωB , то нарушение будет иметь вид взбросопересдвига. При перемещении висячего крыла в противоположном направлении, когда $\beta_2 = 230^\circ - 180^\circ = 50^\circ$, нарушение получит вид сбрососдвига. Направление вектора относительного перемещения из двух возможных устанавливают по следам перемещения или геологическим признакам.

В зависимости от величины угла γ , которым определяется взаиморасположение плоскостей сместителя и крыльев, при одинаковом типе смещения образуются нарушения с удвоением (перекрытием) или зиянием крыльев.

Линейную величину смещения — амплитуду — определяют на основании разведочных работ путем непосредственных измерений между крыльями или при помощи графических построений обоих крыльев нарушения.

Координаты местоположения нарушений определяют инструментальной привязкой к опорной маркшейдерской сети.

Ниже приводится классификация единичных разрывов, в основу которой положено ограниченное число основных и характерных признаков, определяющих модель разрыва, — перемещение висячего крыла относительно лежащего по нормали к линиям пересечения в плоскости сместителя, учет зияния и перекрытия крыльев.

На рис. 10.11 в проекциях с числовыми отметками приведена номенклатура основных форм разрывных нарушений по условному вектору перемещения висячего крыла относительно лежащего по нормали к линии пересечения в плоскости сместителя с учетом перекрытия и зияния крыльев.

В номенклатуру смещений не вошли редко встречающиеся разрывы с горизонтальной и вертикальной плоскостями сместителя. Номенклатура состоит из четырех вертикальных колонок а, б, в, г. В колонках на наклонной плоскости сместителя Q

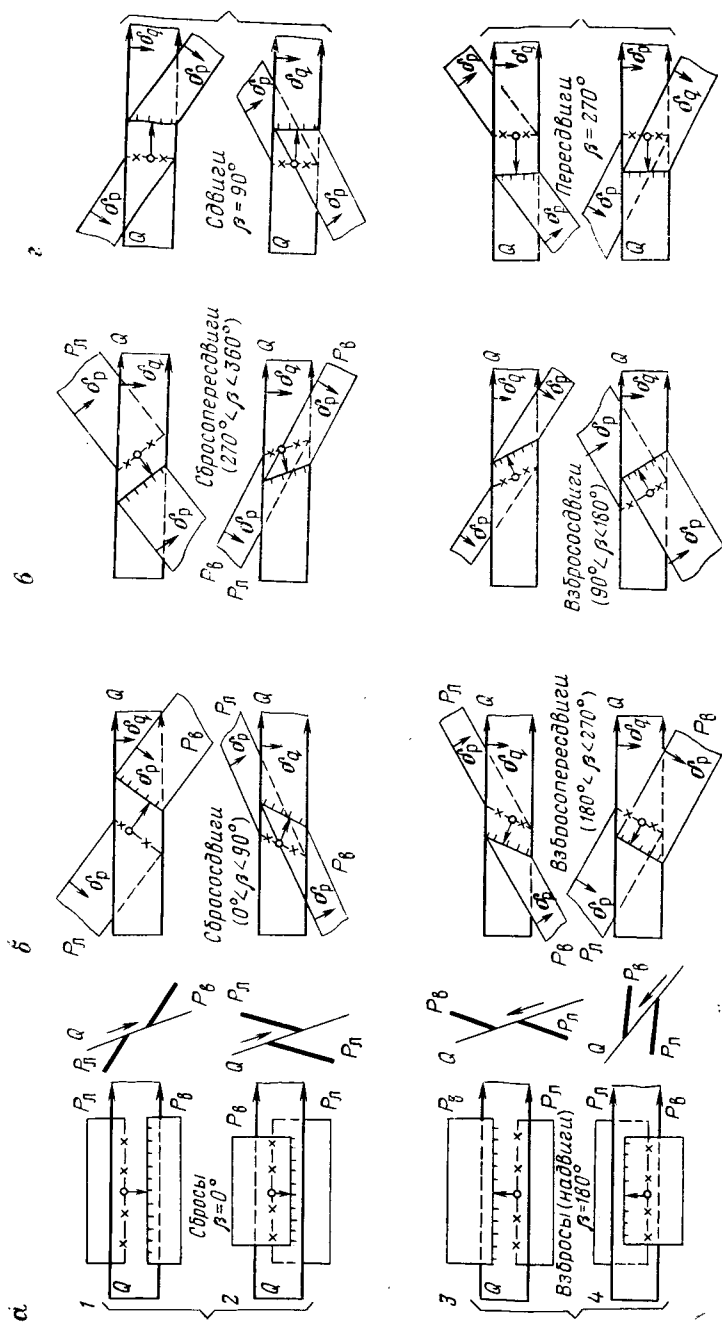


РИС. 10.11. Классификация единичных разрывов

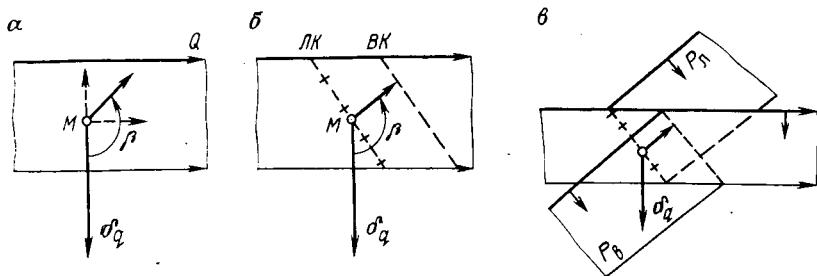


РИС. 10.12. Этапы построения вида разрыва по его наименованию (взбрососдвиг с перекрытием)

изображены четыре характерных положения линии пересечения пласта со сместителем. Стрелками и углами β показаны два направления параллельного перемещения линии обреза висячего крыла относительно лежачего. Для каждого положения линий обреза построены висячие P_v и лежачие P_l крылья, образующие в плане зияния в ряду 1 и 3 и перекрытие в ряду 2 и 4.

Большинство наблюдаемых в природе форм единичных разрывов охватывается четырьмя формами сбрососдвигов и взбросопересдвигов (рис. 10.11, б) и их зеркальными отображениями (рис. 10.11, в), т. е. всего восемью формами.

Сбросы (рис. 10.11, а) и сдвиги (рис. 10.11, г) являются граничными формами и в чистом виде встречаются редко. На рис. 10.11 δ_q — угол падения сместителя, δ_p — угол падения пласта.

Приведенная номенклатура единичных разрывов проста для усвоения и разрешает основную задачу классификации, т. е. позволяет: I — представить однозначно и изобразить на плане пространственную форму разрыва по его названию и II — называть конкретно наблюдаемую в природе или изображенную на плане форму разрыва.

Рассмотрим эти два случая.

I. Пусть выработкой встречен взбрососдвиг с перекрытием крыльев. На рис. 10.12 представлены этапы графического построения.

а) Проводят две горизонтали плоскости сместителя на произвольном расстоянии друг от друга, стрелками справа отмечают направление горизонталей. Таким образом, плоскость сместителя независимо от ее ориентировки в пространстве изображается падающей на наблюдателя. Между горизонталями отмечают некоторую точку M , из которой проводят линию падения сместителя и согласно наименованию — вектор перемещения. В нашем случае вектор направлен под углом больше 90° и меньше 180° к линии падения сместителя.

б) Через точку M перпендикулярно к вектору проводят линию пересечения лежачего крыла (ЛК) со сместителем. Через

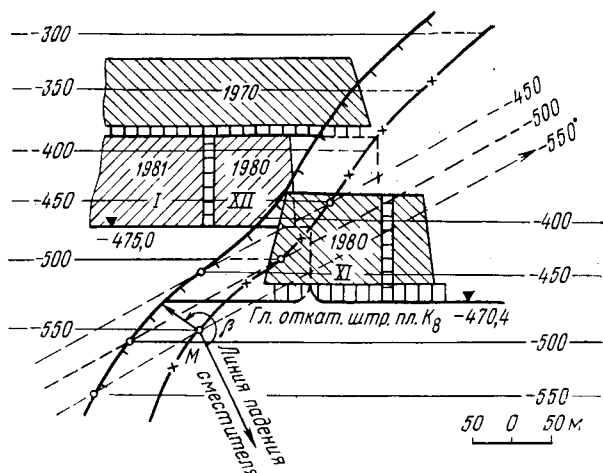


РИС. 10.13. Наименование разрыва по плану горных работ (взброс-пересдвиг с перекрытием)

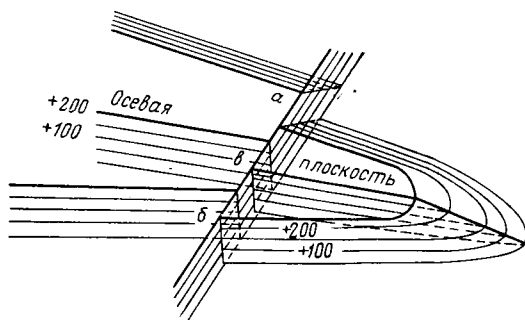


РИС. 10.14. Гипсометрический план смещения антиклинальной складки

конец вектора (можно на любом расстоянии, так как амплитуда в данном случае не учитывается) параллельно первой линии проводят вторую — линию пересечения висячего крыла (ВК) со сместителем.

в) Через точки пересечения проведенных линий с горизонталями сместителя проводят горизонтали крыльев так, чтобы получилось их перекрытие в плане. Для этого горизонтали висячего крыла проводят вниз и в сторону линии пересечения со сместителем лежащего крыла. Горизонтали лежащего крыла проводят параллельно горизонталям висячего крыла вверх и в сторону линии пересечения висячего крыла со сместителем.

II. Рассмотрим второй случай — как именовать нарушение по его изображению на горно-геометрическом или макшейдерском плане.

На рис. 10.13 представлена часть горно-геометрического плана с изображением горных выработок, поверхности почвы угольного пласта k_8 в изогипсах, а также линий пересечения висячего крыла со сместителем — сплошная линия и лежащего —

штрих с крестиком. Чтобы определить тип смещения, берут произвольную точку M на линии пересечения лежачего крыла со сместителем. Из этой точки проводят линию падения сместителя и условный вектор перемещения от лежачего крыла к висячему по нормали к линиям пересечения. По положению вектора ($180^\circ < \beta < 270^\circ$) видно, что смещение относится к типу взбросопересдвиг с перекрытием крыльев.

В отдельных участках одного и того же крупного разрыва могут быть единичные разрывы разных наименований. При достаточно полном изучении разрывов называют по генетическому признаку с учетом взаимоотношений сместителя с геометрическим элементом основной структуры (осевой плоскостью складки). Разнообразие в наименовании разрыва на его отдельных участках не противоречит процессу его познания — от частных наблюдений в ограниченных участках к обобщению.

На рис. 10.14 изображена в изогипсах антиклинальная складка, оба крыла которой подвергались перемещению по одной трещине. Если рассматривать смещение каждого крыла складки в отдельности, то на северном крыле а разрывное нарушение представлено сбросопересдвигом, а на южном б — взбросо-пересдвигом. После обобщения единичных разрывов трещину смещения следует рассматривать в сочетании с основным структурным элементом складки — осевой плоскостью, и разрывное нарушение в данном случае относится к типу взбросо-пересдвига в, что соответствует относительному перемещению блоков при образовании дислокации.

§ 5. Геолого-геометрическая документация и графическое моделирование разрывных нарушений

Все разрывные нарушения, встречающиеся на месторождении, подлежат обязательной инструментальной съемке и документированию.

Крупные разрывные нарушения, как уже было отмечено, обнаруживаются при геологической съемке и разведочном бурении. При документации таких нарушений важное значение имеет точность инструментальных съемок выходов сместителя на поверхность, определения координат точек пересечения и элементов залегания пласта и сместителя по данным бурения.

По мере получения данных разведки производят построение гипсометрических планов поверхностей залежи и в процессе их увязки определяют возможные районы разрывного нарушения. При необходимости в этих местах намечают дополнительные разведочные работы. Данные геологического картирования и разведочного бурения не всегда полно характеризуют разрывное нарушение.

Наиболее достоверную характеристику нарушений дают детально-разведочные, эксплуатационно-разведочные, горно-капи-

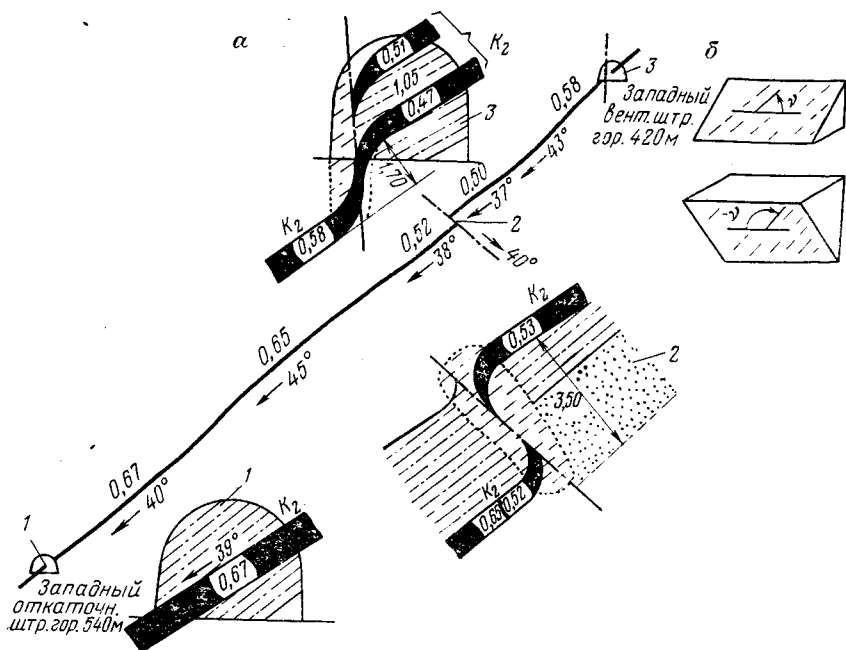


РИС. 10.15. Схема профиля лавы (а), документация нарушений 1, 2, 3, встреченных горными выработками, и измерение направления v перемещения (б)

тальные, подготовительные и очистные выработки, проводимые на стадиях вскрытия, подготовки и отработки месторождения.

В горной выработке на месте встречи нарушения производят детальный осмотр, привязку к маркшейдерским точкам, необходимые замеры и описание.

Следами перемещения являются штрихи, царапины, борозды, заусенцы, выбоины и растертые зерна минералов. По этим следам можно определить не только угол скольжения γ , но иногда и направление смещения одного крыла относительно другого. Угол скольжения изменяется от 0 до 180°. Методика его замера показана на рис. 10.15, б.

Если сместитель представлен зоной, описывают состав пород зоны нарушения и измеряют ее мощность при прохождении горной выработки. Отмечают, какие породы встречены за зоной нарушения. Отбирают образцы горных пород для последующего анализа.

Зарисовка (или фотографирование) нарушения в горной выработке должна отражать все основные детали видимого изменения поведения пласта у нарушения.

В качестве примера приведена документация дизъюнктивных нарушений, встреченных горными выработками. На рис. 10.15, а приведены зарисовки нарушений в забое штрека и лаве по

пласту k_2 . Углы падения и мощность пласта и сместителей отмечены на зарисовке. В почве пласта залегают глинистые и песчанистые сланцы, в кровле пласта — глинистые сланцы. Забоем западного вентиляционного штрека пласт вскрыт раздвоившимся у нарушения. У плоскости сместителя отчетливо видны подгибы пласта. Сместитель представлен зоной раздробленных, но спрессованных пород мощностью около 1 м.

Разрывные нарушения по данным полевой документации горных выработок по соответствующему пласту (залежи) наносят на погоризонтные или гипсометрические планы, проекции и разрезы. Иногда простейшими геометрическими построениями удается произвести увязку разрывных нарушений, определить амплитуду и решить вопросы поисков смещенной части.

На основных маркшейдерских планах наносят проекции линий пересечения обоих крыльев пласта со сместителем: лежащего — в виде красной прерывистой линии с крестиками, и висящего — сплошной линией со штрихами. При этом показывают в точках наблюдений углы падения пласта и сместителя, величину нормальной амплитуды и мощность сместителя.

На плане между линиями пересечения крыльев по возможности проводят изолинии плоскости сместителя.

На *погоризонтных планах* горных выработок, которые по сути представляют собой горизонтальные разрезы, нарушения изображают штрихпунктирными линиями, которые наносят по азимуту их простираения с указанием стрелки падения и амплитуды перемещения. На планы наносят основные горные породы, проходимые квершлагными выработками, обозначая их условными знаками в виде полосы шириной 1—2 см вдоль данной выработки.

К графическим моделям разрывных нарушений относят: гипсометрические планы крыльев и сместителя и разрезы.

Гипсометрические планы поверхностей разрывов строят одновременно с построением в изогипсах поверхностей крыльев разрыва, т. е. почвы (кровли) залежи. При этом гипсометрический план одного или нескольких сместителей строят обычно на отдельном чертеже (на прозрачном материале) в пределах границ с нулевой амплитудой, а на гипсометрическом плане залежи отмечают изогипсы лишь участка сместителя, заключенного между смещенными крыльями. Совмещением по координатам гипсометрических планов поверхностей залежи и сместителя определяют линии обреза залежи (пласта), проходящие через точки пересечения одноименных горизонталей.

При построении гипсометрических планов свиты пластов и сместителей учитывают, что при совмещении планов пластов свиты их изогипсы с одинаковыми отметками не должны пересекаться. Также не пересекаются между собой линии обреза соседних пластов со сместителем. Эти линии могут сходиться в одну точку у границы сместителя. Исходными данными для построения гипсометрических планов являются данные геоло-

гического картирования, разведочного бурения и горных выработок. Построение осуществляют непосредственным и косвенным методами.

Непосредственный метод применяют при достаточном числе исходных данных — линии выхода сместителя на поверхность, точек подсечения сместителя разведочными скважинами и горными выработками.

К непосредственному также относится способ построения гипсометрического плана разрыва на основе увязки результатов построений на стереографической сетке отдельных наблюдений за смещениями в горных выработках.

Графические построения на восковке при определении угловых элементов дизъюнктива при помощи стереографической сетки (см. рис. 10.10) содержат в себе исходные данные для изображения дизъюнктива в горизонталях и на вертикальных разрезах по любому направлению.

Проведенные диаметры пересекающихся плоскостей в стереографической проекции являются одновременно и горизонталями этих плоскостей. Положение линии пересечения плоскостей — оси скрещения — на графике определено. Угол наклона ϕ оси скрещения известен.

Зная координаты x, y, z некоторой точки на оси скрещения, относят их к точке ω на сетке. Если проградуйровать ось скрещения, предварительно приняв масштаб и сечение, и провести через проградуйрованные точки линии, параллельные диаметрам плоскостей пласта и сместителя, получают изображение плоскостей скрещения в горизонталях. При этом участок скрещения, изображенный в масштабе, имеет вполне определенную ориентировку в пространстве. Из двух полуплоскостей пласта в горизонталях изображают ту, со стороны которой выработкой подошли к плоскости сместителя (висячее крыло, если работы велись в висячем крыле, и наоборот).

По таким отдельным графикам путем их увязки составляют общий гипсометрический план нарушения. На рис. 10.17, а построен сводный гипсометрический план нарушения, встреченного горными выработками по пластам k_2 и k_3 со стороны висячего крыла, по пласту k_4 — со стороны висячего и лежащего крыльев.

Косвенный метод построения изолинии сместителя применяют при недостаточном числе исходных данных. Например, нарушение подсечено в одной точке подготовительной горной выработкой. Элементы его залегания замерить не представилось возможным. Однако при проходке выработки проводились наблюдения за трещиноватостью горных пород и определялись элементы залегания систем трещин. В непосредственной близости от нарушения установлено исчезновение одной из систем трещин. Можно предположить, что разряжение напряжений осуществилось по сместителю с элементами залегания исчезнувшей системы трещин. В таком случае плоскости сместителя проводят

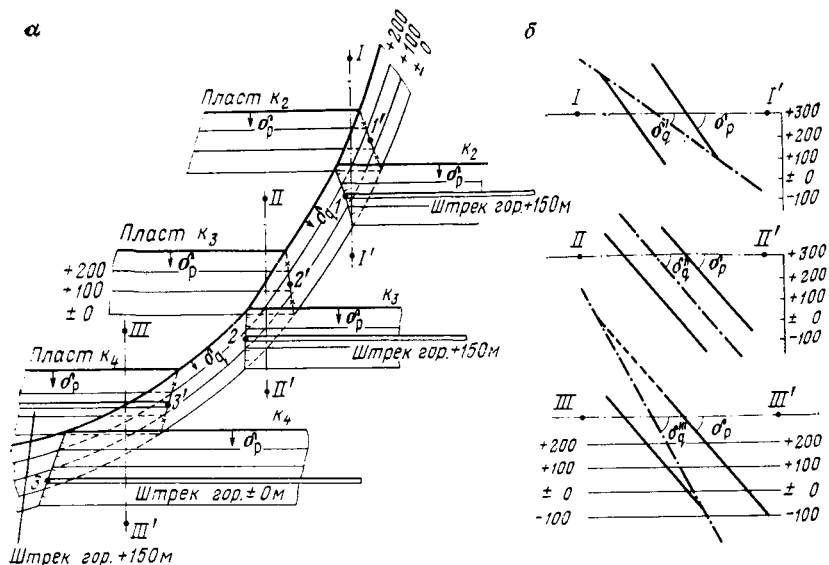


РИС. 10.17. Построение смещений по отдельным наблюдениям в точках 1, 2, 3; взаимное положение сместителя и крыльев на гипсометрическом плане (а) и вертикальных разрезах (б)

через данную точку по элементам залегания этой системы трещин.

Положение плоскости сместителя в недрах, когда установлена лишь одна линия пересечения с ним пласта, определяют геофизическими методами зондирования.

Разрезы строят по различным направлениям. Наиболее характерными из них являются горизонтальные, вертикальные вкрест простирания крыльев дизъюнктива; вертикальные вкрест простирания сместителя; вертикальные по простиранию крыльев.

Кроме того, строят вертикальные разрезы по двум взаимно-перпендикулярным направлениям, по направлению вектора смещения и разрезы в плоскости, нормальной к линиям скрещения. Разрезы наглядно отображают смещения в соответствующих сечениях, но не дают полного пространственного представления о смещении, так как бывают не характерными для смещения.

По изображению нарушения одним вертикальным сечением невозможно определить относительное перемещение крыльев и тип смещения. На рис. 10.17, б представлены вертикальные разрезы вкрест простирания крыльев. По гипсометрическому плану видно, что нарушения пластов на участках 1—1', 2—2' и 3—3' имеют одну и ту же форму. По разрезам же можно сказать, что нарушение на разрезе I—I' — сброс, на разрезе II—II' — полойное перемещение, на разрезе III—III' — взброс. Причиной различия во взаимоотношениях пласта со сместителем на раз-

резах являются разные углы между линиями простираения пласта и сместителя. Из рис. 10.17, б видно, что один вертикальный разрез не отражает вид смещения. Разрезы строят обычным способом, часто одновременно с построением смещения в проекциях с числовыми отметками в горизонталях. На разрезах наносят стратиграфию пород, морфологию пластов у сместителя в условных знаках или красках по стандарту.

Объемные модели в векторных, аффинных или аксонометрических проекциях строят для наглядного представления тектонических структур сложного строения.

§ 6. Характеристика тектонической нарушенности угольных пластов и шахтных полей

и ее влияние на комплексно-механизированную разработку

В анализе методов оценки тектонической нарушенности угольных пластов выделяют два направления: изучение общей тектонической нарушенности шахтных полей и изучение признаков, позволяющих прогнозировать местоположение дизъюнктива и его геометрические элементы.

Рентабельность угледобывающего предприятия при высоких капитальных вложениях обеспечивается только при достаточно большом сроке функционирования очистных забоев, который в значительной степени зависит от тектонических нарушений.

Очень крупные, крупные и средние разрывные нарушения выявляются предварительной и детальной разведкой, и их наличие учитывают при составлении проекта разработки месторождения.

Мелкие и очень мелкие нарушения, объединяемые в группу малоамплитудных нарушений, как правило, не выявляются буровой разведкой. Вместе с тем они многочисленны и встречаются горными выработками неожиданно, что существенно снижает эффективность использования комплексной механизации очистных работ.

При подходе забоя к нарушенным зонам крепь испытывает высокое давление и часто выходит из строя, нередко происходят завалы лав. Поэтому уровень механизации очистных работ остается здесь низким, а потери угля значительными.

Сложность перехода тектонических нарушений зависит от порядка отработки выемочного участка, крепости боковых пород и технологии очистных работ. Она возрастает с увеличением амплитуды нарушения и уменьшается с увеличением вынимаемой мощности пласта. При переходе разрывного нарушения с амплитудой до 1 м производительность лавы снижается в 2—2,5 раза, себестоимость 1 т угля увеличивается в 3—4 раза. Нарушения с амплитудой более мощной чаще всего приводят к остановке лав, поискам смещенной части, демонтажу и переносу оборудования по другую сторону сместителя.

Непереходимыми для очистных комплексов считаются разрывные нарушения с амплитудой смещения более 0,5 мощности пласта и при изгибах пласта у сместителя с радиусом кривизны менее 20—30 м.

Для современного принятия мер по эффективной разработке и безопасному переходу горными выработками разрывных нарушений требуется своевременное их выявление и изучение как в процессе детальной разведки, так и при проведении подготовительных и очистных горных выработок.

В связи с этим задачей геолого-маркшейдерской службы горного предприятия является установление малоамплитудной нарушенности угольных пластов в пределах шахтного поля или отдельных его блоков.

Нарушенность шахтного поля или его части выражают различными коэффициентами:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= n/S; & K_5 &= N_1/L_B; \\ K_2 &= \sum l/S; & K_6 &= \sum l_i/L_B; \\ K_3 &= \sum h_i l_i/S; & K_7 &= N_2/L_{\text{ш}}; \\ K_4 &= \sum f_i/S; \end{aligned} \right\} \quad (10.9)$$

где n — число разрывных нарушений определенной длины; $\sum l_i$ — суммарная протяженность всех разрывов на изучаемой площади, м; S — площадь изучаемого участка, км², га; N_1 — число разрывных нарушений, встреченных выработкой; L_B — длина изучаемого участка или горной выработки, км; h_i , l_i — вертикальная амплитуда и длина разрывного нарушения, м; N_2 — число разрывных нарушений по простиранию шахтного поля; f_i — площадь участка, пораженного нарушением, м²; $L_{\text{ш}}$ — длина шахтного поля по простиранию, м.

Коэффициенты нарушенности K_1 , K_2 , K_3 и другие параметры малоамплитудной тектоники определяют по мере изучения месторождения. При этом выделяют четыре этапа. На первом этапе составляют обобщенную оценку всей территории угольного месторождения по материалам геологических и геофизических исследований, аэрофотоснимкам площади; на втором этапе оценивают нарушенность района, выделенного под строительство шахт, по материалам геологоразведочных и геофизических работ.

Для этого используют статистическую зависимость распределения дизъюнктивов по их протяженности, предложенную М. В. Гзовским,

$$\lg n = -v \lg l + c, \quad (10.10)$$

где n — число дизъюнктивов в некотором интервале протяженности; l — средняя протяженность дизъюнктивов в этом интервале; v и C — коэффициенты, зависящие от характера дизъюнктивной нарушенности месторождения (участка).

ТАБЛИЦА 10.2

Шахта	Число нарушений		Суммарная длина нарушений, м	Плотность нарушений K_2 , м/га	Средняя длина нарушения, м	Расстояние между нарушениями по падению, м
	общее	удельный объем, %				
«Дальневосточная»	357	9,5	74 326	101,1	208,2	101,2
«Приморская»	527	14,2	130 230	134,3	247,1	79,3
«Озерная»	846	22,8	113 984	157,6	134,7	75,3
«Амурская»	1987	53,5	204 056	135,9	102,7	—
Всего	3717	100	522 596	133	140,5	80,6

Пользуясь этим выражением, уже на стадии предварительной разведки достаточно большого по размерам конкретного участка месторождения можно установить эту зависимость и коэффициенты γ и C по распределению выявленных крупных и средних разрывов и путем экстраполяции получаемой кривой определить число более мелких разрывов и степень нарушенности участка. При дальнейшем сгущении разведочной сети и выявлении новых разрывов производят корректировку кривой зависимости, которая все больше приближается к действительному распределению.

На третьем этапе оценивают нарушенность угольных пластов в пределах шахтного поля с учетом дополнительных геолого-разведочных работ и по данным проведения основных вскрывающих и подготовительных горных выработок, используя соответствующие коэффициенты нарушенности.

И наконец, оценивают нарушенность шахтного поля или отдельных его участков по материалам разведки и проведения подготовительных, нарезных и очистных горных выработок.

В табл. 10.2; 10.3; 10.4 по данным В. Г. Кошомкина и В. И. Короткова приведены результаты наблюдений дизъюнктивов, обнаруженных выработками по 19 рабочим шахтопластам.

В пределах шахтного поля малоамплитудные разрывные нарушения распределяются неравномерно, отдельными участками. Обычно они представляются вытянутыми зонами, расположенными вдоль, а иногда диагонально крупным и средним разрывам или приурочены к местам локальных искривлений пластов.

Очевидно, что оценка отработанной площади шахтопластов с помощью среднего значения показателя нарушенности, как всякая оценка с помощью усредненных значений, не дает полного представления об особенностях размещения разрывов на этой площади.

Одни и те же численные значения показателя нарушенности могут быть получены для площади, на которой разрывы разме-

ТАБЛИЦА 10.3

Шахта	Число разрывных нарушений по их длине, м												Всего
	не более 50	50—100	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—800	800—900	900—1000	1000	
«Дальневосточная» «Приморская» «Озерная» «Амурская»	86	93	80	35	13	9	9	8	2	3	4	15	357
	131	139	100	51	23	19	17	10	12	2	6	27	527
	367	226	123	41	20	25	9	9	8	7	1	10	846
	1282	314	151	76	57	27	23	12	10	7	9	19	1987
Всего	1866	772	454	203	113	80	58	39	32	19	20	71	3717

ТАБЛИЦА 10.4

Шахта	Число разрывных нарушений по величине амплитуды, м																		
	Не более 5 м. в том числе										всего	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40	40
	не более 0,5	0,5	1—2	2—3	3—4	4—5													
«Дальневосточная» «Приморская» «Озерная» «Амурская»	39	48	57	30	11	13	198	24	17	3	13	7	1	1	2				
	80	48	67	34	24	26	279	48	21	15	8	5	—	—	4				
	100	61	66	24	8	16	275	27	22	14	8	7	4	3	4				
	464	312	231	92	53	30	1182	87	61	34	29	18	11	4	9				
Всего	683	469	421	180	96	85	1934	186	121	66	58	37	16	8	19				

Характеристика интенсивности мелкоамплитудной
тектонической нарушенности

Тип шахтных полей	Характеристика по степени нарушенности	Пригодность шахтопластов к механизированной выемке	K ₁ *	длина ВПП ** (в среднем, км)	K ₂ , м/га	изменчивость угла падения пластов, градус	число нарушений на 1 км ² шахтопласта	общая протяженность малоамплитудных нарушений на 1 км ² , м
I	Ненарушенные или малонарушенные	Очень благоприятные	0—10	0,50—1,00	50	Не более 2,5	Более 22	Не более 3100
II	Слабонарушенные	Благоприятные	11—20	0,40—0,70	50—150	2,6—5,0	23—35	3100—4900
III	Нарушенные	Малоблагоприятные	21—30	0,25—0,35	150—200	5,1—7,5	36—47	4900—6500
IV	Сильно нарушенные	Неблагоприятные	31	0,15—0,25	250	7,5	47	6500

* Коэффициент нарушенности K_1 приведен для разрывных нарушений длиной 0,1 км.
 ** ВПП — выемочное поле по простиранию.

щены равномерно, и для площади, на которой все они сосредоточены на каком-либо небольшом участке.

Характер изменения показателя нарушенности в пределах оцениваемой площади можно выявить с помощью статистических функций распределения выемочных полей по степени их нарушенности, а также путем построения планов в изолиниях изменения показателя дизъюнктивной нарушенности, вычисленных для элементарных площадей (например, квадратов) и отнесенных на плане к центрам этих площадей.

Величины коэффициентов нарушенности характеризуют степень нарушенности шахтных полей. В таблице 10.5 приведена обобщенная М. И. Пугачевым классификация шахтных полей по степени нарушенности и пригодности их к комплексно-механизированной разработке.

§ 7. Прогнозирование разрывных нарушений при разработке месторождений

При исследовании каждого разрыва требуется решить ряд задач, из которых наиболее важным являются определение модели и типа смещения, их прослеживание на соседних участках и пластах и увязка с прочими тектоническими нарушениями, определение места пересечения данного разрыва с проектируемыми горными выработками и др.

Прогноз действительной картины залегания пластов и тектонических структур особенно важное значение приобретает при разработке свиты пластов.

Обнаруженные при выемке одних пластов свиты тектонические структуры переносят на соседние пласты. При развитии горных работ на этих пластах очевидно потребуются систематически вносить соответствующие поправки и дополнения в имеющиеся по построению данные. Особое внимание следует уделять структурам, пересекающим истоки подземных или поверхностных вод, либо в зоне влияния которых расположены промышленные и гражданские сооружения.

К изучению как крупных, так и мелких тектонических структур необходимо подходить одинаково серьезно. В ряде случаев второстепенные структуры могут стать важными, так как по ним можно судить о генезисе и типе более крупных структур.

Для правильной интерпретации тектонических нарушений очень важно систематически изучать тектонику других частей месторождения, и в первую очередь соседних шахтных полей.

Часто одни и те же разрывы пересекают несколько шахтных полей и пластов. Поэтому необходимо производить их увязку и идентификацию с целью принятия соответствующих способов разработки.

Различают четыре этапа в прогнозировании разрывных нарушений:

I. Установление в пределах структурного района по материалам предварительной и детальной разведки зависимости между числом и размерами разрывных нарушений.

II. Выявление на разведуемом участке зон повышенной тектонической нарушенности и их общего направления на основе детального изучения формы и размеров складок, изгибов пластов, локальной складчатости и связи механизма образования складок и разрывов. Тектоническая нарушенность обычно повышена в замках складок и на участках перегибов их осей. Изгибы пластов радиусом до 100 м, как правило, сопровождаются разрывами. В местах локальных искривлений пластов наблюдаются мелкие разрывные нарушения.

III. Определение числа малоамплитудных разрывов, приходящихся на 1 км² (или га) площади залежи (угольного пласта) или на 1 км протяженности горных выработок, на основе кривой распределения малоамплитудных нарушений по материалам детальной и эксплуатационной разведки. Это позволяет определить число нарушений, которые будут вскрыты горными работами на разрабатываемом участке.

IV. Нахождение местоположения, ориентировки и размеров конкретных разрывов. Решение задачи на последнем этапе зависит от того, встречалось ли данное нарушение ранее горными выработками или оно встречается впервые.

О наличии разрывного нарушения при приближении к нему забоя выработок можно заключить по следующим признакам:

значительное увеличение мощности угольного пласта с последующей встречей клина горной породы, уменьшение мощности залежи, иногда до полного выклинивания; внезапная смена угля породой, изменение состава пород со стороны кровли или почвы залежи, резкое изменение элементов залегания, изменение механических свойств и структуры залежи и боковых пород, интенсивная трещиноватость, перемятость угля и пород, пережимы, резкие подгибы залежи и породных прослоев.

Все признаки, указывающие на близость нарушения как и само нарушение, должны тщательно изучаться, документироваться и обобщаться. Выявляемые на основании этого закономерности позволяют установить положение, форму и размер разрыва. Это необходимо для планирования горных работ и предупреждения горняков от внезапной встречи нарушения и принятия мер, обеспечивающих безопасность ведения горных работ от могущих возникнуть по трещине смещения обвалов, оползней, прорывов воды и др.

Малоамплитудные нарушения, как правило, не выявляются буровой разведкой. Их определяют косвенными методами: графическими, графоаналитическими и вероятностно-статистическими. *Графический метод*, предложенный А. И. Осецким, заключается в построении по данным разведки профиля поверхности почвы залежи в крупном вертикальном масштабе.

Относительно резкие изменения, и в частности двойной изгиб профиля залежи, указывают на местоположение возможного тектонического нарушения, вероятная амплитуда которого примерно равна разности отметок начала и конца линии изгиба. Далее аналогичными построениями это нарушение прослеживают на соседних профильных линиях и на плане отмечают зону его проявления.

Способ дает удовлетворительные результаты на пологих пластах.

Графоаналитический метод основан на связи трещиноватости с тектонической структурой угленосной толщи.

Теоретической основой решения данной задачи является представление о едином механизме образования складчатых, разрывных нарушений и трещиноватости. Метод основан на анализе графиков, характеризующих изменение трещиноватости в зависимости от расстояния до разрывного нарушения. При этом рассматривается или показатель густоты трещин (число трещин всех систем, приходящихся на 1 м² пласта), или показатель относительной частоты трещиноватости (отношение максимума системы к общему числу трещин в точке замера, %). Характер изменения этих показателей одинаков. В горной выработке по мере продвижения забоя замеры параметров трещин. Результаты наблюдений обрабатывают на стереосетках, с помощью которых находят максимумы систем, их вероятные элементы залегания и относительную частоту трещиноватости.

Появление на графиках всплеска, т. е. такого места забоя, после которого значения показателей резко увеличиваются или уменьшаются, указывает на наличие зоны деформаций. Расстояние от этого места забоя до разрывного нарушения называется зоной влияния разрывного нарушения на трещиноватость. Величина этой зоны различна для висячего и лежачего крыльев пластов зависит от длины и амплитуды разрывного нарушения и определяется для конкретных условий месторождения.

В зоне влияния тектонического нарушения увеличивается общее число систем трещин и их интенсивность, чем в области спокойного залегания пород. Прогнозирование производят по структурным диаграммам изменения интенсивности различных систем трещин.

По мере приближения листа наблюдения трещиноватости к разрыву на структурных диаграммах максимум трещин смещается, раздваивается или исчезает полностью. Искажения касаются обычно тех систем трещин, которые имеют одинаковые с нарушением или близкие к нему элементы залегания. При анализе структурных диаграмм трещиноватости необходимо учитывать возможность влияния соседних дизъюнктивов. Наложение полей двух и более дизъюнктивов осложняет картину трещиноватости. Установлено также, что вблизи разрывных на-

рушений происходит изменение также прочностных характеристик, текстурных, петрографических свойств горных пород. Особое внимание обращают на изменения прочностных характеристик угля в зависимости от расстояния до разрывного нарушения.

В Кизеловском угольном бассейне разрывные нарушения по трещиноватости можно прогнозировать впереди забоя на 50—250 м. В Донбассе по структурным диаграммам можно предвидеть за 50—100 м мелкие нарушения, за 100—300 м — средние и за 300—400 м — крупные разрывы.

Вероятностно-статистические методы прогнозирования базируются на статистической обработке геолого-маркшейдерской информации, устанавливаемых статистических связях между отдельными параметрами малоамплитудного нарушения и некоторыми характеристиками углевмещающей толщи. К таким характеристикам обычно относят изменчивость гипсометрии, протяженность крупных разрывов, прочность угля и вмещающих пород, углы падения пласта, глубину залегания, расстояние до крупного нарушения, местоположение участка месторождения в складке, мощность и литологический состав пород и др. Прогнозирование малоамплитудной нарушенности с одновременным учетом многих факторов на основе многомерного математического моделирования.

§ 8. Поиски смещенной части пласта и задание выработок на смещенную часть

Определение положения смещенной части залежи в значительной мере зависит от степени изученности нарушения и его характера, встречалось ли нарушение ранее или горной выработкой оно встречено впервые.

Если горной выработкой, например штреком гор. +100 м в точке T (рис. 10.18), разрывное нарушение встречено впервые, то производят тщательные наблюдения обнажения, его зарисовку или фотографирование и привязку к маркшейдерским точкам. Определяют элементы залегания пласта и сместителя, отмечают поведение пласта у сместителя, следы и направление перемещения.

По элементам залегания устанавливают взаимоположение пласта и сместителя и со стороны какого крыла (лежачего $P_{\text{л}}$ или в данном случае — висячего $P_{\text{в}}$) подошли к сместителю. Чисто геометрически определить местоположение смещенного крыла не представляется возможным. Решение может быть двояким. Лежащее крыло может быть справа (см. рис. 10.18, *а*) или слева от висячего (см. рис. 10.18, *б*). Для однозначного ответа применяют комплекс методов.

На направление смещенной части указывают подгибы пласта у сместителя, борозды, царапины, штрихи, заусенцы и дру-

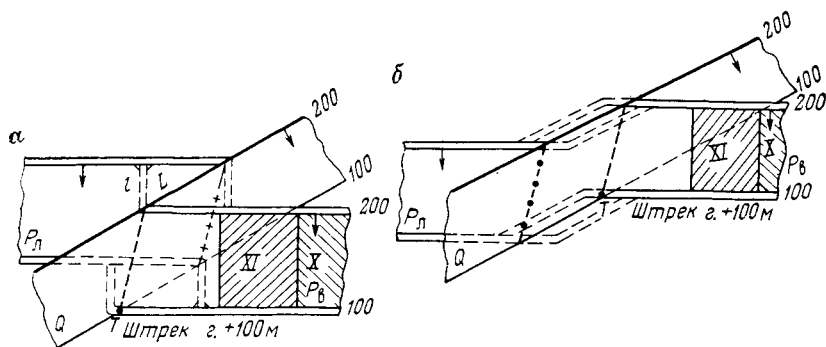


РИС. 10.18. Возможные положения и задание выработок на смещенное крыло P_d при перекрытии (а) и зиянии (б) крыльев

гие знаки скольжения на отшлифованных участках поверхности сместителя, ореол рассеивания обломочного материала сместителя, образованный перемещением крыльев.

Если перечисленные методы не позволяют установить направление, по которому следует искать смещенную часть пласта, то из горной выработки проводят разведку буровыми скважинами. Установив расположение смещенного крыла, по стратиграфическому сопоставлению (геологическому разрезу) пород одного крыла относительно другого определяют амплитуду смещения (l или L). Затем строят план нарушения — сместителя и крыльев в горизонталях по их элементам залегания.

По плану и разрезам проектируют выработки на смещенную часть исходя из назначения и удобства их проведения. На рис. 10, а, б показаны возможные варианты направления выработок. При этом учитывают, что, как правило, более интенсивно нарушены породы висячего крыла разрыва.

Определение истинных размеров сместителя и характера изменения амплитуд перемещения производят с помощью построения эпюры сместителя. Для этого, используя формулу (10.4), вначале определяют отношение между длинами большой и малой осей эллипса, затем их ориентировку и максимальную амплитуду. Малую ось ориентируют по направлению следов перемещения, определяемых углом γ в плоскости сместителя, большую ось располагают под углом $\gamma \pm 90^\circ$ к горизонту.

Определение максимальной амплитуды дизъюнктива, находящейся в центре эпюры сместителя, и длины сечения между нулевыми амплитудами эпюры производят с использованием зависимостей, установленных С. Д. Тихоновой. Сечения, по которым строят эпюру, может проходить или не проходить через ее центр.

Зависимость между протяженностью l сечения, проходящего через центр сместителя в любом направлении θ относительно его большой оси, от максимальной истинной амплитуды R :

$$l = \frac{nmR}{\sqrt{n^2 \sin^2 \theta + m^2 \cos^2 \theta}}, \quad (10.11)$$

где n и m — коэффициенты, определяемые по бассейнам.

Величина отношения l/R , получаемая из выражения (10.11), является функцией только угла между анализируемым сечением и большой осью. При $\theta=0^\circ$ сечение совпадает с большой осью, а $l/R=n$; при $\theta=90^\circ$ отношение $l/R=m$, так как в этом случае сечение совпадает с малой осью. Промежуточные значения отношений изменяются от n до m .

Следовательно, независимо от размера дизъюнктива для одинаковых углов θ отношение протяженности любого центрального сечения к максимальной амплитуде является величиной постоянной.

Методика построения модели дизъюнктива по центральному сечению заключается в следующем.

С плана горных работ переносят след дизъюнктива и отмечают участки, где произведено измерение амплитуд смещения. Через точку с максимальным значением амплитуды проводят малую ось под углом ν к простираанию дизъюнктива и перпендикулярно к ней большую ось. По осям складывают значения их протяженности в масштабе чертежа, определенные из выражения (10.4). Проводят нулевую амплитуду, ограничивающую распространение дизъюнктива, а также изоамплитуды промежуточных значений (от нуля до максимума), т. е. строят эпюру дизъюнктива. Отмечают на эпюре положения горизонтов отработки, которые наносят с учетом угла падения сместителя, проводят изогипсы сместителя. Наносят на эпюру дизъюнктива следы угольных пластов от точек, вскрывших их на прослеженном горными выработками центральном сечении.

Положение следов угольных пластов на эпюре дизъюнктива позволяет определить величины истинных амплитуд перемещения пластов по их пересечениям с изоамплитудами различного значения.

Рассмотренная методика является частным случаем, поскольку относится только к центральным сечениям.

Большая часть вскрытых горными выработками сечений не проходит через центр дизъюнктива. Величины отношений протяженностей произвольных сечений l_1 к наибольшим амплитудам на них r в этом случае не совпадают со значениями l/R центральных сечений. Это говорит о том, что прослеженная горными выработками часть сечения удалена от центра дизъюнктива и тем дальше, чем больше разница между отношениями l_1/r и l/R . Наибольшая амплитуда на сечении при этом

значительно отличается от максимальной, знание которой необходимо для определения размеров дизъюнктива.

Поскольку длины большой и малой осей эллипса сместителя являются функцией максимальной амплитуды, протяженность произвольного сечения с наибольшей амплитудой на нем r также связана соотношением с максимальной амплитудой:

$$l_1 = \frac{nm \sqrt{(2R - r)r}}{2 \sqrt{n^2 \sin^2 \theta_1 + m^2 \cos^2 \theta_1}}. \quad (10.12)$$

Протяженность произвольного сечения пропорциональна максимальной истинной амплитуде дизъюнктива и наибольшей истинной амплитуде в данном сечении.

Все переменные уравнения, кроме R , характеризуют единичное сечение и могут быть определены при непосредственных замерах в горных выработках или по геолого-маркшейдерской документации. Преобразовав зависимость (10.12) относительно R , получают выражение, позволяющее по характеристикам единичного сечения, произвольно расположенного на поверхности сместителя, определить максимальную амплитуду дизъюнктива:

$$R = \frac{l_1^2 (n^2 \sin^2 \theta_1 + m^2 \cos^2 \theta_1)}{2n^2 m^2 r} + \frac{1}{2} r. \quad (10.13)$$

Ниже приведена методика построения модели дизъюнктива и прогноза амплитуд перемещения угольных пластов на примере разрывного нарушения (аз. пад. $180^\circ < 65^\circ$), прослеженного горными выработками по пласту VI «Внутренний» (аз. пад. $255^\circ < 54^\circ$) на шахте «Коксовая» Кузнецкого бассейна. Протяженность прослеженного сечения l_1 на гор. 100 м равна 180 м, наибольшая нормальная амплитуда (4,2 м) приурочена к его средней части, истинное значение амплитуды $r = 5,8$ м. Угол между восстанием следов перемещения и простиранием сместителя $\gamma = 10^\circ$. Положение прослеженного сечения на горизонте 100 м относительно большой оси определяет угол $\theta_1 = 80^\circ$.

Прежде чем перейти к определению максимальной амплитуды разрыва, оценивают положение прослеженного сечения дизъюнктива относительно его центра. Для этого сравнивают отношение $l_1/r = 31$ анализируемого сечения с отношением для центрального сечения (20,2), расположенного под углом $\theta = 80^\circ$ к большой оси. Из разницы этих величин следует, что сечение находится на значительном удалении от центра дизъюнктива. Из выражения определяют максимальную амплитуду дизъюнктива, которая оказалась равной 9,7 м. Из уравнений (10.4) при $n = 60$ и $m = 20$ определяют протяженность дизъюнктива по большой оси, равную 582 м, по малой — 194 м. Определив параметры дизъюнктива, переходят к построению его эллипса. Вначале определяют положение центра сместителя, т. е. точки

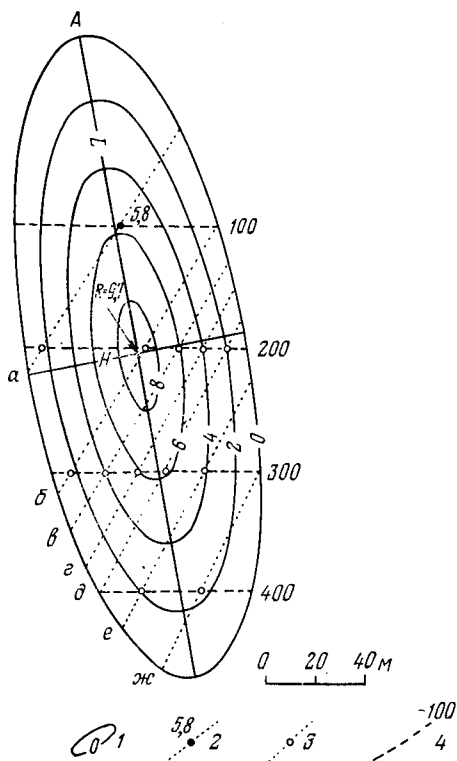


РИС. 10.19. Эпюра дизъюнктива:
L — большая ось; *H* — малая ось; *R* — изо-
 амплитуды; 1, 2, 3 — фактические и про-
 гнозные амплитуды по следам пластов; 4 —
 горизонты отработки

дизъюнктива и принятого масштаба изображения; следы пла-
 стов (а—ж), определив расстояние между ними в направлении
 простираения дизъюнктива; изогипсы сместителя или следы го-
 ризонтов отработки.

Прослеженное на горизонте 100 м разрывное нарушение,
 как видно из построенной модели на рис. 10.19, будет встре-
 чено при проведении горных выработок по пластам а, б, в, г,
 д на горизонте 200 м, по пластам а, б, в, г, д, е на горизонте
 300 м, по пластам е, ж на горизонте 400 м. Величины ампли-
 туд перемещения в подготовительных выработках, пройденных
 по пластам на соответствующих горизонтах, определяются по
 изоамплитудам.

с максимальной амплиту-
 дой. Центр сместителя рас-
 положен на сопряженном
 диаметре *cd*, являющемся
 геометрическим местом се-
 редин параллельных сече-
 ний, к которым отнесены
 наибольшие амплитуды
 смещения. Расстояние от
 вскрытого сечения до цен-
 тра дизъюнктива по сопря-
 женному диаметру находят
 из выражения

$$l = \frac{nm(R - r)}{2n^2 \sin^2 \theta + m^2 \cos \theta}, \quad (10.14)$$

где θ — угол между сопря-
 женным диаметром и боль-
 шой осью.

Через центр сместителя
 проводят большую и пер-
 пендикулярно к ней малую
 оси, по которым отклады-
 вают отрезки, равные вы-
 численным значениям их
 протяженностей, и строят
 эллипс — эпюру дизъюнк-
 тива (рис. 10.19). В кон-
 туре эллипса проводят изо-
 линии равных амплитуд,
 число которых зависит от
 максимальной амплитуды

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. Виды трещин и их классификация

Трещины — разрывы сплошности горных пород без значительного относительного перемещения по ним блоков.

Трещины возникают вместе с горной породой, существуют и изменяются в ней на протяжении всей ее истории. В горных породах они составляют сложные пространственные сети. Строение сетей трещин определяет деформационные, прочностные, фильтрационные и другие свойства массивов горных пород и слоистых толщ, закономерности размещения и технологию разработки месторождений многих полезных ископаемых. Трещины могут быть заполнены водой, газами, минеральными и органическими веществами. Трещины разнообразны геометрически, по морфологии и генезису.

Различают *геометрическую* (рис. 11.1), *генетическую* (рис. 11.2) и *морфологическую* (рис. 11.3) классификации трещин. В первую заложено пространственное положение и размер трещин, во вторую — происхождение, в третью — форма и строение трещин.

По способу образования трещины делят на трещины скалывания, возникающие под действием максимальных касательных напряжений, и трещины отрыва, образующиеся перпенди-

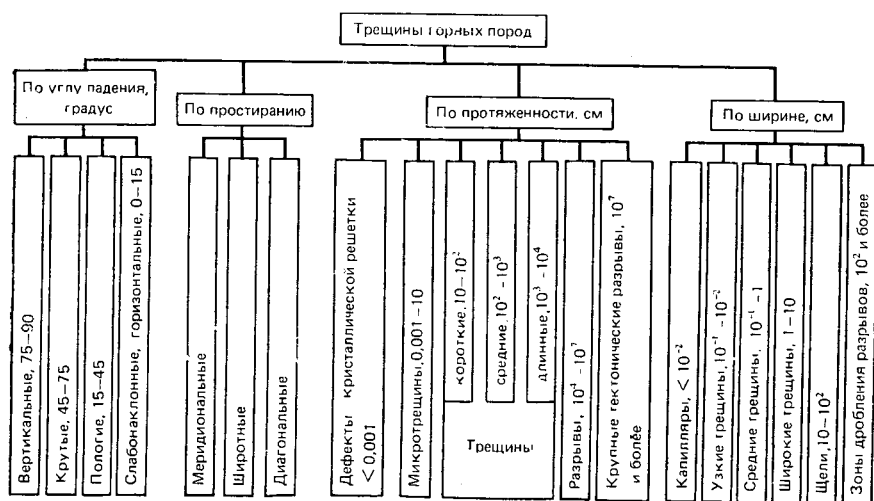


РИС. 11.1. Геометрическая классификация трещин

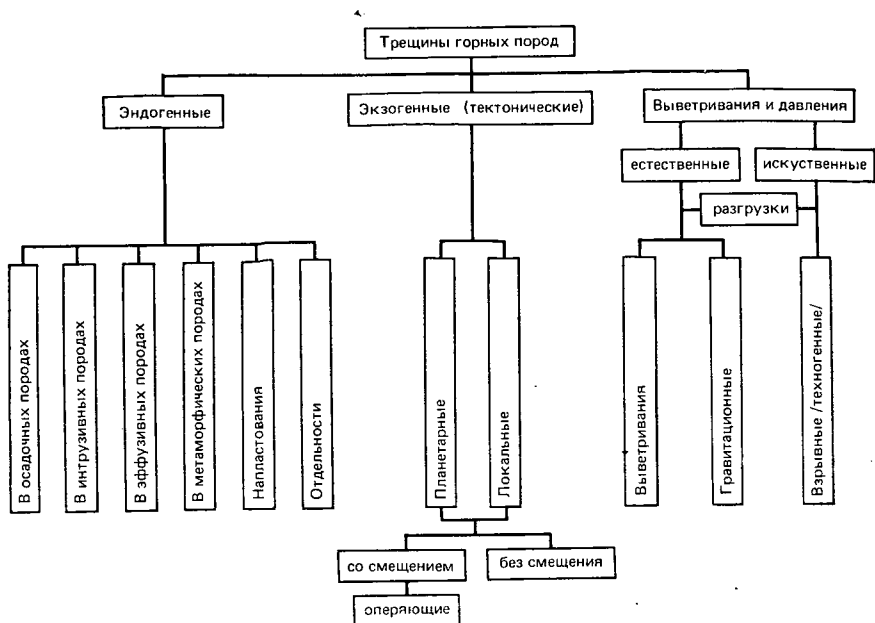


РИС. 11.2. Генетическая классификация трещин

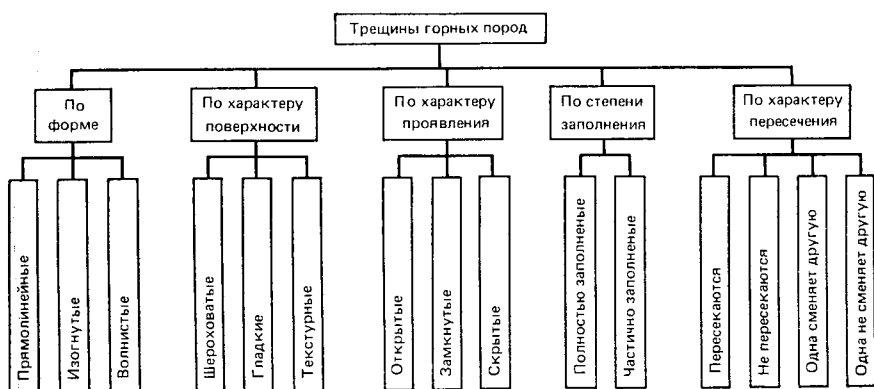


РИС. 11.3. Морфологическая классификация трещин

кулярно к направлению максимального растягивающего напряжения.

Для трещины скалывания характерна прямолинейность, ровность, притертость поверхностей, большая протяженность и со-
путствие оперяющих трещин, наличие тектонической глинки и брекчии. В природе они занимают господствующее положение и распространяются на большие глубины.

Для трещины отрыва характерна криволинейность, неровность поверхности, они быстро выклиниваются по простиранию и падению, заполнены обломками вмещающих пород. Развита на поверхности земли и с глубиной исчезают.

По технологическому фактору трещины разделяются на: *продольные* (разность простираний трещины и плоскости обнажения или откоса не более 20°); *диагональные* (разность простираний в пределах $21-70^\circ$); *поперечные* (разность простираний больше 70°).

Трещины возникают из-за уменьшения объема горных пород при диагенезе осадков и при остывании изверженных пород. Эти трещины носят название эндогенных, или контракционных, первичных, трещин усыхания или трещин отдельности. В рудных месторождениях гидротермального типа они располагаются часто параллельно направлению движения рудообразующих растворов. В пластовых месторождениях такие трещины располагаются перпендикулярно к напластованию и образуют, как правило, две системы: основную, параллельную простиранию пластов, и торцевую, параллельную падению пластов (рис. 11.4). Основная трещиноватость эндогенного происхождения образуется в результате скалывания, торцевая — в результате отрыва. Основная трещиноватость имеет гладкие поверхности, торцевая — шероховатые. Так как трещины этого вида располагаются почти перпендикулярно к пласту, их называют также прямоколющими. Образованию этого вида трещин способствовали также напряжения, возникав-



РИС. 11.4. Основная (а), торцевая (б), нормально секущие и диагональные трещины (в)

шие при волновом движении земной коры, и напряжения неравномерного прогибания фундамента осадочных отложений.

Частота и выраженность эндогенных трещин связана с петрографическим составом горных пород. При одинаковой мощности слоя трещины располагаются чаще в породах менее прочных и более хрупких, чем в породах более прочных и менее хрупких.

В слоях одного и того же петрографического состава частота трещин увеличивается с уменьшением мощности слоя. При меньшей частоте нередко наблюдается большее зияние трещин.

В каменном угле основная трещиноватость выражается более отчетливо, чем торцевая. Местами трещиноватость по основной системе проявляется настолько интенсивно, что весь угольный пласт представляется состоящим из тонких пластинок.

Протяженность эндотрещин ограничивается, как правило, контактами литологических разностей. При постоянных элементах залегания напластования элементы залегания этих трещин хорошо выдерживаются. Эндотрещины вместе с плоскостями напластования образуют правильные отдельности параллелепипедальной формы. Вместе с изменением положения слоев в пространстве в результате тектонических процессов изменяются и элементы залегания эндотрещин. Отсюда, зная строение месторождения, можно заранее определить ориентировку этого вида трещин. Исключением являются замки складок, где нарушается параллельность трещин, и достоверность прогнозов может быть небольшой.

Трещины, появляющиеся в результате тектонических усилий на уже сформировавшуюся породу при образовании различных тектонических структур, называются экзогенными или тектоническими.

Тектонические трещины также образуются как трещины отрыва и скола. Трещины отрыва возникают только при наличии растягивающих напряжений. Трещины скола образуются под некоторым углом к направлению наибольших сжимающих усилий. По отношению к пласту такие трещины большей частью располагаются косо, поэтому получили также название *кососекущих* (отчетливо выделяются на рис. 11.4). Они образуют отдельности различных форм. Трещины тектонического происхождения могут накладываться на складчатость, если они сформировались по завершении складкообразования и могут быть сопряженными с отдельными геометрическими элементами складок, если они сформировались в процессе складкообразования. В последнем случае тектонические трещины образуют определенный угол с осевой плоскостью складки.

Экзотрещины обычно не связаны с напластованием, имеют хорошо выраженные поверхности, на которых обнаруживаются зеркала, скольжения, следы притирания. По форме поверх-

ность трещин бывает ребристой, изогнутой, волнистой, не всегда строго параллельной друг другу. Сцепление по ним невелико.

Экзотрещины не ограничиваются контактами литологических разностей, но проявляются в них различно. В пласте угля, например, они проявляются весьма отчетливо, тогда как в боковых породах обнаруживаются значительно труднее, что объясняется различными критическими скалывающими напряжениями угля и боковых пород. Элементы залегания в различных литологических разностях изменяются незначительно.

Экзотрещины оказывают наибольшее влияние на процесс сдвижения горных пород, распределение давления боковых пород и отбойку угля.

Трещины выветривания, или гипергенные, возникают благодаря химическому и физическому выветриванию горных пород и закладываются обычно по скрытой, но уже возникшей внутри массива трещиноватости. Проявляются они в основном на поверхности в зоне выветривания.

Трещины давления образуются под влиянием горного давления и взрывания при проведении горных выработок и выемке полезного ископаемого, когда возникающие на участках напряжения горных пород переходят предел упругости. Такие трещины обычно являются трещинами отрыва. Поверхности их весьма неровны, извилисты. Распространяются они неравномерно и не образуют систем трещин.

§ 2. Наблюдения и обработка наблюдений трещиноватости

Изучение трещиноватости массива горных пород включает полевые наблюдения, обработку и анализ полевых наблюдений, построение участковых стереограмм, составление карты и решетки трещиноватости горных пород, анализ результатов съемки трещин с использованием математической статистики, прогноз влияния структурно-тектонических особенностей на устойчивость горных выработок и технологию ведения горных работ. Трещины в массиве образуют пространственную сеть.

Следы трещин на произвольной фиксированной плоскости образуют плоскую сеть, а на произвольно фиксированной прямой — линейную сеть трещин. Параметры сети складываются из параметров единичной трещины и собственно сети.

В пределах участка наблюдений определяют следующие геометрические показатели трещиноватости:

ориентировку трещин — азимут α_n и угол δ падения плоскости трещин, раскрытие или ширину m трещин в плоскости наблюдения, протяженность трещин l по нормали к плоскости напластования для первичных трещин в осадочных породах, или по направлению падения плоскости раздела — для остальных трещин, частоту трещин l_{ni} — расстояние по нормали между соседними трещинами данной системы:

$$l_{ni} = l_{cp_i} \sin \gamma_i, \quad (11.1)$$

где $l_{\text{ср}i}$ — видимое среднее расстояние между трещинами по линии замера в i -той системе, причем

$$l_{\text{ср}i} = L/n_i, \quad (11.2)$$

где L — длина участка замера; n_i — видимое число трещин в i -той системе на участке замера; γ_i — острый угол между направлением линии замера и азимутом простирания i -той системы.

Видимое число трещин в обнажении зависит от ориентировки трещин и плоскости обнажения. Поэтому замеряют элементы залегания трещин и забоя (плоскости обнажения).

Для количественной оценки трещиноватости пород при решении специальных задач определяют так называемую *трещинную емкость*, т. е. относительный объем трещин в 1 м³ породы; трещинную пустотность массива как отношение объема полостей трещин к общему объему массива; коэффициент трещинной пустотности как отношение площади трещин к площади межтрещинных целиков в плоскости обнажения и др.; *интенсивность* (густоту), характеризуемую линейным $K_{\text{л}}$ и площадным $K_{\text{п}}$ коэффициентами:

$$K_{\text{л}} = n'_{\text{л}}/L; \quad K_{\text{п}} = n'_{\text{п}}/S, \quad (11.3)$$

где $n'_{\text{л}}$ — число трещин данной системы на отрезке L , м; $n'_{\text{п}}$ — число трещин данной системы на участке площадью S , м².

Влияние направления забоя на степень проявления в нем трещиноватости рекомендуется определять по формуле

$$n' = n/\sqrt{\cos^2 \delta + \sin^2 \delta \cos^2 \alpha}, \quad (11.4)$$

где n' — число трещин в сечении, перпендикулярном к направлению падения трещин этой системы; n — число замеренных трещин одной системы, видимых в забое.

Так как $n' = Kn$, коэффициент

$$K = 1/\sqrt{\cos^2 \delta + \sin^2 \delta \cos^2 \alpha}, \quad (11.5)$$

т. е. зависит от угла падения трещин δ и угла отклонения α плоскости забоя от плоскости, нормальной к направлению падения трещин. Величина коэффициента K возрастает с увеличением углов δ и α . При углах меньше 35° коэффициент K можно не учитывать.

Параметры сети характеризуются средними азимутами и углами падения для каждой системы трещин и степенью расчлененности массива как трещинами каждой системы (линейный параметр), так и совокупностью систем трещин, образующих пространственную сеть трещин (объемный параметр).

Все методы наблюдения трещиноватости делят на прямые и косвенные, и они могут быть сведены в три группы: *натурные*, *фотограмметрические* и *геофизические* (рис. 11.5).

Эти методы, как видно из таблицы, в свою очередь делятся на несколько видов — по способу производства замеров и используемому оборудованию и приборам.

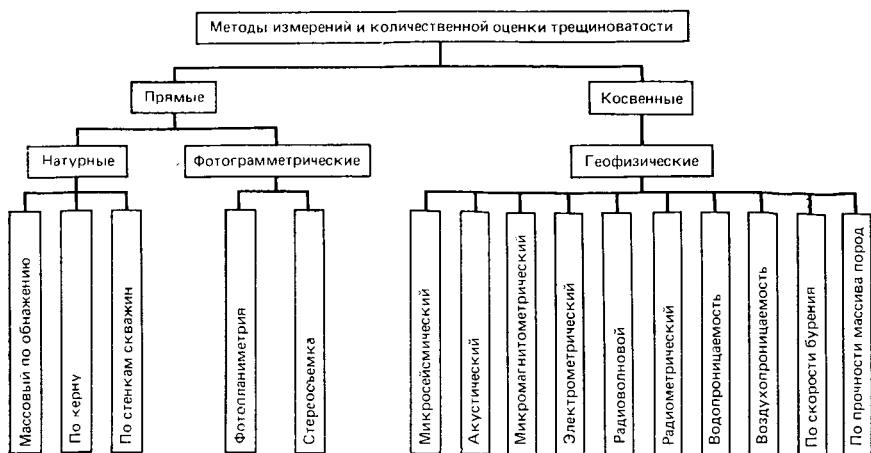


РИС. 11.5. Классификация методов измерения и количественной оценки трещиноватости

Массовый замер предусматривает измерение элементов залегания большого числа трещин и расстояний между ними. Замер производят как по линии, так и отдельно по каждой системе.

Наблюдают трещиноватость как полезного ископаемого, так и боковых пород в естественных и искусственных обнажениях на уступах карьеров, в забоях подготовительных и очистных выработок. В зависимости от однородности структуры месторождения наблюдения ведут в точках через каждые 10—200 м. Точка — это участок по падению и простиранию, равный 1—2 м. Для каждой системы трещин подсчитывают число трещин одного порядка, оказавшихся на отрезке в 1 м по нормали к трещинам. Число замеров элементов залегания в одной «точке» одной системы трещин в породах различной крепости рекомендуется следующее:

Коэффициент крепости пород f по М. М. Протодьяконову	Не более 2	3—4	5—6	8
Число замеров	52	43	32	25

Замеры могут производиться по линии как по всем, так и отдельно по каждой системе. При этом определяют ориентировку плоскости обнажения и элементы залегания залежи.

Оценка трещиноватости массива может быть осуществлена по керну с помощью кернометра или керноскопа. Элементы залегания трещин и их число определяют по стенкам скважин и шпуров бороскопами типа РВП.

Для замера элементов залегания и частоты трещин используют горный компас, солнечный компас, а также гироскопический трещиномер, угломер, линейку, рулетку.

Большое внимание уделяют фотограмметрическим съемкам и методам определения элементов залегания трещиноватости по фотоснимкам. Широко внедряются геофизические методы оценки трещиноватости.

В горных породах наблюдаются трещины разного порядка — от хорошо выраженных до более мелких (волосяных). Есть трещины и невидимые, но также определяющие возможность пород раскалываться все в том же направлении, образуя отдельности меньших размеров. Эти отдельности в свою очередь могут делиться на более мелкие части, подобные по своей форме первой отдельности, и т. д. Такая возможность деления каждой отдельности на более мелкие, подобные ей, определяется наличием трещин различной величины, разного порядка, принадлежащих к одной системе. Для того чтобы иметь возможность сравнивать между собой степень проявления отдельных систем трещиноватости и их частоту, надо во всех случаях замерять и совместно обрабатывать трещины одного порядка. К таким следует относить хорошо и четко выраженные трещины каждой системы, наблюдаемые визуально. По этим трещинам легче всего происходит разделение горных пород на структурные блоки.

Системы эндотрещин обычно хорошо выявляются, поэтому элементы залегания их определяются как среднеарифметическое из результатов наблюдений по каждой системе трещин.

Определение числа систем экзотрещин и наиболее вероятных значений элементов их залегания производят с помощью статистической обработки на точечных диаграммах. Чаще всего пользуются прямоугольными или круговыми диаграммами.

На прямоугольной диаграмме на одной оси наносят азимутальную шкалу от 0° до 360° , на другой — шкалу углов наклона от 0° до 90° . Каждую трещину по азимуту и углу падения, как по прямоугольным координатам, наносят на диаграмму в виде точки. Трещины литологических разностей на одной диаграмме отмечаются по-разному — точкой, крестиком, кружочком и могут обрабатываться как совместно, так и раздельно для каждой разновидности.

Круговая диаграмма представляет собой полярную стереографическую или иную сетку. Здесь также каждая трещина изображается точкой. Например, трещина с азимутом падения 300° и углом падения 55° изобразится точкой *A*, лежащей на пересечении радиуса 300° с окружностью 55° (рис. 11.6, *a*).

После нанесения на сетку всех точек выбирают размер статистического окна, например, 20° по углу падения и 20° по азимуту падения. В пределах каждого окна определяют густоту точек, т. е. число попавших в окно точек. Затем вычисляют плотность — как отношение числа точек в пределах окна ко всему числу точек на этой диаграмме в процентах. Вычисленное значение густоты или плотности подписывают у центра окна, при этом окно перемещают на половину размера окна

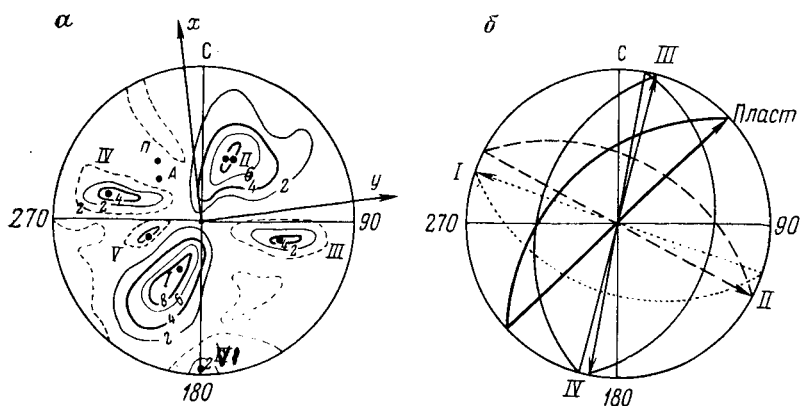


РИС. 11.6. Круговые диаграммы трещиноватости:

а — структурная диаграмма с изолиниями плотности трещин; *б* — стереографическая проекция плоскостей систем трещин

по азимуту и углу падения. Затем, задавшись сечением, на диаграмме строят изолинии густоты или плотности трещин. Центры областей, ограниченные изолиниями максимальных плотностей, отражают наиболее вероятные элементы залегания систем трещин, число которых и выраженность характеризуются числом вершин и плотностью изолиний.

Для перехода от магнитных азимутов к дирекционным углам вводят поправку за сближение меридианов и магнитное склонение путем поворота координатных осей на угол Δ , соответствующий поправке.

Статистический анализ элементов залегания необходимо проводить отдельно по генетическим типам трещин. Не допускается объединение в одном статистическом ряду элементов залегания трещин, сходных по морфологии, но различающихся по механизму и условиям образования. Нельзя, например, объединить в один ряд замеры элементов залегания трещин скалывания и трещин отрыва, трещин отдельности и трещин оперения, внутрислойных и общих трещин, так как каждая такая группа трещин имеет ряд свойственных только ей одной особенностей проявления.

На рис. 11.6, *а* представлена диаграмма с изолиниями плотности трещин в процентах. Здесь отчетливо выделяются четыре системы трещин со средними значениями элементов залегания (азимут и угол падения) в точках *I* (208° , 38°), *II* (19° , 45°), *III* (105° , 32°), *IV* (283° , 49°) и менее выраженные системы *V* (252° , 47°) и *VI* (181° , 4°). Точка *II* нанесена по азимуту падения (315°) и углу падения (40°) пласта.

На рис. 11.6, *б* эти же системы трещин и угольный пласт представлены плоскостями с помощью меридиональной сетки. Из рисунка видно, что системы *I—II* и *III—IV* являются

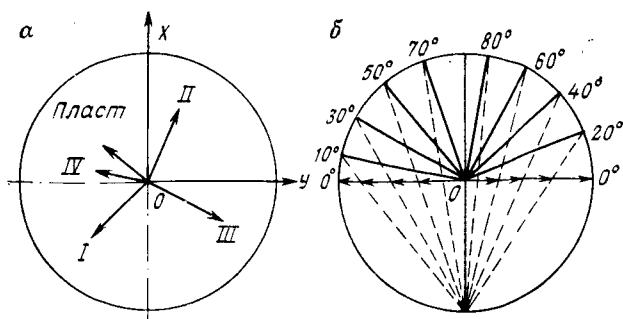


РИС. 11.7. Векторная диаграмма систем трещин (а), масштаб векторов (б)

сопряженными. По стереограмме можно легко определить линию взаимного пересечения любых трещин и элементы ее залегания; угол между трещинами, а также углы между плоскостью обнажения, плоскостью пласта и каждой системой трещин, определить видимые углы падения плоскости пласта и трещин в любом по азимуту вертикальном сечении.

На рис. 11.7, а системы трещин I, II, III и IV выявленные в данной «точке» наблюдения, представлены векторной диаграммой. Каждый вектор направлен по азимуту или дирекционному углу линии падения системы трещин, а длина его пропорциональна углу падения и берется по масштабу углов падения, построение которого понятно из рис. 11.7, б. У конца каждого вектора подписывают номер системы и нормальную частоту трещин — среднее нормальное расстояние между трещинами данной системы в метрах.

По векторной диаграмме определяют видимые падения и взаиморасположение трещин в любом по азимуту вертикальном сечении. Для этого через начало и конец каждого вектора проводят по нормали к ним прямые — горизонтали плоскостей. Через центр диаграммы проводят проекцию линии профиля. По отрезкам на этой линии между горизонталями каждой плоскости с помощью масштаба углов падения определяют видимые углы падения трещин и пласта и используют их при построении профиля по данному сечению.

Линейный угол γ между плоскостями, элементы залегания которых ($\alpha_1\delta_1$ и $\alpha_2\delta_2$) известны, определяют с помощью меридиональной сетки или по формуле

$$\cos \gamma = \sin \delta_1 \sin \delta_2 \cos A + \cos \delta_1 \cos \delta_2, \quad (11.6)$$

где $A = \alpha_1 \div \alpha_2$ — разность простираний плоскостей.

§ 3. Геометрические показатели трещиноватости

Под *трещиноватостью* понимается совокупность трещин, развитых в единичном отдельно изучаемом массиве горных пород, различных по геометрии, морфологии и генезису.

Множество трещин, примерно параллельных друг другу, образуют систему трещин. Разброс элементов залегания трещин одной системы не превышает $\pm 10^\circ$ для среднего значения азимута и $\pm 5^\circ$ — для угла падения. Система трещин — понятие горно-геометрическое.

Трещиноватость оценивается количественно и качественно. Количественную оценку имеют ширина, длина, ориентировка, интенсивность. Качественная характеристика дается по виду заполнителя, форме поверхностей стенок, составу вмещающих трещину пород.

Трещины различных систем, пересекаясь между собой, делят массив горных пород на структурные блоки, форма и размеры которых зависят от интенсивности трещиноватости и числа систем трещин. В разных породах, слоях, а также на разных участках одних и тех же пород форма и размеры структурных блоков различны.

Чем меньше размеры блоков, тем больше интенсивность трещиноватости, тем большая раздробленность массива и тем меньше его прочность.

Степень раздробленности массива на данном участке может быть выражена коэффициентом W , равным отношению единицы объема (1 м^3) к объему усредненного структурного блока ($V_{\text{ср}}$):

$$W = 1/V_{\text{ср}}. \quad (11.3)$$

Объем усредненного структурного блока определяют по средним нормальным расстояниям между трещинами одного порядка наиболее выраженных систем, включая плоскости напластования, образующих формы отдельностей (структурные блоки), по формуле

$$v_{\text{ср}} = 6/(\pi n^3), \quad (11.7)$$

где n — число трещин, которые пересекали линию замера (ось скважины) определенного размера;

$$n = N/L, \quad (11.8)$$

где N — общее число видимых трещин по линии замера; L — длина линии замера, м.

Имеется ряд эмпирических зависимостей между максимальным размером структурного блока и мощностью слоя, средним размером структурного блока и выходом керна, объемом структурного блока, параметрами буровзрывных работ и объемом среднего куска во взорванной горной массе и др.

Существуют, как уже отмечено, прямые и косвенные методы определения трещиноватости. Прямые измерения трещин, а затем и определение трещиноватости по формулам (11.3) часто бывают невозможны из-за отсутствия или недостатка обнажений. Поэтому наряду с ними разрабатывают и применяют геофизические методы определения трещиноватости, основанные

на связях параметров трещин с различными свойствами массивов. Трещины влияют фактически на все свойства массива. Косвенные методы в большинстве своем не определяют отдельные параметры структурной модели сети трещин. Они дают относительную оценку степени трещиноватости для различных точек участков или различных направлений в массиве.

Наиболее распространенные косвенные методы определения трещиноватости массива основаны на измерении скорости упругих, ультразвуковых, электромагнитных волн, эманационных аномалий, изменениях поглощения воды или воздуха трещиноватым массивом. Наибольший эффект при изучении трещиноватых зон дает комплексное применение различных методов.

Геофизические методы позволяют получить качественные ориентировочные оценки изменения трещиноватости по направлениям и в плане, т. е. оценить неоднородность и анизотропию массива, вызванные трещиноватостью.

Так, акустический показатель трещиноватости

$$A = (v_c/v_y)^2; \quad (11.9)$$

где v_c — скорость прохождения упругих продольных волн в трещиноватом массиве; v_y — скорость прохождения упругих продольных волн в монолитном образце.

Удельная трещиноватость массивов горных пород на участках уступов действующих карьеров методами вертикального электротондирования и электропрофилирования по А. Х. Дуэру:

$$z = \left[\frac{(\rho_0 - \rho_k) e^{1,08 \cdot 10^{-4} (\sigma - 90)^2}}{34,12 \rho_{\text{зап}}} \right]^{1,84}, \quad (11.10)$$

где z — удельная трещиноватость, трещин/м; ρ_0 — удельное электросопротивление образца горной породы, Ом·м; ρ_k — кажущееся электросопротивление заполнителя трещин, Ом·м; $\rho_{\text{зап}}$ — удельное электросопротивление заполнителя трещин, Ом·м; δ — угол падения системы трещин, градус.

Стереограммы или векторные диаграммы трещин, построенные для ряда точек наблюдения на участке месторождения, могут служить основой для построения карты или плана трещиноватости.

Для этого на гипсометрическом плане в заданном масштабе или плане основного или маркирующего слоя по координатам наносят точки наблюдения, подписывают около них соответствующий каталогу номер и высотную отметку. На стереограммах системы трещин изображают в горизонталях в проекции с числовыми отметками. Далее каждую стереограмму по координатам центра совмещают с соответствующей точкой плана, ориентируют по осям и на план переносят горизонтالي наиболее выраженных систем трещин. Менее выраженные системы

ТАБЛИЦА 11.1

Категория пород по трещиноватости	Средний размер структурного блока, см	Удельная трещиноватость, 1/м	λ	A_i	Породы и типичные геологические условия
I. Чрезвычайно трещиноватые	Не более 10	Более 10	0,01—0,45	0,01—0,10	Сильно выветрелые осадочные и метаморфические полускальные и скальные нарушенные каолинизированные кварцы, магнетиты, уголь, песчано-глинистые сланцы
II. Сильно трещиноватые	10—50	2—10	0,02—0,15	0,10—0,25	Слоистые и сланцевые осадочные и метаморфические полускальные, выветрелые гранодiorитпорфиры, роговики, скарны, доломиты
III. Среднетрещиноватые	50—100	1—2	0,1—0,55	0,25—0,40	Песчаники аркозовые и глинистые, известняки выветрелые, кварциты, габродиабазы, плотные, серпентиниты
IV. Малотрещиноватые	100—150	1,0—0,65	0,5—0,9	0,40—0,60	Скальные осадочные, метаморфические и магматические породы, спилиты, габбро, очень плотные серпентиниты, кварцы, известняки, песчаники мелкозернистые
V. Практически монолитные	Более 150	Менее 0,65	0,6—0,98	0,60—1,0	Магматические и метаморфизованные скальные породы, кремнь, окремененные песчаники, базальты

трещин изображают линией падения, значением угла падения и частотой трещин, в результате чего на плане получают изображение систем трещин в изолиниях, т. е. в удобном виде для решения практических задач.

Если на план трещиноватости нанесены точки с векторами, то прямые, проведенные по нормали через начало и конец каждого вектора, явятся горизонталями плоскостей систем трещин, отметки которых будут различаться на величину h в масштабе плана. Горизонтали с целочисленными отметками находят путем интерполирования.

План интенсивности трещиноватости или раздробленности массива строят для отдельных пластов или слоев. Пласт, жилу или слой залежи и прилегающие боковые породы в зависимости от системы вскрытия и разработки разделяют на более или менее равные по простиранию и падению участки. Для каждого участка определяют значение коэффициента раздробленности, которое подписывают у центра участка. Затем по отметкам, задавшись сечением, строят изолинии интенсивности трещиноватости данного пласта, слоя.

На ряде полиметаллических месторождений таким образом выявлена приуроченность к зонам интенсивной трещиноватости, мест максимумов оруденения. Вскрытие такой зависимости на участке месторождения по данным эксплуатационной разведки позволяет составлять более достоверные прогнозы трещиноватости по оруденению или оруденения по трещиноватости и учитывать это при планировании горных работ — не приурочивать целики к зонам, ослабленным трещиноватостью и богатым оруденением. В табл. 11.1 приведены значения удельной трещиноватости и коэффициентов λ и A_i для различных категорий пород по трещиноватости [40].

§ 4. Связь трещиноватости с тектонической структурой месторождения

Трещиноватость и складчатые структуры. Наблюдения трещиноватости горных пород на шахтах Стахановского и Брянского районов Донбасса позволили выявить взаимозависимость экзогенной трещиноватости и тектонических структур, образовавшихся при длительной, но постоянной ориентировке напряжений.

Наблюдения экзотрещин производились в забоях очистных и подготовительных выработок на глубине 300—600 м. Во всех угольных и породных забоях были различимы две системы эндогенной и от двух до четырех систем экзогенной трещиноватости. Последние оказались трещинами скола по отношению к пласту кососекущими.

Обработка наблюдений элементов залегания трещин на точечных диаграммах с помощью стереографической сетки позволила выделить две разновозрастные пары сопряженных си-

стем трещин скола. Линии пересечения каждой из этих пар лежат в осевой плоскости исследуемой складчатой структуры. Линия пересечения одной пары, более древней, представленной трещинами продольной ориентировки, определяет положение шарнира B , а линия пересечения другой пары определяет положение направления, перпендикулярного к шарниру A . Плоскость, проведенная через линию пересечения сопряженных плоскостей и делящая тупой двугранный угол между ними пополам, определяет положение осевой плоскости складки.

При хорошо выраженных системах трещин отклонение от истинного положения осевой плоскости не превышает двугранный угол в $5-15^\circ$. При этом пара сопряженных систем, линия пересечения которых параллельна направлению A , определяет положение осевой плоскости точнее. Имеющиеся поблизости нарушения на расстоянии до 200 м (средние) и до 500 м (крупные) значительно искажают картину трещиноватости. В этих случаях положение осевой плоскости может быть определено неверно. Надежным контролем в определении положения осевых плоскостей складок является определение их по обоим парам сопряженных систем трещин. При этом биссектор тупого угла между сопряженными плоскостями систем трещин определяет положение осевой плоскости складки. Биссектор же острого угла этой же пары определит направление сжимающих напряжений, обусловивших возникновение этой складки.

Между двугранными углами складок V , острыми двугранными углами 2φ между сопряженными системами трещин и расстоянием R_0 от точки замера до осевой плоскости складки выявляется зависимость, выражаемая семейством кривых. Острый двугранный угол 2φ между сопряженными поверхностями трещин скола уменьшается с увеличением двугранного угла складки V и увеличением расстояния до осевой плоскости R_0 .

Изучение трещиноватости открывает большие возможности при геометризации месторождения. В случае, если вскрыто одно крыло, а данные о положении другого крыла недостаточны или отсутствуют, то можно их определить по изученной трещиноватости в одном крыле той же складки. Определение положения осевой плоскости складки также имеет большое значение при геометризации и разработке свиты пластов.

Возможно решение обратной задачи: определение элементов залегания экзогенной трещиноватости по элементам залегания крыльев складки. Решение ее имеет практический интерес при проектировании горных работ, когда участок разведан скважинами и наблюдения за трещиноватостью недостаточны, чтобы увязывать с ней постановку забоя лавы, управление кровлей и другие вопросы технологии разработки.

Трещиноватость и разрывные структуры. Установленная зависимость между элементами залегания складчатых структур и элементами систем трещин позволяет по элементам залега-

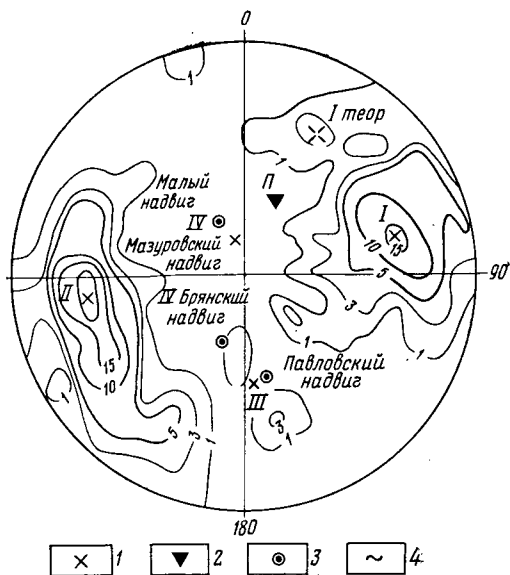


РИС. 11.8. Структурная диаграмма пласта l_5 в восточной лаве на гор. — 70 м:

1 — точка с максимальным значением относительной интенсивности трещиноватости; 2 — элементы залегания угольного пласта; 3 — элементы залегания ближайших нарушений с указанием расстояния до них и амплитуды; 4 — изолинии относительной интенсивности трещиноватости

отмечается или отклонение в положении действительного максимума отдельных систем трещин от его теоретического положения (I теор.), как это произошло с системой трещин I (рис. 11.8), или отсутствие максимума, т. е. трещин данной системы, например III и IV, в результате полного их замещения нарушением (Павловским, IV Брянским, Мазуровским и Малым), или смещение максимума от его теоретического положения в результате частичного замещения трещин данной системы нарушением, или образование разрыва в максимуме трещин в результате частичного замещения трещин разрывным нарушением.

На рис. 11.8 Павловский надвиг заместил III систему, а Мазуровский — IV-ю систему трещин. Так как нарушение замещает трещины с элементами залегания, близкими к элементам залегания сместителя, то по разрыву в максимуме можно предопределить ориентировку сместителя нарушения. Влияние разрывного нарушения на трещиноватость зависит от величины и амплитуды нарушения и от степени удаленности участка горных пород от нарушения и выражается зависимостью (10.5). Нарушения с амплитудой меньше мощности пласта практически не оказывают влияния на трещиноватость. Однако в непо-

ния складчатых структур теоретически определить пространственное положение систем трещин. В идеальном случае теоретический и действительный максимумы на структурных диаграммах должны совпадать (система трещин II).

Во многих случаях на структурных диаграммах они расходятся. Это отмечается тогда, когда вблизи участков наблюдения трещин имеются разрывные нарушения, элементы залегания которых совпадают или близки к элементам залегания систем.

При наличии разрывов вблизи мест наблюдений на структурных диаграммах

средственной близости от нарушения (до 10 м) отклонения могут снова наблюдаться, что объясняется наличием большого числа трещин, сопровождающих нарушение и имеющих одинаковые с его сместителем элементы залегания.

Все эти явления объясняются концентрацией напряжений вблизи разрыва и разрежением их на некотором расстоянии от него. Величина промежутка, на котором напряжения, обуславливающие появление трещин, разрежены, пропорциональна амплитуде нарушения. Нарушения с амплитудой, меньшей мощности слоя (пласта), как правило, не искажают общего поля напряжений.

Чаще всего разрывные нарушения оказываются приуроченными к системам трещин, параллельным шарнирам складок, при этом обычно значения их элементов залегания отклоняются от элементов залегания согласно падающей системы трещин в сторону элементов залегания крыла. При совпадении элементов залегания крыла и одной из системы трещин всегда следует ожидать нарушения, обусловленного двойным ослаблением пород в этом месте. Большинство крупных нарушений рассматриваемого района приурочено именно к таким участкам. Вскрытие закономерности при регулярных и систематических наблюдениях трещиноватости в подготовительных и очистных горных выработках позволяет прогнозировать в ряде случаев наличие и ориентировку разрывных нарушений.

§ 5. Влияние трещиноватости массива на производство горных работ

Трещиноватость массива горных пород имеет огромное как положительное, так и отрицательное значение в различных областях горного дела. В нефтяных и газовых месторождениях трещиноватость пород выходит одним из параметров, определяющих запасы полезного ископаемого и влияющих на режим эксплуатации месторождения.

При разведке и разработке твердых полезных ископаемых трещиноватость горных пород в одних случаях способствует увеличению производительности труда, в других является причиной различного рода аварий. Известно, что одной из причин различия между механическими свойствами пород в образце и в массиве является трещиноватость.

Трещины, как правило, приводят к структурному ослаблению сцепления массива. Оно определяется отношением сцепления по натурным K_m и лабораторным K_k испытаниям, называемым коэффициентом структурного ослабления сцепления в массиве λ_i :

$$\lambda_i = K_m / K_k. \quad (11.11)$$

При известных λ_i и K_k можно приближенно вычислить K_m :
 $K_m = \lambda_i K_k.$

Для трещиноватых пород угленосной свиты ВНИМИ получены следующие значения λ_i : по отдельным трещинам $\lambda_i = 0,02 \div 0,04$; по поверхностям ослабления $\lambda_i = 0,07 \div 0,10$; по другим направлениям $\lambda_i = 0,005 \div 0,60$.

Если в пределах месторождения значение λ_i хорошо выдерживается, то по другим направлениям оно сильно меняется и зависит от соотношения между размерами H деформирующейся призмы породы в направлении действия сил и размерами l в том же направлении элементарного структурного блока в пределах этой призмы, т. е.

$$\lambda_i = K_m / K_k = f(H/l). \quad (11.12)$$

Эта функция по Г. Л. Фисенко выражается эмпирической формулой

$$y = 1/(1 + ax), \quad (11.13)$$

где $y = K_m / K_k$; $x = \ln(H/l)$.

Значение a изменяется от 0 до 10.

Приведем примеры из горного дела, в которых трещиноватость горных пород играет существенную роль.

Постановка очистного забоя и направление его движения относительно трещиноватости (рис. 11.9). В горной практике имеется много примеров неблагоприятного расположения линии забоя лавы относительно трещиноватости, вследствие чего в лавах осложнялась отбойка угля, увеличивалось горное давление.

Угол встречи забоя лавы с системой трещин — это угол между линией забоя лавы и следом пересечения трещины с пластом.

Наиболее неблагоприятным для устойчивости кровли является угол, равный $0-15^\circ$, когда след пересечения трещины с пластом совпадает с направлением забоя лавы, и особенно неблагоприятным, когда падение трещины или системы трещин направлено в сторону забоя (рис. 11.9).

Если в кровле имеется хорошо развитая со слабым сцеплением по плоскостям система трещин, то поддержание кровли в таких условиях весьма трудно. Такое же влияние на поведение кровли могут оказывать мелкоамплитудные разрывы. Предварительное определение ориентировки систем трещин позволит при неблагоприятном угле встречи заранее принять меры и изменить направление забоя лавы, предусмотреть усиленное крепление или изменить направление отработки с тем, чтобы падение трещин было направлено в сторону выработанного пространства.

При благоприятном расположении забоя ($60-90^\circ$) трещиноватость способствует отжиму угля в выработанное пространство, повышая производительность труда.

Работа добычных комплексов. При определенной ориентировке трещиноватость может способствовать скалыванию

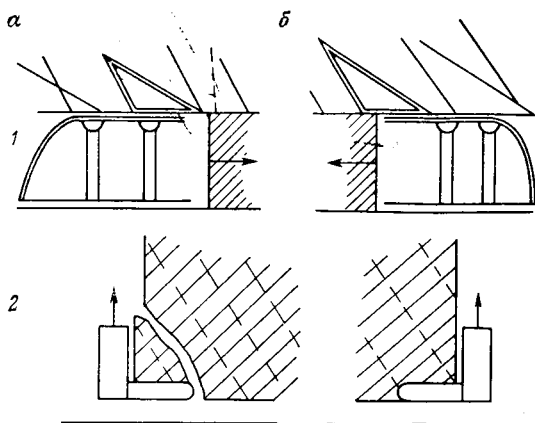


РИС. 11.9. Схема влияния ориентировки трещин на крепление (1) и работу комбайна в очистном забое (2):

а — неблагоприятное; б — благоприятное

(рис. 11.9, б) полезного ископаемого при движении зубков бара горного комбайна, струга или ковша экскаватора. При неблагоприятной ориентировке трещиноватость может приводить к откалыванию больших глыб, перекашиванию, зажиму или заеданию бара и осложнению в конечном счете работы машины (рис. 11.9, а). Ориентировка трещин имеет существенное значение и для направления струи воды при гидравлической отбойке.

Управление кровлей. Совпадение линии забоя лавы с простиранием трещиноватости пород кровли создает благоприятные условия для усиленного давления на крепь и внезапного обрушения пород кровли. Чтобы избежать этого, линию забоя лавы необходимо поставить диагонально к системам трещиноватости пород кровли.

Размеры межкамерных и опорных целиков во многом зависят от трещиноватости и ее ориентировки: чем интенсивнее трещиноватость пород, тем больших размеров оставляются целики.

Кроме того, трещиноватость влияет на величину угла откоса и устойчивость бортов карьеров; на устойчивость горных выработок — в породах интенсивно трещиноватых при проведении горных выработок проводят усиленное крепление; на газоносность и внезапное выделение газа. Скопление газа обычно приурочивается к зонам интенсивной трещиноватости. От расположения подготовительных и очистных выработок относительно ориентировки газоносных систем трещин во многом зависит характер проявления внезапного выделения газов. Трещиноватость учитывается при разработке мероприятий по дегазации и гидрорасчленению угольных пластов.

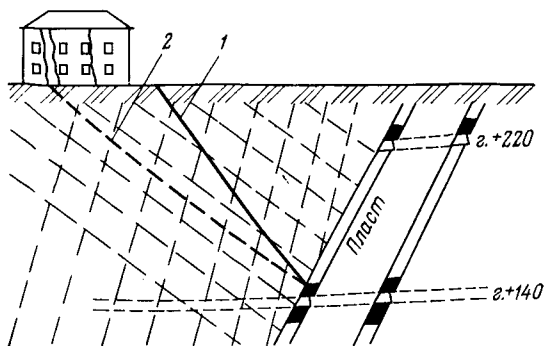


РИС. 11.10. Схема влияния систем трещин на изменение угла сдвижения: расчетная 1 линия сдвижения; фактическая 2 линия сдвижения

Кроме того, трещиноватость влияет на ориентировку шпуров, скважин и кусковатость взорванной массы при производстве массовых взрывов камер или бортов карьера. Наилучшее дробление горных пород достигается при угле ориентировки фронта взрывной отбойки относительно преобладающего направления трещиноватости, близком к 45° . Особое влияние трещиноватость оказывает на получение крупных цельных блоков при разработке месторождений облицовочного камня.

С трещиноватостью связывают установление *гидрогеологического режима* шахты или рудника, поскольку трещины являются путями проникновения подземных вод в горные выработки; установление величины углов сдвижения (рис. 11.10); изучение в период разведки и разработки *складчатой и разрывной структуры*, с которой генетически связана трещиноватость, и их прогнозирование; установление *интенсивности оруденения*. К зонам интенсивной трещиноватости горных пород, как правило, приурочиваются *зоны наибольшего оруденения*. По трещиноватости восстанавливают первоначальные поля напряженного состояния горных пород.

ГЛАВА 12

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. Общие замечания

При геометризации месторождений важное значение приобретает изучение качественных свойств полезного ископаемого. Характер оруденения, его интенсивность и направление, представленные пространственными графиками, в ряде случаев яв-

ляются решающими в определении *генезиса* месторождения полезного ископаемого.

Геометрические графики, отображающие качественные свойства, дают возможность установить определенную зависимость между компонентами, входящими в состав полезного ископаемого, и тем самым установить характер размещения этих компонентов в полезном ископаемом. Последнее имеет существенное значение при проектировании разработки месторождения и особенно при его эксплуатации.

Имея такие графики, можно планировать добычу полезного ископаемого с определенным составом, необходимым для технологического процесса его переработки. Если системой разработки предусмотрено оставление целиков, то их приурочивают к наиболее бедным участкам разрабатываемой залежи.

Ниже изложена общая методика геометрического изучения физико-химических и геомеханических свойств недр, технические же приемы этого метода для каждого конкретного случая специалист должен выбрать сам, в соответствии с изучаемым объектом. Так, например, при изучении месторождений, связанных с магматическим очагом, внимание должно быть направлено на изучение последнего, на связь месторождения с этим очагом. Если установлено пространственное совмещение участков оруденения с очагом рудообразования, то имеем дело с месторождениями класса эвмагматического.

Если же оруденение вынесено за пределы магматического очага, очевидно, имеем дело с месторождениями инъекционными — эпигенетическими и т. д.

Практической стороной дела является цель с максимальной наглядностью, простыми графиками, с достаточной степенью точности представить полную картину размещения промышленных свойств месторождения, чтобы специалист, проектирующий разработку месторождения, и специалист, эксплуатирующий его, могли легко определить по этим графикам значение содержания в полезном ископаемом интересующих их компонентов (содержание металла, промышленных спутников, например, фосфора и серы — для железорудных, железа — для цементного сырья и т. п.) для любого элементарного объема.

Горные породы неоднородны по составу, строению и сложению. Это влечет за собой и неоднородность в их физических свойствах, таких, как плотность, пористость, трещиноватость, упругость, пластичность, хрупкость, твердость, разрыхляемость, плавучесть, влажность, проницаемость, естественная радиоактивность, а также электрические, магнитные, акустические, нейтронные и другие свойства. Перечисленные физические свойства горных пород в той или иной мере влияют на выбор метода геофизической разведки, рациональной разработки месторождений и переработки горной массы.

Геометризация размещения физических свойств горных пород по данным непосредственных или косвенных (геофизиче-

ских) измерений имеет весьма важное значение для выбора наиболее экономичного способа вскрытия месторождения и добычи минерального сырья.

§ 2. Исходные данные для качественной характеристики месторождения, методы измерения и опробования

Качественную характеристику месторождения, физические и химические свойства полезного ископаемого, а также количественное размещение в нем полезных и вредных компонентов определяют путем непосредственных или косвенных измерений опробования и химических анализов проб с последующей статистической обработкой и графическим изображением результатов. Комплексное изучение свойств вещества залежи производят во все стадии геологоразведочных и эксплуатационных работ.

В зависимости от поставленных задач различают по видам опробование химическое, техническое, технологическое и минералогическое.

Химическим опробованием определяется химический состав и содержание полезных компонентов и вредных примесей в полезном ископаемом, дается оценка количественного содержания полезного ископаемого в месторождении и его качественная характеристика.

Техническое опробование применяется тогда, когда одно химическое опробование недостаточно для качественной оценки минерального сырья, когда необходимо знать его технические свойства, например, прочность и крепость строительных материалов (известняки, доломиты, песчаники), прочность и гибкость асбеста, размеры кристаллов, гранулометрический состав формовочных песков и пр.

Технологическим опробованием определяются технологические свойства полезного ископаемого, которые необходимы для выбора и установления рациональных способов его переработки, обогащения. При этом опробовании определяются коксующесть углей, степень обогатимости, сортировки, плавкости и другие особенности полезного ископаемого.

Минералогическое опробование проводится с целью изучения минералогического состава и структурных особенностей полезного ископаемого.

Опробованию подвергается полезное ископаемое в массиве (в целике), в рудной массе — сырье; опробуются также продукты и отходы переработки сырья.

В зависимости от геологических особенностей, вида горной выработки и задач опробования отбор проб в массиве производят способами: бороздовым, задирковым, точечным, шпуровым, валовым, вычерпывания или горстевым.

Если полезное ископаемое при его разработке по мощности полностью вскрывается забоем подготовительной или очистной выработок, опробование производят на всю мощность залежи.

Если залежь имеет большую мощность и отрабатывается слоями, горизонтами, то полезное ископаемое опробуется в подготовительных и очистных выработках по каждому слою (горизонту) и качественная характеристика залежи складывается из характеристик по ее отдельным слоям (горизонтам).

Для определения вещественного состава и физико-химических свойств полезного ископаемого все большее применение находят новые геофизические методы. Так, за последнее время, в связи с развитием атомной техники появились новые приборы для определения вещественного состава пород радиоактивными методами (нейтроновый метод, метод гамма-лучей и пр.). Крепость, интенсивность трещиноватости горных пород определяют с помощью ультразвуковых приборов, акустические приборы позволяют определять напряженное состояние массива горных пород.

Все данные измерений и опробования регистрируются в специальном журнале и наносятся на маркшейдерский план с указанием их номера и численного значения показателя.

В разведочных и горных выработках пробы берут через некоторые промежутки (интервалы). Для различных месторождений расстояние между пробами различно. При определении густоты опробования учитывают изменчивость показателя, а также затраты времени и средств на отбор, обработку и аналитическое исследование проб. Стоимость взятия и анализа пробы достигает нескольких рублей. Поэтому массовое и непомерно частое опробование влечет за собой большие затраты.

Чрезмерно редкая сеть опробования для ряда месторождений может привести к недопустимо большим отклонениям получаемой качественной и количественной характеристики от действительной. Следовательно, в каждом конкретном случае необходима оптимальная величина интервалов опробования. Одним из способов уменьшения затрат при массовом опробовании является производство химических анализов не для каждой пробы, а для объединенных двух—пяти и более позабойных проб, взятых на некотором участке. В результате получают по анализу одной обобщенной пробы среднее значение показателя для данного участка или интервала. Объединять можно лишь однотипные пробы аналогичных по минерализации участков.

На полиметаллических и других месторождениях вскрытие корреляционной связи размещения между компонентами на отдельных участках позволяет анализы по некоторым компонентам не делать, а находить их значения по корреляционной зависимости.

Выбор наиболее рациональных расстояний между пробами устанавливается опытным путем, путем сравнения данных опробования в разведочных, подготовительных и очистных выработках по отдельным блокам разрабатываемой залежи.

Интервалы между пробами зависят главным образом от степени неравномерности оруденения, от степени изменчивости изучаемого признака. Чем неравномернее изменяется изучаемый признак, тем чаще берут пробы, и наоборот. Так, например, свойства угольных пластов изменяются сравнительно плавно, при опробовании угольных месторождений пробы берут через 20—50 м и реже, тогда как для многих жильных месторождений с крайне резким изменением содержания компонентов опробование производят через каждые 1—2,5 м продвижения забоя выработки.

Рациональный интервал опробования в каждом конкретном случае можно определить следующим способом.

На представительном участке месторождения по выработке производят экспериментальное опробование сплошной бороздой или близрасположенными пробами, размер которых принят на предприятии. По результатам опробования строят кривую изменения содержания C компонента по выработке (рис. 12.1, а). Затем строят аналогичные графики при условии опробования через один (две реализации x_1, x_2), два (три реализации x_1, x_2, x_3), три (четыре реализации x_1, x_2, x_3, x_4) и т. д. интервала опробования. По полученным реализациям строят средние кривые M_x и определяют по формуле (6.5) их изменчивость U . Строят график зависимости между изменчивостью и интервалом опробования L , м (рис. 12.1, б). Интервал опробования, соответствующий перегибу кривой в точке K , является рациональным и равным в нашем случае примерно 5 м.

ТАБЛИЦА 12.1

Группа месторождения	Характер распределения компонентов	Коэффициент вариации компонента	Представители месторождений полезных ископаемых, входящих в данную группу	Расстояния между пробами, м
1	Равномерный	$V < 40$	Осадочные месторождения: углей, горючих сланцев, стройматериалов, серы, калийных солей, фосфоритов, глин, каолина, железных, марганцевых руд. Месторождения бокситов и железных руд Кривого Рога и КМА	50—60
2	Неравномерный	$40 < V \leq 100$	Месторождения меди, полиметаллов, никеля, вольфрама, молибдена, некоторые месторождения золота	6—4
3	Весьма неравномерный	$V > 100$	Некоторые полиметаллические месторождения, месторождения олова, вольфрама, молибдена, золота и других редких металлов	4—2,5

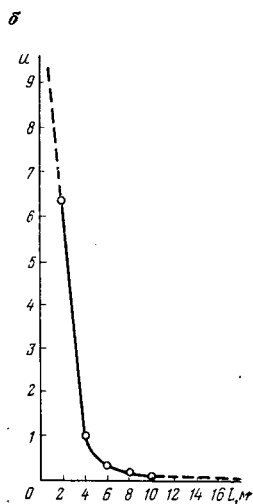
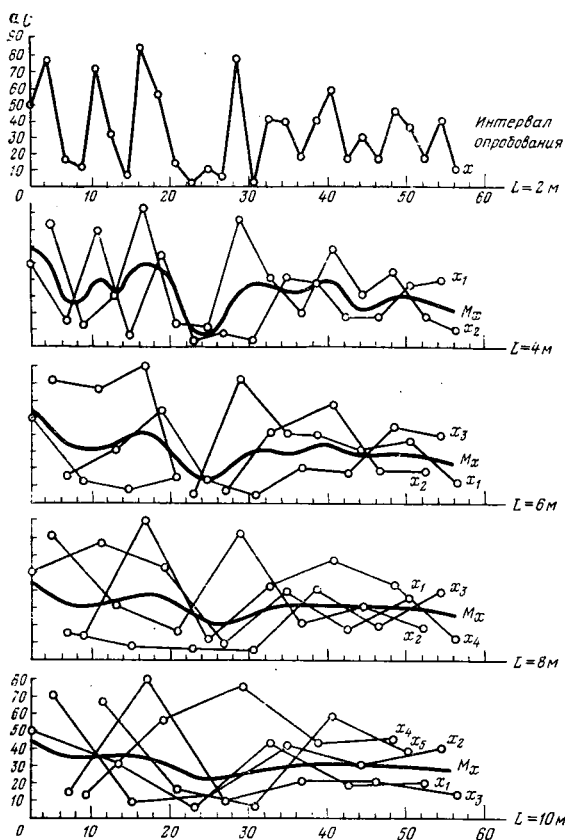


РИС. 12.1. Установление интервала опробования по выработке:

а — случайные реализации при различных интервалах опробования;
б — зависимость между изменчивостью средней кривой и интервалами опробования

Примерные интервалы между пробами при систематическом опробовании горно-разведочных выработок для различных групп месторождений, крупных по размеру и больших по площади, установленных практикой, приводятся в табл. 12.1.

§ 3. Геолого-маркшейдерская документация при опробовании и ее унификация на перфокартах

Опробование залежи сопровождается тщательной геологической документацией — зарисовкой или фотографированием обнажений, забоев.

Позабойные зарисовки составляют систематически, по мере проходки выработки, в масштабах 1:20—1:50, на специальных перфокартах или в пикетажных книжках размером 10×18 см, обычно цветными карандашами.

Зарисовки дают лишь основные черты строения залежи в забое. Интересные детали фотографируются или зарисовываются в более крупном масштабе и приклеиваются к перфокартам.

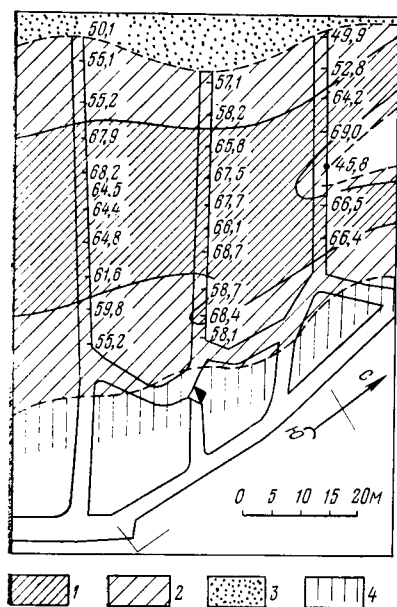


РИС. 12.2. Часть плана опробования железорудной залежи:

1 — руда синька; 2 — руда красковая; 3 — джеспилиты; 4 — красковые роговики

выработкам в масштабе 1 : 200 или 1 : 100 с нанесением данных опробования. Такие сводные зарисовки уточняют в ряде случаев установленные интервалы опробования и позволяют наметить характерные места для взятия проб при последующем опробовании проводимых горных выработок.

Блочные карточки и погоризонтные планы опробования представляют собой обобщение результатов первичной геологической документации выработок и опробования. Их составляют на маркшейдерской основе систематически по мере проходки выработок, отбора проб и получения их анализов.

Блочные карточки и планы опробования составляют в масштабах от 1 : 100 до 1 : 1000. Чаще всего пользуются масштабами 1 : 500 и 1 : 200.

На блоковых карточках изображают каждый блок с оконтуривающими его выработками. При наклонном и крутом углах падения залежи изображение строят в проекциях на наклонную или вертикальную плоскость проекции.

Составление планов опробования заключается в следующем (рис. 12.2). Данные зарисовок и опробования наносят на маркшейдерский план по их привязкам. На плане отображают контур рудного тела, типы и сорта руд, вмещающие породы, разрывные нарушения и элементы залегания изучаемых объектов.

Зарисовки сопровождаются описанием и отбором образцов пород для изучения их при дневном освещении.

Каждая зарисовка сопровождается точным адресом и координатами x , y , z зарисованного забоя, которые определяют графически по плану после нанесения забоя на план по привязке его к маркшейдерской точке или иному опорному пункту, обозначенному на маркшейдерском плане, например расстоянию от квершлага, восстающего или иной горной выработки.

Первичные зарисовки забоев выработок, выполненные на пикетажных книжках, переносятся на перфокарты и с помощью ключа систематизируются и группируются по отдельным горным выработкам. По мере продвижения выработок составляют полные зарисовки рудного тела по этим

Данные опробования на плане наносят по одну или обе стороны контуров горных выработок. Против мест опробования указывают номер пробы, мощность залежи полезного ископаемого. По мере поступления химических анализов проб на плане выписывают содержание компонентов.

Погоризонтные планы опробования являются основой для построения изолиний содержания компонентов, определения средних содержаний компонентов по выработкам, горизонту, участкам и всему месторождению.

Если мощная залежь вскрыта и опробована в вертикальных выработках, расположенных по разведочным линиям, то обобщение данных геологической документации и опробования производят на вертикальных разрезах — профильных сечениях, которые строят по линиям разведочных выработок.

Для наглядного отображения качественных и структурных особенностей залежи вертикальный масштаб разрезов в ряде случаев принимают в несколько раз крупнее горизонтального.

§ 4. Методика обработки данных измерения и опробования

Обработка данных состоит из упорядочения, систематизации и математической обработки исходной информации.

Несмотря на многообразие месторождений, характеризующихся различными горно-геологическими условиями, рекомендуется следующий порядок обработки информации.

1. Выделение на площади месторождения геологически однородных участков. Маркирующими признаками при этом могут быть морфологические и генетические особенности месторождения, литологический состав вмещающих пород, тектоническая нарушенность массива. Выделение исследуемых участков по степени разведанности и изученности.

2. Проверка однородности статистических выборок на выделенных участках и установление стационарности или нестационарности функций размещения показателей. Определение основных математико-статистических характеристик на основе формул вариационной статистики или аппарата случайных функций.

3. Количественная и качественная оценка изменчивости признаков в пределах изучаемого участка. Обоснование целесообразности применения той или иной модели изменчивости.

На основании математико-статистической обработки делают заключение о выборе конкретной методики геометризации для решения поставленных задач на данной стадии разведки: региональной и эксплуатационной. Результаты эксплуатационной геометризации являются наиболее точными, детальными и полными. Горно-графические материалы отображают структуру отдельных участков, форму тел полезных ископаемых и условия их залегания, пространственные закономерности раз-

мещения полезных и вредных компонентов и другие особенности залежи.

Исходными данными для выполнения эксплуатационной геометризации являются:

геологические карты и геологические разрезы детальной разведки месторождения, документация по опробованию скважин детальной разведки с результатами химанализов, данные инклинометрической съемки скважин;

погоризонтные маркшейдерские планы, маркшейдерская документация горных выработок, данные периодических и специальных маркшейдерских наблюдений и замеров;

геологические разрезы, погоризонтные планы рудничной геологии, документация по опробованию скважин эксплуатационной разведки, полевые книжки геологической документации горных выработок, материалы опробования горных выработок и буровзрывных скважин, данные геофизического опробования и определения контуров тел полезного ископаемого; результаты наземной и воздушной фотограмметрической съемки, специальная фото-геологическая документация;

результаты замеров тектонической трещиноватости массива вмещающих пород и залежи полезного ископаемого;

литературные источники о геологическом изучении района месторождения, отчеты по научно-исследовательским работам и др.

Геометризация форм и условий залегания рудной залежи, вмещающих пород направлена в первую очередь на выявление характера контактов тела полезного ископаемого с вмещающими породами. Производят построение гипсометрических планов, проекций на вертикальную и наклонную плоскость поверхностей всячего и лежащего боков залежи, планов изомощностей залежи и т. п.

Геометризация тектонической нарушенности массива, выделение в нем складчатых структур, разрывных нарушений и зон интенсивной трещиноватости непосредственно связаны с геометризацией оруденения. Обработку замеров и результатов картирования различного рода трещин производят с целью выявления систем трещин, изучения связи трещиноватости с общей тектонической нарушенностью и характером оруденения, что необходимо для решения горнотехнических задач.

Важное значение для решения задач оперативного и текущего планирования, ведения горных работ и выдачи полезного ископаемого с заданным качеством имеет геометризация качественных показателей месторождения. Совокупность показателей, характеризующих вещественный состав, физические и технологические свойства полезного ископаемого, называется *качеством полезного ископаемого*; отдельные показатели называются *показателями качества полезного ископаемого*.

Установление пространственных закономерностей размещения полезных и вредных компонентов залежи полезного иско-

паемого позволяет решать вопросы генезиса месторождения, производить оконтуривание и подсчитывать запасы, а для рудных месторождений планировать добычу руды с заданным содержанием полезных и вредных компонентов, проектировать оставление целиков в более бедных участках и др.

§ 5. Графики изменения содержаний компонентов по разведочным выработкам, их построение, методы сглаживания

В таблице 12.2 приведены результаты бороздового опробования по падению золоторудной жилы «А». Борозды ориентированы по нормали к лежащему и висящему бокам жилы. Значения содержаний в таблице приведены по порядку от горизонта 320 до 240 м.

Графики изменения содержаний обычно строят для наглядного представления о полученной информации. Наглядность в значительной мере зависит от выбранного масштаба и типа шкал по горизонтальной и вертикальной осям.

Наибольшая наглядность графика обеспечивается при отношениях вертикального размера к горизонтальному, равных 1 : 2, 2 : 3.

Шкалы, по которым откладывают величины, могут быть *равномерными*, или *функциональными*. Частным случаем функциональных шкал является логарифмическая шкала.

Логарифмические шкалы рекомендуется применять при положительной асимметрии распределения изображаемой величины или близости закона распределения к логарифмически-нормальному. Поэтому перед построением желательно это установить математически или графически. Применение логарифмических шкал приводит к линеаризации функции, что бывает существенным при использовании графика для прогнозирования показателя на некоторый интервал.

ТАБЛИЦА 12.2

№ п/п	Расстояние от начала опробования, м	Содержание С, усл. ед.	№ п/п	Расстояние от начала опробования, м	Содержание С, усл. ед.
1	4	183,7	11	44	19,5
2	8	92,5	12	48	19,0
3	12	31,0	13	52	6,5
4	16	132,0	14	56	11,0
5	20	52,6	15	60	9,5
6	24	61,4	16	64	5,6
7	28	26,8	17	68	2,0
8	32	19,0	18	72	15,0
9	36	19,5	19	76	4,6
10	40	31,5	20	80	3,0

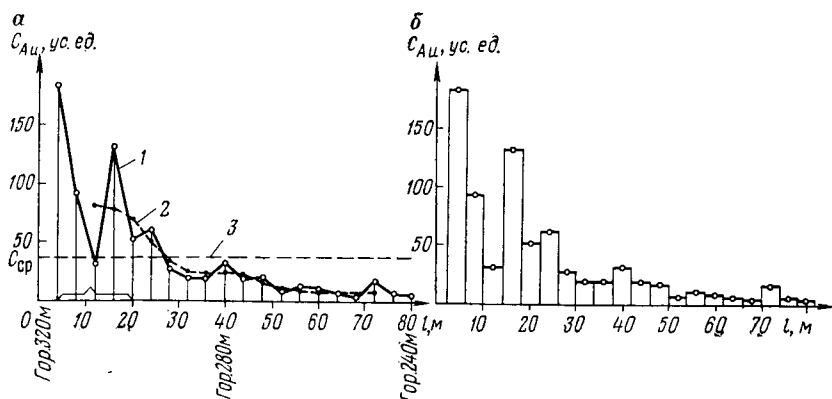


РИС. 12.3. Полигональная (а) и ступенчатая (б) кривые изменения содержания компонента по выработке:

1 — эмпирическая кривая; 2 — сглаженная кривая; 3 — уровень среднего содержания компонента по выработке

Графики могут быть представлены в виде полигональной, ступенчатой кривой, точечной диаграммы.

Полигональную кривую строят в следующем порядке (рис. 12.3, а). На листе бумаги проводят две взаимно перпендикулярные прямые, выбирают масштабы. Например, если принять из условий наглядности и эстетических качеств рисунка соотношение вертикального размера графика l_1 и горизонтального l_2 как 2 : 3, то будем иметь:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{2}{3} = \frac{(X_{\max} - X_{\min}) M_2}{(Y_{\max} - Y_{\min}) M_1}, \quad (12.1)$$

где $X_{\max}$, $Y_{\max}$ — максимальные значения признаков X и Y ; $X_{\min}$, $Y_{\min}$ — минимальные значения признаков X и Y ; M_1 , M_2 — масштабы по вертикальной и горизонтальной осям соответственно.

Задаваясь масштабами по одной оси, например вертикальной, определяют масштаб изображения по второй оси. Полученный результат, как правило, округляют и приводят к тому значению масштаба, который регламентируется ГОСТом или принят в практике работ.

Определим масштабы для рассматриваемого случая. Зададимся масштабом по вертикали 1 см — 20 усл. ед., соотношением вертикального и горизонтального размеров 1 : 2, $X_{\min}$ и $Y_{\min}$, равными нулю. Подставив численные значения в выражение (12.1), получим $M_2 = 4,4$ м, или округленно — 5 м. Следовательно, горизонтальный масштаб будет 1 : 500.

На горизонтальной прямой от начальной точки откладывают расстояния до середин интервалов опробования, отмечают их точками, в каждой из которых восстанавливают вверх перпендикуляры длиной, пропорциональной в принятом масштабе со-

ТАБЛИЦА 12.3

Наименование параметра	Значение параметра	Погрешность параметра
Среднее $\bar{X}$	37,2	10,6
Стандарт σ	47,5	7,5
Коэффициент вариации V	127,6	41,6
Асимметрия A	1,9	0,5
Экссесс $\mathcal{E}$	2,7	0,9

держанию. В конце перпендикуляра ставят точку или кружок.

Если опробование сплошное, то по горизонтальной оси последовательно откладывают интервалы опробования, из середины которых восстанавливают перпендикуляры, длина которых пропорциональна содержаниям. В этом состоит отличие в построении графиков для сплошного и несплошного опробования.

Полученный график называют точечной диаграммой. Если соединить точки прямыми, то получают полигональную кривую изменения содержаний.

Ступенчатая кривая (рис. 12.3, б) состоит из прямоугольников, основания которых равны интервалу опробования, а высота пропорциональна содержанию в опробованном интервале. Такая кривая в практике используется редко, в основном для наглядности и только для сплошного опробования.

В рассматриваемом примере (рис. 12.3) колебания содержаний имеют значительный размах при относительно большом числе проб с низким содержанием, что является первым признаком асимметричного распределения.

В табл. 12.3 приведены параметры распределения и их ошибки.

Значимость параметров определяют упрощенным способом как отношение значения параметра к его ошибке. Если это отношение больше или равно трем, то параметр вычислен надежно и является значимым. В нашем случае все параметры значимы. При значимом отличии асимметрии от 0 следует выбирать шкалу функциональной. В этом случае криволинейное изменение содержания приводится к линейному, что упрощает его применение при прогнозировании.

Сглаживание кривой содержания. Сглаживание выполняют для выявления закономерностей в изменении значений показателя по разведочной выработке. В зависимости от размера окна сглаживания могут выявляться закономерности различного порядка вплоть до прямой.

Величину окна сглаживания, как уже отмечалось, устанавливают различными методами, в том числе исходя из соотношения случайной и закономерной изменчивости с учетом автокорреляционной функции, радиуса автокорреляции и требуе-

ТАБЛИЦА 12.4

Содержание С, усл. ед.	Первые разности Δ'	Вторые разности Δ''	Содержание С, усл. ед.	Первые разности Δ'	Вторые разности Δ''
183,0	—	—	19,5	—	12,0
92,5	90,5	—	19,0	0,5	—12,0
31,0	61,5	29,0	6,5	12,5	17,0
132,0	—101,0	162,5	11,0	—4,5	—6,0
52,6	79,4	—180,4	9,5	1,5	—2,4
61,4	—8,8	88,2	5,6	3,9	0,3
26,8	34,6	—43,4	2,0	3,6	16,6
19,0	7,8	26,8	15,0	—13,0	23,4
19,5	—0,5	8,3	4,6	10,4	8,8
31,5	—12,0	11,5	3,0	1,6	—
—	12,5	—24,5	—	—	—

$$\Sigma (\Delta')^2 = 30\,600,69; \Sigma (\Delta'')^2 = 72\,493,25$$

мой точности выделения закономерной составляющей по соотношению (3.64). В этом случае предварительно определяют корреляционное отношение по выборке через первые или вторые разности (табл. 12.4).

Стандарты случайной изменчивости, определенные через первые и вторые разности, соответственно равны 28,4 и 25,9 усл. ед. Примем за окончательное значение случайной изменчивости 25,9, поскольку вторые разности исключают влияние линейного тренда. Тогда корреляционное отношение

$$\eta_z^2 = 1 - (\sigma_c/\sigma_o)^2 = 1 - (25,9/47,5)^2 = 0,70,$$

где σ_c — стандарт случайной изменчивости; σ_o — стандарт общей (случайной и закономерной) изменчивости.

Требуемая точность выявления закономерности после сглаживания обычно обосновывается предварительным анализом. В рассматриваемом примере примем, что требуемое корреляционное отношение по ряду после сглаживания равно 0,9. Тогда число проб в окне сглаживания согласно формуле (3.64) будет равно 4. Полученное значение округляют до ближайшего нечетного в сторону увеличения, т. е. $m=5$.

Далее производят расчет автокорреляционной функции и определяют радиус корреляции, пользуясь каталогом автокорреляционных функций. По формуле (3.64) производят обратный расчет и определяют, с какой точностью будет выявлена закономерность. При $m=5$, $\eta_z^2=0,7$ получают $\eta_\tau^2=0,92$.

Если выбранное окно превышает радиус корреляции, то после сглаживания произойдет искажение закономерности. Поэтому в таких случаях окно сглаживания принимают равным радиусу корреляции или меньше. После окончательного выбора окна сглаживания по формуле (3.64) производят обратный пересчет и определяют, с какой точностью будет выделена закономерность, т. е. определяют η_τ^2 . После обоснования и выбора

окна сглаживания производят сглаживание. Сглаживание может выполняться скользящим или нес скользящим окном. Различие между ними состоит в более быстром уменьшении количества информации при сглаживании независимым окном. Поэтому предпочтительнее отдается скользящему окну.

Различают графическое и аналитическое сглаживание.

Графический способ чаще применяют для сглаживания малых выборок или выборок с крайне неравномерным интервалом observations.

Практические сглаживание производят следующим образом. На листе кальки или прозрачной основе проводят две параллельные линии на расстоянии, равном установленному размеру окна, и третью — осевую линию посередине между ними. В центре палетки перпендикулярно к осевой линии проводят линию dd_1 . В точке пересечения осевой линии и линии dd_1 прорезают отверстие, диаметр которого равен диаметру грифеля карандаша.

Полученную палетку накладывают на график (рис. 12.4) так, чтобы сумма площадей, отрезаемых линией dd_1 , равнялась сумме площадей прирезаемых фигур, находящихся под нею (положение I). Это равенство оценивается на глаз, после чего в отверстии карандашом ставится точка 1. Далее палетку сдвигают влево в положение II, III и т. д. на четверть или половину окна сглаживания и операцию повторяют. Соединив полученные точки 1, 2, 3 отрезками прямых линий, получают сглаженную кривую.

Начало и конец сглаженной кривой продолжают, сообразуясь с установленной закономерностью.

Графическое сглаживание тождественно аналитическому сглаживанию методом скользящей средней с равными весами.

Способы аналитического сглаживания скользящим окном весьма разнообразны. Ниже приведены основные из них в порядке, соответствующем частоте применения (по В. И. Сметкову).

1. Скользящее среднее с равными весовыми коэффициентами. Сущность такого сглаживания заключается в усреднении нескольких соседних показателей. Сглаженное значение в первом окне сглаживания определяют по формуле

$$\hat{c}_1 = \sum_{i=1}^m c_i / m. \quad (12.2)$$

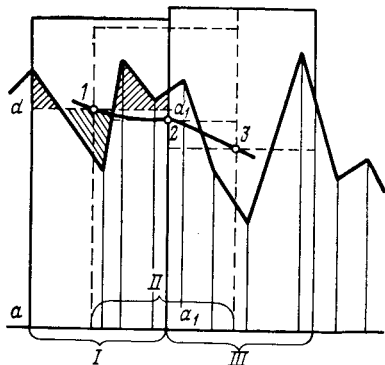


РИС. 12.4. Сглаживание полигональной кривой с помощью статистического «окна»

Для нашего случая

$$\hat{C}_1 = (183 + 92,5 + 31 + 132 + 52,6)/5 = 98,3 \text{ усл. ед.}$$

Полученное значение помещается на графике (рис. 12.3, а) против пробы в центре окна сглаживания, т. е. против третьей пробы. Далее вычисления сдвигаются на одно значение и все повторяется. Точки на графике, соответствующие сглаженным значениям, соединяют прямыми линиями.

2. Способ Ястремского (способ скользящего среднего при отсутствии заранее заданных интервалов). При сглаживании ряда окном в m значений сглаженное среднее определяется по формуле

$$\hat{X}_m = \frac{1}{2^{m-1}} \left(\sum_{i=1}^m x_i p_i \right), \quad (12.3)$$

где p_i — весовые коэффициенты, которые удобно определять из треугольника Паскаля:

m	p_i							
1					1			
2				1		1		
3			1		2		1	
4		1		3		3		1
5		1	1	4	3	6	4	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

и так далее

При сглаживании окном в пять проб ($m=5$) формула (12.3) приобретает вид:

$$\hat{X}_1 = (x_1 + 4x_2 + 6x_3 + 4x_4 + x_5)/16.$$

Для рассматриваемого примера первое сглаженное значение

$$\hat{X}_1 = (183 + 4 \cdot 92,5 + 6 \cdot 31 + 4 \cdot 132 + 52,6)/16 = 82,5 \text{ усл. ед.}$$

Далее все вычисления сдвигают на одно значение и процесс повторяется. Полученные значения располагают против пробы в центре окна. Усредненные значения на графике соединяются прямыми линиями.

Способ Ястремского рекомендуется применять при отсутствии «ураганных» значений в выборке, когда случайная изменчивость не превышает 30—40 %, и особенно при наличии гармонического закономерного изменения показателя.

3. Способ полиномов состоит в следующем. Берут первые m членов, по которым подбирают полином степени p ($p < m - 1$) и по нему находят значение полинома в середине его области определения. Затем берут следующие m членов, начиная со второго, и процедура повторяется.

ТАБЛИЦА 12.5

Размер окна сглажи- вания (проб)	Коэффициенты (веса) членов в окне сглаживания p_i	Сумма весов $\sum p_i$	Размер окна сглажи- вания (проб)	Коэффициенты (веса) членов в окне сглаживания p_i	Сумма весов $\sum p_i$
Второй и третий порядок			Четвертый и пятый порядок		
5	[<u>-3</u> , 12, <u>17</u>]	35	7	[5, -30, 75, <u>131</u>]	231
7	[<u>-2</u> , 3, 6, <u>7</u>]	21	9	[15, -55, 30, 135, <u>179</u>]	429
9	[<u>-21</u> , 14, 39, 54, <u>59</u>]	231	11	[18, -45, -10, 60, 120, <u>143</u>]	429
11	[<u>-36</u> , 9, 44, 69, 84, <u>89</u>]	429	13	[110, -198, -135, 110, 390, 600, <u>677</u>]	2431
13	[<u>-11</u> , 0, 9, 16, 21, 24, <u>25</u>]	143			

Для исключения трудоемкой вычислительной работы имеются специальные таблицы, в которых приведены весовые коэффициенты для членов окна размером m проб при сглаживании полиномом второго и третьего порядка, четвертого и пятого порядка (табл. 12.5).

Сглаженное значение вычисляют по формуле

$$\hat{X}(m) = \sum_{i=1}^m x_i p_i / \sum p_i. \quad (12.4)$$

В таблице подчеркнутое число является центром симметрии для коэффициентов.

Для окна сглаживания $m=5$ выражение (12.4) будет записано:

$$\hat{X}_{(5)} = (-3x_1 + 12x_2 + 17x_3 + 12x_4 - 3x_5)/35.$$

Первое сглаженное значение для рассматриваемого примера:

$$\hat{X}_{1(5)} = (-3 \times 183 + 12 \times 92,5 + 17 \times 31 + 12 \times 132 - 3 \times 52,6)/35 = 71,8 \text{ ед.}$$

Условия применения способа аналогичны способу Ястремского.

Оценка результатов сглаживания. Для оценки применяют два способа: дисперсионный и автокорреляционный анализы остатков.

Вычисляют сумму квадратов сглаженных данных

$$S_s = \sum \hat{X}^2 - (\sum \hat{X})^2 / n_1, \quad (12.5)$$

где $n_1 = n - m + 1$; n — число всех проб; m — число проб в окне.

Вычисляют сумму квадратов исходных данных, расположенных против сглаженных значений,

$$S_0 = \sum X^2 - (\sum X)^2 / n_1. \quad (12.6)$$

Сумму квадратов отклонений определяют, пользуясь выражением

$$S_D = \sum (X - \hat{X})^2 / n_1. \quad (12.7)$$

Вычисляют показатель эффективности сглаживания

$$R^2 = S_2 / S_0 \cdot 100 \, \%.$$

При дисперсионном анализе сглаживания не выполняется условие $S_0 = S_s + S_D$, поскольку при вычислении оценок X_i вблизи концов последовательности используются значения, которые не входят в S_0 .

Показатель эффективности R^2 не является строгим критерием, который мог бы оценить способ сглаживания. Для компенсации указанного недостатка рассчитывают автокорреляционную функцию по отклонениям от сглаженной кривой.

§ 6. Изолинии качественных свойств полезного ископаемого и методы их построения

Изолинии свойства могут быть построены по единичным (неусредненным) и по сглаженным значениям (усредненным на определенный объем полезного ископаемого).

По единичным значениям изолиний строят только в том случае, если в изменении показателя по направлению или по площади имеется существенное преобладание закономерности, т. е. когда корреляционное отношение больше 0,8 (рис. 12.5, а). Если это условие не соблюдается, то в результате построения плана в изолиниях получают мелкосопочный рельеф, характеризующий случайные изменения (флуктуации) показателя. Полученная карта не только затрудняет правильное восприятие закономерностей изменения показателя, но и часто является основным источником ошибок при планировании горных работ, источником недоверия к методу изолиний.

Построение изолиний рассмотрим на числовой модели. В качестве закономерной составляющей примем тренд первого порядка, описываемый уравнением $Z = 3X - 0,5Y + 10$. Модель осложнена добавлением шума, математическое ожидание которого равно нулю, а стандарт $\pm 3,5$ единиц. Описанная процедура моделирования равноценна получению случайной модели опробования со значительно упрощенной, но заранее известной закономерностью. Это позволит нагляднее иллюстрировать процесс построения изолиний.

На рис. 12.5, а приведена графическая модель тренда первого порядка в изолиниях, а на рис. 12.5, б та же модель с добавлением шума. Изолинии на втором рисунке характеризуют случайные вариации и не отражают исходную модель. Для того чтобы построенные изолинии отражали закономерное изменение показателя, исходные данные подвергают предварительной статистической обработке (фильтрации). Назначение фильтра-

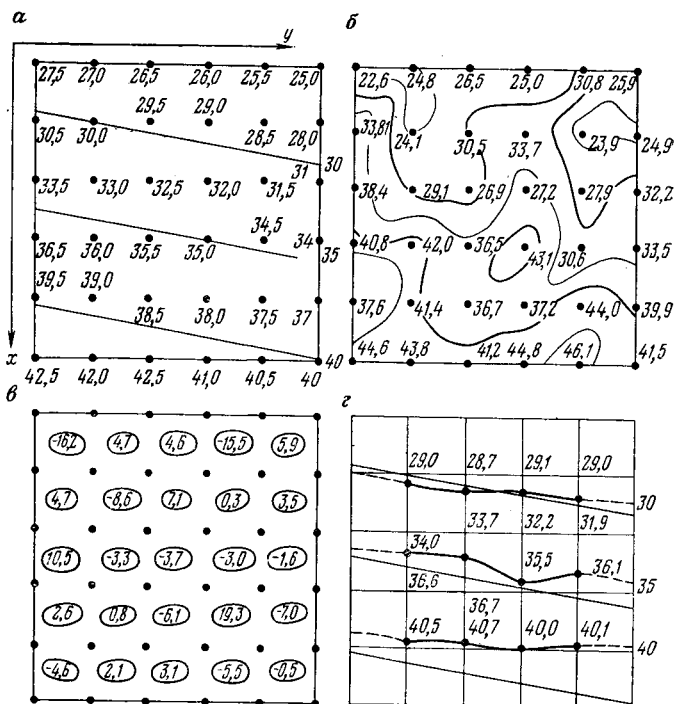


РИС. 12.5. Сглаживание по площади:

а — исходная модель; б — модель, осложненная случайной изменчивостью; в — схема к расчету «красных чисел»; г — сглаженная (геометризованная) модель

ции — удаление случайных флуктуаций и выделение закономерности.

Рассмотрим один из возможных вариантов такой обработки, состоящей из нескольких этапов, предложенных В. И. Снетковым.

1. Определяют соотношение между закономерной и случайной в изменении показателя при существующей плотности точек опробования. Для этого вычисляют корреляционное отношение η_z^2 .

а) На плане намечают ряд профильных линий в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По каждой линии определяют случайную изменчивость методом первых или вторых разностей и вычисляют среднее значение стандарта случайной изменчивости по выбранным направлениям. Для рассматриваемого примера случайная изменчивость, определенная через вторые разности, по направлениям X и Y соответственно равна 3,5 и 3,8 единиц.

Если изменчивость в двух направлениях одинакова, то за окончательный результат принимают среднее, если отличие су-

ственно, то вычисляют корреляционное отношение η_x^2 и η_y^2 для каждого направления.

Равенство или отличие дисперсий оценивают при помощи критерия Фишера

$$F = \sigma_{\max}^2 / \sigma_{\min}^2, \quad (12.8)$$

где $\sigma_{\max}^2$, $\sigma_{\min}^2$ — максимальная и минимальная дисперсия случайной изменчивости. Число степеней свободы числителя и знаменателя равно числу разностей минус 1.

Полученное значение F -критерия сравнивают с табличным F_q при уровне значимости q . Если вычисленное значение критерия будет больше табличного, то гипотеза о равенстве дисперсий отвергается.

В нашем случае F -критерий равен 1,2 с числом степеней свободы $n_1=11$ и $n_2=11$, табличное значение критерия Фишера для 5 %-ного уровня значимости равно 2,82. Гипотеза о равенстве дисперсий принимается, и делается вывод об одинаковой изменчивости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Среднее значение случайной изменчивости равно 3,65; стандарт общей изменчивости — 7,6.

Тогда корреляционные отношения по направлениям будут равны $\eta_x^2=0,79$, $\eta_y^2=0,75$, среднее корреляционное отношение $\eta_z^2=0,77$. Это означает, что если общую изменчивость принять за 100 %, то доля закономерной изменчивости составит 77 %, т. е. закономерность преобладает.

б) При равномерной сети опробования стандарт случайной изменчивости можно определить по способу красных чисел. Для этого в каждой ячейке сети (рис. 12.5, в) определяют красное число K , равное разности сумм значений по диагоналям ячейки и подписывают в центре. Случайная изменчивость

$$\sigma_c^K = \pm \sqrt{\frac{\sum K^2}{4n}}, \quad (12.9)$$

где n — число красных чисел.

В данном случае стандарт случайной изменчивости равен $\pm 3,8$ усл. ед., корреляционное отношение — 0,75.

2. Выполняют автокорреляционный анализ по двум основным направлениям (по простиранию и вкрест простирания) или рассчитывают двумерную автокорреляционную функцию.

Автокорреляционные функции по направлениям служат для установления характера изменения показателя и для определения радиусов корреляции R_x и R_y . Для установления характера закономерного изменения показателя рекомендуется использовать каталог автокорреляционных функций. Там же показан порядок определения радиусов корреляции.

В результате расчета получают матрицу коэффициентов автокорреляции, которая может быть выражена графически в виде поверхности в изолиниях. Изолиниями являются коэффициенты автокорреляции. Порядок определения радиусов корреляции по двум направлениям показан на рис. 12.6.

По графику можно определить радиусы корреляции в любом направлении. Дополнительно по графику устанавливают оси максимальной и минимальной изменчивости, что бывает важным для выбора ориентировки сети опробования, направления движения добычных забоев в режиме усреднения руд и ряда других задач.

Для малых выборок (как в рассматриваемом примере) автокорреляционный анализ не выполняется, поскольку ошибки коэффициентов автокорреляции столь велики, что не позволяют установить характер закономерного изменения показателя.

В таких случаях обычно бывает достаточным вычислить корреляционное отношение.

3. Обосновывают точность геометризации и рассчитывают окно сглаживания с учетом вскрытых закономерностей.

Под точностью горно-геометрического плана понимают среднюю квадратическую ошибку результатов геометризации, которая может быть выражена в абсолютной и относительной мерах.

Как было показано выше, корреляционное отношение является относительной мерой случайной и закономерной изменчивости. Поэтому точность горно-геометрического плана можно оценивать корреляционным отношением η^2 , получающимся после сглаживания.

В рассматриваемом примере предположим, что закономерное изменение после сглаживания должно быть выявлено на 95 %, т. е. $\eta^2 = 0,95$. Ошибка геометризации при этих условиях будет равна 5 %.

Число проб в окне сглаживания согласно формуле (3.64) составит $m = 5,7$. Примем $m = 9$.

Размеры окна сглаживания в общем случае должны учитывать изменчивость и радиусы корреляции по направлениям. Чем больше случайная изменчивость (или меньше корреляционное отношение), тем больше должен быть размер сторон окна.

Это условие записывается в виде системы

$$\left. \begin{aligned} \frac{a_x}{a_y} &= \frac{\eta_y^2}{\eta_x^2}, \\ a_x a_y &= m, \end{aligned} \right\} \quad (12.11)$$

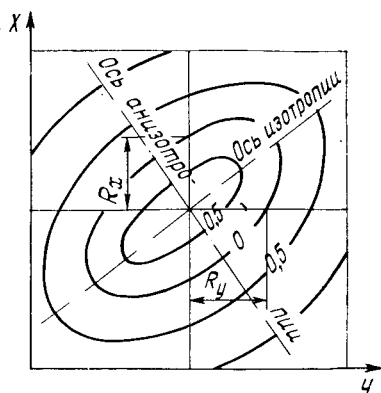


РИС. 12.6. Изокорреляционные коэффициенты автокорреляции

где a_x — число проб в окне сглаживания по оси X ; a_y — число проб в окне сглаживания по оси Y .

Решением системы является

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \sqrt{\frac{m\eta_y^2}{\eta_x^2}} \leq R_x, \\ a_y &= \sqrt{\frac{m\eta_x^2}{\eta_y^2}} \leq R_y. \end{aligned} \right\} \quad (12.12)$$

Подставив значения корреляционных отношений, получают $a_x=3,1$, $a_y=2,9$ пробы.

Окончательно примем размеры окна сглаживания 3×3 пробы.

4. Сглаживают исходные данные. Определяют среднее арифметическое из проб в окне сглаживания и вычисленное значение подписывают в центре окна. Производят сдвиг вычислений на один столбец и операция повторяется (см. рис. 12.5, з).

5. Выбирают высоту сечения изолиний для сглаженной поверхности

$$\Delta h \geq \sigma_c \sqrt{2/m}. \quad (12.13)$$

Подставив в формулу (12.13) $\sigma_c=7,6$ и $m=9$, получаем $\Delta h \geq 3,6$, принимаем $\Delta h=5$ ед.

6. Строят план в изолиниях по сглаженным значениям. Изолинии проводят обычным способом, т. е. интерполяцией (см. рис. 12.5, з). На рис. 12.5, б приведен план в изолиниях, построенный без предварительного сглаживания. Нетрудно убедиться, сравнив планы с исходной моделью, что предварительное сглаживание позволяет более объективно судить о закономерностях размещения показателя.

Если залежь разведана буровыми скважинами, равномерно расположенными по площади разведываемого участка, то на план по координатам выносят точки пересечения скважин с залежью и подписывают средние значения содержаний, полученные на всю мощность залежи. Далее строят план изолиний в том же порядке, который был рассмотрен выше.

Если месторождение разведано при помощи буровых или шурфовочных разведочных линий, то вначале каждую разведочную линию обрабатывают по изложенной выше методике, после чего производят построение плана изосодержаний путем соединения точек с одноименными содержаниями между разведочными линиями.

Недостатком способа является большое расстояние между разведочными линиями по сравнению с расстоянием между разведочными выработками. Поэтому погрешность проведения изолиний между разведочными линиями значительно выше, нежели по линии.

Чтобы в определенной мере устранить это нежелательное явление и тем самым повысить точность геометризации, рекомендуется рассчитывать между соседними линиями взаимную корреляционную функцию, являющуюся мерой сходства определенных участков двух сравниваемых последовательностей. На ее основе определяют векторы сходства, по направлению которых проводят изолинии между разведочными линиями.

Если залежь подсечена наклонными скважинами, то на плане намечают среднюю точку между входом и выходом скважины, около которой подписывается среднее значение содержания по пересечению. Дальнейший порядок обработки и построения плана в изолиниях остается прежним.

При разработке жильных месторождений изолинии содержания компонента, проведенные по значениям индивидуальных проб эксплуатационного опробования, дают изображения мелко-сопочного рельефа и не выявляют общей закономерности размещения компонента в рудном теле на участках *А* и *Б* (рис. 12.7, *а*). Поэтому производят сглаживание — усреднение по индивидуальным пробам. Благодаря этому создается сеть наиболее устойчивых средних групповых отметок, по которым могут быть построены изолинии средних значений содержания компонента (участок *Б*). Изолинии средних отметок выявляют основные закономерности размещения компонентов в рудном теле и пригодны для практического использования при прогнозировании (участок *Б*) (рис. 12.7, *б*) и решении различных задач, связанных с разработкой месторождения. Усреднение производят путем отбора групповых проб из нескольких точек некоторого участка с отнесением значения признака к центру участка или путем сглаживания по площади или объему.

Сглаживание по площади — это объединение частных проб в некоторые объемы, равные по площади размеру окна, а по высоте — мощности залежи (слоя), и нахождение по этим пробам средних значений изучаемого свойства, относимых к центрам этих объемов.

Построение изолиний показателя для слоев залежи применяется при слоевой системе разработки. На плане по координатам (рис. 12.8) наносят точки пересечения скважин с нижней поверхностью слоя. По высотным отметкам нижней и верхней поверхности слоя намечают интервалы опробования скважин, попавших в данный слой, определяют среднее значение содержания в отмеченных интервалах и подписывают их у соответствующих точек на плане. Обработка и построение плана в изолиниях рассматривались выше. На рис. 12.8 показаны исходная и сглаженная кривые изменения содержания компонента *С* по скважине № 6, изолинии средних содержаний по горизонтальным слоям и вертикальным сечениям, увязанные между собой.

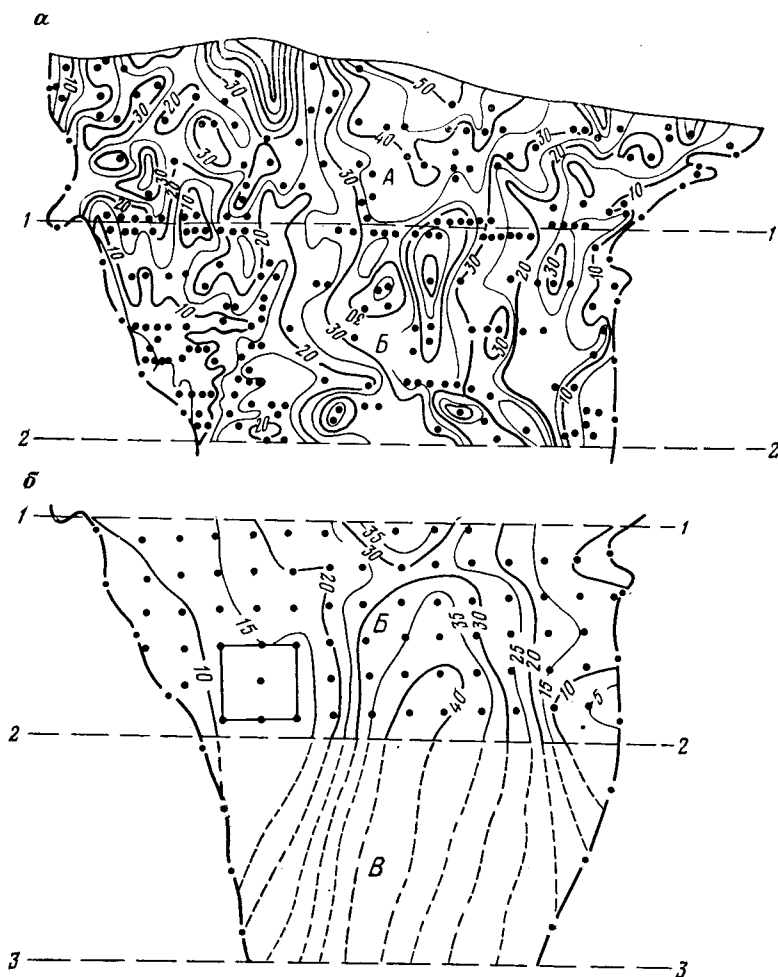


РИС. 12.7. Изолинии размещения компонента в залежи:

а — по индивидуальным пробам; б — по средним значениям в пределах окна сглаживания в проекции на вертикальную плоскость

Построение изолиний свойств полезного ископаемого в профильных сечениях. В целом порядок построения изолиний в профильном сечении аналогичен построению изолиний в случае опробования месторождений по разведочным линиям.

Дополнительным условием правомерности проведения изолиний между скважинами по профилю является величина радиуса корреляции в горизонтальном направлении профиля. Если радиус корреляции больше или равен расстоянию между скважинами, то строить изолинии по профилю можно (т. е. допускается возможность интерполяции). В противном случае

план в изолиниях не строится, поскольку построенные закономерности будут фиктивными в силу невыполнения условий для линейной интерполяции.

Для определения радиуса корреляции по профилю обычно используют автокорреляционную функцию, полученную по данным опробования магистральных канав или капитальных горных выработок, пройденных в плоскости профиля.

Объемное сглаживание впервые применил П. А. Рыжов при геометризации полиметаллического месторождения. Сущность метода заключается в разбиении месторождения или его части на элементарные блоки, размеры граней которых по осям равны соответственно A_x , A_y , A_z . По данным опробования выработок, попадающих в элементарный блок, определяют среднее значение признака и относят к центру блока. Затем строят изолинии по интересующим горизонтам, сечениям и строят блок-диаграмму с изолиниями по сечениям.

В соответствии с изложенными ранее принципами сглаживания, число проб, участвующих в окне сглаживания, определяют по направлению, характеризующемуся наибольшей изменчивостью. Для большинства месторождений таковым направлением является ось z , поскольку значения содержаний по осям x и y являются усредненными по ряду частных проб, взятых на глубину.

Корреляционные отношения η_x^2 , η_y^2 , η_z^2 по осям определяют описанным ранее способом отдельно по каждому направлению.

Число проб по направлениям x , y и z в элементарном блоке при сглаживании определяют по формулам:

$$a_x = \sqrt{\frac{\eta_y^2 \eta_z^2 m}{\eta_x^2 \eta_x^2}} \leq \frac{R_x}{l_x}, \quad A_x = a_x l_x, \quad (12.14)$$

$$a_y = \sqrt{\frac{\eta_x^2 \eta_z^2 m}{\eta_y^2 \eta_y^2}} \leq \frac{R_y}{l_y}, \quad A_y = a_y l_y, \quad (12.15)$$

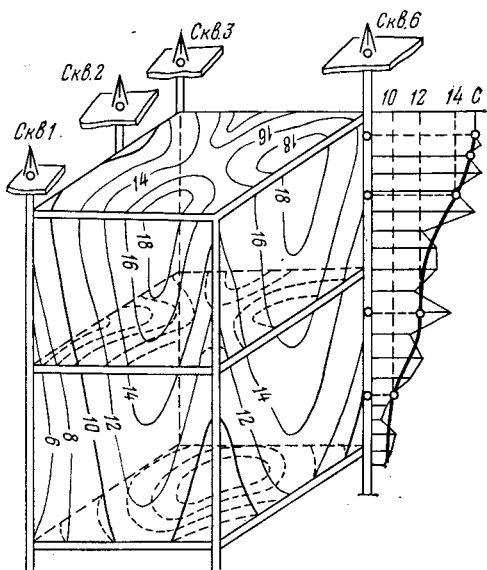


РИС. 12.8. Блок-диаграмма участка залежи с изолиниями средних содержаний компонента в вертикальных и горизонтальных сечениях (слоях)

$$a_z = \sqrt{\frac{\eta_x^2 \eta_y^2 m}{\eta_z^2 \eta_z^2}} \leq \frac{R_z}{l_z}, \quad A_z = a_z l_z, \quad (12.16)$$

где l_x, l_y, l_z — интервалы опробования по соответствующим осям; R_x, R_y, R_z — радиусы корреляции.

§ 7. Связь между компонентами минерализации и структурой и ее практическое использование

В образовании зон оруденения, рудных полей, месторождений и тел ведущую роль играют структурные условия. В эндогенных месторождениях, главным образом гидротермальных, они в значительной мере определяют форму рудных тел.

Особое значение для них имеет строение, создавшееся в результате тектонических деформаций земной коры — совокупности различных складок, разломов, трещин. По разломам минерализующие растворы, как по рудоподводящим каналам, поднимались из глубоких участков земной коры и, локализуясь в трещинах, образовывали жилы, в блоках с развитой мелкой трещиноватостью — штокверки, вдоль межпластовых трещин с замещением некоторой части вмещающих пород — пластообразные тела, в зонах пересечения трещин — трубообразные залежи и т. п.

Вопрос о структурах эндогенных рудных месторождений состоит из двух неразрывных частей: происхождение самих структур и использование этих структур в качестве рудоподводящих, рудораспределяющих и рудовмещающих полостей. Первую задачу решает структурная геология, вторую — поисковая разведка, а в процессе эксплуатации — рудничная геология.

Сложное строение большинства рудных тел свидетельствует о том, что отложения руды в трещинах очевидно не были одноплановыми. Процесс оруденения прерывался. Образование рудных залежей часто носит черты разных стадий минерализации.

Между числом ассоциаций и вообще разнообразных минералов и числом этапов минерализации, как отмечается в геологической литературе, наблюдается прямая пропорциональность.

В распределении минерализации, и в частности в образовании рудных столбов, в каждую стадию происходило подновление только отдельных участков структур.

В месторождениях осадочных, как и в эндогенных, форма залежей и размещение полезных и сопутствующих компонентов также находятся в тесной связи со структурой.

Заслуживает внимания мысль, высказанная П. А. Корольковым, о том, что породы образуются не только за счет миграции, но также за счет превращения химических элементов. Соответственно этому есть породы, образованные только миграцией элементов, и есть породы, образованные только пре-

вращением элементов. Между этими крайними случаями имеется бесчисленное множество промежуточных. Путем геометризации содержания химических элементов в сечениях залежи наиболее наглядно устанавливается, в какой мере тот или иной участок залежи образовался за счет миграции химических элементов и в какой мере за счет их превращения.

Случаи взаимообратного содержания химических элементов в залежи нередки. Так, на Каратауском месторождении фосфорита в Южном Казахстане кальций и фосфор (элементы антагонисты — содержания фосфора и кальция) взаимно обратны. Согласно корреляционному анализу, можно полагать, что в данном случае фосфор образуется за счет превращения в него кальция с попутным образованием каких-то других элементов. Превращение континентальных глин в мергель, затем в ангидрит (либо гипс) и, наконец, в поваренную соль отмечается на многих месторождениях СССР.

Горно-геометрические исследования в процессе разведки и разработки месторождений с применением математического аппарата, и в частности теории корреляции, приводят к решению ряда теоретически и практически важных вопросов геологии. К ним относятся выяснение последовательности образования минеральных парагенезисов, миграции вещества при процессах рудообразования, связей между компонентами, закономерностей размещения компонентов в рудах, а также представительности способов и средств опробования, выявления и учета с выдающимся содержанием компонента, связи оруденения со структурой массива горных пород и многое другое. Все это служит основой для проведения эффективной разведки и рационального освоения и использования недр.

При изучении корреляции свойств геологических объектов наблюдаются самые различные зависимости: простые и сложные, линейные и криволинейные, прямые и обратные.

При установлении корреляции необходимо учитывать генетическую природу связей. Различают два вида связей: парагенетические и химические. Под *парагенетическими* связями подразумеваются связи таких компонентов, каждый из которых сконцентрирован в разных минералах. Эти связи могут быть как положительными, так и отрицательными, так как обусловлены закономерностями процесса образования ассоциаций.

Под *химическими* связями подразумевают связи между компонентами, входящими в состав одного и того же минерала. Они всегда положительны, так как определяются постоянством химического состава.

Миграция веществ при формировании месторождений может быть пассивной, когда перенос осуществляется в виде взвесей, и активной, когда перенос осуществляется в виде раствора. В обоих случаях транспортируемые компоненты индивидуально реагируют на любые изменения условий переноса, определяя тем самым зональность строения рудных тел, появление среди

генетически однородных минеральных тел участков, отличающихся содержанием и теснотой связи между компонентами.

Планы, графики, диаграммы изменения тесноты связи между коррелируемыми компонентами, составляемые при статистических обобщениях и отображающие закономерности в изменении коэффициентов корреляции, в зависимости от природы изучаемого явления либо подчеркивают зональность строения рудных тел, либо фиксируют характер оруденения. Тесная корреляция и уравнения регрессии позволяют определять содержание сопутствующих компонентов расчетным путем, сокращая тем самым расходы на производство химических анализов.

Все компоненты по степени их значимости для технологической переработки минерального сырья подразделяют на четыре категории: главные компоненты, полезные примеси, вредные примеси и инертные примеси. При определении содержаний компонентов последних трех категорий расчетным путем через главные, определяющие основную промышленную ценность сырья, наилучшие результаты дает корреляционный способ.

Перед применением расчетного метода определения содержаний необходимо для конкретного месторождения установить оптимальное число проб, начиная с которого погрешность не будет превышать допустимых пределов.

Обоснование генезиса месторождения, подкрепленное корреляционным анализом, может быть основой нового этапа рациональной разведки, добычи и переработки полезного ископаемого. Поясним это примерами из опубликованных работ Г. И. Вилесова, В. М. Гудкова, К. Ф. Ермолаева, А. В. Михайловой, П. И. Райского, В. И. Снеткова, В. М. Калинин и др.

Центральная часть Лениногорского месторождения на Алтае представлена пологозалегающей толщей среднедевонских пород, располагающихся на метаморфизованном жестком каледонском основании. Месторождение детально разбурено и разведано горными работами в верхней части и редкой сетью скважин подсечено внизу.

В процессе геометризации месторождения удалось расшифровать структуру рудных полей, выявить тектонику, морфологическую зональность рудных тел: зону пологих тел, зону микроштокверков, нижнюю зону серии субпараллельных жил, синхронных с тектонической решеткой.

Все это позволило обосновать направление и успешно осуществить буровые работы для разведки нижних горизонтов.

Достоверные данные о качественных свойствах железных руд имеют первостепенное значение для планирования добычи с необходимым для потребителя качеством. Геометризация размещения компонентов необходима, но она не отражает количественные соотношения и взаимосвязи вещественного состава руды.

На Шалымском, Шерегешском, Таштагальском и других железорудных месторождениях установлены парагенетические

взаимосвязи и количественные молекулярные соотношения как между самими окислами, входящими в состав руды, так и между окислами и железом. Хорошая сходимость в содержании окислов в руде и найденных по уравнениям молекулярной связи позволила без химических анализов подсчитывать количество окислов в руде по содержанию железа и значительно сократить расходы на химанализы.

На основе геометризации Джеккаганского месторождения удалось составить инженерные прогнозы, а также не только наиболее эффективно осуществить дальнейшую разведку, но и решить вопрос о генезисе месторождения.

Основываясь на пластообразной форме месторождения, приуроченности его к нескольким слоям песчаника, отсутствию вблизи изверженных пород, многие геологи относили месторождение к осадочным, сингенетическим. Позднее была выдвинута эпигенетическая теория происхождения, развитая К. И. Сатпаевым. Согласно этой теории, значение в процессах рудоотложения имели элементы механической структуры — внутри- и межпластовые нарушения, сопряженные с крутопадающими, секущими разломами — главными факторами, направлявшими и контролировавшими процессы миграций и осаждения рудного вещества минерализованными гидротермальными растворами.

Построенные геометрические карты с изолиниями кровли, почвы, мощности, глубины, размещения содержания компонентов, разрывной тектоники, а также установленная корреляция между интенсивностью трещиноватости пород и оруденением достаточно ярко подчеркивали структурно-тектонический контроль оруденения. Производственная реализация этой гипотезы привела к исключительному эффекту.

По месторождениям угля, железа, меди, месторождениям калийной соли, строительных материалов и другим для многих инженерно-геологических целей проведены горно-геометрические работы с выявлением корреляции и составлением графиков с изолиниями размещения как полезных, так и осложняющих технологию переработки элементов.

При геометризации Николаевского месторождения рудного Алтая по материалам детальной разведки составлены карты, разрезы по основным типам пород с изолиниями кровли, почвы, мощности рудных тел, блок-диаграмма дизъюнктивов. Как следствие этих работ, по-новому интерпретированы структура месторождения, морфология рудных тел, массивы малых интрузий. Получили графическое отражение многие сложные геологические элементы, в частности склонение рудных и интрузивных тел и т. п. Материалы геометризации использованы при проектировании вскрытия и отработки месторождения.

На Зыряновском полиметаллическом месторождении наряду с морфологической зональностью, связанной с особенностями развития структуры, установлена также качественная зональность размещения рудообразующих компонентов. Харак-

терно, что при общей закономерности — приуроченности рудных зон к интенсивно расланцованным участкам — наблюдается закономерность локального вида, когда интенсивность минерализации находится в обратной зависимости от степени расланцованности пород.

Статистической обработкой данных опробования установлена тесная прямолинейная корреляция между отдельными рудообразующими компонентами. Наличие устойчивой статистической связи ($\tau > 0,7$) между компонентами позволяет сократить число химических анализов в лаборатории рудника на некоторые компоненты при эксплуатационном опробовании и вычислять содержание компонента по формуле установленной связи.

§ 8. Геометризация геомеханических свойств массива горных пород

В горной практике такие вопросы, как проявление горного давления, устойчивость охранных целиков, бортов карьеров, кровли подземных выработок, определение концентрации напряжений вокруг горных выработок, определение углов сдвижения, коэффициентов крепости пород, изучение процесса образования мульды, разрушение пород при буровзрывных работах и т. п., связаны с механическими свойствами массива горных пород.

Последние определяются упругими, прочностными, реологическими и технологическими параметрами.

Массив горных пород характеризуется механической неоднородностью — анизотропией. Она обусловлена структурой, зернистым строением, пористостью, слоистостью, сланцеватостью, трещиноватостью горных пород. Совокупность этих элементов составляет структуру механической неоднородности горных пород и сложенного ими массива. Массив горных пород состоит из элементарных частиц — структурных блоков, форма и взаиморасположение которых определяют его структурную анизотропию. Ярко выраженная анизотропия геомеханических свойств характерна для скально-трещиноватых пород. Если структурные блоки достаточно малы, т. е. элементы ослабления размещены в горном массиве часто и без видимого порядка, то массив рассматривают как однородную изотропную, точнее — квазиизотропную среду. Это принимают обычно для рыхлых отложений.

Доказано, что механические свойства образцов пород, испытываемых в лабораториях, представляют механику массива пластичных пород, но не представляют механику массива скально-трещиноватых пород. Поэтому без учета неоднородности горных пород решение практических задач горного дела будет приближенным. Данные лабораторных испытаний используют с учетом коэффициента структурного ослабления.

Механические свойства, как и элементы структурной анизотропии массива горных пород, определяют в отдельных местах, участках, точках непосредственно по скважинам или чаще кос-

венным, геофизическим методом как при разведке, так и в выработках, проводимых при строительстве и разработке месторождений полезных ископаемых. Методы получения информации о механических и других свойствах массива горных пород изложены в специальной литературе.

Размещение любого геомеханического свойства массива горных пород может быть представлено в виде физического поля. Решение задачи при наличии сложных переплетений различных полей в недрах аналитическим путем часто оказывается невозможным. В этих условиях графический метод выражения размещения свойств поля приобретает исключительное значение. Построенные по результатам определений в различных участках и элементах массива изолинии показателей прочностных свойств представляют пространственную геомеханическую модель. Будучи построенной на основе инженерно-геологической модели, она становится основой для решения конкретных расчетных инженерных задач. Решение ряда геомеханических задач на базе геометризации впервые дано А. Ж. Машановым.

Изолинии гравитационного поля напряжений однородного массива пород. При изучении характера распределения давления горных пород на выработки и целики важно знать не столько абсолютное значение величины этого давления на различных участках, сколько его относительное изменение. Последнее изображают изолиниями, которые строят в проекции на горизонтальную плоскость, соответствующую горизонту отработки залежи.

Из горизонтальной топографической поверхности участка месторождения вычитают значение отметки горизонта отработки и значение вынимаемой мощности (без закладки). Полученные новые изолинии умножают на среднюю величину объемной массы пород кровли и проводят изолинии гравитационного поля давления горных пород.

Если бы массив горных пород представлял собой изотропную среду, то построенные описанным способом изолинии давления характеризовали бы собой естественное гравитационное поле напряжений массива пород в зоне сдвижений на уровне данного горизонта горных работ.

Изолинии напряженного состояния анизотропного массива горных пород. Поверхность ослабления в массиве пород, подобно горным выработкам, при сдвигении и деформации пород служат основными очагами концентрации напряжений. Учитывая, что при сдвигении горных пород вследствие горных разработок преобладает сдвиговая деформация, для получения изображения поля напряженного состояния анизотропного массива горных пород необходимо изолинии гравитационного поля напряжений массива помножить на изолинии остаточной сдвиговой деформации этого же массива.

Изолинии временного сопротивления пород горного массива на сдвиг. На площадях наблюдений поверхностей ослабления

массива берут ориентированные в пространстве образцы горных пород и подвергают их лабораторным испытаниям с целью определения значения временного сопротивления пород на сдвиг τ . Эти значения выписывают у соответствующих точек на плане взятия образцов и строят изолинии временного сопротивления массива на сдвиг. В пределах рудника таких образцов берут от 20 до 50.

Изолинии относительного изменения напряжений массива пород. При проведении очистных горных выработок вокруг последних создается аномалия в существовавшем поле напряжений, в областях которых образуются новые сложные поля напряжений в результате перераспределения последних. Эти новые напряжения будут концентрироваться по определенным поверхностям ослабления массива горных пород.

По некоторым «граничным поверхностям» ослабления массива пород величина напряжений превзойдет предел прочности пород на сдвиг, в результате чего произойдет их сдвижение.

Эти «граничные поверхности» являются поверхностями разрушения и отделяют нетронутый сдвижением массив пород от зоны сдвижения.

На основе многочисленных лабораторных и геофизических испытаний Е. И. Стетюха установил корреляцию между плотностью, пористостью, относительной упругостью и другими физико-механическими свойствами горных пород и глубиной их залегания (рис. 12.9).

Если для каждого слоя горных пород построить изоглубины залегания, для каждой изолинии с данной отметкой глубины вычислить по установленной зависимости значение показателя по новым, чаще нецелочисленным отметкам и провести изолинии с целочисленными отметками и одинаковым сечением, то в результате получают графическое выражение функции размещения значений геомеханического свойства данного слоя горной породы.

Выявление морфологии нарушений по трещиноватости. На рис. 12.10 показаны расшифровки морфологии нарушения в стереографических проекциях. На рис. 12.10, а изображено нарушение, сместитель которого Q имеет элементы залегания системы трещин III (C — направление сжатия). Рассмотрим висячее крыло системы III, находящееся внутри тупого угла между плоскостями III и IV. Касательные напряжения τ внутри тупого угла нормальны линии пересечения этих плоскостей и направлены от нее. Таким образом, висячее крыло системы III по плоскости Q должно переместиться вверх относительно лежащих крыльев. Так как плоскость пласта P имеет со сместителем согласное падение, а угол падения пласта меньше угла падения сместителя, нарушение представляет собой надвиг.

На рис. 12.10, б показано нарушение пласта P , сместитель которого тяготеет ко II системе трещин скола. Рассмотрим висячее крыло системы II, находящееся в пределах верхней полу-

РИС. 12.9. Зависимость между плотностью глинистых пород γ и глубиной их залегания L :

1 — единичные замеры плотности; 2 — средние значения плотности

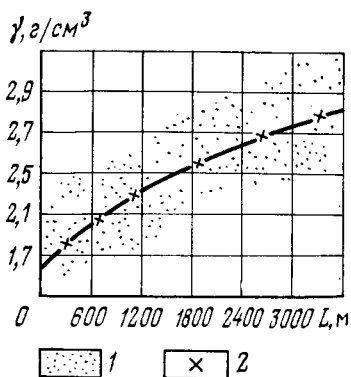
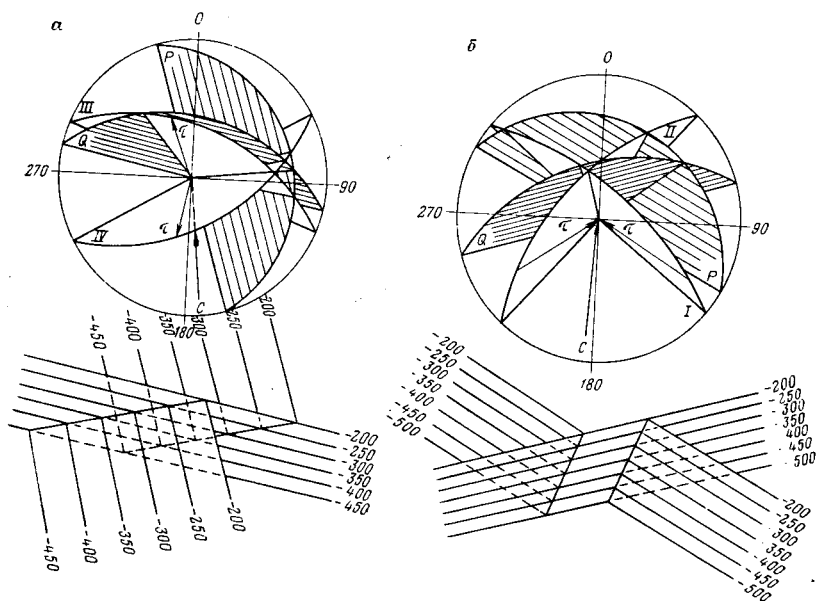


РИС. 12.10. К определению морфологии смещения по трещиноватости и направлению касательных напряжений:

а — взбросопередви́г с перекрытием; б — сбрососдвиг с зиянием



сферы внутри острого угла (C — направление сжатия). Направление касательных напряжений в висячих крыльях II системы и сместителя направлено к линии пересечения трещин I и II систем и перпендикулярно к этой линии, т. е. висячее крыло перемещается вниз по отношению к лежащему. В данном случае, учитывая относительную ориентировку сместителя, имеем нарушение с зиянием типа сброса. Это хорошо видно на разрезе по простиранию пласта.

В обоих случаях морфология нарушения, определенная теоретически, совпала с документацией. В первом случае направ-

ление сжатия и ориентировка трещиноватости определялись по наблюдениям в непосредственной близости у нарушения. Во втором случае (см. рис. 12.10, б) направление сжатия S определялось по гипсометрии пласта как короткая ось деформации. От стереографической проекции легко перейти к проекции с числовыми проекциями (планы нарушений внизу).

ГЛАВА 13

О ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. Общие замечания о геометризации потока

Геометризация процесса — наиболее сложная область как теоретической, так и прикладной части геометрии недр. Естественно, и в научной геологии, и в горном деле изучение кинематики и динамики процессов формирования структур и месторождений, течения подземных вод или процессов, происходящих под влиянием горных работ, относится к наиболее сложным областям познания.

П. К. Соболевский уже в 1926 г. поставил проблему изучения геометрии процесса с привлечением теории поля (из теоретической физики) к решению кардинальных вопросов научной геологии и горного дела и, в частности, проблемы автоматической регистрации деформации поверхности под влиянием горных работ с применением особых приборов и использованием графического дифференцирования и интегрирования соответствующих векторно-топографических построений.

Геометризацию процессов, как изменение формы и свойств объекта во времени, далее будем именовать как геометризацию потока, потому что основы ее сложились из трудов о потоке многих физиков и математиков (Бернулли, Эйлер, Лагранж, Лаплас, Гамильтон, Фарадей, Максвелл, Стокс и др.).

Геометрия потока не исключает и не заменяет геометрий Евклида и Декарта, так как она рассматривает ту область явлений природы, к которой обе упомянутые геометрии неприменимы. Помимо величин постоянных, которыми оперирует геометрия Евклида, постоянных и переменных, которыми оперирует геометрия Декарта, геометрия потока оперирует величинами трех видов — постоянными, переменными и изменяющимися.

Наиболее наглядно отличие геометрии потока от геометрий Евклида и Декарта выясняется из определения поверхности. Если по Евклиду поверхность — это «тело без толщины», по Декарту — как «след движения линии», то в геометрии потока она определяется как «поверхность в ее изменении (развитии)» за счет возрастания либо убывания площади точек, составляющих рассматриваемую исходную поверхность.

Геометрические операции с поверхностями являются главным содержанием геометрии потока. Особое внимание здесь уделяется поверхности топографического порядка.

Отличие геометрии потока от любых других геометрий вытекает из следующих положений о потоке*.

1. Любой поток представляет собой сочетание двух основных форм его — потока *поступательного* (потенциального), состоящего из стоков и источников, и *вращательного* (вихревого), состоящего из вихрей левых и правых. Стоки и источники, а также вихри левые и правые непрерывно возникают, существуют, изменяясь, и заканчивают свое существование тем или иным путем. Каждая форма потока может быть периодической (волновой) либо аperiodической. Ниже будет идти речь только о потоке аperiodическом. В любом реальном потоке имеет место равенство между стоками и источниками, а также между вихрями левыми и правыми.

2. Любой поток слоисто-струйчатый, и соответственно этому имеется возможность всегда отобразить его геометрически линиями тока — для струй и изоповерхностями — для слоев, как это известно из физики на примере электромагнитного поля (потока).

3. Поток поступательный в стационарном состоянии или, точнее, в некоторый малый интервал времени, когда его можно считать неизменным, геометрически отображается системой не пересекающихся между собой изоповерхностей и системой линий тока по нормальям к этим поверхностям. Если же поступательный поток изменяется, то соответствующим образом изменяются относящиеся к нему изоповерхности и линии тока. Подобное, но в более сложном виде, имеет место и в отношении потока вращательного. Таким образом, изменение геометрии потока отображается изменением конфигурации изолиний.

4. Любое мгновенное сечение, не обязательно плоское, изменяющегося поступательного потока представляет собой топографическую поверхность с ее максимумами (горами, источниками) и минимумами (низинами, стоками).

Процесс изменения топографических поверхностей можно отобразить серией последовательных мгновенных состояний её изменяющихся изолиний.

Весьма существенное отличие геометрии потока от любых других геометрий состоит в отношении к числам «мнимым», т. е. к квадратным корням из отрицательных чисел, названных так Декартом потому, что он не мог найти геометрического образа таким числам.

В геометрии потока буква i в выражении ia означает поворот вектора a на 90° вокруг его начала.

* Корольков П. А. Введение в геометрию потока (геометрию процессов). — В кн.: «Геометризация месторождений минерального сырья как основа рационального освоения недр», изд. МГИ, М., 1969.

Возьмем источник в виде замкнутой изолинии. Перпендикулярно к изолинии в стороны направлены векторы a . Если теперь каждый вектор a источника A умножить на мнимую единицу, то он повернется влево на 90° , а общая картина от поворота всех векторов влево вокруг их начал изобразится в виде левого вихря. При умножении получившегося левого вихря еще раз на мнимую единицу получим сток. При следующем умножении стока на мнимую единицу получим правый вихрь. И наконец, при умножении правого вихря на мнимую единицу возвращаемся к исходному источнику.

Поток вещества можно изучать двояко — в переменных Лагранжа и в переменных Эйлера. Геометризация потока в переменных Эйлера имеет преимущества перед переменными Лагранжа.

По Лагранжу рассматривается, в каком источнике сразу появляется та или иная частица потока, как она перемещается с места на место либо кружится в вихре и, наконец, сразу полностью исчезает в стоке. По Эйлеру же имеется возможность рассматривать не отдельные частицы, а множество их — в виде стоков, источников и вихрей — не только в перемещениях их с места на место, но и как эти стоки, источники и вихри постепенно возникают, существуют, изменяясь, и, наконец, исчезают постепенно.

Теория геометризации потока рассматривается как новая, более высокая стадия развития геометрии, потому что эта теория оперирует величинами изменяющимися, а не только постоянными и переменными.

Для математического отображения темпа (скорости) изменения стоков, источников и вихрей пользуются понятием «дивергенция», подразумеваемая под ним изменение (дословно — расхождение), которое выражают формулой

$$\operatorname{div} V = \Delta V / (V \Delta t), \quad \operatorname{div} V = dV / (V dt), \quad (13.1)$$

где div — дивергенция, с^{-1} ; V — изменяющаяся величина, например, объем, площадь, длина, изменяющаяся топографическая поверхность за интервал времени Δt (dt).

Исходя из уравнения (13.1) дивергенция имеет два равносильных определения: объемный коэффициент расширения, отнесенный к единице времени, и скорость изменения объема, отнесенная к единице объема.

Аналогично определяется дивергенция площади, длины, массы, электрзаряда и т. п.

Дивергенция — величина скалярная, имеет размерность с^{-1} и может быть функцией любого вида от координат и времени. Следовательно, дивергенция может быть числом положительным либо отрицательным, действительным либо мнимым и т. д. Дивергенция является тем же для процессов (изменений), чем является скорость для механического перемещения тел.

Величина, обратная дивергенции,

$$T = 1/(\omega V), \quad (13.2)$$

именуемая средней продолжительностью существования — ПС, тоже величина скалярная, но имеет размерность (с) и может быть также функцией любого вида от координат и времени. Она может быть числом положительным либо отрицательным, действительным либо мнимым и т. д. На примере шара средняя ПС — это время, в течение которого будет существовать шар, если его объем в каждую единицу времени уменьшается на одну и ту же величину, равную начальному уменьшению. Вместо ПС часто пользуются понятием *вероятная продолжительность существования*, которая равна средней продолжительности существования, умноженной на натуральный логарифм двух. Следовательно, вероятная ПС равна средней ПС, умноженной на натуральный логарифм двух.

При исследовании какого-либо конкретного процесса потока можно пренебречь весьма малой изменяемостью некоторых из величин, характеризующих процесс, но остальные величины должны подвергаться выяснению числового значения изменяемости каждой из них.

Геометрически источник отображается либо совокупностью векторов, расходящихся по нормали к контуру, ограничивающему некоторую область, либо парой замкнутых изолиний, показывающих, что область внутри внутренней изолинии выше (плато, холм, гора) по отношению к внешней изолинии (рис. 13.1, а). При этом следует учитывать, что у изолиний отметки вещественные, а не мнимые. Очевидно, что сток (рис. 13.1, в) изображается либо векторами, направленными внутрь контура, либо парой изолиний с отметками вещественными, убывающими внутрь контура.

Левый вихрь геометрически отображается либо векторами, направленными по касательной к контуру, либо парой замкнутых изолиний со стрелками на них, согласно знаку отметок, показывающих, что градиент (вектор) следует откладывать не по нормали, а параллельно изолиниям в направлении, указанном стрелками на изолиниях.

Столь же очевидно, что правый вихрь (рис. 13.1, г) изображается либо векторами вдоль контура, либо парой изолиний с отметками мнимыми, растущими изнутри наружу.

Таким образом, возникает необходимость отличать топографическую поверхность действительную без стрелок на изолиниях действительных отметок от топографической поверхности мнимой со стрелками на изолиниях мнимых отметок.

Итак, топографическую поверхность следует понимать не только в виде изолиний либо векторов, но и в виде действительной (вещественной) и мнимой. Мнимая топографическая поверхность столь же реальна, как и топографическая поверхность действительная, так как отличие между ними состоит

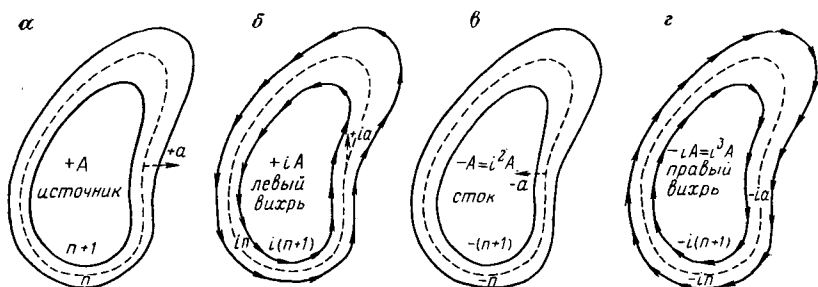


РИС. 13.1. Изображение сечения потока изолиниями

только в том, что если в первом случае имеем дело с линиями потенциала, то во втором — с линиями потока.

В общем случае поток есть единство потока потенциального и вихревого или, другими словами, представляет собой поток комплексный, состоящий из действительной (потенциальной) и мнимой (вихревой) частей. Следует отметить, что все многообразие потоков комплексных делится на устойчивые и неустойчивые.

Любой комплексный поток невозможно геометрически отобразить одной системой изолиний. Его можно отобразить системой двух топографических поверхностей — потенциальной (действительной) и вихревой (мнимой).

В случае потока устойчивого, линии потенциала и линии тока совпадают, т. е. комплексный вектор в любом месте такого потока представляет собой сумму равных и взаимно ортогональных векторов (потенциального и вихревого). Такую комплексную топографическую поверхность следует изображать чередующимися линиями со стрелками с линиями без стрелок, так как каждая линия одновременно является и линией равных отметок, и линией тока.

В случае потока неустойчивого, изолинии потенциальной топографической поверхности не совпадают с линиями тока топографической поверхности вихревой. Такая комплексная топографическая поверхность показана на рис. 13.2 в виде двух систем изолиний, а на рис. 13.3 — в форме векторной.

Очевидно, что если комплексная топографическая поверхность дана в виде двух совпадающих либо несовпадающих топографических поверхностей (потенциальной и вихревой), то нет затруднения при переходе от них к соответствующим им комплексным топографическим поверхностям в векторной форме (рис. 13.3). Этот переход делается дифференцированием комплексной топографической поверхности в изолиниях и последующим сложением полученных градиентов (полных производных). Но обратному переходу от комплексной топографической поверхности в векторной форме к совпадающим либо несовпадающим топографическим поверхностям в форме изоли-

РИС. 13.2. Изображение комплексной топографической поверхности при несовпадении изолиний потенциальной и вихревой поверхности:
 +источник, —сток

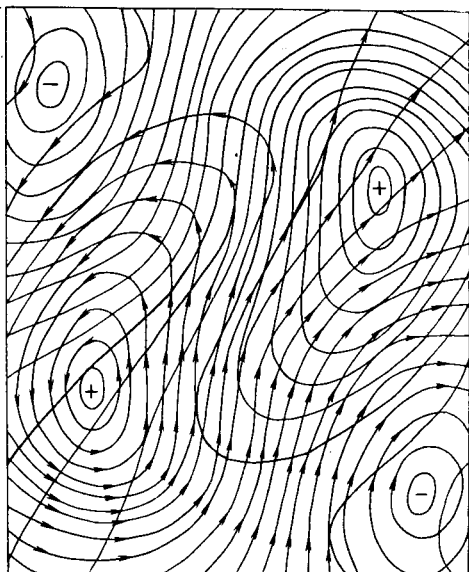
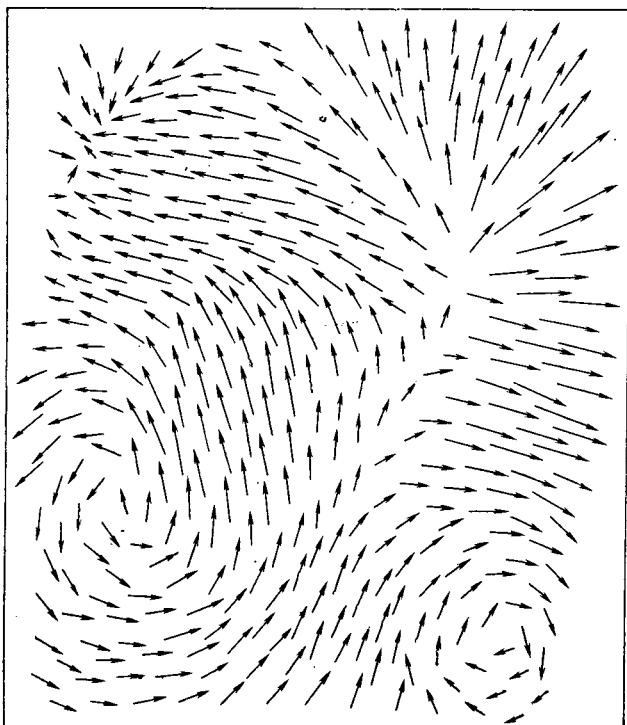


РИС. 13.3. Векторная форма изображения комплексной поверхности, представленной на рис. 13.2



ний еще не найдено общего решения, хотя такое решение должно быть.

Итак, умножение источника на мнимую единицу дает левый вихрь, а последующие умножения — сток, затем правый вихрь и снова источник. Соответственно этому выясняется, что дивергенцию можно и должно рассматривать мерой интенсивности не только стоков и источников, но также и вихрей левых и правых, памятуя, что для вихрей дивергенция мнимая, а не вещественная.

Когда речь идет о сечении потока с его стоками, источниками и вихрями левыми и правыми, то вектор в какой-либо точке сечения надлежит рассматривать как градиент действительной либо мнимой топографической поверхности в точке, относящейся к началу вектора.

§ 2. Геометризация геодинамики массива горных пород в районе месторождений

Под напряженным состоянием массива горных пород в районе месторождения понимают «реакцию» массива на инженерную деятельность человека (отработку месторождения). Эта «реакция» выражается в виде горного давления, наиболее сильным проявлением которого являются горные удары, внезапные выбросы угля, породы и газа, завалы лав и т. д.

Одним из главных принципов, способствующих безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных к горным ударам и внезапным выбросам, является достижение такого порядка их отработки, при котором в массиве горных пород в максимальной степени исключаются чрезмерные концентрации напряжений на отдельных участках и снижается вредное влияние горного и газового давления в местах ведения работ.

Этот принцип осуществляется следующими путями:

раскрытием месторождения на шахтные поля и принятием календарного плана их отработки, предусматривающего планомерную отработку без образования участков с большой концентрацией напряжений;

обязательным использованием опережающей отработки защитных пластов, слоев, залежей, обеспечивающей последующую отработку опасных пластов (залежей) без применения локальных мер предотвращения динамических явлений; на газоносных пластах — проведением искусственной дегазации в зонах разгрузки, вызванных отработкой защитного пласта;

ведением горных работ без оставления целиков, являющихся концентраторами напряжений в горном массиве;

сокращением числа горных выработок впереди очистных работ, особенно в отрабатываемом пласте (слое) полезного ископаемого;

исключением встречных и догоняющих фронтов очистных работ;

преимущественным проведением горных выработок по направлению наибольшего напряжения, действующего в массиве пород;

использованием энергии горного и газового давления для облегчения проходки выработок и добычи полезного ископаемого.

Наиболее полно требования по правильной раскройке месторождения на шахтные поля и другие, сформулированные выше, могут быть удовлетворены, если точно известно напряженно-деформированное состояние горного массива в районе месторождения, которое схематично можно представить выражением

$$P_m = P_n + P_a, \quad (13.3)$$

где P_m — напряженное состояние массива в момент отработки; P_n — исходное напряженное состояние массива (до отработки месторождения); P_a — напряженное состояние массива, вызванное инженерной деятельностью человека (антропогенное поле напряжений).

Напряженное состояние исходного поля напряжений массива горных пород является интегральным результатом взаимодействия гравитационного, гидростатического, тектонического, электромагнитного и других полей и представляется теми геодинамическими процессами в районе месторождения, которые обусловлены соответствующим положением данного района в общей системе геодинамики земной коры.

Напряженное состояние массива, вызванное инженерной деятельностью человека, связано с технологическими процессами, применяемыми при разработке месторождений.

Взаимодействие этих двух процессов на разных уровнях и обуславливает проявление горного давления, сопровождающегося динамическими явлениями, такими, как горные удары и внезапные выбросы угля, породы и газа. Использовать природные особенности напряженного состояния массива для управления процессом хрупкого разрушения (горного удара) предложил в 1961 г. И. М. Петухов*. Практические рекомендации, полученные при этом, заключающиеся в подборе оптимальных способов и средств выемки полезного ископаемого, параметров и режима их применения для частичного снижения степени удароопасности краевой части пласта, вполне себя оправдали.

Перечисленные выше процессы составляют сущность геодинамики месторождений. Геодинамика месторождений базируется на общей геодинамике земной коры как науке о процессах, протекающих в системе «Земля» и о силовых (энергетических) полях, проявляющихся в этих процессах.

В составе геодинамики может рассматриваться динамика любой части системы «Земля», выделенной по какому-либо

* Петухов И. М. Горные удары на угольных шахтах. М., Недра, 1972.

существенному признаку. В нашем случае за систему выбран район месторождения.

В основу геодинамики месторождения и методики геодинамического их районирования положен комплекс идей, методов и фактического материала геоморфологического, тектонического, геофизического и геомеханического характера.

Сущность геодинамики месторождений заключается в следующем*:

район расположения месторождения делится на тектонические «подвижные» блоки;

исследуется динамическое взаимодействие границ блоков; на основании этого оценивается напряженное состояние нетронутого массива горных пород в районе блока;

горные выработки планируются в каждом блоке с учетом естественного поля напряжений, выявленного в нем.

Выделение «подвижной» структуры тектонических блоков в районе месторождения производят по топографическим картам, с привлечением космических и аэрофотоснимков и последующими полевыми геоморфологическими наблюдениями. Методической основой выделения блоковых структур является принцип от общего к частному, с помощью которого выявляется соподчиненность мелких структурных блоков более крупным. Современное тектоническое поле в районе месторождения можно характеризовать следующим образом. Земная кора по современным представлениям разделена на плиты, каждая из которых имеет свое вращательно-поступательное движение. Под влиянием напряжений, действующих на границах плит, они дробятся на крупные мегаблоки, которые определенным образом взаимодействуют между собой и под влиянием напряжений, возникающих на их контактах, делятся на блоки более низкого ранга и т. д. В конечном итоге это приводит к микроблочному строению массива, динамическое взаимодействие блоков в котором и будет определять естественное поле напряжений в районе месторождения. Конечные размеры блоковых структур будут определяться, очевидно, габаритами горных механизмов и машин. *Геологическим* критерием выделения подвижных блоковых структур является установленное наличие связи между рельефом поверхности и рельефом более глубоких зон земной коры вплоть до кристаллического фундамента. *Физическая* сущность этого явления заключается в том, что всякое разрушение начинается с микроразрушений. Это относится и к разломам, которые «растут» снизу от фундамента. Там, где фундамент выходит на поверхность, — разломы называют открытыми, там, где они скрыты под наносами, их называют

* Батугина И. М., Петухов И. М. и др. Методические указания по профилактике горных ударов с учетом геодинамики месторождений. Изд. ВНИМИ, Л., 1980.

скрытыми; в осадочном чехле их выявляют по зонам сгущения трещиноватости.

С точки зрения геометрии недр, процесс роста разломов есть не что иное, как геотектонический поток, а разломы являются его инвариантными линиями.

Так как положение месторождений определяется в большинстве случаев узлами пересечения разломов, районирование месторождения на блоки производят в объеме площади узла разломов, к которому приурочено месторождение.

Методика выделения блоков заключается в построении прямолинейных или плавно закругленных рельефообразующих (разломов) по дешифровочным признакам рельефа (спрямленным участкам русел рек, линейно-вытянутой цепочке озер, конфигурации горизонталей и т. д.). Для построения блоковых структур рекомендуется тренд-метод, как наиболее формализованный и реализуемый на ЭВМ.

Метод тренд-анализа основан на разложении моделируемого явления на две составляющие: *закономерную, или тренд*, и *случайную*. Закономерной частью является та, которая обусловлена физическими связями, т. е. региональными и локальными геологическими процессами, и поэтому может быть описана аналитически. Случайная компонента (остаток тренда) включает ту часть явления, которая на данном уровне рассмотрения не поддается однозначному описанию, так как имеет стохастическую природу, обусловленную ошибками как в методике отбора исходных данных, так и в их определении.

Высоты отдельных блоков тектонического рельефа связаны четкой математической зависимостью. Эту связь легко устанавливают, если тектонические формы рельефа преобладают над эрозионными. В противном случае, при хорошо разработанном эрозионном рельефе, относительный порядок высот блоков тектонического рельефа можно восстановить по реликтам.

Методически задача выявления блоковых структур с помощью топографических карт состоит в том, чтобы, используя закономерную связь гипсометрических уровней, восстановить по соотношению этих уровней размещение рельефообразующих разломов, знак перемещения и его амплитуду.

Порядок вычисления. На топографической карте, для площади месторождения, заведомо выходящей за пределы интересующей области с тем, чтобы избежать краевых эффектов, искажающих поверхности тренда, намечают отметки, значения которых не изменены кардинально процессами денудации. К ним относятся абсолютные отметки водоразделов, тектонических уступов или ступеней, а также равнинных участков (отметки склонов и урезов речных долин во внимание не принимаются).

Данные отметки с топографической карты переносят на прозрачную накладку с координатной сеткой. После этого составляют каталог координат (H, x, y) для передачи на ЭВМ.

В этот каталог записывают также координаты углов блока и градацию.

Независимо от масштаба карт в среднем одна высотная отметка должна приходиться на 4 см^2 площади карты. Поле высот описывается уравнениями алгебраических полиномов вида

$$H = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + \dots + a_my^n, \quad (13.4)$$

где H , x , y — координаты поверхности; $a_0, a_1, \dots, a_m$ — постоянные коэффициенты, отражающие зависимость планового расположения высотных отметок от географических координат.

Коэффициенты полинома отыскивают способом наименьших квадратов. Сущность решения заключается в том, что реальная топографическая поверхность сравнивается с заранее заданной формой уравнения. Коэффициенты уравнения подбирают так, чтобы сумма квадратов расстояний между математической и топографической поверхностями была минимальной. В местах разломов наблюдаются наибольшие расхождения между математической и топографической поверхностями.

Увеличение степени уравнения позволяет усложнять конфигурацию математической поверхности, приближая ее к реальной топографической. С каждым повышением степени удастся снять региональные изменения второго, третьего и последующего порядков.

Пределом приближения математической поверхности к топографической, дальше которого не имеет смысла приближаться, являются погрешности измерений.

Вычисления ведутся на ЭВМ, начиная с первого порядка до тех пор, пока последующий порядок дает существенное улучшение аппроксимации исходного поля, используя в качестве критерия остаточную дисперсию. Чаще всего расчет заканчивается вторым, реже третьим порядками.

Поверхность первого порядка (плоскость) фиксирует направление регионального наклона структурно-денудационной поверхности выравнивания, а поверхности более высоких порядков — ее более существенные деформации в пределах исследуемых блоков.

В результате машинной обработки получают карту поверхности тренда заданного блока в горизонталях с вычисленными трендовыми отметками (рис. 13.4).

Под динамическим взаимодействием блоков понимается их движение друг относительно друга (как горизонтальные, вертикальные, так и движения кручения, под действием приложенных сил). Исследование динамического взаимодействия производится по принципу «от общего к частному». При этом для района месторождения определяется кинематический вид разлома, к которому оно приурочено.

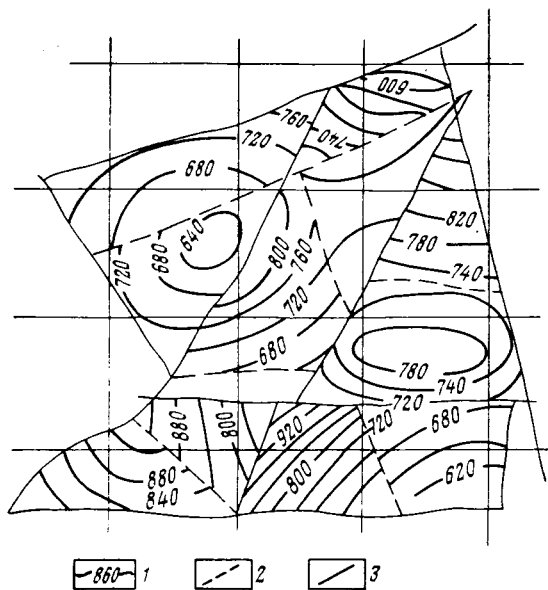


РИС. 13.4. Контуры блоков и тренды поверхности в горизонталях:
 1 — горизонталь поверхности тренда блоков; 2 — линии рельефообразующих разломов;
 3 — границы блоков по разности гипсометрических уровней

Исходя из того, что каждый разлом находится в динамо-паре с другим разломом, определяют кинематический тип сопряженной границы блока. Вид разлома свидетельствует о преобладающей обстановке сжатия, растяжения или сдвига, в которой сформировался данный разлом.

Активность разлома и его участка оценивается по выраженности данного разлома или структур, параллельных ему, в рельефе и по данным повторных нивелировок или триангуляций. За наблюдением поведения активного разлома рекомендуется закладывать долговременную наблюдательную станцию.

Учитывая, что механизм образования разломов есть механизм уравнивания напряжений в земной коре, каждый выделенный блок можно считать уравновешенным объемом горных пород, в котором на данном отрезке геологического времени действуют единые по ориентации напряжения, направление действия главных осей которых определяют путем их реконструкции относительно сдвиговых, сбросовых и взбросовых границ блоков или инструментальными наблюдениями из горных выработок вблизи границ блоковых структур.

Направления главных напряжений при этом восстанавливаются на основании анализа «подвижек» по границам контактов в результате проскальзывания одного блока относительно другого по нарушениям, соответствующим объему выделенного блока. Приведен пример восстановления поля напряжений



РИС. 13.5. Расположение шахтных стволов 1, 2, 3, 4 на руднике Таштагол относительно границы подвижного блока (5)

одного из рудников. Выявленные зоны разлома будут наиболее неблагоприятными для горных работ. Это следует учитывать при их планировании. Примером может служить рудник Таштагол, где все четыре действующих ствола оказались в зоне подвижного разлома типа сбросо-сдвига, в результате чего они постоянно подвергаются деформации в виде кручения (рис. 13.5).

Практические рекомендации при геодинамическом районировании сводятся к следующему. Места заложения стволов и околоствольных выработок должны выбираться вне зон влияния подвижных разломов земной коры. Наиболее протяженные горные выработки должны проходить вдоль направления действия максимальных напряжений в нетронутом массиве. В пределах блока выбирается наиболее оптимальный вариант отработки месторождения, характеризующийся минимальными величинами напряжений при отработке шахтного поля, особенно на завершающей стадии. Более подробно эти вопросы изложены в «Методических указаниях по профилактике горных ударов с учетом геодинамики месторождений» (изд. ВНИМИ, 1980).

§ 3. Геометризация процесса рудообразования

Теоретические предпосылки геометрии процесса (как части науки геометрии недр) находят все большее отражение в теории геологических процессов, в частности теории рудогенеза. Свойства геохимического поля, слоисто-струйчатая структура, геохимический поток и другие положения в работах ученых-генетиков находят соответствующее развитие при изучении геологической ситуации и геологических множеств. К геохимическому потоку относят газогидродинамическую магматогенную рудообразующую систему, являющуюся локальным фильтрующим потоком, имеющим физико-химическую аналогию с фильтрующимися колоннами магматических растворов. В фильтрующейся гидротермоколонне выделяют четыре зоны: корневую, проходного стволового потока, стволового растекания и рассеяния. В последней зоне в зависимости от режима движения распадающегося потока образуются пучки рудных жил или области гидротермального промачивания пород с образованием метасоматических тел и рудных штокверков.

В геологии рудных месторождений рассматриваются особые структуры, получившие название «рудных пучков», когда группа рудных тел, отличающихся между собой по структуре и не связанных между собой, стремится соединиться в корневой части внизу или, наоборот, разветвляется подобно ветвям дерева вверх.

Одним из ключевых вопросов в познании геометрии процесса является установление направления движения минерализующего потока и отдельных его составляющих с учетом как ламинарно-турбулентного движения в открытых полостях, так и порово-капиллярного в полужастойных и застойных системах.

При изучении структур и вещественного состава некоторых месторождений Казахстана и Алтая установлено пространственное геометрическое выражение геохимического потока и направление движения минерализации растворов в конкретной геологической среде. Построенные по данным разведки геометрические карты в изолиниях размещения рудообразующих компонентов рассматривались как выражение определенных полей — в скалярной форме, которые, будучи приведены к векторно-градиентному виду, позволили выделить максимальные вектор-градиенты, как показатели направления движения растворов, отложивших минеральное вещество в пределах исследуемого объема.

Разработан также метод выделения и пространственной локализации отдельных стадий минерализации с применением дифференцирования и интегрирования поверхностей топографического вида, т. е. заданных в векторно-градиентной форме.

Геометризации процесса формирования месторождений полезных ископаемых имеет важное значение для развития теоретической и прикладной геологии. В первую очередь должны быть поставлены задачи изучения геохимического потока с выражением в аналитической и геометрической форме. Это дает очень ценный базисный материал для оценки рудоносности глубинных горизонтов рудных полей, изучения зональности оруденения, закономерностей изменения качества и количества руд в различных частях месторождений, обоснования мест закладки глубоких и сверхглубоких скважин при разведке и т. п.

§ 4. Геометризация изменений напряженного состояния массива горных пород при проведении горных выработок

Проведение горных выработок (капитальных, подготовительных, очистных) вызывает сложный процесс перераспределения напряжений, деформирования и сдвижения неоднородных горных пород. Для правильного описания характера изменения напряженного состояния массива горных пород необходимо описать его естественное напряженное состояние.

Естественное напряженное состояние земной коры в целом в верхней ее части определяется, как уже отмечено, действием

большого числа факторов: наличие в породной толще более или менее упругих слоев, более или менее прочных пород, неодинаковая степень трещиноватости и тектонической нарушенности участков, различная степень обводненности, колебание отметок земной поверхности над рассматриваемой частью массива и др. Наиболее существенными из них являются действия двух независимых полей: *гравитационного* — обусловленного всемирным тяготением, и *тектонического* — обусловленного неравномерным распределением тектонических движений и скорости деформаций земной коры, т. е. наличием градиента тектонических движений.

В механике горных пород принято считать, что в гравитационном поле напряжений активными являются напряжения σ_3 , обусловленные силами гравитации и направленные, как правило, вертикально вниз, а реактивными — нормальные напряжения σ_1 и σ_2 , действующие в горизонтальной плоскости в данной точке массива, определяемые по формулам

$$\left. \begin{aligned} \sigma_3 &= \gamma H; \\ \sigma_1 = \sigma_2 &= \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H = \xi \gamma H; \end{aligned} \right\} \quad (13.5)$$

где γ — средняя плотность пород массива; H — глубина рассматриваемой точки от земной поверхности; ν — коэффициент поперечных деформаций (коэффициент Пуассона); $\xi \neq \nu/(1-\nu)$ — коэффициент бокового распора или бокового отпора.

Предельные значения $\nu=0,5$ и $\xi=1$ выражают условие гидростатического распределения напряжений в массиве, т. е. когда $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$.

Изменение гравитационной составляющей σ_3 общего поля напряжений по глубине характеризуется градиентом гравитационных напряжений $\Delta \sigma_g$, являющимся функцией средней плотности горных пород, слагающих массив. Градиент $\Delta \sigma_g$ численно равен массе столбика породы площадью поперечного сечения 1 см^2 и высотой 1 м . Он характеризует рост вертикальной составляющей гравитационного поля напряжений с возрастанием глубины на 1 м .

Поля тектонических напряжений обусловлены влиянием тангенциального сжатия в материковых частях земной коры, в массивах пород кристаллического фундамента и складчатых осадочных толщах. Тектонические напряжения существуют обычно как аномально-высокие и в ряде случаев значительно превосходят гравитационные. Они менее однородны, их параметры могут значительно изменяться как в пространстве, так и во времени. Изменчивы и ориентировка осей главных напряжений и их абсолютные значения.

Изменение тектонических напряжений охарактеризовывают вертикальным градиентом тектонических сил $\Delta \sigma_t$, выражающим

зависимость максимального главного горизонтального сжимающего напряжения от глубины или строения рельефа.

Главные напряжения в массиве, подверженном действию горизонтальных тектонических сил, выражают в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_3 &= \kappa T_H; \\ \sigma_2 &= \psi T_H; \\ \sigma_1 &= T_H, \end{aligned} \right\} \quad (13.6)$$

где κ — коэффициент вертикального отпора в поле тектонических сил; ψ — коэффициент горизонтального отпора в этом же поле; T_H — горизонтальные тектонические силы, действующие на глубине H .

В общем виде напряженное состояние в точке выражают тензором напряжений T_σ , который записывают в виде матрицы его компонентов:

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}, \quad (13.7)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ — нормальные, а $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ — касательные напряжения; при этом $\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$ — являются симметричными, следовательно, в общем виде тензор напряжений может быть полностью охарактеризован шестью его компонентами.

Каким бы ни было поле напряжений массива в целом и напряженное состояние любой точки массива, в каждой из точек существуют три такие взаимно перпендикулярные направления (и притом единственные), при которых все показательные компоненты тензора напряжений имеют нулевые значения. Отличными от нуля остаются только три главных нормальных напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Полный тензор напряжений на глубине H в матричной форме имеет выражение

$$\begin{aligned} T_\sigma &= T_{\sigma_T} + T_{\sigma_\tau} = \begin{vmatrix} \xi \gamma H & 0 & 0 \\ 0 & \xi \gamma H & 0 \\ 0 & 0 & \xi H \end{vmatrix} + \\ &+ \begin{vmatrix} T_0 + \Delta \sigma_T H & 0 & 0 \\ 0 & \psi (T_0 + \Delta \sigma_T H) & 0 \\ 0 & 0 & \lambda (T_0 + \Delta \sigma_T H) \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (13.8)$$

Установление общих закономерностей изменения напряженного состояния массива по данным измерений на стадии изыскательских и разведочных работ позволяет при проектировании объекта учесть фактическое напряженное состояние мас-

сива, закономерности изменения главных напряжений по простиранию и с глубиной и принять оптимальные проектные решения по фактору напряженности, обеспечив надежность сооружения и минимальные затраты на его строительство.

Определение полного тензора напряжений включает комплекс методических приемов: анализ геологического строения, тектоники и сейсмичности района, визуальное обследование имеющихся горных выработок. В результате этого ориентировочно определяют направления главных напряжений.

Затем с помощью различных геомеханических и геофизических методов определяют направление действия и значения напряжений. Измерения производят по методу разгрузки путем бурения из горной выработки трех взаимно перпендикулярных скважин, по соотношению скоростей сейсмических волн, по азимутальному изменению эффективного сопротивления пород при электрометрическом или сейсмоакустическом наблюдениях.

Во ВНИМИ составлена программа для ЭВМ ЕС-1033, позволяющая рассчитывать напряжения вокруг выработок произвольной формы в плане для широкого диапазона горнотехнических условий. Поле напряжений в изолиниях отображается на плане с помощью графопостроителя.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ

ГЛАВА 14

ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

§ 1. Геометризация угольных месторождений

Угольные месторождения Советского Союза находятся в различных горно-геологических условиях, которые определяются особенностями залегания пластов, характером угленосности, степенью тектонической нарушенности, гидрогеологическими особенностями, газовыделением, устойчивостью боковых пород и другими факторами. Эти факторы оказывают непосредственное влияние на технологию разработки месторождений.

Опыт разработки месторождений показывает, что внедрению механизации и повышению экономических показателей угледобывающих предприятий серьезное препятствие оказывает недостаточная изученность закономерностей размещения основных горно-геологических показателей в пространстве, что приводит к нарушению стабильности ведения технологического процесса и снижению качества добываемого угля.

В связи с дальнейшей интенсификацией угледобычи, резким повышением уровня механизации горных работ, переходом на большие глубины и в районы с более сложными горно-геологическими условиями значительно возрастают требования, предъявляемые горной технологией к геолого-маркшейдерскому обеспечению горных работ. От качества горно-геометрических материалов во многом зависит принятие технически правильных направлений в развитии горных работ и безопасность их ведения.

Горно-геологические факторы в разных условиях проявляются неодинаково, что и является причиной большого разнообразия угольных месторождений. Тем не менее некоторые из них имеют близкие условия, на основе чего возможна их классификация. Так, по геометрическим признакам их условно разделяют на три группы.

К первой группе относят месторождения платформенного типа с горизонтальным или пологоволнистым залеганием пластов. Для таких месторождений характерна пласто- или

линзообразная форма залежей с нечетко выраженными элементами залегания и широким диапазоном колебания мощностей пластов. Развита пологие структуры и брахискладки, а также дизъюнктивные нарушения, сформировавшиеся в условиях растяжений. Поэтому в платформенных условиях сравнительно редко изменяется мощность под влиянием тектонических процессов. Разведка таких месторождений осуществляется обычно прямоугольной сетью скважин.

Ко второй группе относятся месторождения эпигеосинклинального типа, приуроченные к простым складчатым структурам с четкими элементами залегания. В угленосной толще преобладают тонкие пласты, но встречаются единичные пласты средней и большой мощности. Разрывные нарушения представлены преимущественно сбросами, взбросами и надвигами. Разведку месторождений такого типа проводят с преимущественной ориентацией линий разведочных выработок вкрест простирания пластов.

Месторождения геосинклинального типа относят к третьей группе. Для них характерны сложные складчатые структуры с резким изменением элементов залегания. Угленосные отложения этих месторождений часто собраны в узкие линейные складки, осложненные многочисленными мелкоамплитудными разрывными нарушениями, образующими блочные структуры. Разведку месторождений такого типа проводят со значительным сгущением разведочных выработок и с сокращением расстояний между разведочными линиями.

Промышленная ценность месторождений определяется прежде всего выдержанностью мощности и строения угольных пластов, а также качественными показателями углей. Изменчивость угольных пластов имеет особое значение, поскольку именно изменчивостью пластов обусловлены наибольшие трудности при разведке и эксплуатации месторождений.

Неровности рельефа почвы или кровли пласта создают трудности при работе комбайнов, осложняют работу конвейеров, приводят к местным скоплениям воды в лаве. Причины изменчивости многочисленны и разнохарактерны по степени своего влияния. Это первичные генетические факторы, обусловленные изменением режима тектонических движений и скоростью накопления угленосных отложений и, вторичные (наложенные) факторы, к числу которых относятся размывы, пережимы и другие явления, возникающие в ходе процесса углелефикации.

По степени влияния описанных выше факторов угольные пласты подразделяют на *устойчивые*, достаточно хорошо изучаемые в процессе детальной разведки шахтного поля, *относительно устойчивые*, которые не могут быть детально изучены при детальной разведке и подлежат изучению в процессе эксплуатации, и *неустойчивые*, которые не могут быть изучены разведочными работами с достаточной для

целей эксплуатации детальностью и поэтому подлежат постоянному изучению до полной их отработки.

Анализируя фактические данные об изменчивости угольного пласта на отработанных горизонтах и используя разведочные данные по нижележащим горизонтам, можно установить характер его изменчивости и выделить зональность этой изменчивости по простиранию и падению пласта. Однако следует иметь в виду, что даже наиболее выдержанные по мощности и строению угольные пласты на больших глубинах часто претерпевают резкие изменения.

Наиболее благоприятные условия для детального изучения угольного пласта возникают на выемочных участках, оконтуренных горными выработками при отработке их обратным ходом.

Особое внимание следует уделять изучению мощности и строения участков, намеченных к отработке по плану развития горных работ, так как на основе этих данных угледобывающему предприятию устанавливается план по добыче и качественным показателям добываемого угля.

Точность определения мощности имеет особое значение для пластов с мощностью, близкой к кондиционной, поскольку ошибка в данном случае может решающим образом повлиять на оценку кондиционности пласта.

Другим важным горно-геологическим фактором, подлежащим тщательному изучению, является тектоническая нарушенность угольного пласта. Тектоника шахтного поля является во многих случаях основным фактором, осложняющим ведение горных работ.

Вся получаемая информация по тектонике должна быть с достаточной степенью точности отражена на основных графических документах.

Важным фактором, определяющим ценность угольного месторождения, является качество разрабатываемых углей. Угледобывающему предприятию устанавливается план по качеству добываемого угля, поэтому необходим систематический контроль за содержанием в угле вредных веществ, а также за факторами, повышающими его зольность.

Из содержащихся в углях веществ, соединения серы и фосфора имеют особое значение, так как эти примеси в значительной степени влияют на возможности использования угля в промышленности.

Зольность добываемого угля зависит от изменения мощности внутрипластовых породных прослоев и от степени засорения угля в процессе добычи породами кровли и почвы.

При резком ухудшении качества угля на каком-либо участке работу его иногда приходится приостанавливать и выяснять причину этого явления.

Если ухудшение качества носит систематический характер, то может возникнуть вопрос о целесообразности дальнейшей

работы участка и снятии запасов с баланса угледобывающего предприятия.

На некоторых месторождениях имеет место существенное колебание петрографического состава угля в пределах одного шахтного поля, поэтому наряду с наблюдением за содержанием серы, фосфора и золы необходимы наблюдения за изменением марочного состава, особенно при переходе углей от группы коксующихся к энергетическим.

В случае значительных колебаний качественных характеристик угля составляют специальные качественные планы (рис. 14.1), отображающие изменения содержания серы, фосфора, золы и других показателей по результатам опробования. Эти графические документы позволяют планировать качество угля при дальнейшем развитии горных работ, а также при установлении кондиций по качеству добываемого угля.

Особенности каждого месторождения определяют выбор соответствующих методов их разведки и геометризации, однако основные принципы горно-геометрического моделирования остаются неизменными.

Процесс горно-геометрического моделирования начинается с систематизации и обобщения разнообразных горно-геологических данных, а это предполагает систематический сбор информации на всех стадиях освоения угольного месторождения.

Детальная разведка угольного месторождения дает возможность установить лишь основные черты его горно-геометрического строения. Большинство же факторов, носящих местный характер, остаются невыясненными. Поэтому в процессе эксплуатации должна вестись постоянная документация всех проявлений того или иного фактора по всем доступным для осмотра и опробования подготовительным и очистным выработкам. Ценный дополнительный материал для геометризации, особенно вблизи границ шахтного поля, может быть получен при изучении имеющихся данных по полям смежных шахтных полей.

Горно-геометрическая информация должна собираться оперативно, иначе она может быть потеряна при закреплении выработок или погашении выработанного пространства. Собранный материал тщательно проверяется, систематизируется и лишь после этого используется для получения обобщенных графических документов. Основные, наиболее характерные, соответствующим образом увязанные и откорректированные горно-геометрические данные наносят на маркшейдерские планы, которые являются основными юридическими и техническими документами угледобывающего предприятия. Маркшейдерские планы являются координатной и ситуационной основой всей основной горно-геометрической графики. По ним решают важные вопросы, связанные с эксплуатацией, строительством, текущим и перспективным планированием горных работ.

Степень горно-геометрической изученности шахтного поля отражается на гипсометрических планах угольных пластов,

схеме тектоники, вертикальных разрезах, гипсометрических планах поверхности плоскостей смещений, качественных планах—в виде замеров в отдельных точках углов падения пласта, вынимаемой мощности, структуры пласта, а также мест прорыва воды, суфляров, крупных завалов, выбросов, значительных включений в угольный пласт и т. п.

Все горно-геометрические построения выполняют в масштабах, обеспечивающих необходимую точность для решения производственных вопросов. В пределах одного шахтного поля или группы шахтных полей применяют масштабы от 1:2000 до 1:10 000, а в особо сложных случаях—1:1000 и 1:500.

Проекции на вертикальную плоскость могут представлять собой схематические разрезы, на которых отображается общий характер строения угленосной толщи, и детальные разрезы, охватывающие всю толщу пород, детально отображающие геологическое и тектоническое строение разрабатываемого участка по линии разреза. Направление линий разрезов выбирают исходя из возможности использования максимального количества фактического материала по линии разреза. Если разрез строят по ломаной линии, то для уменьшения искажений не рекомендуется изменять ее под углами, значительно отклоняющимися от прямой по линии намеченного разреза. Если полезный фактический материал находится вблизи, но не попадает на линию разреза, то допустим его снос строго по простиранию залегаемой толщи на данном участке. Во избежание искажения углов падения вертикальный и горизонтальный масштаб обычно принимают одинаковым. По этой же причине вертикальные разрезы желательно строить по линиям, близким к линиям падения угленосной толщи.

Если линия разреза значительно отклоняется от направления падения пород, то углы падения на разрезе будут отличаться от истинных. Для определения истинных углов падения пласта δ по углу падения, измеренному по разрезу δ' и углу отклонения от направления падения γ , используют формулу (9.4).

Построение вертикального разреза начинают с нанесения угольного пласта, имеющего наибольшее число фактических данных, а затем достраивают остальную толщу.

Проекции на вертикальную плоскость обладают хорошей наглядностью, характеризуя строение шахтного поля по линии разреза, однако наиболее информативными графиками являются гипсометрические планы пластов, позволяющие увязать на значительной территории имеющийся фактический материал по строению, угленосности и тектонике угольного пласта.

Гипсометрические планы угольных пластов являются оперативными документами угледобывающего предприятия, на основе которых совместно с другими материалами производят утверждение запасов, определяют контуры рабочей мощности пластов, устанавливают границы шахтных полей, составляют

перспективные планы развития горного предприятия, решают важные вопросы (рис. 14.2).

В основе построения гипсометрических планов лежит метод изолиний. Сечение изолиний выбирают в зависимости от среднего угла падения пласта на шахтном поле, сложности его строения и принятого масштаба плана. Построение гипсометрии начинают с нанесения на план всех имеющихся фактических данных по разведочным пересечениям, разрезам, данным опробования в отдельных точках и т. п.

Следует стремиться к тому, чтобы минимальным числом изолиний точно, наглядно и удобно для решения практических задач отразить пространственное размещение геометризуемого показателя.

Гипсометрические планы угольных пластов одного шахтного поля должны быть взаимно увязаны для уменьшения элемента субъективности, возникающего при построении изолиний на участках с малым числом фактических данных. Эта увязка производится исходя из принципа соподчиненности пластов по участкам, построение изолиний которых сделано по наибольшему количеству фактического материала.

При получении новых фактических данных, существенно меняющих имевшееся ранее представление по отдельным горно-геометрическим вопросам, производится их соответствующая корректировка.

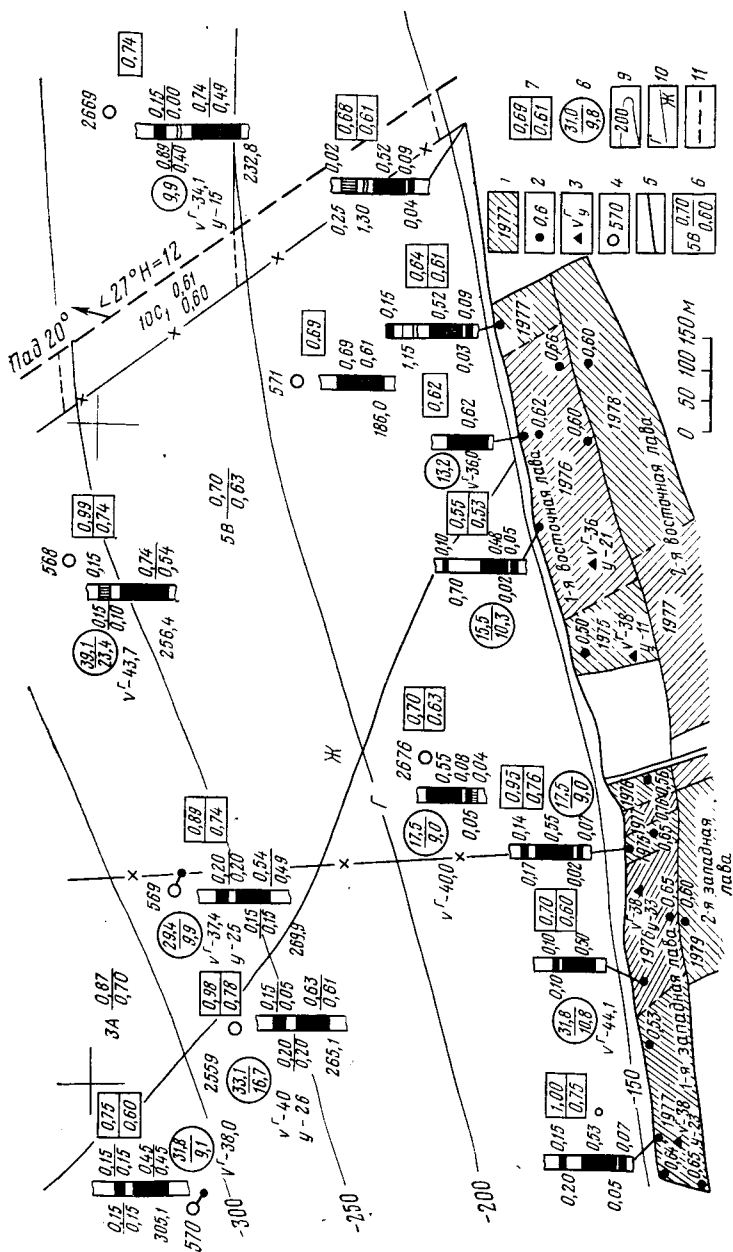
На гипсометрические планы помимо фактических данных наносят и прогнозные построения, основанные на тщательном изучении закономерностей пространственного размещения горно-геометрических факторов. Эти данные характеризуют возможные изменения условий шахтного поля при дальнейшем развитии горных работ.

При разработке угля открытым способом дополнительно к вышерассмотренным строят гипсометрические графики рельефа подугольного водоносного горизонта и водоупора, которые необходимы для проектирования осушительных работ на карьере. Для определения объемов при проектировании вскрышных работ возникает необходимость в построении графиков изомощности вскрыши. Определение технических границ отработки открытым способом и выбор рационального подвигания фронта работ производят, используя графики изокоеффициентов вскрыши.

На открытых работах имеются возможности применения фотодокументации (в том числе и спектрозональной съемки) для более объективного и точного отражения геометризуемых показателей.

Очень полезны также различного рода объемные модели, которые дают наглядную картину условий разработки и особенностей залегания разрабатываемых пластов.

Горный геометр должен использовать все имеющиеся методы и средства для повышения достоверности результатов



геометризации. Планы горных работ в любой момент времени должны объективно отражать достигнутый уровень горно-геометрической изученности разрабатываемого участка.

§ 2. Геометризация железорудных месторождений

Железо является одним из наиболее распространенных металлов в земной коре (среднее его содержание составляет 4,2 %). К важнейшим железорудным минералам относятся: магнетит, титаномагнетит, гематит, гётит, сидерит. Руды, содержащие более 50 % железа, относятся к богатым, 25—50 % — к рядовым, менее 25 % — к бедным. Содержащиеся в рудах примеси фосфора, серы, мышьяка, олова, цинка, свинца, меди относятся к вредным компонентам.

Более 62 % добываемой железной руды приходится на добычу открытым способом на карьерах глубиной 150 м, а проектная глубина для многих карьеров установлена на уровне 400—500 м.

Углубление горных работ, промышленное освоение труднообогатимых руд с низким содержанием железа и сложных по минеральному составу, применение технологических схем и оборудования большой единичной мощности ведет к увеличению количественных и качественных потерь полезного компонента, к увеличению наименований показателей качества и свойств руды, влияющих на обогащение, к снижению качества концентрата вследствие ведения процесса обогащения не на оптимальном уровне из-за колебаний качества руды.

Исследованиями технико-экономических показателей производства чугуна установлено, что наибольшее влияние на себестоимость чугуна оказывают качественный состав руды и расход топлива, зависящий также от качества руды. При этом необходимо учитывать, что не только повышение содержания железа улучшает технико-экономические показатели металлургического передела. Не менее важную роль играет достижение высокой степени усредненности руды по качеству.

Разработка конкретной методики геометризации железорудных месторождений начата в 30-х годах работами, проводимыми под руководством проф. П. К. Соболевского на Урале.

РИС. 14.2. Фрагмент гипсометрического плана пласта h_8 на поле одной из шахт Донбасса:

1 — отработанная часть пласта; 2 — точки замера мощности пласта в горных выработках; 3 — точки опробования пласта в горных выработках (приведены данные о выходе летучих веществ и толщине пластического слоя); 4 — буровые скважины: у колонок пластов показаны: справа — мощность угольных пропластков, слева — мощность породных прослоек, в знаменателе (у скважин) — выход керна, внизу — абсолютные отметки почвы пласта; 5 — контуры подсчета запасов различных категорий; 6 — номер подсчетного блока, категория запасов, среднеблоковая мощность пласта; в числителе — общая, в знаменателе — полезная; 7 — мощность пласта в пересечении: в числителе — общая, в знаменателе — полезная; 8 — зольность угля по пластопересечению: в числителе — среднепластовая, в знаменателе — чистого угля; 9 — изогипсы пласта; 10 — граница распространения углей различного марочного состава; 11 — надвиг

Результаты детально-разведочной геометризации используют при проектировании железорудного добывающего и перерабатывающих предприятий, геологоразведочных работ, для изучения закономерностей оруденения, геологических структур, тектонической нарушенности и др.

Эксплуатационную геометризацию производят по данным эксплуатационной разведки, данным горно-подготовительных и очистных работ.

Исходными данными для выполнения эксплуатационной геометризации являются:

геологические карты и геологические разрезы детальной разведки месторождения, документация по опробованию скважин детальной разведки с результатами химических анализов, данные инклинометрической съемки скважин;

погоризонтные маркшейдерские планы, маркшейдерская документация горных выработок, данные периодических и специальных маркшейдерских наблюдений и замеров;

геологические разрезы и погоризонтные планы рудничной геологии, документация по опробованию скважин эксплуатационной разведки, полевые книжки геологической документации горных выработок, материалы опробования горных выработок и буровых скважин, данные геофизического опробования и определения контуров рудных тел;

результаты наземной и воздушной фотограмметрической съемки, специальная фотогеологическая документация;

результаты замеров тектонической нарушенности и трещиноватости массива вмещающих пород и рудной залежи;

литературные источники о рудном поле, о железорудных месторождениях района, отчеты по научно-исследовательским работам и др.

Геометризация форм и условий залегания железорудной залежи и вмещающих пород направлена в первую очередь на выявление характера контактов рудного тела с вмещающими породами. Для этого производят построение гипсометрических планов, проекций на вертикальную или наклонную плоскость поверхностей висячего и лежащего боков залежи (рис. 14.3), планов изомощностей рудной залежи. Контуров пустых пород, находящихся в рудном теле отдельными гнездами, выделяют с использованием коэффициентов рудоносности по направлению и по площади.

Геометризация тектонической нарушенности массива, выделение в нем складчатых структур и разрывных нарушений непосредственно связаны с геометризацией трещиноватости. Для этого производят геологические зарисовки и фото-геологические съемки всех вскрытых трещин. Обработку результатов замеров и зарисовок производят для выявления систем трещин в горных породах и рудах, для изучения связи трещиноватости с общей тектонической нарушенностью и влияния трещин на процесс рудообразования, для решения горнотехнических задач. В ча-

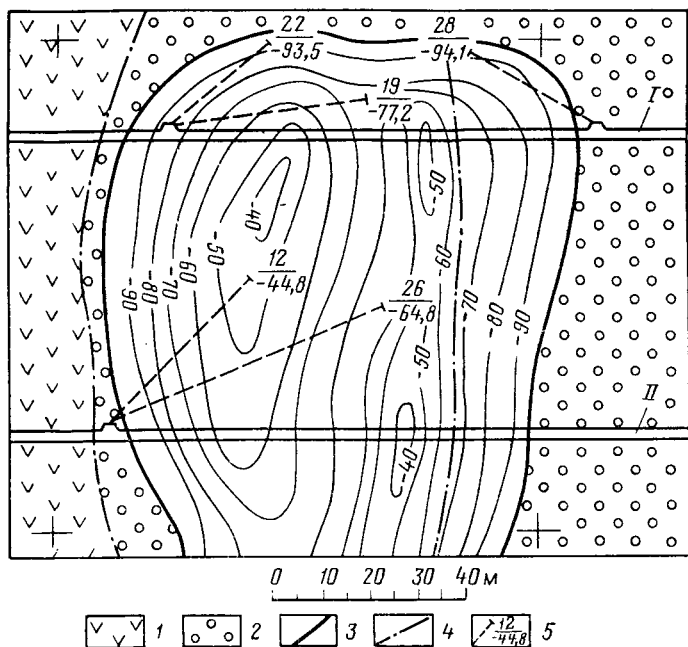


РИС. 14.3. План поверхности в изогипсах кровли рудного тела железорудного месторождения Северного Урала:

I — северный орт; II — центральный орт; 1 — порфириты; 2 — скары пироксено-гранатовые; 3, 4 — контур рудного тела соответственно по данным эксплуатационной и детальной разведок; 5 — проекции трасс скважин и отметка кровли рудного тела

стности, установлено, что эффективность проходки горных выработок или отбойной руды возрастает при расположении взрывных скважин и шпуров перпендикулярно к доминирующей системе трещин.

Особо важное значение для решения задач оперативного и текущего планирования ведения горных работ и выдачи полезного ископаемого с заданным качеством имеет геометризация качественных показателей месторождений.

Установление закономерностей размещения полезных и вредных компонентов в рудной залежи осуществляется в несколько этапов:

предварительная обработка данных опробования детальной и эксплуатационной разведки математико-статистическими методами с применением ЭВМ;

выбор математической модели изменчивости качественных показателей и установление оптимального «окна сглаживания» исходных данных. Следует отметить, что железная руда, как двухкомпонентная смесь (железо и пустая порода), имеет различные качественные характеристики в зависимости от объема пробы. Так, малые объемы, соизмеримые с размерами минеральных зерен, представляют собой объемы пустой породы или

железорудные минералы. С увеличением элементарных объемов, из которых отбираются представительные пробы, значение коэффициента изменчивости уменьшается;

установление корреляции между полезными и вредными компонентами для изучения процесса минерализации, для сокращения химических анализов проб. Например, коэффициент корреляции между содержанием кобальта и серы в железных рудах может достигать значения 0,5, что объясняется парагенезисом кобальтина и пирита;

определение оптимальных параметров эксплуатационной разведочной сети опробования горных выработок;

построение графической документации позволяет выявить характер оруденения, решать вопросы генезиса месторождения, производить оконтуривание и подсчитывать запасы, планировать добычу руды с заданным содержанием полезных и вредных компонентов, проектировать целики в более бедных участках.

При проектировании мероприятий по усреднению качества руды на разных горно-обогатительных предприятиях учитывают различные показатели, определяющие однородность руды. На Ковдорском ГОКе — содержание железа — общего, магнетитового и в магнетите, на Оленегорском ГОКе — общего магнетитового и гематитового, на Коршунском — общего и магнетитового.

В свою очередь, показателями качества железного концентрата, определяющими его однородность, являются: содержание железа, фосфора, серы, кремнезема, глинозема; плотность пульпы.

Усреднение руды при добыче осуществляется несколькими способами, к основным из которых относятся: управление качеством руды путем регулирования нагрузки на забой; управление транспортными потоками в режиме усреднения с целью изменения частотного спектра колебаний; применение внутри-карьерных сортовых и усреднительных складов; селективная добыча руд по условным сортам и последующее их смешение. Решение задач усреднения руды начинают с изучения изменчивости качественных показателей в недрах. При геометризации железорудных месторождений для оценки изменчивости качества чаще используют аппарат математической статистики и теории случайных функций, например автокорреляционную функцию.

Для определения изменчивости признака в продукте используются следующие показатели: основанные на отклонении от центра распределения, такие как среднее арифметическое отклонение, дисперсия, коэффициент вариации, дисперсия соседних отклонений или оценка по среднему модулю отклонения между соседними значениями признака; основанные на частоте появления значений признака в заданных пределах; энтропия как мера неоднородности продукта; автокорреляционная

функция и радиус автокорреляции как мера стабильности процесса.

Оценками эффективности усреднения или перемешивания продуктов являются коэффициенты, основанные на отношении входных и выходных качественных характеристик, т. е. до и после процесса усреднения.

§ 3. Геометризация месторождений цветных металлов и золота

Месторождения цветных металлов характеризуются, как правило, очень сложной формой рудных тел, образование которых многостадийно и зависит как от структурных форм, в которых они локализируются, так и от литологического состава вмещающих пород.

В рудных полях месторождения представляются в виде купольных структур, межпластовых отслоений и зон дробления, сложных сетчатых систем трещин во вмещающих коренных породах, где образуются рудные тела штокверкового типа, субпараллельных систем жильных тел, синхронных с тектонической решеткой, и т. п. Руда обычно содержит не один, а два и более полезных компонентов с промышленным содержанием.

При геометризации таких месторождений предусматривается по данным детальной и эксплуатационной разведки, геологических предпосылок и математической обработке результатов измерений, опробования составлять комплект графиков, выражающих структуру месторождения, форму рудных тел и отдельных залежей, поверхность контакта зоны оруденения, изоглубины залегания, типы руд, безрудные прослои, трещиноватость и т. п., изомощности зоны оруденения и залежей, изосодержания и изолинии линейных запасов.

Геометризация структурно-морфологических особенностей является одним из важнейших факторов, определяющих пространственную локализацию оруденения. Она позволяет наиболее правильно решать вопросы дальнейшей разведки и рациональной разработки месторождения. Содержание и комплект структурных графиков определяются типом месторождения; условиями залегания, видом полезного ископаемого и способом его разработки.

При построении поверхности контакта зоны оруденения в условиях отсутствия четких визуально определяемых границ используют все имеющиеся фактические данные: выходы пород и границы их распространения на земной поверхности, элементы залегания поверхности контакта, данные, полученные в подземных выработках и при бурении скважин. Поверхность контакта строят в масштабе геологических и структурных съемок. Совмещая этот график с графиками всياчего и лежащего боков рудных тел и залежей, получают границы последних.

Графики *изомощностей рудных тел и залежей* в совокупности с графиком всياчего и лежащего боков дают полную кар-

тину структуры и морфологии рудных тел. Их строят по данным разведочных и горных выработок в проекции на горизонтальную, наклонную или вертикальную плоскость как по отметкам мощности в отдельных точках (x_i, y_i), так и чаще после сглаживания их статистическим «окном», т. е. по отметкам точек с индивидуальным или средним значением содержания компонента. Изолинии строят с применением инвариантных линий и в пределах геологического блока, ограниченного нарушениями.

При достаточно выясненном характере изменения мощности возможно графическое прогнозирование ее на соседний участок (горизонт): вначале прогнозируют мощности зоны оруденения, а затем рудных тел, находящихся в этой зоне. График изомощностей в совокупности с графиком изосодержаний служит основой для подсчета запасов полезного ископаемого, а также для планирования и учета добычи, потерь и разубоживания.

График *изоглубин залегания* рудных тел и залежей дает полное представление о глубине залегания месторождения и характере ее изменения. Его строят как непосредственно по значениям глубины по разведочным выработкам, так и косвенным способом — с использованием вертикальных разрезов или вычитанием из топографического плана — плана изолиний поверхности кровли залежи. Изоглубины особенно необходимы при открытой разработке месторождений для подсчета объемов вскрыши, определения общего коэффициента вскрыши.

Графики *изолиний среднего содержания* полезных и вредных компонентов представляют геометрическую картину размещения оруденения как внутри продуктивной толщи, так и внутри рудных тел.

Совместный анализ их со структурными графиками позволяет устанавливать закономерности размещения оруденения внутри рудных тел в связи с их морфологией и структурой рудного поля, которые могут быть использованы при планировании разведочных и горных работ и подсчета запасов.

Построение графиков производят на маркшейдерских планах в масштабе 1:500—1:2000. Исходными данными служат результаты опробования разведочных, подготовительных и очистных выработок после соответствующей математико-статистической их обработки.

Графики строят или на всю мощность залежи или на высоту отрабатываемого слоя (горизонта) в проекции на горизонтальную, вертикальную или наклонную плоскость. Изолинии средних содержаний по отработанным горизонтам позволяют установить общий характер оруденения и сделать геометрический прогноз на предстоящие для разработки соседние участки. На рис. 14.4 по сглаженным данным эксплуатационного опробования трех горизонтов штокверкового месторождения построены изолинии размещения компонента. Выявляется двустолбчатая структура оруденения, сходящаяся по глубине. Это учтено при геометрическом прогнозе на нижний горизонт.

Графики *изолиний линейных запасов* дают картину размещения запасов руды и полезного компонента по площади залежи. Их используют при планировании добычи и подсчете запасов.

Под *линейным запасом q* или полезного компонента *p* понимают их весовое количество, приходящееся на единицу площади залежи.

График *изолиний линейных запасов* может быть построен непосредственно по величинам q и p , полученным в различных точках залежи, или косвенно — умножением *изомощностей* на *изолинии среднего содержания компонента*.

При *детально-разведочной геометризации* линейные запасы определяют непосредственно по данным буровых журналов и опробования; при *эксплуатационной геометризации* — по данным опробования в горных выработках, подвергнутым математико-статистической обработке.

Кроме перечисленных основных структурных и качественных графиков, при геометризации месторождений цветных металлов для удовлетворения требований производства и рационального использования недр составляют другие горно-геометрические графики, такие как графики геологической сложности месторождения, коэффициентов рудоносности, корреляции между отдельными компонентами и структурой и пр.

Геометризацию месторождений цветных металлов следует проводить по следующей схеме. Залежь или месторождение представляется как генеральная совокупность размещения изучаемых показателей. Данные разведки рассматриваются как случайная выборка (реализация) из генеральной совокупности. В реализации выделяют статистически однородные выборки с учетом геологических факторов (рудоносности пород, структуры пород). В пределах однородных выборок производят фильтрацию случайной составляющей изменчивости и с применением математического аппарата вычисляют количественные оценки статистических показателей и связей (корреляции). Затем производят геометризацию изучаемых показателей с оцен-

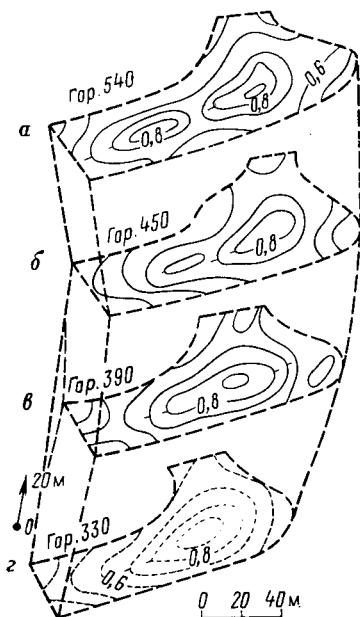


РИС. 14.4. Изолинии содержания компонента по горизонтам штокового месторождения цветных металлов (векторная проекция):

а, б, в — по данным эксплуатации;
г — прогноз

кой точности их выявления. При этом решение следует проводить с использованием ЭВМ и графостроителя.

Для золоторудных месторождений характерно весьма неравномерное размещение металла в рудах и концентрация его в отдельных частях рудных тел с образованием столбов, гнезд и кустов. Различают золоторудные месторождения коренные и россыпные. Коренные месторождения золота по геологическим, геометрическим особенностям, горномеханическим условиям разделяют на четыре основных типа: *А* — месторождения, имеющие одиночные жилы или их свиты (обычно представлены тонкими крутопадающими рудными телами); *Б* — рудные поля с семейством пересекающихся жил; *В* — месторождения, представляющие собой минерализованные зоны; *Г* — штокообразные месторождения.

Геометризацию коренных месторождений золота производят так же, как и месторождений цветных металлов. Размещение золота в россыпи и ее строение зависят от формы и морфологических особенностей русла водного потока, скорости течения и крупности частиц транспортируемого материала, строения и физических свойств пород русла и других факторов.

Разработку россыпей производят подземным, открытым (раздельным и гидравлическим) и дражным способами.

Для рациональной разработки месторождения каждым способом необходим комплект графиков, отражающий структуру месторождения, форму, условия залегания золотосодержащих песков и торфов, размещение в них металла, физических свойств подстилающих пород (плотика) и др.

Геометризацию россыпи производят на основе топографической поверхности россыпи и данных разведочных и эксплуатационных работ. В силу большой изменчивости показателей, наличия ураганных содержаний в россыпи графики строят по усредненным значениям. Они отражают лишь их общий характер, уточняющийся по мере получения новых данных. При геометризации россыпи составляют план поверхности постели россыпи, план изомощностей золотосодержащих песков, планы изолиний среднего объемного и площадного содержания металла.

При разработке погребенной россыпи строят дополнительно планы изомощностей наносов и поверхности подземного водупорного горизонта. Исходными данными для графиков объемного и площадного содержания служат: среднее содержание золота в 1 м³ золотосодержащих отложений и вертикальный запас по разведочным выработкам (поверхность осажденного слитка).

Графики строят в масштабах 1 : 500, 1 : 2000 и крупнее в зависимости от размеров полигонов; сечение изолиний принимают от 0,5 до 2 м.

На рис. 14.5 в качестве примера приведен план участка россыпи с изомощностями золотосодержащих отложений, контуром древнего русла реки и разведочными выработками по разведочным линиям.

Горно-геометрические графики являются удобными и наглядными оперативными документами, в которых сосредоточиваются все данные о россыпи, необходимые для ее оконтуривания, подсчета запасов и рациональной отработки.

Геометризация месторождений цветных металлов и золота и использование ее для решения производственных задач в современных условиях немыслимы без применения ЭВМ, средств считывания и графопостроителей.

Геометризация с применением ЭВМ включает следующие этапы: сбор, накопление и сортировку необходимых геолого-маркшейдерских данных; считывание и кодирование геолого-маркшейдерских данных; запись данных на машинных носителях; процедуры трансформации исходных данных, записанных в памяти ЭВМ, к виду, удобному для решения задачи; выдача необходимых данных в виде таблиц и графиков, получаемых с помощью графопостроителей.

Исходными материалами первого этапа являются: топографические планы, данные опробования по скважинам и горным выработкам, результаты каротажа, глубина залегания, мощность полезного ископаемого, физико-механические, химические, электрофизические свойства, буримость, взрываемость, водопроницаемость и другие характеристики, влияющие на схему вскрытия, систему разработки и средства комплексной механизации; содержание сопутствующих полезных и вредных компонентов, текстурно-минералогическая характеристика и обогащенность полезного ископаемого и другие факторы, необходимые для решения технико-экономических задач. Представляют интерес и такие свойства горных пород, как токсичность, способность к пылевыведению и самовозгоранию, устойчивость в откосах и т. п. На втором этапе решают две задачи: кодирование качественных свойств горного массива и кодирование геометрических параметров. Качественные признаки кодируют буквами или цифрами. Кодирование геометрических фигур, описывающих структуру геологических объектов, производится на основе деления их на три группы: точечные, линейные и площадные — как результат геометризации форм, свойств и условий залегания.

На третьем этапе предусматриваются последовательность и эффективное расположение информации в сложной системе и надежный поиск необходимых параметров из общего массива.

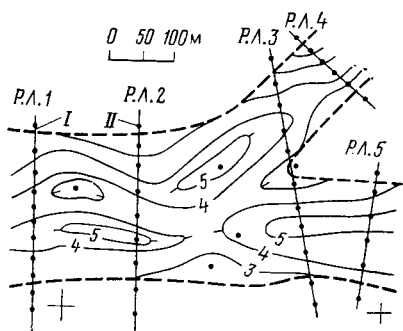


РИС. 14.5. План изомощностей золотоносных отложений на участке россыпи:

I — разведочные линии (р. л.); II — разведочные выработки (скважины, шурфы)

Четвертый и пятый этапы связаны с машинным преобразованием записанных данных. Быстродействие характеризуется алгоритмом выбора из памяти ЭВМ необходимых данных для решения конкретной задачи и выдачи их графопостроителю.

§ 4. Геометризация месторождений горно-химического сырья

Горно-химическое сырье представлено большой группой различных по условиям образования, морфологии и вещественного состава месторождений, основными видами которого являются апатит, фосфорит, сера, поваренная соль, калийные и магниевые соли, борное сырье, карбонатные породы, флюорит, барит и виверит, минеральные пигменты, асбест.

Значительная часть месторождений горно-химического сырья представляет собой сложные по форме, структуре и значительные по размерам залежи изменчивой мощности и невыдержанные по качеству. Залежи не всегда имеют отчетливые границы с вмещающими породами и нередко постепенно переходят в боковые породы (например, хризотил-асбест). Поэтому внешний контур таких залежей проводят по результатам опробования. В связи с этим задачей геометризации является выявление формы залежи, условий залегания и закономерностей размещения качественных показателей по данным детальной и эксплуатационной разведок.

Исходной документацией для геометризации являются геологические колонки по разведочным скважинам, планы и разрезы в масштабах 1 : 1000, 1 : 2000, иногда 1 : 5000.

В ходе детально-разведочной геометризации на основе данных геологической разведки в пределах месторождения устанавливают основные закономерности размещения показателей залежи, необходимые для проектирования горного предприятия.

Эксплуатационная геометризация позволяет при достаточной плотности наблюдений получить горно-геометрические планы, разрезы и графики, необходимые для планирования разведочных и горных работ, нормирования потерь и разубоживания. Точность, с которой построенные графики отражают натуру, зависит от плотности разведочной сети и опробования.

Определение необходимой плотности опробования может быть произведено на основе теории информации. Использование теории информации для анализа геологоразведочных данных основано на предположении, что данные, полученные при разведке регулярной сетью, т. е. сетью, не учитывающей особенностей размещения изучаемого геологического признака в пространстве, имеют случайный характер.

Особенность применения информации к анализу геологоразведочных данных состоит в том, что степень неопределенности складывается не только из разнообразия значений геологического признака, но и из неизвестного заранее размещения этого признака в пространстве недр. Для планирования горных работ

важно знать не только частоту встречи тех или иных значений содержаний полезного компонента, но и места размещения этих значений. Поэтому оценка количества информации, получаемой при различной плотности забойного опробования, производится в неразрывной увязке с пространственным размещением разведочных выработок.

Для условий одного из фосфоритовых месторождений оценивалась информативность опробования по двум параметрам — мощности залежи и содержанию P_2O_5 .

Информативность забойного опробования определена в пределах контуров месячной очистной выемки. При этом определялись следующие величины: n — число бороздовых проб; m — среднее значение мощности в месячном выемочном контуре; c — среднее значение содержания.

Зависимости числа информации от числа проб представлены на рис. 14.6. По форме кривых видно, что наибольшей информативностью обладают первые пробы. С возрастанием числа проб интенсивность накопления информации резко падает. Увеличение числа проб более 20 в пределах контура месячной очистной выемки незначительно увеличивает количество информации по содержанию и почти не увеличивает по мощности залежи независимо от величины месячного подвигания очистного забоя. В связи с этим теряет смысл увеличение числа бороздовых проб сверх некоторого предельного количества при увеличении нагрузки на очистной забой.

Необходимое и достаточное число бороздовых проб может быть определено методом разрежения сети опробования.

Выбор профилей для разрежения сети осуществляют следующим образом. Производят предварительную обработку (упорядочение и группировку) исходных данных для выявления зависимости количества информации от средней величины мощности пласта или среднего содержания P_2O_5 в пределах выемочного контура. Величина J_c зависит от числа проб в контуре. Поэтому для разрежения выбирают профили, количество информации по которым близко к среднему с равным числом проб.

Для рассматриваемого месторождения в контурах, имеющих по 18 проб, количество информации по содержанию составило соответственно 2,21; 2,62; 2,78 и 3,13. Среднее количество информации равно 2,66. К разрежению принимают профили с количеством информации $J_m = 2,62$.

По профилю, представляющему собой контур очистной выемки в пределах месячного очистного блока, берут все значения показателя (мощности или содержания) и по ним определяют среднее значение, которое принимают за безошибочное. Затем из совокупности исключают каждое второе значение; вновь определяют среднее из оставшихся значений и вычисляют увеличенный таким образом интервал опробования. Определяют также абсолютное отклонение Δ_m и Δ_c вновь полученного сред-

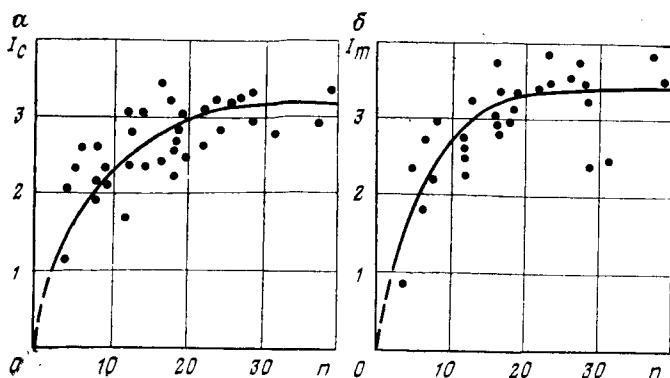


РИС. 14.6. Зависимость количества информации от числа проб:
 а — по содержанию P_2O_5 ; б — по мощности пласта

него от безошибочного (соответственно в сантиметрах мощности и абсолютных процентах содержания P_2O_5). Затем из совокупности исключают каждое второе, третье и т. д. значение. Разрежение производят по профилям несколько раз с увеличением интервала опробования (в рассматриваемом примере — до 200 м). В результате разрежения установлено, что увеличение интервала опробования до 120 м не влияет существенно на точность определения среднего значения мощности пласта (фактическая погрешность составила 1,5—3 см).

Погрешность определения среднего содержания более чувствительна к величине интервала опробования.

Зависимость выражается уравнением (рис. 14.7)

$$\Delta_c = 0,005l, \quad (14.1)$$

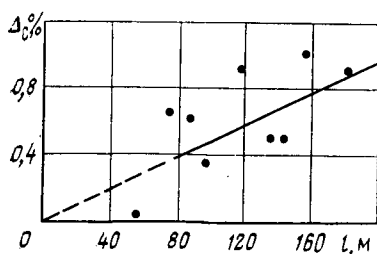


РИС. 14.7. Зависимость погрешности определения среднего значения содержания P_2O_5 от интервала опробования

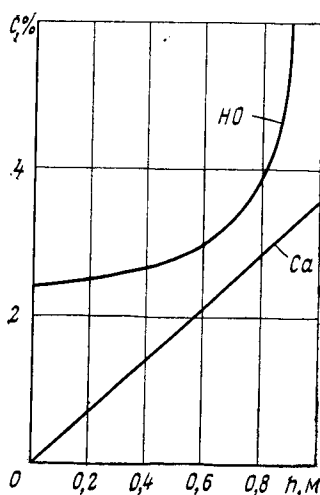


РИС. 14.8. Изменение содержания примесей с глубиной

где Δ_c — погрешность определения среднего содержания, %; l — величина интервала опробования, м.

Полученная зависимость позволяет выбрать рациональный шаг опробования и на этой основе получить необходимое и достаточное число проб в пределах обрабатываемого участка месторождения.

Размещение средних значений признака для месторождений горно-химического сырья устанавливают сглаживанием исходных частных его значений скользящим статистическим «окном». Размеры «окна» в двух взаимно перпендикулярных направлениях определяют на основе качественного анализа изменчивости.

Для ряда месторождений горно-химического сырья характерно изменение качества полезного ископаемого с глубиной, примером чего может служить Баскунчакское месторождение поваренной соли.

Для выявления характеристик изменчивости содержаний полезного и вредных компонентов использованы результаты химических анализов, не подвергавшихся предварительной промывке проб. Анализ исходных данных показал изменение содержания с глубиной и резкое увеличение вредных компонентов в зоне контакта с подстилающими породами. При анализе за аргумент принята относительная глубина отбора проб

$$h_{\text{отн}} = h_{\text{абс}}/h_3, \quad (14.2)$$

где $h_{\text{абс}}$ — глубина взятия пробы (от кровли пласта); h_3 — мощность залежи.

На рис. 14.8 показано повышение с глубиной содержания C вредных примесей, которыми для Баскунчакского месторождения поваренной соли являются кальций (Ca) и нерастворимый осадок (НО).

Изменения содержания NaCl (%) и вредных примесей с глубиной h были аппроксимированы уравнениями:

$$\begin{aligned} C_{\text{NaCl}} &= 100 + \frac{2,3}{h_{\text{отн}} - 1}; \\ C_{\text{но}} &= 2 - \frac{0,411}{h_{\text{отн}} - 1}; \\ C_{\text{Ca}} &= 3,75h_{\text{отн}}. \end{aligned} \quad (14.3)$$

При геометризации месторождений горно-химического сырья важным является установление статистических зависимостей между различными сортами полезного ископаемого.

§ 5. Геометризация месторождений нерудных строительных материалов

Месторождения нерудных строительных материалов представлены породами различных генетических типов — магматическими (месторождениям гранитов, габбро, туфов и др.), осадоч-

ными (известняк, доломит, гравий, песок, глина и др.), метаморфическими (мрамор, мраморизованные известняки и др.).

Месторождения залегают на небольшой глубине и отрабатываются преимущественно открытым способом.

Общим для рассматриваемого класса месторождений является то, что полезное ископаемое после соответствующей переработки используется в виде различных материалов в промышленном, жилищном, дорожном и других видах строительства: портландцемент, щебень для различных бетонов, камень для гидротехнических сооружений, стеновые камни, облицовочные плиты и декоративные блоки, балластный песок, керамзит и др. Помимо строительных материалов, при отработке месторождений получают различную продукцию, используемую в сельском хозяйстве, химической и пищевой промышленности и др.

Для промышленности строительных материалов, эксплуатирующей указанные месторождения, характерны значительные объемы производства, исчисляемые многими миллионами кубических метров продукции, причем ее суммарная производительность превышает производство на предприятиях угольной и металлургической промышленности вместе взятых.

Основной особенностью предприятия нерудной промышленности является резкое различие в их производственной мощности: щебеночные карьеры имеют мощность от 100 тыс. до 4—6 млн. м³, карьеры облицовочного камня — от 1 до 20 тыс. м³, что обуславливает и соответствующие размеры разрабатываемых месторождений.

Из всего многообразия месторождений нерудных строительных материалов наиболее важными в народном хозяйстве являются месторождения карбонатных пород, песчано-гравийные месторождения, месторождения цементного сырья, облицовочного камня и асбеста.

Месторождения карбонатных пород сложены известняками, доломитами и переходными разностями. Полезные толщи месторождений залегают, как правило, горизонтально и имеют плоский характер; мощность полезного ископаемого изменяется для отдельных месторождений от 130—150 м (Сокское месторождение) до 10—12 м (Скапилское месторождение).

Разрабатываемые породы имеют в пределах одного месторождения резкие различия по прочности при относительно постоянном химическом содержании основных компонентов (MgCO₃ и CaCO₃).

Практически все месторождения карбонатных пород характеризуются наличием внутреннего карста, составляющего от 7 до 40 % объема полезной толщи и представленного полостями, воронками и зонами, заполненными глинисто-песчаным материалом и образовавшимися в результате растворения инфильтрационными водами пород полезной толщи. Карстовые образования осложняют разработку месторождений, повышают се-

бестоимость продукции и снижают технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия.

Детальная геологическая разведка месторождений карбонатных пород проводится буровыми скважинами кернового бурения по сети 200×150 и 100×50 м для запасов категорий С₁ и В соответственно. По результатам опробования определяют физико-механические показатели полезной толщи, основными из которых являются предел прочности на сжатие в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, пористость, коэффициент морозостойкости и истираемость. Ведущим показателем является прочность, определяющая марку щебня — основной продукции карбонатных карьеров.

По данным буровой разведки составляют планы и разрезы масштабов 1 : 5000, 1 : 2000 и 1 : 1000, на которых показывают блокировку запасов, результаты опробования, положение водонесных горизонтов, строение полезной толщи месторождения.

Практический интерес представляет геометризация по данным детальной разведки карстовых образований. Исходными материалами являются планы расположения разведочных выработок (скважин) в поле месторождения и геологические колонки по скважинам масштаба 1 : 1000 (1 : 500).

Для каждой скважины определяется линейный коэффициент закарстованности

$$C_k = \sum_{i=1}^n \frac{l_k^i}{L_{п.и}} 100 \%, \quad (14.7)$$

где l_k — мощность i -той карстовой зоны, пересеченной скважиной, м; $L_{п.и}$ — мощность полезного ископаемого, вскрытого скважиной, м.

Значения C_k наносят у соответствующей скважины, на плане строят линии нулевой закарстованности, оконтуривающие зоны развития карста. Линии проводят через середины расстояний между соседними скважинами, в одной из которых карст был встречен, а в другой отсутствовал.

В пределах участков развития карста методом изолиний строят значения линейной закарстованности.

Графики закарстованности (планы и разрезы) позволяют районировать месторождение (или карьерное поле) по этому показателю и на этой основе выделять участки, нерентабельные для отработки, и проектировать наиболее рациональные системы разработки для конкретных участков карьера.

Метод прогнозирования карстовых зон и воронок на основе геометризации по точности не уступает результатам эксплуатационной разведки буровыми скважинами по сети (50×25) м.

Месторождения песчаных и гравийных материалов приурочены к различным по геологическому возрасту отложениям, однако практический интерес представляют главным образом месторождения четвертичного и современного возраста.

В песчаных месторождениях часто не содержится гравия или его содержание незначительно. Песчаные залежи обычно представлены мелко- и тонкозернистыми разностями с большим содержанием алевролитовых и глинистых веществ. Такие пески требуют специального обогащения.

Чисто гравийные месторождения практически отсутствуют. Гравий, как правило, встречается вместе с песками, образуя песчано-гравийные смеси с содержанием гравия, колеблющимся в больших пределах.

Гравийно-песчаные смеси в природном состоянии большей частью не являются пригодными для непосредственно промышленного использования и требуют сортировки смеси на гравий и песок, а также отмыва их от вредных примесей (глинистых и т. д.).

Основным показателем качества гравия является его размер. При опробовании гранулометрический состав гравия определяют в процентах при помощи стандартных сит.

Вредными примесями в гравии являются органические вещества (органические кислоты), сернистые и сернокислые соединения (пирит, гипс).

Качество песка определяется крупностью частиц, отсутствием вредных примесей — глинистых, органических веществ.

Различают следующие типы песчано-гравийных месторождений: связанные с деятельностью водных потоков; ледникового происхождения; морского и озерного происхождения; связанные с деятельностью ветра (барханы, дюны).

Песчано-гравийным месторождениям часто присуща линзообразная форма, близкая к пластообразной, а также линейная протяженность. В полезной толще часто содержатся линзы глин, суглинков и глинистых песков, а также крупные обломки коренных пород. Линзообразное залегание отдельных разностей песчано-гравийных месторождений в результате размывов нередко нарушено наличием углублений в кровле полезной толщи, заполненных супесями, суглинками и глинами.

Мощность песчаных и гравийных залежей колеблется в больших пределах от нескольких до десятков метров.

Детальная разведка песчано-гравийных месторождений осуществляется проходкой шурфов сечением $1,25 \times 1,25$ и $1,5 \times 1,5$ м и шурфов — скважин круглого сечения с начальным диаметром до 2,5 м. Проходку таких разведочных выработок производят с креплением стенок. Используют также буровые установки для бурения скважин большого диаметра (до 600 мм). Расстояние между разведочными линиями — 100—150 м.

В ходе геологоразведочных работ производят опробование полезного ископаемого для установления гранулометрического и минералого-петрографического состава песчано-гравийной смеси, физико-технических свойств.

В результате опробования выделяют кондиционные и некондиционные разности песка и гравия, устанавливают мощность

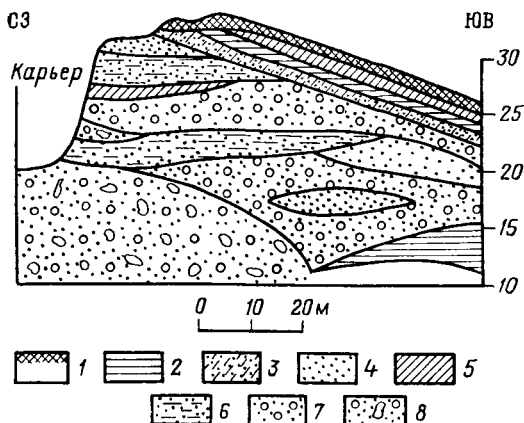


РИС. 14.9. Литологический разрез Тучковского песчано-гравийного месторождения:

1 — почвенный слой; 2 — глина; 3 — супесь; 4 — пески; 5 — суглинок; 6 — глинистые пески; 7 — пески с гравием; 8 — пески с гравием-галечником

залежей, характер и условия их залегания. На основе этих данных фиксируют наличие полезной толщи, ее мощность, границы распространения полезного ископаемого, оконтуривают промышленную часть месторождения и подсчитывают запасы.

Особенностью песчано-гравийных месторождений является их слоистое строение с многочисленными линзообразными включениями глинистых пород, перемежаемость песчано-гравийных смесей различного состава, включая крупные валуны (рис. 14.9).

Задачей геометризации песчано-гравийных месторождений являются выявление формы и условий залегания, размеров и пространственного положения залежей, различных включений, значительно осложняющих (крупные валуны) разработку месторождения и ухудшающих качество (глинистые породы), размещение качественных показателей (содержание гравия определенного размера и т. д.). Исходной документацией для геометризации могут служить планы и разрезы масштабов 1:1000 и 1:2000. Детально-разведочная геометризация служит основой для проектирования горного предприятия и позволяет установить основные параметры месторождения.

Использование при детальной разведке дорогостоящих выработок большого сечения требует значительных затрат, и в силу этого разведка месторождений проводится по относительно редкой разведочной сети. Поэтому особое значение приобретает эксплуатационная геометризация, в ходе которой детализируется строение, форма залежи, размещение качественных показателей.

Эксплуатационная геометризация не требует проведения дорогостоящих разведочных выработок. В качестве исходных используют данные забойного опробования. Таким образом, пред-

ставительность и надежность геометризации песчано-гравийных месторождений может быть обеспечена путем определения оптимальной плотности сети опробования и геологического документирования, построения горно-геометрических разрезов и планов методами геометризации недр.

Геометризация месторождений цементного сырья. Основным сырьем для производства цемента служат карбонатные (известняк, мел, мергель) и глинистые породы (глины и глинистые сланцы). Кроме того, в качестве гидравлических добавок применяют трепел, опоку, туф, железную руду, кварцевый песок.

Указанные горные породы добывают из соответствующих месторождений, как имеющих самостоятельное значение, так и разрабатываемых для добычи нескольких видов сырья.

В СССР разрабатывается около 160 месторождений цементного сырья. Большинство из них имеют сложное строение полезной толщи, обусловленное наличием различных по химическому составу слоев и пропластков, нередко содержащих вредные для цементного производства примеси и включения.

Месторождения относятся к типу осадочных с пологим или горизонтальным залеганием полезного ископаемого, мощности полезной толщи изменяются от 15 (27 % месторождений) до 50 м и более (73 %).

При разработке месторождений на цементное сырье наряду с литологическим составом полезной толщи важное значение имеет химический состав полезного ископаемого.

Основными показателями качества разрабатываемых пород являются: коэффициент насыщения

$$K_n = \frac{\text{CaO} - (1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0,75 \text{ SO}_3)}{28 \text{ SiO}_2},$$

силикатный модуль $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ и глиноземный модуль $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$. Значения K_n для промышленных месторождений должны быть в пределах 0,80—0,92, силикатного модуля — 1,7—3,5, глиноземного — 1,0—2,5. Вредными примесями в породах являются: окись магния, фосфор, сера и щелочи, допускаемые в исходном сырье в количестве 1—3 %.

Детальную разведку месторождений цементного сырья проводят буровыми скважинами с плотностью, соответствующей стадии разведки. По результатам химических анализов керновых проб для каждого разведочного пересечения определяют значения K_n , силикатного и глиноземного модулей, а также процентное содержание вредных примесей. Данные химических анализов выносят на разведочные планы и разрезы масштабов от 1 : 5000 до 1 : 1000 в зависимости от размеров месторождения и строят горно-геометрические графики в изолиниях содержания указанных выше основных показателей качества пород полезной толщи.

По результатам геометризации осуществляют разделение разрабатываемых пород на промышленные и породы внутрен-

ней вскрыши. На этой основе выбирают порядок вскрытия карьера, систему разработки и режим горных работ, структуру комплексной механизации и расстановку оборудования.

Геометризация месторождения облицовочного камня. Месторождения облицовочного камня, разрабатываемые в СССР, представлены скальными породами интрузивного (граниты, гранодиориты, габбро-нориты, лабрадориты), эффузивного (вулканические туфы), метаморфического (мраморы, мраморизованные известняки, кварциты) и осадочного (травертины, песчаники, известняки-ракушечники) генезиса.

В настоящее время разрабатывается около 140 месторождений облицовочного камня, из которых 31 % составляют месторождения гранитов и 29 % — мраморов.

Детальную геологическую разведку месторождений ведут разведочными канавами и в основном буровыми скважинами. Кернавое бурения с расстояниями между выработками от 300 до 25 м (для запасов категории А), 400—50 м (для категории В), 600—100 м (для категории С₁). При геологической документации скважин фиксируют число трещин в каждом интервале бурения, а длину отдельных столбиков керна используют для косвенного суждения о размерах блоков, слагающих полезную толщу месторождения.

Наиболее важным показателем детальной разведки, определяющим целесообразность разработки месторождения, является *блочность*. Под ней понимают объемы естественных монолитных блоков породы и их выход из массива. Последний показатель определяется на опытном карьере по данным пробной добычи полезного ископаемого в объеме 150—250 м³.

В результате детальной разведки составляют геологические планы и разрезы масштабов 1 : 1000 и 1 : 500 с указанием качественных характеристик полезного ископаемого (прочности, наличия включений, изменения литологического состава, окраски и т. д.), проводят блокировку и подсчет запасов, определяют выход блоков из массива и выход товарной продукции (1 м² плиты из 1 м³ блоков).

Для выбора наилучшей ориентировки фронта горных работ и планирования добычи блоков на месторождениях облицовочного камня составляют разрезы и погоризонтные (поуступные) планы полезной толщи в изолиниях линейных размеров естественных блоков.

Это достигается в результате геометризации исходного геологического материала по буровым скважинам.

Геометрическая модель блочности массива базируется на следующих допущениях: модуль трещиноватости (расстояние между смежными трещинами) в пределах каждого интервала проходки скважины принимается постоянным, как и распределение трещин в интервале; все трещины из-за отсутствия данных о их углах наклона принимаются перпендикулярными к оси скважины.

Геометризация значений модуля трещиноватости проводится по интервалам равной длины из-за того, что при глубине скважин 40—60 м и разной длине интервалов частные значения модуля трещиноватости дают мелкосопочный характер топографической функции, не позволяющий выявить основные черты строения полезной толщи. Объединением интервалов (их укрупнением) достигается автоматическое сглаживание первичных значений показателя и указанный недостаток устраняется. Выбор оптимальной длины интервала проводится на основе последовательного кратного увеличения длин равных между собой интервалов по каждой скважине с определением на каждом этапе укрупнения следующих показателей:

среднего линейного размера блока $l_{бл}$, м:

$$1/W = h/(n+1), \quad (14.8)$$

где h — длина интервала, м; n — число трещин в интервале; среднего линейного размера блока $l_{бл}$, м:

$$l_{бл} = \left(\sum_{i=1}^k 1/W \right) 1/k, \quad (14.9)$$

где k — число интервалов длиной h ;
статистических характеристик:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{W} - \bar{l}_{бл} \right)^2}{k-1}}, \quad \Delta\sigma = \sigma/\sqrt{k}, \quad (14.10)$$

$$V = \sigma/\bar{l}_{бл} 100 \%,$$

где σ — среднеквадратичное отклонение; $\Delta\sigma$ — ошибка определения $\bar{l}_{бл}$; V — коэффициент вариации значения $\bar{l}_{бл}$.

Наименьший интервал объединения, обычно составляющий для гранитных и мраморных месторождений 1—2 м, принимается за эталонный; для всех последующих интервалов дополнительно определяют: абсолютное отклонение значения $\bar{l}_{бл}$ по варианту объединения от $\bar{l}_{бл}$ эталонного варианта по формуле.

$$|\Delta\sigma|_{бл} = \Delta\sigma_{бл}^{вар} - \Delta\sigma_{э}^T,$$

а также абсолютную ошибку определения среднего значения

$$|\Delta\sigma| = \Delta\sigma_{вар} - \Delta\sigma_{э}.$$

Максимальный интервал объединения, естественно, ограничен длиной скважины. Практически длину наибольшего интервала выбирают такой, чтобы их число по скважине было не менее 3—5.

После определения всех расчетных показателей выбирают оптимальный вариант значения h , для которого величины σ , $\Delta l_{бл}$, $\Delta\sigma/|\Delta\sigma|$ и V имеют наименьшее значение. Все разведоч-

ные скважины разбивают на интервалы этой длины и для каждого интервала определяют значение $1/W$.

Величины модуля трещиноватости, отнесенные к середине интервала оси скважины, выносят на геологические разрезы, построенные по разведочным скважинам. По этим значениям строят изолинии линейных размеров блоков, причем величину $1/W$ каждой скважины экстраполируют до середины расстояния между смежными по разрезу скважинами.

После построения разрезов в изолиниях на каждом из них проводят линии высотных отметок уступов (эксплуатационных горизонтов) и методом профилей строят поуступные (погоризонтные) планы линейных размеров блоков в изолиниях. Совокупность планов и разрезов представляет собой геометрическую модель блочности месторождения, построенную по данным геологической детальной разведки.

Геометризация месторождений хризотила-асбеста. Советский Союз располагает самой крупной в мире сырьевой базой хризотила-асбеста. Из двух десятков разведанных месторождений наиболее изучены месторождения Урала и Казахстана.

Рудные залежи сложены серпентинитами, пронизанными сложной сетью прожилков хризотила-асбеста. Залежи простираются в основном в меридиональном направлении, длина их колеблется от 100 до 450 м, мощность от 40 до 1300 м. Глубина залегания изменяется от единиц до сотен метров. Форма залежей неправильная, линзо- или эллипсообразная. Строение залежей зональное — в центре, в ядре расположены неасбестоносные перидотиты, которые окружены асбестоносными серпентинитами, постепенно сменяющимися зонами асбестоносности сложных жил, в которых наблюдается наибольшая насыщенность промышленными сортами асбеста.

Локальное изменение содержаний асбеста в залежах колеблется от 0 до 15 %, средние содержания в них составляют 0,8—7 %. Залежи хризотила-асбеста не имеют резких границ с вмещающими породами, поэтому, согласно кондициям, внешний однопроцентный рудный контур проводят по результатам опробования.

Детальную разведку залежей осуществляют бурением скважин до глубины 200—300 м. Расстояние между разведочными линиями 60—100 м. Опробование керна скважин асбестоносной полосы производят интервалами по 10—15 м. Содержание асбеста и сортность определяют дроблением материала пробы и последовательным извлечением асбестового волокна с сит.

По условной длине волокно асбеста разделяют на семь геологических сортов. Разработку месторождений ведут открытым способом. Вскрышные и добычные работы ведут горизонтальными слоями высотой 10—15 м с применением буровзрывных работ. Сложное геологическое строение месторождений хризотила-асбеста, значительные размеры залежей, большое их число, высокая изменчивость качественных показателей, мно-

жественность сортов асбеста, а также сложная технология обогащения создают трудности при эксплуатации месторождений и требуют проведения геометризации.

Задачей геометризации является выявление характера зонального строения, закономерностей размещения, изменчивости и распределения в них содержаний асбеста, а также взаимных связей качественных показателей и их практическое использование.

Горно-геологическую информацию о месторождении представляют по данным опробования скважин детальной разведки с привязкой их к проектным горизонтам отработки. Всю имеющуюся информацию переносят на перфокарты. Сортировку и систематизацию массива перфокарт производят согласно поставленным задачам (по месторождению, рудоуправлениям, залежам, классам содержаний асбеста, горизонтам отработки с учетом зон асбестоносности и крыльев залежи). С перфокарт автоматически на табуляторах считывается необходимая информация. Затем производят алгоритмизацию и программирование. Согласно заданной программе, на ЭВМ вычисляют статистические характеристики и закономерности распределения содержаний асбеста в зонах асбестоносности, коэффициенты уравнений связи, корреляционные отношения, значения ординат, необходимых для построения графиков.

С помощью интегральных кривых определяют содержание асбеста в рудах, направляемых на обогатительные фабрики и отвалы. По уравнениям зависимости содержаний асбеста с глубиной производят анализ качества руды на горизонтах месторождения, осуществляют прогноз качества асбестовых руд на глубину, определяют зависимость содержаний асбеста по сортам от общего содержания.

При опробовании количество волокна, отобранного с каждого сита, характеризует выход геологических сортов, а суммарная масса всех сортов, выраженная в процентах к массе пробы, определяет общее лабораторное содержание асбеста в руде.

Установлено наличие зависимостей содержания асбеста по сортам от общего содержания, которые выражаются в аналитическом виде уравнением

$$y = ax^b, \quad (14.4)$$

где y — содержание асбеста по сортам; a и b — коэффициенты, которые находят из степенного уравнения по способу наименьших квадратов решением уравнений:

$$\begin{aligned} \sum \lg y &= n \lg a + b \sum \lg x; \\ \sum \lg y \sum \lg x &= \lg a \sum x + b \sum (\lg x)^2, \end{aligned} \quad (14.5)$$

где n — число исходных данных.

Решив уравнения, получают

$$b = \frac{n \sum \lg y \lg x - \sum \lg y \sum \lg x}{n \sum (\lg x)^2 - (\sum \lg x)^2};$$

$$\lg a = (\sum \lg y - b \sum \lg x) / n. \quad (14.6)$$

Выявление подобных статистических зависимостей производят на ЭВМ, используя стандартные программы.

ГЛАВА 15

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

§ 1. Общие замечания

Достаточно детальный и достоверный прогноз горно-геологических условий для строительства подземных сооружений и разработки месторождений полезных ископаемых является одной из важнейших проблем современного горного производства и оказывает серьезное влияние на повышение производительности труда, уровня добычи полезного ископаемого, качества и полноты его извлечения и переработки.

Прогноз — это научно обоснованное (т. е. основанное на системе фактов и доказательств, установленных причинно-следственных связей) суждение о возможных состояниях объекта или вероятных путях и результатах предстоящего развития явлений и процессов с оценкой показателей, характеризующих эти состояния и процессы для более или менее отдаленного будущего.

Прогнозированием называется процесс разработки прогнозов как по количественным, так и по качественным данным.

Методика прогнозирования — совокупность специальных правил и приемов (одного или нескольких методов) разработки конкретных прогнозов.

Методом прогнозирования называется путь исследования объекта прогнозирования, направленный на разработку прогноза. В настоящее время насчитывают более 150 разнообразных по областям применения и неравноценных по точности методов прогнозирования и около 600 их возможных комбинаций.

Все методы прогнозирования могут быть разделены на 3 группы:

1. Экстраполяция (интерполяция): *a* — статистические; *b* — динамические;

2. Эвристические (экспертиза): *a* — интуитивные; *b* — аналитические;

3. Моделирование (*a* — математические; *b* — морфологические).

Точность прогноза — оценка доверительного интервала прогноза для заданной вероятности его осуществления.

Достоверность прогноза — оценка вероятности осуществления прогноза для заданного доверительного интервала.

Ошибка прогноза — величина отклонения прогноза от действительного состояния объекта.

По видам прогнозы разделяют на поисковые, нормативные, интервальные, точечные. По периоду упреждения — промежутку времени (или расстоянию), на который рассчитан прогноз согласно срокам, принятым в народнохозяйственном планировании, — прогнозы разделяют на оперативные (оперативно-календарное планирование) до 1 месяца; краткосрочные (текущее планирование) — от 1 месяца до 1 года; среднесрочные (перспективное планирование) — от 1 года до 5 лет; долгосрочные (долгосрочное планирование) — от 5 до 15 лет; и дальнесрочные — свыше 15 лет.

Прогнозный горизонт — максимально возможный период упреждения прогноза заданной точности. Считают, что интервал упреждения прогноза не должен превосходить одной трети исходного ряда. Пути повышения эффективности прогнозирования заключаются в синтезе различных методов. Мерой качества прогнозов является отношение числа прогнозов, подтвержденных фактическими данными, к общему числу прогнозов.

Прогноз горно-геологических условий представляется в виде комплекта горно-геометрических планов, разрезов, карт, на которых изображается размещение различных горно-геологических и горнотехнических показателей месторождения (гипсометрии и мощности залежи, тектонической нарушенности, качества полезного ископаемого, его технологических свойств и т. п.). Наибольшую точность прогнозных построений получают путем обобщения наблюдений при разведке и эксплуатации, по материалам хорошо поставленной геолого-маркшейдерской службы горного предприятия на основе точной и эффективной геометризации показателей месторождения.

По способу получения информации для прогнозирования в настоящее время выделились геологические и геофизические методы прогнозирования показателей. Геофизические методы требуют применения при прогнозе специальной аппаратуры, методов измерения и обработки информации и выходят за рамки проблем, рассматриваемых в настоящем учебнике.

Геологические методы в зависимости от способа обработки и вида получаемой информации можно разделить на качественные и количественные. К *качественным* методам относят прогноз на основе общих геологических предпосылок, простой и сложной аналогии и т. д. Общий смысл этих методов заключается в установлении качественных генетических связей между различными показателями залежи (например, между мощностью пласта и угленосностью вмещающей толщи пород), выделении по ним различных геологических типов пород и зонально-

стей, экстраполяции или интерполяции на основе найденных связей границ зон и соответствующего им размещения показателей.

Количественные методы прогнозирования базируются на построении различного рода математических моделей (горно-геометрических, регрессионных, классификационных и т. п.) размещения прогнозируемых показателей и вмещающей толщи пород.

Геолого-маркшейдерская служба горного предприятия пользуется тем или иным методом прогноза в зависимости от конкретных условий. Комплексное использование различных методов часто дает наилучшие по точности прогноза результаты.

Следует также иметь в виду, что прогноз, полученный на основе количественных методов, только тогда можно считать достоверным, если он подтверждается вскрытыми качественными генетическими закономерностями. Иными словами, количественный прогноз должен получить качественную геологическую интерпретацию, не противоречащую общим генетическим концепциям о месторождении. Вместе с тем количественный прогноз может стать основой для новых качественных геологических построений. Поэтому единство качественных и количественных сторон размещения показателя при его прогнозировании имеет решающее значение.

Для прогнозирования размещения показателя характерны два типа прогноза: *интерполяционный* и *экстраполяционный*. Интерполяционный прогноз осуществляется в пространстве залежи между точками определения показателя и опирается на эти точки. Исходной при интерполяционном прогнозе является гипотеза о непрерывном (по П. К. Соболевскому) и однородном размещении прогнозируемого показателя между точками его опробования. Экстраполяционный прогноз используется для описания закономерностей размещения показателя за границами разведанной площади. Этот тип прогноза основывается на гипотезе о сохранении вскрытой на разведанном участке залежи закономерности размещения показателя в прилегающей к этому участку области экстраполяционного прогноза.

Методы интерполяционного и экстраполяционного прогнозирования принципиально не отличаются друг от друга. Однако подход к оценке точности этих типов прогноза различен. Экстраполяционный прогноз имеет три источника ошибок. В приложении к размещению показателя месторождения он может быть интерпретирован как: 1) технические ошибки измерения показателя; 2) ошибки интерполирования в зоне, прилегающей к прогнозируемой области экстраполяции; 3) нарушение однородности размещения показателя в области экстраполяции по сравнению с прилегающим к ней разведанным участком. Наиболее опасным является третий источник, влияние которого хуже всего предсказуемо и пока имеет слабое теоретическое обоснование.

Надежность интерполяционного прогноза определяется только техническими ошибками и ошибками интерполирования, законы накопления которых изучены гораздо полнее. Отсюда методы оценки точности интерполяционного прогноза разработаны лучше и они отличаются от таковых при экстраполяционном прогнозировании.

В теории прогнозирования по промежутку времени, на который рассчитан прогноз, различают, как уже отмечалось, оперативные, кратко-, средне-, долго-, и дальнесрочные (сверхдолгосрочные) прогнозы. При прогнозировании размещения показателей месторождения эти виды прогноза отличаются масштабом прогнозных горно-геометрических планов и детальностью изображения вскрытых закономерностей размещения показателей.

Так, оперативному и краткосрочному прогнозу в этой классификации соответствуют горно-геометрические планы размещения показателей, построенные по наиболее полным данным эксплуатационной и детальной разведки в масштабах и с детальностью, необходимой для составления месячных квартальных и годовых текущих планов развития горных работ. Среднесрочный прогноз выполняется по горно-геометрическим планам размещения показателей, построенным по данным детальной разведки для перспективного пятилетнего планирования развития горных работ. Долгосрочный и дальнесрочный прогноз размещения показателей необходим для составления генерального плана развития горных работ предприятия на весь срок его существования. Так как общий срок службы горного предприятия исчисляется десятками лет, то генеральный план разрабатывается по укрупненным производственным показателям. Это позволяет для долгосрочного прогноза использовать мелкомасштабные горно-геометрические планы и карты, выявляющие наиболее общие тенденции в размещении показателей. Следует подчеркнуть, что все эти виды прогноза органически связаны между собой, опираются друг на друга, вытекают один из другого.

Прогнозные горно-геометрические планы, карты, разрезы, изображающие пространственное размещение различных показателей месторождения, строят с использованием количественных геологических методов прогнозирования. Рассмотрим сущность некоторых из них, главным образом тех, которые получили широкое распространение в практике геолого-маркшейдерской службы горных предприятий или же имеют хорошие перспективы своего применения.

§ 2. Количественные методы прогнозирования размещения показателей месторождения

Количественные методы прогнозирования, как уже указывалось, базируются на построении математических моделей размещения показателей. Среди них можно выделить прогнозно-дина-

мический метод выявления функций размещения показателей, аналитического и цифрового моделирования функции размещения показателей на ЭВМ, многомерного математического моделирования по принципам эвристической самоорганизации, в частности метод группового учета аргументов (МГУА).

Сущность *прогнозно-динамического метода выявления функции размещения показателей месторождения* состоит в обосновании места каждой последующей скважины или точки опробования характером размещения исследуемых показателей, закономерностью изменения функции размещения, вскрытой на отработанном или хорошо изученном соседнем участке. При этом учитывают соподчиненность и связь размещения изучаемого показателя с другими, более устойчивыми, точно или проще выявляемыми показателями; наличие столбов оруденения, зон минерализации или интенсивных деформаций и пр.

Вновь получаемая информация в динамике развития горных работ о показателях обобщается, геометризуются, анализируется и служит основой для составления прогноза на прилегающий участок залежи.

Изучение месторождения в процессе его разведки и особенно разработки, когда представляется возможность получения наиболее полной информации, с использованием геометризации и прогнозно-динамического метода позволяет при меньшем числе разведочных скважин и затрат получать более точное представление о пространственном размещении горно-геологических, физико-химических и других показателей изучаемого месторождения.

В основе метода лежит горно-геометрическое (графическое) моделирование размещения показателя. Прогнозно-динамический метод используется геолого-маркшейдерской службой горного предприятия для всех видов прогноза (оперативного, кратко-, средне- и долгосрочного), главным образом в зоне экстраполяции.

Аналитическое и цифровое математическое моделирование функции размещения показателей. Графическая модель месторождения, представляемая комплектом специальных горно-геометрических графиков, является прогнозной геометрической основой для решения задач проектирования, планирования и управления горными работами. Широкое применение вычислительных машин при решении этих задач вызвало необходимость математического моделирования на ЭВМ размещения показателей месторождения. *Математическая модель* — это математическое описание объекта прогнозирования (размещения показателя) в виде формул и математических операций над переменными, входящими в модель. К математическому моделированию относится и алгоритмическое описание, т. е. формализованный порядок построения модели изучаемого объекта и графическое его изображение в виде изолиний.

При математическом описании размещения показателя рассматривается аналитическое и цифровое моделирование. Аналитическое моделирование предполагает использование математических уравнений и их систем для описания закономерностей пространственного изменения показателей. Цифровое моделирование реализует алгоритмы линейной или средневзвешенной интерполяции для автоматизированного построения горно-геометрических графиков.

Если имеется совокупность измеренных значений показателя $\{P_i\} (i = \overline{1, n})$ в точках с координатами $\{x_i, y_i\} (i = \overline{1, n})$, то построить аналитическую модель размещения показателя можно при помощи полиномов, двумерных рядов Фурье, поэтапной регрессии.

При четко выраженном тренде (пространственной закономерности) используется полиномиальная модель:

$$P = \sum_{\beta=0}^k \sum_{\alpha=0}^k a_{\beta\alpha} x^\alpha y^\beta \quad (\text{при } \alpha + \beta \ll k), \quad (15.1)$$

где $a_{\beta\alpha}$ — коэффициенты полинома; k — степень полинома.

Коэффициенты $a_{\beta\alpha}$ находятся методом наименьших квадратов (МНК) из решения системы линейных уравнений. Программы, разработанные во ВНИМИ, позволяют находить коэффициенты полиномов до седьмой степени включительно при практически неограниченном объеме исходной информации.

Если в размещении показателя прослеживается периодическая составляющая, то его пространственное размещение удобнее описать двумерными рядами Фурье:

$$P = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k a_{ij} \cos i \frac{\pi}{L_x} x \cos j \frac{\pi}{L_y} y, \quad (15.2)$$

где i, j — порядок косинусоидальных гармоник; L_x, L_y — длина сторон прямоугольника, ограничивающего участок залежи.

Коэффициенты a_{ij} также определяются по МНК из решения системы уравнений.

В моделях (15.1) и (15.2) вид моделирующей функции задается заранее. Это вносит большую долю субъективизма в описание закономерной составляющей. Более предпочтителен автоматический поиск подходящей моделирующей функции. Она может быть представлена в виде

$$P = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k a_{ij} f_i(x) f_j(y), \quad (15.3)$$

где $f_i(x), f_j(y)$ — базисная система функций, наиболее подходящая комбинация которых отыскивается в процессе вычислений. В качестве этих функций используются полиномиальные, тригонометрические, экспоненциальные и логарифмические функции. Комбинация базисных функций находится последователь-

ной подстановкой этих функций в уравнение (15.3) и вычислением по МНК коэффициентов a_{ij} (поэтапная регрессия).

Путем оценки значимости коэффициентов a_{ij} , анализа дисперсий и корреляционных функций находится подходящая комбинация базисных функций.

Имея измеренные значения показателя и координаты точек его измерения, по специальным программам на ЭВМ находят численные значения коэффициентов и вид моделей (15.1), (15.2) или (15.3). Подставив затем в найденные уравнения координаты x и y любой точки внутри области измерения значений показателя, можно вычислить его прогнозную величину. По этим уравнениям можно также построить горно-геометрический график размещения показателя на алфавитно-цифровом печатающем устройстве (АЦПУ) ЭВМ или с помощью графопостроителя.

Аналитическое моделирование дает хорошие результаты при прогнозе, если уровень закономерной составляющей изменчивости показателя соизмерим со случайной изменчивостью размещения (содержание полезных или вредных компонентов, невыдержанная мощность залежи и т. п.). В этом случае модель сглаживает измеренные значения показателя, и ее качество характеризуется так называемой остаточной дисперсией:

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - P_i^B)^2, \quad (15.4)$$

где P_i и P_i^B — измеренные и вычисленные из модели значения показателя. Величина σ_0^2 оценивает также уровень случайной составляющей изменчивости.

Если же изменчивость закономерной составляющей на порядок больше случайной (например, при моделировании гипсометрии крупных складчатых форм), аналитическое сглаживание не всегда целесообразно. Тогда становится необходимым, чтобы вычисленные на модели и измеренные значения показателя в точках наблюдения совпадали, т. е. $\sigma_0^2 = 0$. Аналитические модели позволяют выполнить это условие, но при этом число коэффициентов модели должно равняться числу точек измерения показателя, что привело бы к очень громоздким выражениям. В этой ситуации более подходящими оказываются цифровые модели.

Суть цифрового моделирования заключается в том, что совокупность измеренных значений показателя, полученных в произвольно расположенных точках, трансформируется в систему значений показателя в узлах правильной (квадратной или прямоугольной) сетки. Для каждого узла такой сетки внутри контура залежи определяются интерполированные значения показателя. В системе программ, разработанных ВНИМИ для этой цели, использованы МНК, метод средних и статистически оптимальная интерполяция.

При использовании МНК принимается допущение, что в окрестностях узла интерполяции изменения показателя описываются уравнением плоскости. Исходя из уравнения плоскости, по МНК вычисляются интерполированные значения показателя в узлах правильной координатной сетки.

Интерполяция методом средних заключается в отыскании подходящей степенной функции, описывающей изменение так называемых весовых коэффициентов в зависимости от расстояния между точками. Интерполированное значение показателя в узлах правильной координатной сетки вычисляется как средневзвешенное на расстояние до ближайших точек измерения показателя с учетом найденных весовых коэффициентов.

Статистически оптимальная интерполяция базируется на предположении, что неизвестное значение показателя P^B в узле правильной координатной сетки можно выразить через измеренные P_j^H (м) в ближайших точках путем линейной комбинации:

$P^B = \sum_{j=1}^M \gamma_j P_j^H$. Оптимальная система значений γ_j отыскивается путем минимизации дисперсии:

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(P_i^B - \sum_{j=1}^M \gamma_j P_j^H \right)^2 = \min.$$

Таким образом, получив одним из описанных способов интерполированные значения показателя в узлах правильной координатной сетки, на АЦПУ ЭВМ или с помощью графопостроителя вычерчивается топографическая функция показателя. Эта топографическая поверхность позволяет определить значение показателя в любой точке внутри заданного контура.

Из сказанного можно сделать вывод, что аналитическое моделирование следует применять главным образом для среднего и долгосрочного интерполяционного прогноза. Экстраполирование аналитической моделью возможно только в узкой полосе, прилегающей к разведанному участку шириной не более радиуса корреляции размещения показателя. Это обусловлено сглаживающими свойствами аналитических моделей и ее неустойчивостью за пределами области определения.

Цифровая модель позволяет более детально описать вскрытые закономерности размещения показателя, поэтому ее целесообразно использовать для оперативного и краткосрочного интерполяционного прогноза показателя, имеющего низкий уровень случайной изменчивости по сравнению с его закономерными изменениями.

Метод группового учета аргументов (МГУА).* Месторождение как система состоит из различных элементов (геологических и горнотехнических показателей), объединенных в подсистемы по природе элементов, находящихся на различных структурных уровнях своего строения и связанных между собой един-

* Разработан на кафедре маркшейдерского дела НПИ.

ством пространства и геологического генезиса. Число показателей месторождения велико, связи между ними сложны, часто нелинейны, поэтому система «месторождение» определяется как «плохо организованная» (А. Г. Ивахненко, В. М. Калинин и др.).

Исходя из идей системного подхода к анализу месторождения и для повышения точности прогноза необходимо, чтобы методика прогнозирования любого из показателей этой системы была многофакторной, т. е. учитывала и оценивала все основные и второстепенные взаимосвязи между прогнозируемыми показателями и другими элементами системы «месторождение». Отсюда вытекает необходимость разработки единой количественной методики прогнозирования, из которых должны следовать конкретные способы прогнозирования отдельных горно-геологических показателей как частные решения. Проблему прогнозирования различных показателей следует решать комплексно, поскольку зачастую одни и те же используемые при прогнозе факторы несут необходимую информацию о состоянии разных по своей природе прогнозируемых показателей.

Количественная методика прогнозирования для своей реализации требует использования того или иного математического аппарата. Этот аппарат определяется математической моделью, которая принята в качестве формального аналога объекта прогнозирования. Так, в основе прогнозно-динамического метода лежит модель геохимического поля П. К. Соболевского, аналитическое моделирование базируется на математической модели случайного геохимического поля, в соответствии с которой в размещении показателя присутствует закономерная $f(\bar{x})$ и случайная $\varphi(\bar{x})$ составляющие:

$$P = f(\bar{x}) + \varphi(\bar{x}); (\bar{x}) = (x, y, z). \quad (15.5)$$

Цель прогноза — выявить закономерность размещения $f(x)$ [например, уравнениями типа (15.1), (15.2) или (15.3)] и оценить ее дисперсию $\varphi(\bar{x})$.

Для многофакторной системы «месторождение» в качестве модели можно принять многомерное случайное геохимическое поле:

$$P = f(\bar{x}, \bar{P}) + \varphi(\bar{x}, \bar{P}), \quad (15.6)$$

где $f(\bar{x}, \bar{P}) = f(x, y, z, P_1, P_2, \dots, P_n)$ неслучайная $n+3$ -мерная функция пространственных координат и показателей месторождения $P_1, P_2, \dots, P_n$, с которыми связан прогнозируемый показатель P :

$\varphi(\bar{x}, \bar{P}) = \varphi(x, y, z, P_1, P_2, \dots, P_n) - (n+3)$ -мерная дисперсия случайного поля.

Задачей прогноза в этом случае является определение коэффициентов и вида уравнения (15.6), по которому в любой точке

месторождения можно оценить величину прогнозируемого показателя P и его дисперсию (погрешность прогноза).

Однако практическое решение этой задачи сталкивается с рядом серьезных трудностей. Используемый обычно для построения подобных моделей метод наименьших квадратов (МНК) обладает тем существенным недостатком, что даже для одно-, двух- или трехмерных моделей (15.5) найденная по МНК зависимость неоднозначна. На заданной системе точек измерения показателя по МНК можно получить множество моделей, удовлетворяющих основному условию метода: минимуму квадратов отклонений, измеренных от вычисленных по модели значений показателя.

Исключить этот недостаток можно, используя для построения моделей (15.5) и (15.6) принципы эвристической самоорганизации математических моделей сложных систем, в частности метод группового учета аргументов (МГУА).

Идея метода заключается в том, что математическая модель сложной системы строится постепенно, в процессе так называемой многорядной селекции. Перед построением модели задаются список возможных аргументов уравнения и элементов будущего уравнения (опорная функция). В соответствии с алгоритмом по предложенным критериям селекции путем многократных переборов конструируется такой вид уравнений (подбираются его переменные и коэффициенты), которые оптимальным образом отвечают сложности (изменчивости) и изученности моделируемого объекта.

В процедуре МГУА вся исходная информация

$$\{P_i\}_{i=1}^n; \quad \{\bar{x}_j\}_{j=1}^n,$$

где P — прогнозируемый показатель; $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ — возможные аргументы прогнозных уравнений; $i = 1, 2, \dots, n$ — точки наблюдения показателей P и $\bar{x}$, разбиваются на две совокупности: обучающую $\{P_i\}_{i=1}^r$; $\{\bar{x}_i\}_{i=1}^r$ и контрольную $\{P_i\}_{i=1}^k$; $\{\bar{x}_i\}_{i=1}^k$, причем $r + k = n$.

На первой совокупности точек уравнение строится (модель обучается), на второй, являющейся внешним дополнением, контролируется качество получаемого уравнения, его прогностические свойства.

Важной особенностью МГУА является то, что полное многомерное описание природного объекта заменяется несколькими рядами специально выбранных частных описаний (опорных функций), составленных для пар входных аргументов:

$$\left. \begin{aligned} P &= a_0 + a_1 x_g + a_2 x_c; \\ P &= a_0 + a_1 x_g + a_2 x_c + a_3 x_g x_c; \\ P &= a_0 + a_1 x_g + a_2 x_c + a_3 x_g x_c + a_4 x_g^2 + a_5 x_c^2. \end{aligned} \right\} \quad (15.7)$$

Построение математической модели начинается с вычисления по МНК коэффициентов любого из частных описаний на точках обучающей совокупности:

$$P_1 = f_1^{(1)}(x_1, x_2); \quad P_2 = f_2^{(1)}(x_1, x_3), \quad . . . , \quad P_s = f_s^{(1)}(x_{m-1}, x_m), \quad (15.8)$$

где $s = c_m^2$; (1) — номер ряда селекции.

На контролирующих точках, не участвующих в вычислении коэффициентов этих моделей, проверяется их качество по критерию среднего квадратического отклонения измеренных P_i от вычисленных P_i^B по уравнениям (15.8) значений прогнозируемого показателя:

$$\bar{\delta}_k^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \delta_i^2}; \quad \delta_i = P_i - P_i^B. \quad (15.9)$$

Далее все уравнения (15.8) ранжируются по критерию (15.9) и лучшие из них (по минимальным значениям $\bar{\delta}_k$) принимаются в качестве аргументов в уравнение (15.7) на втором ряду селекции модели, после чего на точках обучающей совокупности вычисляются коэффициенты новых зависимостей:

$$y_1 = f_1^{(2)}(P_1, P_2); \quad y_2 = f_2^{(2)}(P_1, P_3), \quad . . . , \quad y_V = f_V^{(2)}(P_{T-1}, P_T). \quad (15.10)$$

На точках контролирующей совокупности вновь вычисляется для каждого уравнения (15.10) критерий $\bar{\delta}_k^{(2)}$ (15.9), по нему ранжируются и отбираются T лучших уравнений. Если $\bar{\delta}_k^{(1)} > \bar{\delta}_{k_{\min}}^{(2)}$, то необходимо перейти к третьему ряду селекции, на котором все описанные процедуры повторяются. Построение модели ведется до тех пор, пока не выполняется неравенство $\bar{\delta}_{k_{\min}}^{(j-1)} < \bar{\delta}_{k_{\min}}^{(j)}$.

Сложность конструируемого уравнения увеличивается от ряда к ряду селекции — растет число входных переменных и их степень. При применении первого описания из (15.7) возрастает только число учитываемых аргументов, второго и третьего — еще и степень.

Каждое частное описание (15.7) является функцией двух переменных, что позволяет строить надежные зависимости по малому числу экспериментальных точек (7—10 точек). Полученные описанным способом математические модели типа (15.5), (15.6) являются оптимальными как по сложности, так и по изученности прогнозируемого показателя и связанных с ним аргументов. Метод позволяет выбрать из большого числа аргументов системы «месторождение» только те, которые действительно связаны с прогнозируемым показателем, и установить вид и силу этой связи. Найденным уравнением описывается законо-

мерность размещения прогнозируемого показателя. Величина (15.9) оценивает ошибку прогноза по этому уравнению и является многомерной дисперсией модели.

Построенные по МГУА прогнозные модели преобразуются на АЦПУ или графопостроителях в графические изображения прогнозируемых показателей и могут быть использованы для всех видов интерполяционного прогноза. Экстраполяционные свойства этих моделей много лучше аналитических, но зависят от конкретной геологической обстановки и должны проверяться в каждом конкретном случае.

§ 3. Прогнозирование морфологических показателей залежи

К числу морфологических показателей обычно относят гипсометрию почвы и кровли залежи, различные виды мощности (общую и полезную мощность пласта, мощности отдельных пропластков полезного ископаемого и пустых пород), строение пласта, глубину его залегания. Рассмотрим построение прогнозных карт некоторых из них различными методами.

Прогнозно-динамический метод. Все геологические показатели развиваются в пространстве с определенной закономерностью, определяя тем самым структуру месторождения в целом. Общая идея динамического прогнозирования — выбрать наиболее существенные геологические показатели, определить характер их изменения от прошлого к настоящему и распространить его на будущее.

Такой подход базируется на предположениях:

1. Факторы, обуславливающие характер изученного предшествующего развития, имеют большую тенденцию сохранять свои характеристики, нежели изменять их;

2. Эффективность совместного действия этих факторов проявляется в большей мере в продолжении предшествующего характера развивающегося процесса, чем в радикальном его изменении.

Использование этого метода проанализируем на примере построения топографической поверхности одного из морфологических показателей месторождения платформенного типа.

На основании работ, предшествующих детальной разведке (геокартирование, поисковая, предварительная разведки и т. п.), устанавливают основные маркирующие элементы месторождения, направляющие разведку. Как правило, для месторождений платформенного типа ими являются морфологические показатели.

Примерно на середине разведываемого поля закладывают первую группу не менее чем из четырех разведочных выработок, численно равную числу предназначенных для разведки месторождения буровых станков. Расстояния между скважинами берут в соответствии с инструкцией и с учетом данных предварительной разведки месторождения.

Как только пробурена первая группа скважин, данные по ним подвергают тщательному анализу и графически в изолиниях строят первую рабочую гипотезу топографической поверхности морфологического показателя (рис. 15.1).

На основании первой рабочей гипотезы выбирают места для бурения следующей группы скважин, руководствуясь линиями скатов, перегибов, инвариантными площадками прогнозируемой поверхности, связью этих элементов поверхности с земным рельефом и поверхностями других показателей.

По окончании бурения второй группы скважин полученные по ним данные совместно с результатами бурения первой группы скважин и предварительной разведки анализируют и на основании всей совокупности данных строят вторую рабочую гипотезу о характере прогнозируемой поверхности. После проверки исправления последующими скважинами второй гипотезы переходят к третьей рабочей гипотезе и т. д.

При этом ряд разведочных выработок располагают примерно по двум взаимно перпендикулярным сечениям, проходящим через середину разведываемого участка. По этим сечениям строят вертикальные геологические разрезы, отображающие литологию и структуру участка.

Установлено, что для достижения одинаковой точности при построении топографической поверхности показателя этим методом по сравнению с использованием для этих целей квадратной разведочной сети требуется на 15—40 % скважин меньше.

Таким образом, с помощью динамического метода морфологического прогнозирования действительная топографическая функция выявляется более точно и меньшим числом точек, чем при расположении последних по правильной сети.

Прогнозирование мощности и строения пласта по МГУА.
В качестве объекта прогноза рассмотрим западный неотработанный участок поля шахты «Гуковская» производственного объединения ПО «Гуковуголь» (Донбасс). На выбранном участке имеется 33 скважины детальной разведки. Участок является однородным геологическим районом, так как внутри его отсутствуют крупные тектонические нарушения и сохраняется

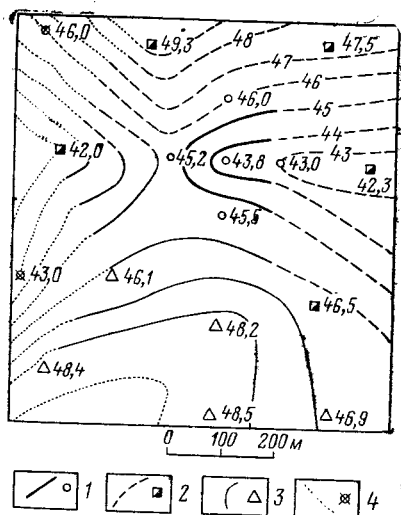


РИС. 15.1. Рабочие гипотезы о форме поверхности разведываемой залежи:

1 — первая группа скважин; 2 — рабочие гипотезы

практически неизменной литологическая и фациальная обстановка. Необходимо построить прогнозные карты общей и полезной мощности угольного пласта k_6 . Пласт в этом районе имеет сложное строение и состоит из двух пачек угля, разделенных прослоем пустой породы. По некоторым скважинам участка этот прослой отсутствует. В связи со сложным строением пласта важно знать геометрию размещения в пространстве каждого пропластка. Поэтому прогнозная общая и полезная мощность получена суммированием прогнозных уравнений (карт) соответствующих пропластков. Методика прогнозирования морфологии угольного пласта по данным детальной разведки на основе многомерного математического моделирования разработана В. М. Калинин и состоит из ряда подготовительных, основных и заключительных операций.

Подготовительные операции включают в себя выделение для прогноза геологически однородных районов, выбор пространства переменных, необходимых для составления прогнозного уравнения, и выбор точек обучающей и контролирующей совокупностей.

Этап выделения однородных геологических районов необходим для повышения точности прогнозных уравнений. Районы следует выделять по категориям разведанности, по крупным тектоническим нарушениям, по линии выклинивания пласта и т. п. Следует иметь в виду, что с уменьшением величины района (числа разведочных скважин) уравнение будет точнее описывать локальную закономерность на прогнозируемом участке, но будет малопригодно для выделения более общих закономерностей по всему шахтному полю. Обратная картина будет наблюдаться при увеличении прогнозируемой площади (числа разведочных скважин). Метод позволяет находить коэффициенты уравнения даже по 8—10 точкам замера показателя. Однако из опыта оптимальное число разведочных точек в однородном районе лежит в пределах 20—40 скважин.

Пространство переменных, необходимое для составления прогнозного уравнения, выбирается из соображений возможных генетических взаимосвязей с прогнозируемым показателем. В нашем случае в соответствии с геологическими концепциями генетического единства пород, участвующих в формировании угленосного цикла, в качестве возможных аргументов прогнозных уравнений угольных пропластков m_1 , m_3 и породного прослоя m_2 пласта k_6 приняты условные плановые координаты x и y точки встречи скважины с пластом, отметка почвы пласта z , мощность непосредственной почвы пласта m_8 от нижележащего песчаника до угольного пласта (см. рис. 15.4). Если в почве не обнаруживалось песчаника, в качестве m_8 принималась вся мощность цикла. Кроме того, в качестве аргументов использовались величины, обратные m_1 , m_2 , m_3 и т. д. Прогнозные уравнения указанных параметров в общем виде записываются:

$$m_1 = f(x, y, z, m_2, m_3, m_8, 1/m_2, 1/m_3, 1/m_8);$$

$$m_2 = f(x, y, z', m_1, m_3, m_8, 1/m_1, 1/m_3, 1/m_8);$$

$$m_3 = f(x, y, z'', m_1, m_2, m_8, 1/m_1, 1/m_2, 1/m_8),$$

где z' и z'' — отметки почвы прослоев m_2 и m_3 .

$$z' = z + m; \quad z'' = m_1 + m_2.$$

Приведенное пространство переменных может быть увеличено за счет других параметров углевмещающей толщи и элементарных функций от них. Для работы алгоритма многомерного математического моделирования необходимо, чтобы вся исходная информация перед вводом в ЭВМ была разделена на контролирующую и обучающую совокупности.

Обычно соотношение контролирующих и обучающих точек берется 3 : 4; 2 : 3. При этом необходимо следить, чтобы дисперсии измеренных значений прогнозируемого параметра по точкам обеих совокупностей отличались друг от друга незначимо.

К основным операциям по составлению прогнозного уравнения относятся выбор вида опорной функции и собственно построение прогнозного уравнения (нахождение его коэффициентов). Алгоритм выбора опорной функции может быть различным. В нашем примере ЭВМ производила выбор из трех возможных описаний (15.7).

Разные типы описаний определялись разными формами аппроксимируемых поверхностей размещения прогнозируемого показателя. Выбор производился по минимуму величины $\bar{\delta}_k$ (15.9). При незначительно отличных $\bar{\delta}_k$ лучший тип уравнения определялся по максимуму эксцесса закона распределения δ_i . Последний критерий отражает тот факт, что выбранное уравнение приводит к малому числу отдельных больших отклонений (аномальные зоны), но по большому числу разведочных точек эти отклонения минимальны. Тем самым такое уравнение позволяет выделить аномальные зоны в размещении прогнозируемого показателя, в которых наблюдается значительное его отклонение от выделенной общей для всего района закономерности. В нашем случае в качестве опорной функции ЭВМ выбрала неполное квадратическое описание [второе уравнение в (15.7)].

Построение прогнозного уравнения (степень уравнения и его коэффициенты) выполняется по процедуре МГУА (уравнение 15.2).

В результате работы программы по описанной процедуре были получены уравнения для вычисления прогнозируемых показателей:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,0039 \, 1/m_2 + 0,252 \, 1/m_3 - 0,0014 \, 1/m_2 m_3 - 0,11; \\ m_2 &= 0,0046x + 0,0072y - 0,0002xy - 0,115; \\ m_3 &= 0,00018z'' - 1,01m_1 + 0,00011z''m_1 + 1,01. \end{aligned} \quad (15.11)$$

Все три уравнения имели минимум $\bar{\delta}_k$ на первом ряду селекции.

Однако анализ топографических поверхностей δ_i (15.9), построенных по уравнениям (15.11), показал что они не имеют случайного характера, как это должно быть. На топографической поверхности можно выделить районы с положительными и отрицательными значениями (купола, мульды, плоскости), что в свою очередь указывает на наличие по крайней мере двух структурных уровней в строении показателей.

Уравнения (15.11) не могут описать сразу закономерности этих структурных уровней. Поэтому по каждому из выделенных районов топографической поверхности δ_i для каждого из показателей вновь были построены многомерные уравнения $\delta_i = f(x, y, z, m_1, m_2, m_3, m_8)$. По показателю m_1 был выделен один такой район, по m_2 и m_3 — по два района. Тогда с учетом указанного районирования прогнозные уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} m'_1 &= m_2 + \{-0,001y + 0,016m_8 - 0,0014ym_8 + 0,086\}, \\ m'_2 &= m_2 + \left\{ \begin{array}{l} -0,0025x - 0,16m_8 + 0,0029xm_8 + 0,17 \\ 0,0027m_1 + 0,33m_8 - 1,27m_1m_8 - 0,13 \end{array} \right\}, \\ m'_3 &= m_3 + \left\{ \begin{array}{l} -0,021x - 0,017y + 0,00046xy + 0,78 \\ -0,019x - 1,97m_2 + 0,12xm_2 + 0,4 \end{array} \right\}. \end{aligned} \quad (15.12)$$

Значения m_1 , m_2 и m_3 вычислены по формулам (15.11). Так как общая мощность угольного пласта k_6 равна сумме m'_1 , m'_2 , m'_3 , а полезная мощность — сумме m'_1 и m'_3 , то, сложив соответствующие уравнения из (15.12), получим прогнозные уравнения для общей m_6 и полезной m_7 мощности угольного пласта.

Некоторые статистические характеристики найденных уравнений приведены в табл. 15.1. Анализ этой таблицы позволяет установить, что выделение однородных районов при построении прогнозных уравнений для m_1 , m_2 и m_3 снизило величину δ почти в 2 раза (колонки 2 и 3 табл. 15.1), т. е. качество прогноза улучшилось. Довольно высокой для прогнозных поверхностей m_1 , m_2 и m_3 оказалась доля закономерных вариаций параметра, выявляемая прогнозным уравнением:

$$V_{\Pi} = (1 - \delta^2/\sigma^2) 100 \%, \quad (15.13)$$

где σ^2 — дисперсия измеренных значений параметра. Заметно ниже величина V_{Π} для поверхностей m_6 и m_7 . Интересно, что стандарт измеренных значений параметров m_1 , m_2 и m_3 выше, чем для величин m_6 и m_7 . Очевидно, изменчивость поверхностей m_6 и m_7 меньше составляющих их поверхностей m_1 , m_2 и m_3 , что можно объяснить взаимной компенсацией колебаний мощностей этих пропластков. Важно заметить, что в прогнозных уравнениях (15.12) плановые координаты x и y встречаются в чистом виде только 2 раза. Это означает, что традиционный тренд-анализ в применении к построению поверхностей мощности пласта в большинстве случаев не дает той точности прогноза, которую можно получить при использовании других аргу-

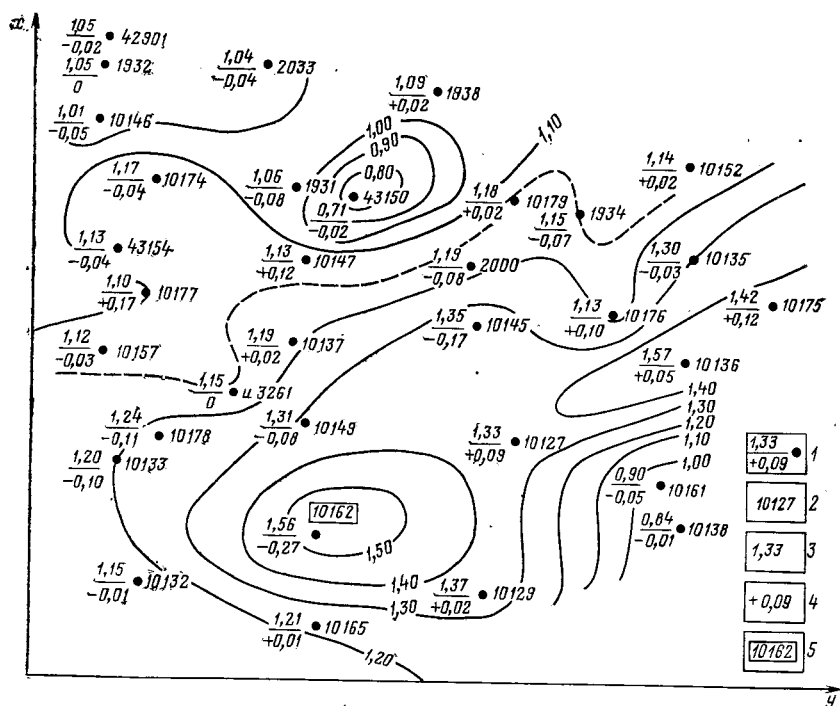


РИС. 15.2. Карта прогноза общей мощности пласта k_6 (шахта Гуковская, Донбасс):

1 — разведочная скважина; 2 — номер скважины; 3 — прогноз общей мощности, м; 4 — отклонение δ_i , м; 5 — скважина с аномальным отклонением

ментов уравнения, и отбрасывается машиной как неприемлемый. О независимости измеренных значений мощности от координат пространства свидетельствует и их незначимая автокорреляция по направлению падения пласта (табл. 15.1). Следовательно, только многомерные прогнозные уравнения, куда

ТАБЛИЦА 15.1

Виды мощности	Среднее квадратическое отклонение δ для уравнения (15.11), м	Среднее квадратическое отклонение для уравнения (15.12), м	Стандарт измеренных значений σ , м	Доля закономерности вариаций показателя V_n , %	Средняя мощность по видам, м	Коэффициент автокорреляционной измеренной мощности по падению
m_1	0,057	0,042	0,205	95,8	0,28	0,01
m_2	0,087	0,045	0,140	89,7	0,12	0,32
m_3	0,081	0,044	0,230	93,3	0,81	-0,12
m_6	—	0,086	0,178	76,5	1,21	0,08
m_7	—	0,069	0,097	49,4	1,09	0,25

входят вместе с координатами пространства и другие параметры углевмещающей толщи, позволяют извлечь из исходных данных максимум полезной информации о размещении прогнозируемого показателя и обеспечить высокую точность прогностических карт.

Прогнозные карты различных видов мощности пласта k_6 были построены на основании уравнений (15.12). На рис. 15.2 приведена карта прогноза общей мощности пласта. На этой карте возле каждой скважины выписаны прогнозные значения общей мощности, вычисленные по уравнениям (15.12), и величины отклонений δ_i (15.9). Как видим, характер этих отклонений случайный (автокорреляционная функция значений δ_i по падению и простиранию пласта незначима). По скважине 10162 зафиксировано аномальное отклонение δ_i ($+0,27 \text{ м} > 3\bar{\delta}$). Это свидетельствует либо об ошибке в измерении мощности, либо о фактическом отклонении, отличающемся от общей закономерности размещения общей мощности пласта по данному участку.

§ 4. Прогнозирование функции размещения компонентов

В данном параграфе излагаются прогнозно-динамические методы выявления функции размещения компонентов и прогнозирования с помощью алгоритма МГУА. Построение прогнозных топографических функций компонентов с помощью аналитических моделей здесь не рассматривается, так как оно практически не отличается от построения подобных топографических функций для мощности залежи.

Прогнозно-динамический метод выявления функции размещения компонента. В качестве примера рассмотрим вертикальную проекцию медно-сульфидной крутопадающей залежи мощностью 0,5—5 м с данными эксплуатационного опробования на всю мощность (рис. 15.3). Изолинии содержания компонента, построенные по частным значениям проб, представляют собой мелкопочный характер поверхности, не вскрывают общей закономерности оруденения и не могут быть использованы для прогнозирования оруденения на соседний нижний горизонт (рис. 15.3, а).

На рис. 15.3, б приведены изолинии того же компонента, построенные через 0,5 % по усредненным данным с помощью статистического окна размером 20×20 м, равным по размеру четверти эксплуатационного блока. Здесь явно видна определенная закономерность оруденения в форме седловины.

На основе выявленной закономерности можно сделать наиболее вероятный прогноз изменения компонента на нижний, проектируемый для разработки участок А (пунктирные линии). При отработке этого участка следует, например, учесть, что средняя часть блока наиболее богата, а потому разработка его должна вестись с наименьшими потерями, и нецелесообразно приурочивать целики к этой зоне залежи.

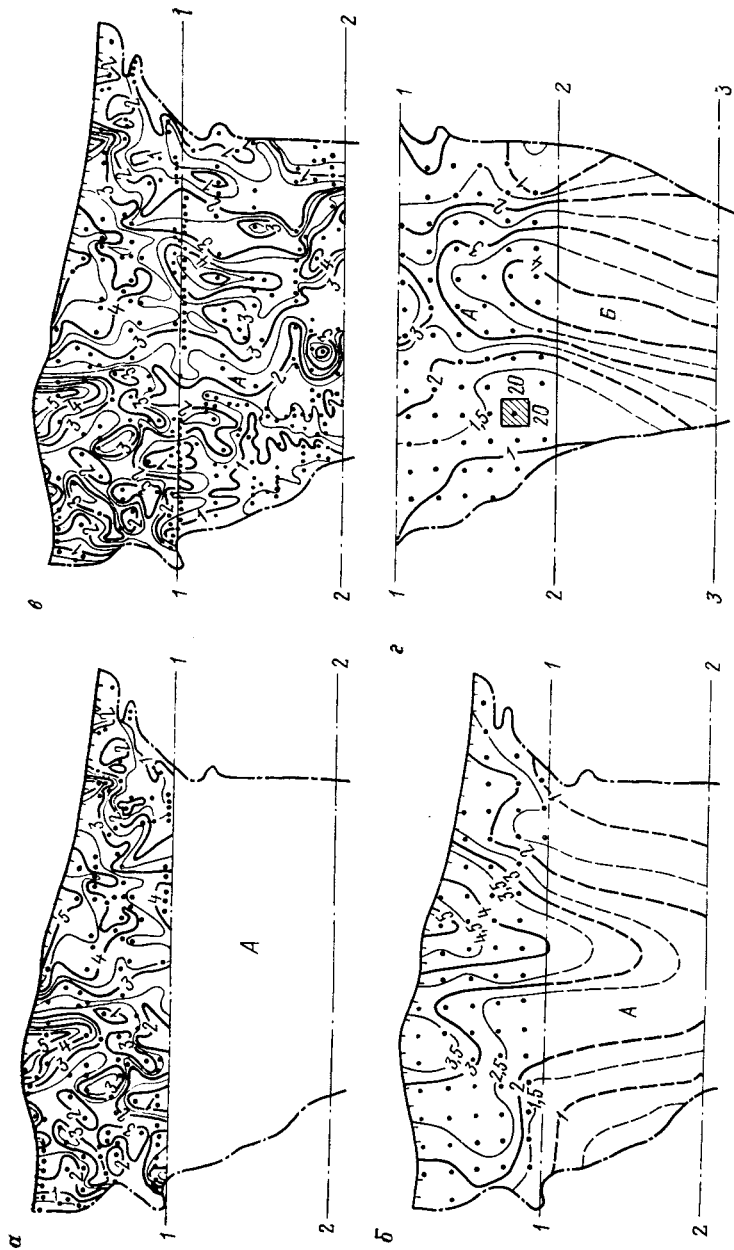


РИС. 15.3. Прогнозирование функции размещения компонента в рудной залежи:
а — изолинии по частным пробам; б — сглаженная топофункция и прогноз на участок А; в — изолинии на участке А по частным пробам;
г — сглаженная топографическая функция и прогноз на участок В: 1, 2, 3 — горизонты

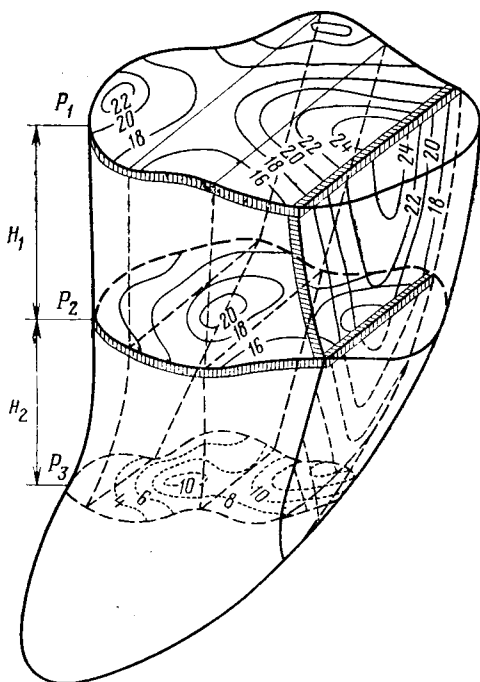


РИС. 15.4. Прогнозирование функции размещения показателя с помощью градиента поля

По мере получения новых индивидуальных проб при отработке блока *A*, дающих также мелко-сочный характер топографической функции (рис. 15.3, *в*), производят их усреднение и построение сглаженной поверхности *B* (рис. 15.3, *г*). Отображаемая усредненной поверхностью функция размещения показателя позволяет сделать прогноз оруденения на следующий соседний участок *B* и т. д.

Точность прогнозирования устанавливается путем сравнения прогнозной *A* и сглаженной по данным опробования топографической функции *B*. По изолиниям квадратов отклонений этих топографических поверхностей выделяются места наибольших ошибок прогноза. Средняя квадратическая ошибка прогноза по всему участку *A* составила $\pm 0,95 \%$.

В изометрических рудных телах, крутопадающих залежах, в блоках и столбах с однородным оруденением возможно прогнозирование с помощью градиента поля.

Пусть имеется изометрическая залежь, разрабатываемая по горизонтальным слоям P_1 и P_2 (рис. 15.4). По усредненным значениям данных опробования (площадное сглаживание или объединенные пробы) строят изолинии содержания показателя в слое (сечении). Для сечений P_1 и P_2 , находящихся друг от друга на расстоянии H , имеем:

$$P_1 = f_1(x, y) \quad \text{и} \quad P_2 = f_2(x, y).$$

Между этими сечениями можно представить множество параллельных сечений, отстоящих друг от друга на Δh . В соответствии со свойством непрерывности геохимического поля, изменения топографических функций между сечениями будут непрерывными. Шаг изменения топографической функции между соседними сечениями, отнесенный к расстоянию между ними, на-

зывается градиентом G поля. Он выражается изолиниями в тех же единицах, что и изолинии исходных сечений:

$$G = \frac{d}{dH} f(x, y) \cong \frac{P_2 - P_1}{H} = \varphi(x, y). \quad (15.14)$$

При линейном изменении топографической функции содержания с глубиной между сечениями топографическая поверхность k -го сечения, находящегося на расстоянии h от исходного P_1 , выразится:

$$P_k = P_1 + hG, \quad (15.15)$$

т. е. $f_k(x, y) = f_1(x, y) + h\varphi(x, y)$.

В этом случае с помощью градиента поля можно экстраполировать топографическую функцию на соседнее сечение, например,

$$P_3 = P_2 + GH_2.$$

Если характер изменения оруденения с глубиной имеет вид нелинейной функции, то необходимо пользоваться соответствующим видом интерполяционного полинома. Например, в формуле (15.15) изменение содержания может быть пропорционально квадрату глубины, ее кубу или более сложной зависимости. Подбирая эту зависимость на основе анализа содержания в отработанных блоках, можно значительно увеличить точность прогноза.

Прогнозирование размещения компонента по алгоритму МГУА. Этот метод рассмотрен применительно к условиям Никопольского месторождения марганцевых руд, которое является крупнейшим месторождением мирового значения. Марганцевое оруденение приурочено к одному выдержанному пласту марганцевой руды, представленному песчано-алеврито-глинистой породой с включением различных по форме и составу образований марганца. Полезным компонентом в промышленных масштабах является марганец, вредной примесью — фосфор. Повышенное содержание фосфора в руде является причиной, снижающей качество марганцевого концентрата, потребляемого в основном ферросплавной и металлургической промышленностью.

Содержание фосфора в рудах Никопольского месторождения обычно лежит в пределах 0,1—0,4 %, в отдельных случаях оно повышается до 1 %. Фосфора больше в верхних пачках пласта, увеличивается его содержание в землистых (тонкодисперсных) рудах. Наиболее богаты фосфором минералы группы псиломелана — криптомелана, а наименее — манганитовые и пиролюзитовые образования. В окисных рудах содержание фосфора по площади увеличивается от приконтурных частей к центру залежи, достигая максимального значения у границы окисных и окисно-карбонатных руд.

Изменчивость содержания фосфора значительна. Иногда соседние пробы, находящиеся на расстоянии 20—40 м друг от друга, отличаются по содержанию фосфора в 3—5 раз. Поэтому геометризация содержания фосфора по данным детальной

разведки (расстояние между скважинами 150 м для категории А) не удовлетворяет по точности требованиям эксплуатации. Выполнить геометризацию по данным эксплуатационного опробования тоже далеко не всегда возможно, так как практически 50 % проб не опробовались на фосфор. Вместе с тем знание детальной картины размещения фосфора по месторождению играет важную роль при планировании качества марганцевого концентрата.

В этих условиях имеется возможность найти зависимость, связывающую содержание фосфора с другими, определявшимися в каждой точке химического эксплуатационного опробования показателями, вычислить на его основе прогнозные значения содержания фосфора и затем произвести геометризацию фосфоронасности. Практически получить такую сложную многомерную зависимость наиболее целесообразно на основе принципов эвристической самоорганизации математических моделей сложных систем, в частности по методу группового учета аргументов (МГУА).

Использование алгоритма МГУА при геометризации содержания фосфора в руде рассмотрим на примере участка шахты № 8 Марганецкого ГОКа. Поле шахты расположено в зоне чисто окисных руд восточной части Никопольского месторождения. Участок разведан 25 скважинами предварительной и 30 скважинами детальной разведки; в 23 скважинах определено содержание фосфора. Кроме того, на участке имеется 209 химических проб эксплуатационного опробования с замерами в них мощности пласта и содержания марганца, из которых в 104 выполнены химические анализы на фосфор. Уровень содержания фосфора для данного участка колеблется в пределах 0,051—0,27 % при среднем значении 0,142 %. Пробы на фосфор распределены по участку неравномерно, располагаясь главным образом вдоль капитальных горных выработок (рис. 15.5). Это сильно усложняет геометризацию фосфоронасности по измеренным значениям содержания и в некоторых случаях делает ее невозможной.

Для построения прогнозной зависимости были использованы данные о рудном пласте и вмещающих породах по 23 скважинам как наиболее полные: общая мощность пласта m , м; средневзвешенное содержание марганца Mn , %; содержание фосфора P , %; абсолютная отметка почвы рудного пласта z , м; мощность надрудных глин $m_{гг}$, м. Таким образом, ставилась задача отыскать вид и коэффициенты зависимости $P=f(m, Mn, z, m_{гг})$ и оценить точность прогноза по этой зависимости.

Разделив имеющиеся скважины в соотношении 2 : 1 на обучающие и контролирующие точки (на первых зависимость строится, на вторых контролируется), на ЭВМ по алгоритму МГУА была получена зависимость

$$P = 0,0303 \frac{1}{m} + 0,0073 Mn - 0,00151 \frac{Mn}{m} - 0,017. \quad (15.16)$$

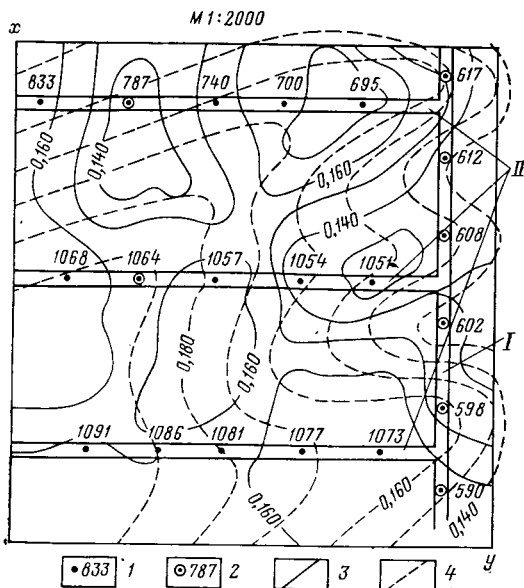


РИС. 15.5. План в изолиниях содержания фосфора в руде по участку шахты № 8 Марганецкого ГОКа:

1 — точки эксплуатационного опробования, в которых определялись только значения мощности пласта m (м) и содержания марганца Mn (%); 2 — точки эксплуатационного опробования, в которых измерялись мощность (м), содержание марганца Mn (%) и фосфора P (%); 3 — изолинии вычисленных значений содержания фосфора $P_{\text{выч}}$ %; 4 — изолинии измеренных значений содержания фосфора $P_{\text{изм}}$; I, II — штреки

Найденная на контрольных точках ошибка прогноза (15.9) составила $\pm 0,016$ % по абсолютной величине при стандарте измеренных значений содержания фосфора $\sigma = \pm 0,038$ %. Общее среднее квадратическое отклонение (15.9), вычисленное по всем 23 скважинам, составило $\pm 0,023$ %, что дает величину корреляционного отношения зависимости (15.16) $\eta = 0,8$. Полученная величина δ уравнения (15.16) оказалась минимальной среди других найденных ЭВМ уравнений, где в качестве аргументов присутствовали значения z , $1/Mn$, m и др. Мощность надрудных глин $m_{\text{гл}}$ не участвовала ни в одной из предложенных ЭВМ зависимостей, что свидетельствует об отсутствии связи этого аргумента с содержанием фосфора.

Вид зависимости (15.16) представлен на рис. 15.6. График позволяет сделать вывод,

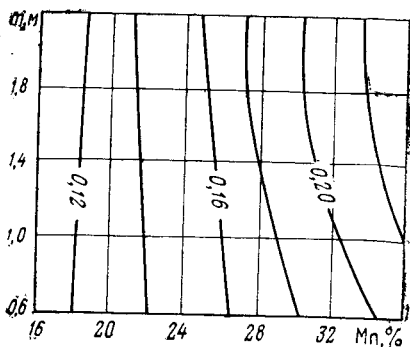


РИС. 15.6. Вид уравнения (15.16) для определения содержания фосфора в руде в зависимости от мощности пласта m (м) и содержания марганца Mn (%)

что уровень P определяет главным образом содержание марганца. Подтверждением этому является и анализ вкладов аргументов уравнения (15.16) в математическое ожидание прогнозируемой величины в % по методу «стандартизованных» аргументов:

$$\frac{1}{m} (+16,2 \ %); \quad Mп (+103 \ %); \quad \frac{Mп}{m} (-19,2 \ %).$$

Аналогично распределились и вклады в дисперсию P (ошибку прогноза):

$$Mп (66,1 \ %); \quad \frac{1}{m} (26,4 \ %); \quad \frac{Mп}{m} (7,5 \ %).$$

Прогнозирующие свойства уравнения были исследованы на экзаменационных точках, принадлежащих данному участку, но не использовавшихся при построении этого уравнения. Такими были точки эксплуатационного опробования, в части которых наряду с измерением m и $Mп$ были измерены значения содержания фосфора. Результаты такого контроля приведены в табл. 15.2. Среднее квадратическое отклонение, вычисленное по экзаменационным точкам, составило $\pm 0,018 \ %$ при стандарте измеренных значений P , равном $\pm 0,024 \ %$. Техническая погрешность анализа содержания фосфора в условиях Марганецкого ГОКа лежит в пределах $\pm 0,015 \ %$. Таким образом, ис-

ТАБЛИЦА 15.2

№ пробы	Измеренные значения			Вычисленное содержание фосфора, %	Отклонения измеренных от вычисленных содержаний фосфора, %
	мощность пласта, м	содержание марганца, %	содержание фосфора, %		
833	0,7	24,79	—	0,163	—
787	0,7	21,71	0,152	0,138	+0,014
740	0,9	23,57	—	0,158	—
700	0,9	25,49	—	0,169	—
695	0,8	26,69	—	0,175	—
1068	0,6	26,03	—	0,167	—
1064	0,8	24,62	0,192	0,154	+0,038
1057	0,9	24,59	—	0,164	—
1054	1,0	20,06	—	0,139	—
1051	0,9	18,51	—	0,130	—
1091	0,95	22,00	—	0,150	—
1086	0,75	23,94	—	0,159	—
1081	0,7	23,26	—	0,155	—
1077	0,7	25,19	—	0,165	—
1073	0,8	24,12	—	0,161	—
617	1,0	23,50	0,162	0,150	+0,012
612	1,0	20,26	0,130	0,131	—0,001
608	1,0	20,18	0,145	0,130	+0,015
602	0,9	22,59	0,127	0,144	—0,017
598	0,9	23,54	0,166	0,149	+0,023
590	0,9	26,31	0,150	0,165	—0,005
633	0,9	17,91	0,123	0,118	+0,005

пользуя уравнение, построенное по данным детальной разведки, для прогнозирования содержания фосфора на основе данных эксплуатации, получены приемлемые для практических целей погрешности. Это позволяет вычислить по уравнению (15.16) содержание фосфора во всех точках эксплуатационного опробования и по ним построить горно-геометрический план в изолиниях $P_{\text{выч}}$ по всему опробованному участку (см. рис. 15.8).

Как видно из рисунка, детальность топографической поверхности $P_{\text{вып}}$ выше топографической поверхности измеренных значений $P_{\text{изм}}$. Если учесть к тому же неудобное для геометризации участка расположение точек измерения величины P главным образом вдоль оси горной выработки, то более высокая надежность топографической поверхности $P_{\text{выч}}$ по сравнению с $P_{\text{изм}}$ несомненна.

Найденная прогнозная зависимость (15.16) имеет достаточную надежность в данных горно-геологических условиях. При использовании ее в других условиях погрешность прогноза может возрасти; в этом случае необходимо построить новую зависимость по алгоритму МГУА, используя другую исходную информацию.

ГЛАВА 16

ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ В РЕЖИМЕ УСРЕДНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

§ 1. Общие сведения и исходные данные

Производство товарной продукции в горнодобывающей промышленности, как и в любой отрасли народного хозяйства, должно осуществляться на основе научно разработанного плана.

Повышение требований к качеству продукции и ее стабильности приводит к тому, что потребители металла повышают требования к металлургическому переделу, металлурги — к качеству и стабильности концентрата, обогатители — к однородности качества руды. Колебания показателей качества руды вызывают потери производительности и снижение извлечения качества продукта, увеличение расхода реагентов и непроизводительные затраты электроэнергии.

Степень усреднения и допустимые колебания устанавливаются в результате сопоставления технологического и экономического эффекта от усреднения и затрат на усреднение. Затраты на мероприятия по усреднению руды окупаются за 2—3 года.

Усреднение руды может производиться различными методами, например: путем управления качеством руды в процессе горных работ; на рудничном усреднительном (сортовом или смесительном) складе — смесителе; с помощью склада на колесах и рудничной горки; на фабричном усреднитель-

ном складе; усреднение измельченной руды и промежуточных продуктов в жидкой фазе.

В связи с тем что информация об изменении в рудопотоке показателей качества руды поступает с опозданием и не может быть эффективно использована для управления процессом, все большее значение придается планированию горных работ в режиме усреднения на основе геометризации месторождения.

От того, насколько правильно будет решен вопрос планирования добычи с заданным содержанием компонента (предварительного усреднения) на этапах проектирования и эксплуатации зависит степень однородности состава сырья при добыче и соответственно размер затрат по усреднению на последующих его этапах (промежуточных складах, фабриках, заводах).

Поэтому правильное, строго научное планирование добычи на всех этапах и предварительное усреднение руд — это одна из основных экономических сторон деятельности горного предприятия.

Целью планирования горнодобычных работ является обеспечение: правильного и рационального проектирования разработки месторождения полезного ископаемого; ритмичной добычи полезного ископаемого с наименьшими потерями полезных компонентов; однородности рудного сырья по физико-химическим свойствам и стабилизации их во времени в процессе добычи; оптимального режима добычных работ и перерабатывающих цехов (дробильных установок, обогащительных, агломерационных и окомковательных фабрик, доменных печей).

Методика планирования горно-подготовительных и вскрышных работ, неснижаемых переходящих остатков вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезного ископаемого, буровых работ и других процессов, тесно связанных с планированием добычи полезного ископаемого, рассматривается в специальных курсах маркшейдерского и горного дела.

Для различных этапов и видов планирования добычи полезного ископаемого с заданным содержанием компонента число исходных данных и их виды являются также различными.

На этапе проектирования горного предприятия это будут данные детальной разведки (опробование по скважинам, шурфам, штольням и пр.).

На этапе эксплуатации для перспективного планирования это будут данные детальной и эксплуатационной разведки, для текущего планирования к первым двум источникам исходных данных добавляются данные опробования взрывных скважин, заполняющих сеть эксплуатационной разведки, и непосредственно забойного опробования бороздами, штутами и т. д., а также геологические зарисовки забоев. Кроме того,

на обоих этапах необходимо особо выделять данные технологического опробования.

Планирование с учетом технологических свойств полезного ископаемого является наряду с планированием по заданному содержанию компонента неременным условием правильной разработки месторождения и достижения максимального извлечения полезного компонента при переработке сырья. По указанным выше исходным данным готовят соответствующую документацию, включающую преимущественно графические материалы, которые и являются основой для планирования добычных работ с заданным содержанием компонента и определенными технологическими свойствами полезного ископаемого.

Графический материал для перспективного планирования составляют в масштабе 1:5000—1:2000, для текущего — 1:2000, 1:1000 и 1:500. Графики включают планы опробования (разведки) полезного ископаемого, гипсометрические планы кровли и почвы залежи, качественные и технологические планы в изолиниях средних содержаний показателей, специальные и производные планы с изолиниями коэффициентов, модулей, изомощностей, запасов и т. д., планы горных работ (сводно-совмещенные, погоризонтные), геологические разрезы. В приведенном перечне названа основная документация. Не исключено для каждого конкретных условий планирования построение дополнительной графической документации. Построению графиков предшествует статистическая и математическая обработка материалов разведки и опробования.

Соответственно условиям залегания рудного тела и принятого способа разработки указанные графики и планы могут выполняться в проекциях на горизонтальную, вертикальную и наклонную плоскости, либо вопрос может решаться на объемных графиках. На планы, графики и разрезы наносят разведенные тектонические нарушения.

Цифровыми исходными данными для планирования на этапе проектирования служат: заданный уровень показателей по маркирующим полезным и вредным компонентам либо по их соотношениям, которые определяются на основе изучения месторождения полезного ископаемого и экономической целесообразности его переработки, а также заданный уровень добычи полезного ископаемого либо конечный объем товарной продукции исходя из его запасов и срока службы предприятия.

Эти же цифровые показатели при планировании на этапе эксплуатации рассчитываются согласно календарному графику отработки месторождения (планирования на этапе проектирования) и утверждаются в форме государственного плана по производству товарной продукции (руды, угля, концентрата) и ее качеству.

§ 2. Планирование на этапе проектирования

Планирование на этапе проектирования горнодобывающего предприятия представляет собой составление календарного плана-графика отработки по годам месторождения в целом либо части его на первые несколько лет.

Особое значение в горном деле имеет надежность предвидения горно-геологических условий для еще не разрабатываемого месторождения.

В качестве исходного материала для проектирования рациональной системы разработки месторождения, выбора оптимального направления развития горных работ с позиций усреднения рудной массы, наиболее полного использования недр и перерабатываемого добытое полезное ископаемое комплекса служат структурные, качественные и технологические планы и другие графики.

Проектирование разработки месторождений без выявления основных закономерностей размещения свойств полезного ископаемого приводит к изменению направлений отработки месторождения в период эксплуатации, изменению стабильности содержания компонентов в добываемой руде по годам, нарушению режима работы перерабатывающих цехов, необоснованным потерям полезных компонентов в недрах и шлаках обогатительных фабрик. Все это отрицательно сказывается на экономике производства и использовании недр.

Методика построения горно-геометрических графиков свойств залежи, служащих основой планирования, изложена в предыдущих разделах учебника.

Пример построения технологических планов залежи, выявляющих размещение сортов или типов руд, без которых невозможно предусмотреть обеспечение стабильности процесса рудоподготовки в течение длительного времени при последующей эксплуатации.

Составление технологических планов. В качестве примера приведено одно из криворожских месторождений бедных железистых кварцитов, которые после добычи в карьере поступают на магнитообогатительную фабрику.

В зависимости от вещественного состава и физико-механических свойств руды имеют отличные друг от друга качественные и технологические показатели и требуют соответствующих методов обогащения.

От выделения типов руд по вещественному составу в пространстве залежи зависят режим работы обогатительной фабрики, экономические показатели предприятия, так как питание мельниц должно осуществляться рудой со строгим соотношением железосодержащих минералов.

Важное значение в оценке железных магнетитовых руд для обогащения имеет содержание основного рудного минерала — магнетита или содержание железа, связанного с ним. Классифицируются руды данного месторождения по относительному содержанию железа, связанного с магнетитом (магнетитовому модулю):

$Fe_{\text{маг}}$ — железо, связанное с магнетитом

$$\frac{Fe_{\text{маг}}}{Fe_p} = \eta.$$

Fe_p — железо растворимое, содержащееся в руде

Рудное тело (железистый горизонт $K_2^{\text{ж}}$) полого погружается на север под углом 20—25°. Мощность горизонта меняется от 50—180 м на крыльях до 200—220 м в шарнирах складок. Месторождение разведано пятью про-

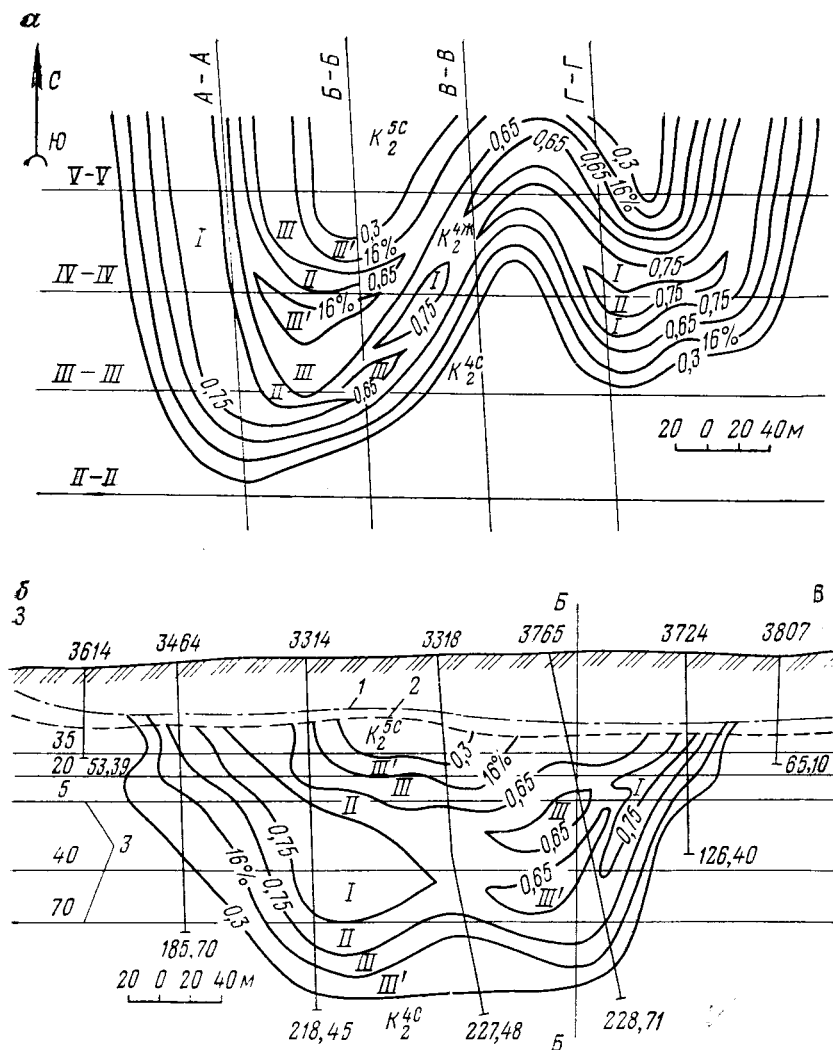


РИС. 16.1. Распределение типов руд (показано в разрезе):
 а — план; б — разрез

филями с расстояниями между ними по 200 м и между скважинами в профилях — 100 м.

Геологической службой установлено, что продуктивная неокисленная толща железистого горизонта сложена тремя природными типами руд. Распределение железа между ними и относительное содержание магнетита определяют качественные отличия типов друг от друга: $\eta > 0,75$ — I тип, $\eta = 0,75-0,65$ — II тип, $\eta < 0,65$ — III тип, $\eta > 0,3$ до $\text{Fe} = 16\%$ — III'* (см. рис. 16.1).

* Выделение типа III' обусловлено экономически выгодным пределом обогащения по содержанию $\text{Fe}_{\text{маг}} = 16\%$.

Вначале по всем точкам опробования скважин детальной разведки определяют магнетитовый модуль и выносят на вертикальную проекцию скважины в виде полигональной кривой. Далее производят сглаживание полигональных кривых статистическим «окном». Точки сглаженной кривой относительных содержаний, соответствующие значениям границ между типами руд, сносят на ось скважины. Таким образом, по каждой скважине детальной разведки строят колонки распределения типов руд на весь интервал пересечения рудной толщи.

Составление плана размещения технологических типов руд начинают с построения продольных по линиям с II—II, ..., V—V и поперечных по линиям А—А, ..., Г—Г разрезов на всю мощность железистого горизонта. При построении разрезов учитывают азимутальное и зенитное искривления скважин разведки. Разрезы обычно приурочивают к разведочным линиям.

На рис. 16.1 показан план (а) и продольный разрез (б) залежи.

На профиль с нанесенными вертикальными проекциями скважин наносят значения магнетитового модуля, соответствующие границам типов руд I—III'. Одноименные значения соединяют плавными линиями, повторяющими структуру месторождения. Продольные разрезы приурочивают к перегибам складов и отстраивают по поперечным разрезам.

Для выявления геометрии изменения соотношения типов руд на глубину строят технологические планы в горизонтальных сечениях, приуроченных к уступам отработки.

Для построения на плоскость чертежа выносят оси продольных и поперечных разрезов, по которым разносят точки пересечения плоскости горизонта с границами технологических типов руд.

Комплекс разрезов и погоризонтных технологических планов дает возможность произвести горно-геологический анализ месторождения, изучить его с точки зрения размещения полезных компонентов, типов руд, производить практические расчеты по планированию горных работ в целях рациональной разработки залежи и рационального снабжения перерабатывающих цехов рудным сырьем.

Поуступное сравнение площадей (табл. 16.1), соответствующих распространению типов руд, позволяет определить изменение их запасов в месторождении с глубиной, а также отстраивать оптимальный вариант календарного плана-графика отработки залежи с учетом заданного содержания компонентов на этапе проектирования горно-обоганительного предприятия, применяя ЭВМ.

Подсчет запасов руд по типам дает возможность оценить месторождение (в период проектирования) с точки зрения

ТАБЛИЦА 16.1

Горизонт, м	Площадь обработки по типам руд, тыс. м ² (%)			
	I	II	III	III'
+5	106,6 (25,25)	131,2 (31,09)	85,9 (20,35)	98,4 (23,31)
—40	135,3 (28,71)	118,6 (25,16)	116,0 (24,61)	101,4 (21,52)
—70	120,8 (28,58)	115,7 (27,36)	109,4 (25,88)	76,8 (18,18)

применения способов обогащения на проектируемом предприятии, а также выявить периоды возможного изменения среднего содержания полезного компонента в процессе его дальнейшей эксплуатации.

§ 3. Перспективное и текущее планирование добычи на этапе эксплуатации

В период эксплуатации месторождения производят *перспективное и текущее* планирование горных работ.

Основой их, как и на этапе проектирования горного предприятия, является комплекс горно-геометрических графиков.

Количество исходных данных для планирования на этапе эксплуатации увеличивается, сгущается сеть разведочных скважин, отбираются забойные пробы. Массовое опробование на отработанных участках месторождения позволяет установить геометрию размещения свойств в пространстве залежи, выявить закономерности их изменения и экстраполировать на нижележащие горизонты. Все это повышает точность и достоверность планирования.

Перспективное планирование добычи полезного ископаемого используется, как правило, при составлении прогнозных планов развития добычных работ на квартал, полугодие, год, три, пять и более лет.

Согласно положению, эксплуатационная разведка должна опережать очистные работы на 2—3 года, поэтому степень достоверности и точности перспективных планов выше, чем календарного планирования при проектировании. Они его уточняют и детализируют.

От правильно запланированного развития горных работ, учитывающего размещение качества и сортность руды в недрах, зависит рациональная разработка месторождения с минимальными потерями и разубоживанием полезного ископаемого. Обогащительные, агломерационные, окомковательные фабрики и доменные печи приспособлены к переработке однородного сырья и не приспособлены к частому изменению режима работы. Поэтому необходимо как можно более длительно подавать однородное сырье, а это всецело зависит от правильно запланированной программы развития горных работ.

Качество и технологические показатели полезного ископаемого не остаются постоянными на площади распространения месторождения. Они обычно меняются по числу и степени проявления. Правильный учет этих факторов, установление зон и участков проявления каждого из них имеет исключительно большое практическое значение для перспективного планирования.

Рассмотренные выше технологические планы типов руд железистых кварцитов дают ясную картину в размещении

зон и участков, характерных различной обогатимостью, т. е. различными технологическими показателями (v — выходом концентрата; β , γ — соответственно содержанием полезного компонента в концентрате и в шламах обогатительной фабрики; ε — извлечением полезного компонента). Построение этих же планов для перспективного планирования на 3—5 лет и более осуществляется таким же образом, только на основе более детализированных разведочных данных.

Из этих планов следует, что при планировании добычи руды по типам в определенных пропорциях необходимо располагать забои экскаваторов в направлении вкрест простирания залежи, т. е. перпендикулярно к простиранию крыльев складки. В этом случае месторождение можно отрабатывать планомерно, строго дозируя в определенной пропорции подачу руды по типам и соответственно по количеству полезного компонента.

Ежегодно на шахтах и карьерах составляются годовые программы горных работ, на основании которых утверждаются плановые показатели деятельности предприятия.

Одним из важнейших элементов программы горных работ является установление не только средних значений, но и размещение их в пространстве залежи, в данном случае в контурах годовой отработки.

Это необходимо не только для правильного определения количества руды и концентрата с заданным качеством, но и для правильного планирования развития горных работ в целях равномерного снабжения перерабатывающих цехов рудой определенного состава, в целях выбора наивыгоднейших схем развития очистных работ, транспортных схем и т. д., в целях сокращения потерь и снижения разубоживания.

Для перспективного планирования на год, полугодие, квартал используются как прогнозные технологические планы типов руд, так и качественные горно-геометрические планы в изолиниях средних содержаний. В контурах годовой отработки (примерный объем добычи сырья известен) геологической службой рудника оконтуриваются блоки примерно равного среднего значения по скважинам и пробам, входящим в контур блока того или иного показателя.

Далее определяют среднее значение показателя в каждом блоке и среднее из всех блоков, слагающих годовой контур.

Планирование годовой программы добычных работ осуществляют по данным эксплуатационной разведки, без заполняющих ее и в большинстве опробуемых взрывных скважин. При интенсивной отработке месторождения не всегда удается выдержать принятые параметры разведочной сети. Поэтому остаются участки, которые либо вовсе не имеют разведочных скважин, либо имеют их, но недостаточно. В таких случаях на эти участки распространяют влияние соседние значения

показателя, а также значения показателя на отработанных участках верхнего горизонта и т. д.

В качестве примера рассмотрим планирование добычи руды в карьере путем выбора соответствующих участков, обеспечивающих заданные качественные и технологические показатели.

Пример перспективного планирования добычи руды по железу магнетита $Fe_{\text{маг}}$. Для составления расчетного плана по графику размещения $Fe_{\text{маг}}$ в изолиниях средних содержаний от положения очистных работ на начало планируемого периода (года) отстраивают контуры участков квартальной добычи соответственно заданному годовому объему, определяемому мощностью карьера и обогатительной фабрики.

Составление расчетного плана на периоды (квартал, полугодие, год и более) следует производить на планах масштаба 1:2000 (для современных крупных горных предприятий), сечение горизонталей принимать исходя из масштаба плана, сложности гипсометрии, изменчивости показателя, требований технологии.

После отстройки квартальных объемов добычи руды с учетом размещения в пространстве залежи полезного компонента и общего развития горных работ приступают к определению средневзвешенного значения показателя по квартальным участкам (блокам) и в годовом контуре в целом по формулам среднего взвешенного:

по 1-му блоку:

$$F'_{\text{ср}} = \frac{S'_1 Fe'_1 + S'_2 Fe'_2 + \dots + S'_n Fe'_n}{S'_1 + S'_2 + \dots + S'_n}; \quad Fe'_{\text{ср}} = \frac{[S' Fe']}{[S']};$$

по 2-му блоку:

$$Fe''_{\text{ср}} = \frac{S''_1 Fe''_1 + S''_2 Fe''_2 + \dots + S''_n Fe''_n}{S''_1 + S''_2 + \dots + S''_n}; \quad Fe''_{\text{ср}} = \frac{[S'' Fe'']}{[S'']};$$

.....

по m -му блоку:

$$Fe^m_{\text{ср}} = \frac{S^m_1 Fe^m_1 + S^m_2 Fe^m_2 + \dots + S^m_n Fe^m_n}{S^m_1 + S^m_2 + \dots + S^m_n}; \quad Fe^m_{\text{ср}} = \frac{[S^m Fe^m]}{[S^m]};$$

(16.1)

где $S'_n, S''_n, \dots, S^m_n$ — элементарные площадки в блоках, ограниченные двумя соседними изолиниями и границами блока, m^2 (определяются планиметром или линейкой, приравнивая к равновеликим правильным геометрическим фигурам); $Fe'_1, Fe'_2, \dots, Fe^m_n$ — средние значения показателя, соответствующие элементарным участкам в блоках, %; $Fe'_{\text{ср}}, Fe''_{\text{ср}}, \dots, Fe^m_{\text{ср}}$ — средневзвешенные значения показателя в блоках, %; n — число элементарных площадок в блоке; m — число блоков.

Далее определяют средневзвешенное значение показателя из всех блоков, т. е. в общей руде, подаваемой на обогатительную фабрику. Весом каждого среднего по блоку будет выражение $S^m Fe^m$, т. е. сумма произведений элементарных площадей и значений показателя по каждому блоку.

Тогда:

$$Fe_{cp} = \frac{Fe'_{cp} [S' Fe'] + Fe''_{cp} [S'' Fe''] + \dots + Fe^m_{cp} [S^m Fe^m]}{[S' Fe'] + [S'' Fe''] + \dots + [S^m Fe^m]};$$

$$Fe_{cp} = \frac{[Fe^m_{cp} [S^m Fe^m]]}{[S^m Fe^m]} \quad (16.2)$$

Таким образом, выражения (16.1) и (16.2) дают возможность получать средневзвешенные значения показателя как внутри квартальных участков, так и внутри годового контура отработки. Порядок определения средневзвешенных значений показателя может быть и обратным — от годового контура к квартальному.

Полученные средние значения показателя указывают, соответствует ли общее среднее значение запланированному, необходимо ли менять запланированные контуры отработки и в каком направлении, необходимо ли увеличивать объем добычи ввиду низкого качества руды или уменьшать его при наличии высокого качества.

Принятый за основу для планирования добычных работ график в изолиниях средних содержаний показателя позволяет обоснованно изменять направление добычных и горных работ.

При системе разработки с вывозкой руды в промежуточные усреднительные склады предлагаемая методика перспективного планирования не теряет своего значения и актуальности.

Пример составления расчетного плана по графику размещения Fe_{mag} на месяц (для упрощения расчетов) в конкретных условиях.

Условие: На добычном уступе железорудного карьера работают два экскаватора производительностью по 40 тыс. м³/мес сырой руды каждый ($q_1 = q_2 = 40$ тыс. м³/мес.). Высота рудного уступа $H = 15$ м. Ширина заходки экскаватора $l = 18$ м. Вывозка руды на обогатительную фабрику осуществляется железнодорожным транспортом.

Имеется план рудного уступа в масштабе 1:2000 с изолиниями средних содержаний магнетитового железа (Fe_{mag}) сечением через 2% (рис. 16.2) (пунктиром обозначены изолинии магнетитового железа отработанной части уступа).

Требуется при составлении месячного плана добычных работ так расположить экскаваторы на рудном уступе, чтобы среднее содержание Fe_{mag} в руде, поданной в течение месяца из забоев на обогатительную фабрику, равнялось $23,5 \pm 0,7\%$.

Площадь месячной заходки экскаватора

$$S = q/H. \quad (16.3)$$

Длина месячной заходки экскаватора

$$L = S/l. \quad (16.4)$$

Исходя из полученных размеров заходок, их располагают вдоль фронта очистных работ и вглубь рудного уступа таким образом, чтобы вынутая из блоков 1 и 2 руда имела среднее содержание, равное заданному $\pm 0,7\%$. На рис. 16.2 показано размещение заходок применительно к вывозке руды железнодорожным транспортом. В случае вывозки руды автомобильным транспортом расположение может быть и иным, но в направлении, согласующемся с общим развитием горных работ.

Вначале, ориентируясь по изолиниям средних содержаний, блоки располагают на глаз, затем, производя соответствующие расчеты, смещают тот или иной блок. Если полученный результат не удовлетворяет заданным условиям, подсчет повторяют.

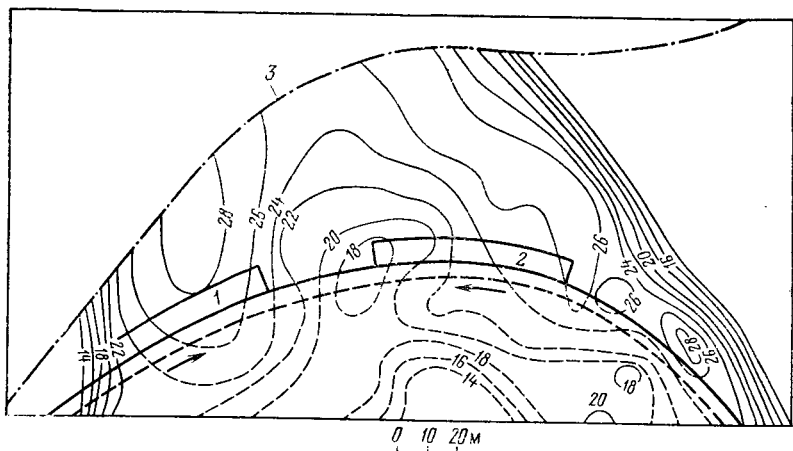


РИС. 16.2. План размещения технологических типов руд по уступу Ново-Криворожского месторождения:

1 — блок № 1; 2 — блок № 2; 3 — граница горизонта

Применение измерительной электроники, оборудованной фотоэлектрическим обмеривающим устройством (преобразование горизонталей в числовые данные на ленте), и вычислительных машин облегчает подсчеты и позволяет рассчитывать несколько вариантов с небольшой затратой времени.

В зависимости от распределения компонента в пространстве залежи (конфигурации изолиний) и положения фронта очистных работ рекомендуются выемочные блоки и направления их отработки (на рис. 16.2 оно обозначено стрелками) располагать так, чтобы в одном блоке производилась выемка бедных разностей, а в другом — богатых.

Используя формулы (16.3), (16.4), (16.1) и (16.2), для нашего примера получим:

$$1) S_1 = S_2 = 40\,000/15 = 2666 \text{ м}^2;$$

$$2) L_1 = L_2 = 2666/18 = 148 \text{ м};$$

3) по 1-му блоку:

$$\begin{aligned} \text{Fe}_{\text{ср}}' &= \frac{17 \cdot 30 + 19 \cdot 118 + 21 \cdot 154 + 23 \cdot 280 + 25 \cdot 406 + 26,5 \cdot 442 + \\ &\quad + 27,3 \cdot 694 + 26,5 \cdot 298 + 25,3 \cdot 244}{30 + 118 + 154 + 280 + 406 + 442 + 694 + 298 + 244} = \\ &= \frac{67305,4}{2666} = 25,2 \text{ \%}; \end{aligned}$$

по 2-му блоку:

$$\begin{aligned} \text{Fe}_{\text{ср}}'' &= \frac{18 \cdot 338 + 19 \cdot 638 + 21 \cdot 306 + 23 \cdot 540 + 25 \cdot 764 + 26,2 \cdot 80}{338 + 638 + 306 + 540 + 764 + 80} = \\ &= \frac{58248,0}{2666} = 21,8 \text{ \%}. \end{aligned}$$

Среднее по двум блокам:

$$\text{Fe}_{\text{ср}} = \frac{25,246 \cdot 67305,4 + 21,849 \cdot 58248,0}{67305,4 + 58248,0} = 23,6 \text{ \%}.$$

Полученное среднее значение из двух блоков удовлетворяет поставленным условиям.

Пример перспективного планирования добычи руды по выходу концентрата γ (см. рис. 16.3). Получение концентрата характеризуется существенным показателем — выходом концентрата, который представляет собой выражение количества концентрата в процентах по отношению к общей, подаваемой на фабрику руде. Выход концентрата зависит от свойства и качества руды. В различных участках месторождения он будет различным ввиду изменения свойств и качества, собственных различным типам руд.

Показатели обогащения предварительно определяются магнитным анализом проб руды, отобранных в карьере по скважинам.

Производственной программой на каждый год планируется содержание железа в концентрате β , выход концентрата γ , содержание железа в шлаках ν .

Определив выход концентрата при заданном содержании железа в нем, устанавливают его в качестве планового на отчетный период времени. Подаваемая на обогатительную фабрику руда из различных забоев должна удовлетворять намеченному выходу и соответственно плановому содержанию железа в концентрате.

Математическая зависимость, из которой определяют планируемый выход при заданном содержании железа в концентрате;

$$\gamma_{\phi} = \frac{\text{Fe} - \nu}{\beta_{\phi} - \nu} 100 \%, \quad (16.5)$$

где Fe — исходное железо в массиве, %; ν — содержание железа в шлаках фабрики, %; β_{ϕ} — содержание железа в концентрате по фабрике, %; γ_{ϕ} — выход концентрата по фабрике, %. Приведенной зависимостью пользуются при установлении планового выхода концентрата по фабрике.

На руднике, имеющем в различных точках различные технологические показатели, пользуются упрощенной зависимостью, предусматривающей пересчет истинного выхода концентрата к приведенному при заданном содержании железа в концентрате по фабрике:

$$\gamma\beta = \gamma'\beta_{\phi}; \quad (16.6)$$

$$\gamma' = \gamma\beta/\beta_{\phi}. \quad (16.7)$$

где γ — выход концентрата по данным анализа проб, отобранных в карьере, %; β — содержание железа в концентрате по данным анализа проб, отобранных в карьере, %; γ' — выход концентрата, получаемый из руды при заданном содержании железа в концентрате по фабрике, %; в любой точке залежи он будет различен, так как везде различен истинный выход.

Показатели γ и β условно назовем истинными, т. е. такими, которые характерны для определенного участка залежи.

В практике определение выхода концентрата руды, отправляемой на фабрику, производят следующим образом: в контурах участка рудного уступа выбирают по скважинам, попадающим в контур, значения показателя и усредняют методом среднеарифметического, затем, подставляя полученные средние значения, а также заданное содержание железа в концентрате по фабрике в формулу (16.7), получают выход концентрата, приведенный к заданному содержанию железа в концентрате.

Приведем численный пример пересчета. Истинные значения на участке равны: $\gamma=41\%$, $\beta=65\%$ и $\beta_{\phi}=60,5\%$ (задано); тогда, воспользовавшись формулой (7), получим: $\gamma'=(41 \times 65) : 60,5=44\%$, т. е. данный участок при пересчете на содержание железа $60,5\%$ имеет выход концентрата уже не 41 , а 44% .

Если экскаваторов в рудных забоях несколько, то дозировку различных по своим свойствам руд составляют так, чтобы для фабрики выдерживались запланированные выход концентрата и содержание железа в нем. Но такой метод не дает наглядного представления о распределении указанных свойств в рудной залежи. Выведенная средняя по блоку (участку) не отражает из-

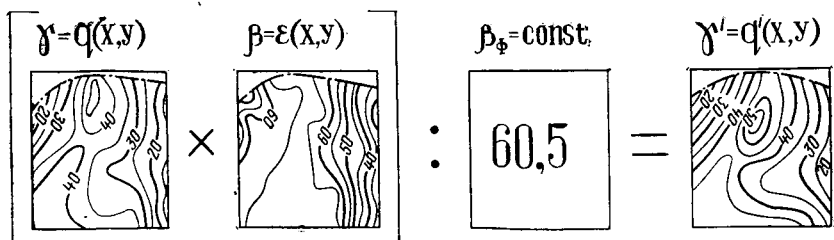


РИС. 16.3. Построение плана выхода концентрата с помощью математических действий с топографическими поверхностями

менение показателя внутри блока. Как указывалось ранее, возможны участки, не опробованные скважинами и, следовательно, не имеющие данных для пересчета. Далее в каждом конкретном случае необходимо каждый раз производить выборку и делать пересчет.

В сложившихся условиях все перечисленные неудобства и недостатки легко устраняются применением геометризации указанных свойств. Результирующий график выхода концентрата, приведенного к заданному содержанию железа в концентрате, получают путем математических действий с топографическими поверхностями. В основу положена формула (16.7).

Рассматриваемые свойства γ и β (истинные) являются функциями вида $P=f(x, y, z)$ и удовлетворяют условиям конечности, однозначности, непрерывности и плавности. Значение же β_f принимается как некоторая постоянная заданная величина (в описываемом примере плановое содержание железа в концентрате равно 60,5 %).

Полученный в результате математических операций с топографическими (умножения и деления) график является производной топоповерхностью, соответствующей размещению приведенного выхода концентрата к заданному содержанию железа в нем (рис. 16.3).

Основными же являются графики, построенные по истинным значениям γ и β . Они характеризуют месторождение и являются основой для любых других производных графиков.

Перспективное планирование добычи руды по выходу концентрата (по графику γ') производят аналогично рассмотренному планированию по железу магнетита.

Пример составления расчетного плана по графику размещения выхода концентрата, приведенного к заданному содержанию железа в концентрате (рис. 16.4).

Условие:

$$\begin{aligned} q_1 = q_2 &= 36 \text{ тыс. м}^3; & \beta_f &= 60,5 \% \\ S_1 = S_2 &= 2333 \text{ м}^2; & \gamma_{\text{ср}} &= 39,0 \%. \end{aligned}$$

$$H = 5 \text{ м}; l = 18 \text{ м}.$$

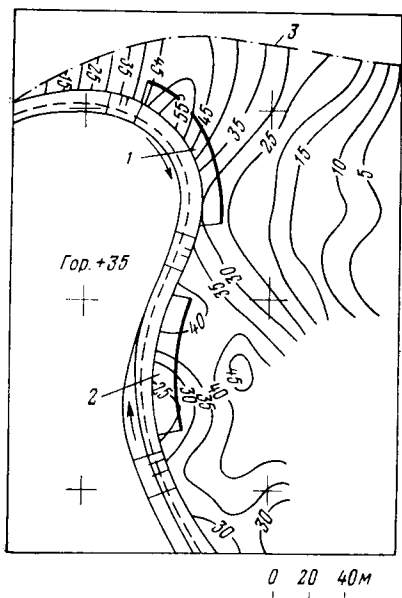


РИС. 16.4. План горных работ горизонта +35 м с изолиниями выхода концентрата:

1 — блок № 1; 2 — блок № 2; 3 — граница горизонта

По аналогии (16.1) и (16.2) запишем:

$$\gamma_{\text{ср}}^m = [S^m \gamma^m] / [S^m]; \quad (16.8)$$

$$\gamma_{\text{ср}} = [\gamma_{\text{ср}}^m [S^m \gamma^m]] / [S^m \gamma^m]. \quad (16.9)$$

Произведя вычисления, получим

$$\gamma'_{\text{ср}} = 44,7 \%; \quad \gamma''_{\text{ср}} = 31,7 \%;$$

$$\gamma_{\text{ср}} = 39,3 \%,$$

что удовлетворяет поставленной задаче.

Если же будет поставлено условие получения определенного количества концентрата за отчетный период, то могут быть уменьшены или увеличены объемы блоков. В соответствии с этим решается вопрос о числе экскаваторов, необходимых для выемки расчетного количества руды, о системах подъезда транспорта, о направлении развития горных работ и т. д.

Достоинство расчетных планов по графикам γ' состоит еще в том, что они наглядно связывают показатели обогащения с развитием и планированием горных работ. Это дает возможность заранее ориентироваться на сырье, которое будет поступать на фабрику, и соответственно отстраивать режим работы фабрики на переработку больших объемов руды с низким выходом или меньших объемов с высоким выходом и т. д., необходимых для получения заданного количества концентрата при заданном содержании железа в нем, либо планировать добычные работы соответственно заданным показателям, чтобы режим переработки был постоянным.

В изложенном примере, так же как и в предыдущем, для производства расчетов и выбора оптимального варианта планирования необходимо применять ЭВМ.

Текущее планирование добычи с заданным содержанием компонента исходит из перспективного, является его уточнением, конкретизацией на месте. При этом по наличию более детальной информации о месторождении исправляют неточности, допущенные при долгосрочном планировании. Основой его является составление месячных, недельных и ежедневных шихтовочных планов, которые составляются геологической службой горного предприятия по данным геологиче-

ских качественных планов, массового опробования и непосредственного осмотра рудного забоя. В плане работ на месяц детально определяют блоки для добычи, их качественную характеристику и экскаваторы, которые должны работать в этих блоках.

Ввиду того что на современных крупных карьерах и шахтах всегда в наличии большие (2—3-месячные) запасы взорванной рудной массы, использование качественных горно-геометрических планов для текущего планирования добычи руды с определенным содержанием является затруднительным.

Исключение составляют месторождения угля, где в основном отрабатываемый из целика уголь в течение смены (суток) отправляется непосредственно потребителю или на переработку, а также месторождения железной руды (типа руд Керченского полуострова) и других полезных ископаемых, в основном рыхлых, добываемых непосредственно из целика без применения массовых взрывов. На этих месторождениях возможно осуществление текущего планирования добычи с заданным содержанием компонента непосредственно по горно-геометрическим графикам размещения полезного компонента по изложенной выше методике.

Для обеспечения месячного плана составляют недельно-суточные графики добычи руды (н. с. г.) или графики-заявки на сутки. Подробность графика зависит от изменчивости основного компонента в добываемой руде.

Основными материалами, по которым планируют текущую добычу полезного ископаемого, являются маркшейдерские планы горных работ, качественные и технологические планы эксплуатационных горизонтов, разрезы в крупных масштабах (1:1000, 1:500), составленные на основе документации по опробованию скважин детальной и эксплуатационной разведок и ежемесячно пополняемые данными опробования взрывных скважин, взорванной рудной массы и геологических зарисовок действующих забоев.

Планирование осуществляется геологической и маркшейдерской службами рудника, а контроль за его выполнением возлагается на отдел технического контроля, геологическую и диспетчерскую службы.

Недельно-суточные планы составляют с детальной разбивкой объемов, химического состава и технологических показателей по каждой минералогической разновидности в увязке их с определенным блоком, экскаватором.

Недельно-суточным графиком определяют объемы для каждого добычного блока (подземные работы), каждого экскаватора (открытые работы), для дробильно-сортировочных и дробильно-обогащительных фабрик по суткам и сменам, учитывая при этом время ремонта оборудования.

При составлении графика учитывают следующие факторы: выполнение плановых показателей по содержанию маркирую-

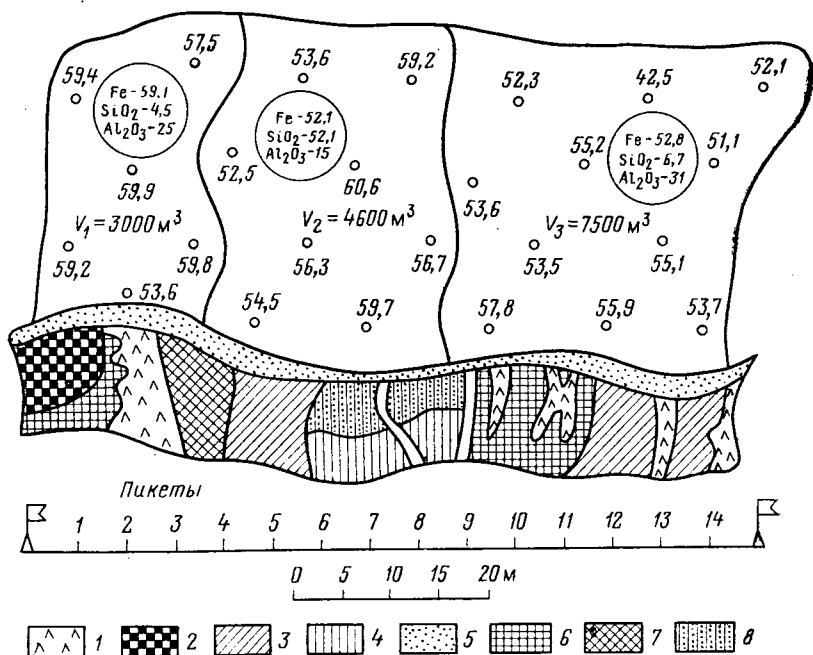


РИС. 16.5. План-карта забоя гор. +75 м Лебединского карьера:

1 — дайки; 2 — рыхлая руда; 3 — лимонито-мартитовые руды; 4 — рыхлая гематито-мартитовая руда; 5 — породы вскрыши; 6 — плотная сидерито-мартитовая руда; 7 — трещиноватая сидерито-мартитовая руда; 8 — трещиноватая гематито-мартитовая руда

щих полезных и вредных компонентов; обеспечение нормальной работы ДСФ или ЦОФ путем поставки оптимального количества руд различных разновидностей по технологическим свойствам; обеспечение планового выхода конечной (товарной продукции); соблюдение направлений добычных работ, предусмотренных месячной программой горных работ; проведение специальных работ по проходке траншей, зумпфов, подготовке площадок под бурение, производству массовых взрывов и т. д.; выполнение плана по вывозке попутных включений пустых пород; соблюдение заданной степени усреднения по маркирующим полезным и вредным компонентам.

Содержание основных компонентов определяют по каждому блоку, намечаемому к отработке по н. с. г., и затем среднее их значение на весь планируемый на неделю объем добычи руды.

На каждый эксплуатационный блок составляют план-карту (картограмму) с указанием качественной и технологической характеристик полезного ископаемого (рис. 16.5) объема блока V , выделением минералогических разновидностей (типов) руд, а также привязок геологических контактов (на открытых горных работах) к характерным местным предме-

там: стрелочным переводам, опорам контактной сети, опорам ЛЭП, автомобильным дорогам и т. д.

План-карту выдают на каждый экскаватор, работающий в данном блоке, а в наряде, согласно н. с. г., определяют объем добычи на смену.

Таким образом, устанавливают на каждые сутки, сколько и какого качества сырья должно быть добыто из того или иного блока или погружено тем или иным экскаватором.

Техническими условиями или инструкциями, действующими внутри предприятия, устанавливают для сырых руд допустимые колебания содержания компонента от заданной базы в течение смены или же ограничивается нижний предел его содержания. Если же в процессе добычи указанные пределы колебаний не выдерживаются, срочно производят пересчет графика по указанной выше методике. Применение ЭВМ позволяет в кратчайшие сроки производить необходимые расчеты, осуществляя оперативное управление производством в течение смены и суток.

В целях контроля за выполнением плана по качеству строят графики планируемого и фактически выполняемого содержания компонента по сменам или суткам. Это дает возможность регулировать добычу таким образом, чтобы выполнить месячный план по качеству.

Детальность текущего планирования определяется сложностью строения месторождения и, как указывалось, изменчивостью полезного ископаемого. Поэтому для различных сложности месторождений различным является минимальный по времени период оперативного (текущего) планирования и управления добычей полезного ископаемого (месяц, сутки, смена, час).

Использование корреляции между компонентами в перспективном и текущем планировании. Если распределение компонентов в залежи подчиняется нормальному закону и зависимости носят прямолинейный характер, то, определенные для массива (целика) полезного ископаемого, они сохраняются и в добытой массе (разрыхленной). В этом случае при планировании руд с корреляцией одной формы, но с различным содержанием компонентов и в различном качественном соотношении (из разных блоков) получают рудную массу, в которой установленные зависимости будут сохранены.

Пример расчета применительно к одному из железорудных месторождений Кривого Рога.

Для массива по данным опробования определены уравнения регрессии между маркирующими компонентами — магнетитовым железом ($Fe_{\text{маг}}$) и соответственно общим железом ($Fe_{\text{общ}}$), карбонатным железом ($Fe_{\text{карб}}$), а также выходом концентрата γ :

$$Fe_{\text{карб}} = 16,19 - 0,38 Fe_{\text{маг}}; \quad (16.10)$$

$$Fe_{\text{общ}} = 18,44 - 0,59 Fe_{\text{маг}}; \quad (16.11)$$

$$\gamma = 3,22 + 1,43 Fe_{\text{маг}}. \quad (16.12)$$

ТАБЛИЦА 16.2

Количество руд, тыс. т	Показатели железистых кварцитов, %										
	в рудном массиве (целике)					в рудной массе (разрыхленной)					
	Fe _{маг}	Fe _{карб}	Fe _{общ}	γ	Средневзвешенное Fe _{маг}	Fe _{карб}		Fe _{общ}		γ	
						средневзвешенное	по уравнению (10)	средневзвешенное	по уравнению (11)	средневзвешенное	по уравнению (12)
50	22,9	5,3	31,3	37,0	27,04	5,39	5,91	34,48	34,39	41,99	41,8
10	25,0	5,6	31,3	38,9							
5	17,5	10,3	28,6	30,5							
70	26,3	8,0	35,1	43,0							
	31,7	4,4	37,4	47,9							

В табл. 16.2 показано использование приведенных уравнений регрессии.

Как видно из табл. 16.2, где по средневзвешенному значению магнетита, исходя из уравнений (16.10), (16.11) и (16.12), получены значения $Fe_{\text{карб}}$, $Fe_{\text{общ}}$ и γ в рудной массе, которые практически равны значениям, вычисленным как средневзвешенное по тоннажу добычи из блоков. Поэтому планирование содержания компонентов в добытой рудной массе, имеющей прямолинейные зависимости между ними, достаточно проводить по маркирующему показателю ($Fe_{\text{маг}}$). Значения других показателей в рудной массе определяют из корреляции со значением маркирующего показателя.

Это освобождает работников геолого-маркшейдерской службы от многочисленных вычислений при составлении производственных годовых программ, а также при текущем планировании в период добычи.

§ 4. Применение ЭВМ при планировании добычи с заданным содержанием компонента

Применение ЭВМ при планировании добычи с заданным содержанием компонента стало необходимостью: сокращается непроизводительный механический вычислительный труд инженерно-технических работников, появляется возможность сравнения максимально возможного количества вариантов планирования и выбора в кратчайшие сроки оптимального из них, автоматизируется перспективное, текущее и оперативное планирование горных работ.

Сложные горно-геологические условия, многообразие применяемого для разработки оборудования, рост и интенсификация горного производства усложняют ведение горных работ и предъявляют жесткие требования к системе планирования.

При разработке задач автоматизации планирования используются следующие основные принципы [1]: системный подход, включающий единство цели, соподчиненность критериев решения задачи на всех уровнях, оценку принимаемых решений по конечному продукту; непрерывность системы планирования, отражающая динамику развития горных работ; создание единой информационной базы для решения всех задач, включая построение цифровой модели месторождения.

Непременным условием успешного планирования при помощи ЭВМ является комплексная увязка оптимизационных задач всех уровней планирования и управления горными работами с помощью построения цифровой модели месторождения (ЦММ), разработка методов и способов установления математических зависимостей между природными факторами и процессами, участвующими в планировании, а также их математическая интерпретация.

Средством математической интерпретации природных факторов и процессов является метод геометризации, который может иметь различные модификации в конкретных условиях, в зависимости от той или иной математической связи между ними.

Применяют ЭВМ на всех этапах планирования, т. е. при проектировании горного предприятия и его эксплуатации, решая вопросы перспективного, текущего и оперативного планирования.

На этапе проектирования при помощи ЭВМ анализируют все предлагаемые (возможные) проекты плана будущей разработки месторождения, чем сводят к минимуму риск принятия ошибочного варианта. Погрешность выбранного оптимального варианта в данном случае будет зависеть целиком от достаточности исходных данных и степени точности интерпретации их методами геометризации.

Для этого необходимо накапливать данные по характеристике месторождения (по каждому в отдельности), отыскивать математические зависимости между ними.

Этот комплекс данных позволяет в дальнейшем достигать необходимую точность вычислений, предусмотренную для планирования.

Планирование перспективное и текущее не отличаются друг от друга по вводу данных, оценке их точности и постепенной оптимизации. Различны только точность вводимых данных, выражающих свойства полезного ископаемого, и периоды времени, на которые осуществляется планирование. Так, на этапе проектирования минимальным периодом планирования является год, на этапе эксплуатации при перспективном планировании — квартал, при текущем — месяц, оперативном — смена, сутки или неделя.

Перспективное планирование может меняться и уточняться с изменением и уточнением условий разработки, но в рамках

проектного плана, в связи с локальными изменениями геологической обстановки, объема производства, содержания маркирующих компонентов и т. д. может меняться также текущее планирование, но в рамках перспективного плана. Все эти изменения осуществляются ЭВМ быстро, обеспечивая отыскание оптимального варианта.

Подробно применение ЭВМ при планировании горных работ в режиме усреднения изложено в специальной литературе [1, 3, 4, 8, 13 и др.]

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ

ГЛАВА 17

ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ИХ ПАРАМЕТРЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ

§ 1. Общие сведения, терминология и классификация запасов

Понятие «запас полезного ископаемого в данном месторождении» включает весовое или объемное количество полезного ископаемого и его компонентов, характеристику его формы, условий залегания, размещения свойств; технологию переработки и использования, а также степень изученности и подготовленности к добыче и условия ведения горных работ.

Подсчетом запасов называется определение количества минерального сырья в недрах.

В условиях социалистического хозяйства и охраны недр подсчет запасов подчинен основному требованию — строгому учету богатств недр, рациональному и комплексному использованию их в народном хозяйстве.

Все разведанные запасы полезных ископаемых в недрах, которые служат или могут служить сырьевой базой для действующих, реконструируемых и проектируемых предприятий союзного подчинения, подлежат обязательной проверке и утверждению Государственной комиссией по запасам (ГКЗ) при Совете Министров СССР, а для предприятий республиканского и местного подчинения — территориальной комиссией по запасам (ТКЗ) геологического управления Министерства геологии СССР по подчиненности.

Комиссии по запасам полезного ископаемого (ГКЗ и ТКЗ) являются высшим государственным органом по проверке, определению (подсчету) и утверждению запасов всех видов полезных ископаемых.

Решения этих комиссий по утверждению запасов полезных ископаемых являются обязательными для всех учреждений, организаций и предприятий, ведущих горнодобывающие и геологоразведочные работы, независимо от их ведомственной подчиненности, и могут быть отменены только Советом Министров СССР.

Предприятия, ведущие горнодобывающие, проектные, геологоразведочные и горно-строительные работы, финансируются лишь при представлении протокола-решения ГКЗ или ТКЗ об утверждении запасов полезных ископаемых по данному месторождению.

Подсчет запасов осуществляют на каждой стадии разведки и разработки месторождения. Он является заключительным этапом проведения геологоразведочных работ. В результате подсчета запасов и предшествующего ему изучения месторождения в пределах месторождения или его участка устанавливают: структуру района месторождения, форму залежей, геологические и горнотехнические условия залегания для правильного выбора вскрытия и системы разработки месторождения; весовое или объемное количество полезного ископаемого в недрах по всему месторождению или по отдельным его блокам, пластам, пачкам, жилам, выемочным единицам (участкам) и основным промышленным типам и сортам; качество полезного ископаемого; технологические свойства полезного ископаемого и рекомендации по промышленному его использованию; степень изученности месторождения, надежности результатов подсчета запасов для решения вопроса о промышленном назначении запасов.

Запасы полезных ископаемых подсчитывают по наличию их в недрах без учета потерь при добыче, обогащении, переработке. Состав и свойства полезного ископаемого определяют в их природном состоянии. Запасы сопутствующих полезных компонентов также подлежат учету независимо от извлечения и дальнейшей переработки.

Запасы полезных ископаемых (руда, уголь) выражают в тоннах, запасы естественных строительных материалов (пески, глины, камень и т. п.) — в кубических метрах. Для руд черных металлов (железо, марганец, титан, ванадий, хром), кроме их весового количества, указывают также и среднее содержание в них металла.

Для руд цветных металлов (медь, цинк, свинец и т. д.), кроме запасов руд, подсчитывают и запасы металла в тоннах.

Запасы благородных металлов (золота, серебра, платины) выражают в килограммах.

Единые принципы подсчета и учета запасов полезных ископаемых в недрах и определения их изученности и подготовленности для промышленного освоения устанавливаются классификацией запасов. Применение ее к отдельным видам минерального сырья определяется соответствующими инструкциями ГКЗ. Общеразведанные запасы классифицируют по трем признакам: *народнохозяйственному значению, степени разведанности и готовности к промышленному освоению.*

По народнохозяйственному значению запасы полезных ископаемых разделяются на две группы, подлежащие отдельному учету:

балансовые — запасы, которые при данном уровне техники добычи и переработки в данных экономических условиях района месторождения могут быть рентабельно использованы в народном хозяйстве;

забалансовые, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно по кондиции, мощности, сложности разработки и переработки, но которые в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения.

Кондиции для подсчета запасов по каждому месторождению устанавливают на основании технико-экономических расчетов.

В зависимости от *степени разведанности* месторождения, изученности качества сырья и горнотехнических условий разработки месторождений запасы полезных ископаемых разделяют на категории *A, B, C₁ и C₂*.

К *категории A* относят детально разведанные и изученные запасы с полным выяснением формы, условий залегания, качества и пр. и оконтуриваемые по скважинам или горным выработкам.

К *категории B* относят запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, формы, строения тел, промышленных сортов и типов, качества, технологических свойств и других природных факторов. Контур запасов определяется по разведочным выработкам и ограниченной зоной экстраполяции при устойчивых показателях месторождения.

К *категории C₁* относят запасы месторождений, условия залегания которых, форма и строение тел, промышленные сорта, качество, технологические свойства и другие природные факторы разведаны и изучены в общих чертах. Контур запасов определяется на основании разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным.

К *категории C₂* относят запасы, предварительно оцененные. Условия залегания, форма и распространение тел определены по геологическим и геофизическим данным или по аналогии с изученными участками. Качество полезного ископаемого определено по единичным пробам. Контур запасов принимают в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Условия отнесения запасов к той или иной категории определены в специальных инструкциях по применению классификации запасов, разработанных ГКЗ для отдельных видов полезных ископаемых. В этих инструкциях приведены также требования к методике разведки и изучению месторождений.

Различные категории запасов могут использоваться для разных целей.

Категория A для обоснования проектирования, капиталовложений в строительство горнодобывающих предприятий и текущего планирования эксплуатационных работ.

Категория В при наличии установленного минимального количества запасов категории *А* для обоснования проектов и капиталовложений на строительство горного предприятия. Для месторождений со сложными геологическими условиями, преимущественно с невысокой и непостоянной угленасыщенностью и сложными горно-геологическими условиями, для разведок и освоения допускается проектирование и строительство шахт на запасах категории *В* при отсутствии запасов категории *А*.

Категория С₁ для обоснования постановки детальных геологоразведочных работ, а при наличии запасов категорий *А* и *В* в установленных соотношениях — для обоснования проектирования и капиталовложений в строительство горнодобывающих предприятий.

Категория С₂ для обоснования планирования геологоразведочных работ. При проектировании горнодобывающих предприятий для определения перспектив их развития наряду с запасами других категорий учитываются и запасы категории *С₂*.

По готовности к *промышленному освоению*, степени подготовленности к добыче балансовые запасы месторождений разделяют на исходные, промышленные, вскрытые, подготовленные и готовые к выемке (их определение дано в главе 20, § 2).

§ 2. Подготовленность месторождений (участков) для промышленного освоения

Для промышленного освоения месторождения, составления проектов, выделения капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий необходимы на месторождении или его участке утвержденные ГКЗ (или ТКЗ) балансовые запасы категорий *А*, *В*, *С₁*. При этом для каждой из трех нижеперечисленных групп месторождений устанавливается определенное соотношение запасов по этим категориям.

К *группе 1* относятся месторождения (участки) простого строения с выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным размещением полезных компонентов. Для этой группы месторождений должно быть разведано запасов по категориям *А+В* не менее 30 %, из них не менее 10 % запасов по категории *А*.

Группа 2 включает месторождения (участки) сложного строения с невыдержанной мощностью залежи или неравномерным размещением полезных компонентов, на которых выявление запасов категории *А* при детальной разведке нецелесообразно. В этой группе запасов, разведанных по категории *В*, должно быть не менее 20 %, а запасов категории *С₁* не более 80 %.

В *группу 3* объединены месторождения (или участки)

очень сложного строения с резко изменчивой мощностью залежей или исключительно невыдержанным размещением содержания полезных компонентов. Для таких месторождений в процессе разведки нецелесообразно выявлять запасы по категориям *A* и *B*. Проектирование и строительство горных предприятий в этих случаях допускается на базе запасов категории *C*₁.

Для месторождений коксующихся углей запасы по категориям *A* и *B* должны составлять не менее 60 % суммы запасов категории *A*, *B* и *C*₁, в том числе не менее 30 % по категории *A*. На месторождениях (участках), подлежащих промышленному освоению, горно-геологические и горнотехнические условия их разработки, качество и технология переработки полезного ископаемого должны быть изучены с детальностью, достаточной для составления проекта горнодобывающего предприятия.

До начала разработки месторождения горнодобывающее предприятие должно иметь исходные геологические материалы и документацию: геологический отчет по подсчету запасов с текстовым, табличным и графическим материалом и протоколом ГКЗ об утверждении запасов; акт передачи разведанного месторождения для промышленного освоения; дополнение к геологическому отчету по работам, выполненным по рекомендациям ГКЗ при утверждении запасов; керны разведочных скважин, дубликаты проб, образцы полезных ископаемых и вмещающих пород; геолого-маркшейдерскую документацию, составленную в процессе строительства предприятия.

Важнейшим условием нормальной деятельности горного предприятия является наличие достаточного количества вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов, устанавливаемых отраслевой инструкцией.

Учет состояния и движения запасов полезного ископаемого при разработке месторождения является одной из основных задач маркшейдерско-геологической службы действующего горного предприятия. Его осуществляют с целью контроля обеспечения предприятия балансовыми и промышленными запасами и готовности их к выемке; установления изменений запасов в результате разработки месторождения; контроля полноты извлечения полезного ископаемого из недр; оценки состояния вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов и обоснования перспективного, текущего и оперативного планирования горных работ.

§ 3. Рациональное использование и охрана недр

В нашей стране принято законодательство о недрах. На основании и в развитие законодательства разработаны Правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, утвержденные Госгортехнадзором СССР.

Правила устанавливают комплекс мероприятий, условий и требований, осуществление и соблюдение которых на всех этапах разработки месторождений, включая ликвидацию и консервацию предприятий, обеспечивает наиболее полное, комплексное и экономически целесообразное извлечение из недр полезных ископаемых, их охрану и рациональное использование при дальнейшей переработке.

Горное предприятие в процессе разработки месторождения осуществляет его доразведку (промышленная и эксплуатационная разведка), которая опережает развитие подготовительных и очистных работ. Она производится путем всестороннего комплексного, геологического, геофизического, гидрогеологического, инженерно-геологического и горно-геометрического изучения месторождения или отдельных его участков.

В результате устанавливают или уточняют: количество разведанных балансовых и забалансовых запасов, контуры рудных и безрудных участков, тектонические нарушения, вещественный состав, текстурно-структурные особенности, технологические, физико-механические свойства полезных ископаемых и вмещающих пород, геолого-гидрогеологические условия залегания. Обработанные и обобщенные результаты доразведки служат обоснованием рационального планирования, проектирования и производства капитальных, подготовительных и очистных работ.

Предусматриваемые планами развития горных работ способы добычи и системы разработки, способы управления выработанным пространством должны обеспечивать: оптимальное извлечение из недр основных и сопутствующих полезных ископаемых, извлечение тел полезных ископаемых (пластов, залежей) с минимальной кондицией по мощности и качеству, охрану запасов, отнесенных к забалансовым или временно законсервированным, исключение и сведение к минимуму размеров охранных целиков и зон обрушения, возможность рекультивации нарушенных земель и использования выработанного пространства в народном хозяйстве, возможность отработки совместно залегающих полезных ископаемых.

Маркшейдерская служба горнодобывающего предприятия выполняет комплекс маркшейдерских работ, необходимый для осуществления проектов и планов развития горнодобывающих предприятий. Она осуществляет систематический контроль за правильностью разработки месторождения в части соблюдения установленного порядка пользования недрами, ведения горных работ в соответствии с проектом и планом развития горных работ, выполнения требований по охране и рациональному использованию недр, проведения мероприятий, обеспечивающих безопасность населения, охрану окружающей природной среды, наземных объектов и горных выработок, а также соблюдения правил учета объемов выполненных горных работ, учета запасов и пр.

§ 4. Параметры подсчета запасов и их определение

Материалы, необходимые для подсчета запасов на каждой стадии освоения месторождений, и требования к ним определяются соответствующими инструкциями ГКЗ и отраслей горнодобывающей промышленности. Они состоят из текстовой, цифровой и графической частей.

К главным материалам относятся: детальная геологическая карта на топографической основе в масштабе 1:2000—1:50 000; вертикальные геологические разрезы по разведочным линиям вкрест простирания и по простиранию рудных залежей; результаты инструментальных съемок всех разведочных выработок и инклинометрических замеров скважин с изображением осей выработок на топографических и маркшейдерских планах, разрезах в масштабах 1:500—1:10 000; результаты документации и опробования (планы опробования) по разведочным и горным выработкам, определения плотности каждого типа руд, имеющих на месторождении, влажности и содержания основных и попутных компонентов; внешний и внутренний контроль правильности результатов химических анализов; минералогический состав, результаты технологических испытаний на обогащение руды, гипсометрические планы поверхности почвы (кровли) залежи, планы изомощностей, изоглубин залегания, изолиний размещения основных компонентов, чертежи, отражающие условия залегания залежей и месторождения, и др.

На исходных графиках с учетом степени разведанности и изученности производят построение контуров участков (блоков) по категориям запасов. По каждому выделенному участку (блоку) подсчитывают запасы.

Подсчет запасов выполняют в объемной или весовой мере. Исходными для подсчета запасов величинами, характеризующими залежь и полезное ископаемое в отдельных участках, являются: площадь, мощность залежи рудной зоны, плотность полезного ископаемого и содержание полезных компонентов. Запасы, содержащиеся в некотором объеме недр, равны произведению объема этого участка недр на средние значения содержания полезного компонента и плотности руды.

Объем залежи

$$V = SM, \quad (17.1)$$

запасы руды (полезного ископаемого)

$$Q = SM\gamma = V\gamma; \quad (17.2)$$

запасы компонента

$$P = kSM\gamma C = kQC, \quad (17.3)$$

где $k=0,01$, если C в %; $k=0,001$, если C в г/т; S — площадь залежи или ее части в пределах проекции контура подсчета

m^2 ; M — значение средней мощности залежи на подсчитываемом участке, m ; γ — значение средней плотности полезного ископаемого в массиве, t/m^3 ; C — значение среднего содержания компонента в пределах подсчитываемого контура, % или г/т.

Формулы (17.2) и (17.3) хотя общеизвестны, но являются приближенными. Они справедливы лишь в частном случае, когда между подсчетными параметрами отсутствуют взаимосвязи, а распределения значений параметров подчинены нормальному закону.

Подсчет запасов производят в пределах контура залежи или месторождения.

Контуром может быть естественная граница залежи, или некоторый условный контур, в пределах которого полезное ископаемое удовлетворяет определенным кондициям по мощности, содержанию полезных или вредных компонентов, или граница степени разведанности месторождения — контур той или иной категории запасов.

Установление перечисленных контуров на планах и разрезах по данным геологоразведочных и горных работ называется *оконтуриванием* месторождения.

Различают внутренний и внешний, или нулевой, контуры. *Внутренним 3* называют контур, проходящий по граничным выработкам, обнаружившим полезное ископаемое.

Внешним 4 называют контур, проходящий через точки естественной границы распространения полезного ископаемого или, в случае невозможности установления последней, через точки, находящиеся между рудными 1 и соседними с ними безрудными 2 выработками (рис. 17.1).

Площадь между внутренним и внешним контурами месторождения называют *межконтурной или приконтурной* полосой 5.

Построение внутреннего контура не вызывает затруднений. Построение внешнего контура требует знания геологических особенностей месторождения.

Различают два случая.

1. Построение контура в условиях ограниченной экстраполяции, когда контур проводят между рудной 1 и безрудной 2 выработками посередине между ними, например точка c на рис. 17.1, a , или по разрезам с учетом среднего угла выклинивания рудной залежи, например по точкам a , b на рис. 17.1, a , b .

2. Оконтуривание в условиях неограниченной экстраполяции, когда безрудных выработок нет или они расположены слишком далеко от рудных. В этом случае внешний контур проводят по точкам, построенным с учетом только рудных скважин. Точность построения контура в этом случае весьма низкая.

Применяемые здесь способы построения контура подразделяются на геологические, морфологические и формальные.

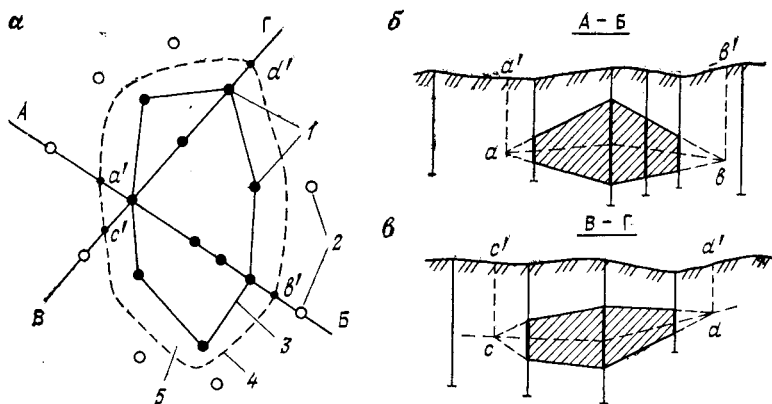


РИС. 17.1. Построение внешнего контура на плане (α) и разрезах (δ, ν) с учетом морфологии залежи:

1 — рудные скважины; 2 — безрудные скважины

Геологические способы основаны на учете приуроченности некоторых типов месторождений к определенным геологическим структурам с известными границами, к крупным разрывным нарушениям, к границам смены продуктивных пород, фаций и т. п.

Морфологические способы применяют с использованием разрезов. По данным разведочных выработок строят разрезы и линии, оконтуривающие залежь. Линии экстраполируют за пределы внутреннего контура до их пересечения, например в точке d (рис. 17.1, ν). По отмеченным на плане точкам a', b', c', d' и т. д. проводят внешний контур.

Формальные способы применяют в тех случаях, когда не могут быть использованы геологические и морфологические приемы. Их связывают или с параметрами разведочной сети системой разработки, или с размерами тел по простиранию и по падению.

Внешний контур проводят параллельно внутреннему на расстоянии, равном среднему расстоянию между разведочными выработками или его половине. Иногда внешний контур проводят за пределами внутреннего на два этажа (горизонта горных работ) — для выдержанных месторождений и на один этаж — для менее выдержанных (слюдоносные пегматиты, жильные месторождения редких металлов и т. п.). Внешний контур строят по «правилу треугольника», высота которого равняется половине длины тела полезного ископаемого по простиранию.

Для изометрических тел внешний контур проводят в виде конуса или полушария. Лучшими приемами определения внешнего контура следует считать такие, которые исходят не из формальных соображений, а из геологических особенностей месторождения полезного ископаемого.

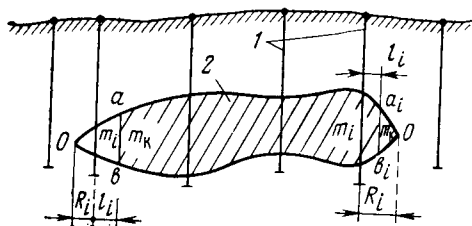


РИС. 17.2. Построение контура балансовых запасов по кондиционной мощности на разрезе: 1 — скважины; 2 — рудное тело

В практике подсчета запасов в пределах внешнего контура приходится оконтуривать балансовые или кондиционные запасы, удовлетворяющие определенным требованиям по мощности залежи, содержанию полезных или вредных компонентов, технологическим свойствам как в отдельности, так и совместно.

Существуют следующие приемы оконтуривания балансовых запасов.

Контур балансовых запасов на месторождениях с *установленной кондиционной мощностью* залежи строят на плане методом линейного интерполирования между внутренним и внешним контурами. Расстояние l_i от внутреннего контура (крайних скважин) в каждом конкретном случае определяют графически (рис. 17.2) или аналитически по формуле, вытекающей из подобия элементов в треугольнике abo :

$$l_i = |m_i - m_k| R_i / m_i,$$

где l_i — расстояние, определяющее положение контура балансовых запасов на плане относительно внутреннего контура; m_i — мощность залежи по выработке, расположенной на внутреннем контуре; m_k — кондиционная мощность залежи; R_i — расстояние на плане между данной рудной выработкой и внешним контуром (ширина межконтурной зоны в данном месте).

При этом, если $m_k > m_i$, то l_i откладывают от крайней рудной скважины вовнутрь залежи и, наоборот, при $m_k < m_i$ l_i откладывают от крайней рудной скважины в сторону нулевого контура.

На плане изомощностей контур балансовых запасов определяется изомощностью с отметкой, равной кондиционной мощности.

При использовании геологических разрезов контур балансовых запасов сначала отмечают на разрезах. С помощью раствора циркуля, равного отрезку $a_i b_i = m_k$ (рис. 17.2), в масштабе разреза определяют положение отрезка, когда его концы совпадают с поверхностями кровли и почвы залежи. Измеряют расстояние l и переносят его на план вдоль линии соответствующего геологического разреза. Через полученные точки проводят искомый контур.

Построение контура балансовых запасов по бортовому содержанию компонента. На месторождениях, в которых отсутствуют четкие границы полезного ископаемого с вмещающими

породами, оконтуривание промышленно-ценной части месторождения (залежи) производят по данным опробования разведочных выработок. Контур балансовых запасов проводят по минимальному среднему содержанию основного компонента, значение которых для каждого месторождения устанавливают на основе технико-экономических расчетов. Задачу решают или непосредственно на плане опробования выработок, или на плане изолиний средних значений содержания полезного компонента.

В ряде случаев оконтуривание производят по изолиниям с промышленными линейными запасами — изолиниями произведений мощностей, плотности и содержания компонента в залежи.

Оконтуривание по содержанию производят на основе математико-статистических расчетов, построения обоснованно сглаженных кривых — по выработкам и изолиний средних значений содержания компонента или линейных запасов — по площади месторождения.

Оконтуривание балансовых запасов при совместном учете естественной границы, кондиций по мощности и содержанию производят в следующем порядке. Вначале по разведочным выработкам проводят на плане внешний и внутренний контуры залежи. Затем строят контур балансовых запасов по кондиционной мощности залежи. Далее на том же плане строят контур по заданному бортовому содержанию полезного компонента. На рис. 17.3 приведен контур балансовых запасов, проходящий по линии разрывного нарушения АВ, по изолинии кондиционной мощности (ВС и ДА), по изолинии бортового содержания C_6 компонента (СД).

Примером оконтуривания балансовых запасов по заданной кондиционной мощности, равной 1,1 м, и предельно допусти-

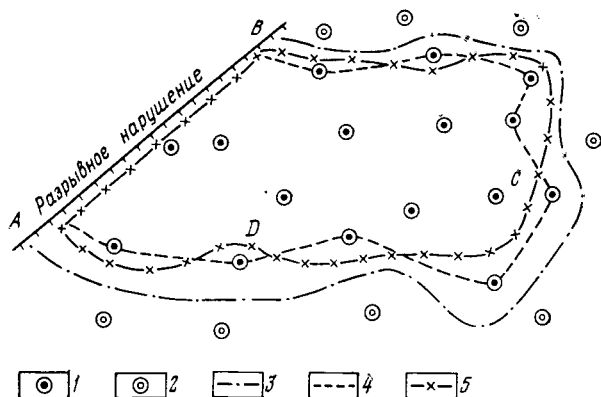


РИС. 17.3. Оконтуривание залежи и балансовых запасов на плане:

1 — рудные скважины; 2 — безрудные скважины; 3 — внешний (нулевой контур); 4 — внутренний контур; 5 — контур балансовых запасов

мому содержанию вредного компонента — золы (45 %) может служить подсчет запасов бурых углей в Подмосковном бассейне.

В пределах межконтурной полосы категория запасов всегда ниже категории их во внутреннем контуре залежи.

Наиболее ответственным является проведение контура балансовых запасов, особенно при значениях параметров по скважинам, близких к кондиционным. В этом случае может получиться лоскутный характер размещения балансовых запасов. Здесь необходим учет всех данных разведки в отдельности и в комплексе.

Погрешность оконтуривания зависит от изменчивости контура залежи, густоты разведочной сети, погрешности определения значений показателя в приконтурной зоне и др., а также от принятого метода интерполирования. Построение точек контура по значениям показателя в двух соседних выработках обычно производят путем линейного интерполирования. Это первое приближение выражения зависимости непрерывного изменения показателя. Оно нарушается, если имеются две пары отметок, отнесенных к двум точкам. Интерполирование по прямой произведений двух, трех и т. д. отметок — принципиальная ошибка. Пусть имеются две соседние скважины *A* и *B* со значениями мощности *m* и содержания *C* компонента соответственно *A* (12; 1), *B* (2; 6). Отметка произведения на середине отрезка между скважинами при линейном интерполировании по произведениям на концах отрезка равна 12, а по отдельным парам $7 \times 3,5 = 24,5$. Разница, как видно, большая.

В подобных случаях для нахождения промежуточных значений пользуются квадратической интерполяцией по формуле Ньютона или интерполяцией полинома Лагранжа. Как видно из рис. 17.4, положение точки *f* с предельным промышленным содержанием, равным 3 %, построенное при параболическом интерполировании, значительно отличается от ее положения в точке *l* при линейном интерполировании.

Площади по планам (разрезам) в пределах подсчитываемых участков определяют:

аналитически по координатам *x*, *y* угловых точек контура (вершин многоугольника):

$$S = \frac{1}{2} [(x_1 - x_2)(y_1 + y_2) + (x_2 - x_3)(y_2 + y_3) + \dots + (x_n - x_1)(y_n + y_1)];$$

по формулам геометрически правильных фигур определяемую площадь разбивают на более простые — треугольники, квадраты, прямоугольники, трапеции и т. п. Суммируя площади последних, получают площадь всей фигуры;

планиметром или специальными палетками (рис. 17.5) — точечными (*a*), квадратными (*б*), с параллельными линиями (*в*).

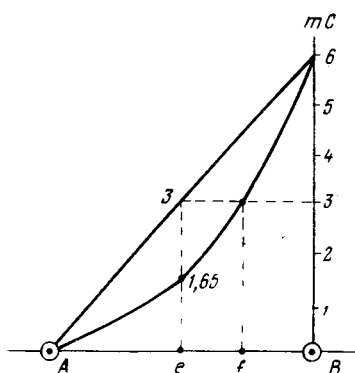
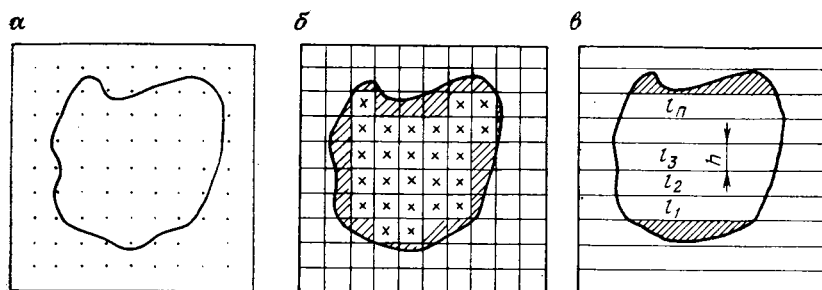


РИС. 17.4. Положение контурной точки при линейном и нелинейном интерполировании

РИС. 17.5. Палетки для определения площади:

а — точечная; *б* — квадратная; *в* — с параллельными линиями



Все виды палеток вычерчивают на прозрачной бумаге. Расстояние между точками и параллельными линиями принимают 0,5; 1 или 2 см в зависимости от размера подсчитываемой площади. Так, для площадей небольших (1—3 дм²) применяют сантиметровую палетку, при больших площадях — палетку со стороной 2 см. Желательно, чтобы внутри определяемого контура было не менее 50 точек палетки.

Палетку произвольно накладывают на измеряемую площадь. По точечной палетке подсчитывают число точек (а по квадратной — квадратов), оказавшихся внутри контура n_b , и на контуре k вычисляют площадь по формуле

$$S = \omega \left(n_b + \frac{k}{2} \right) = \omega n,$$

где ω — площадь основания палетки в масштабе плана.

Палеткой с параллельными линиями площадь определяют по формуле

$$S = h \left((l_1 + l_n)/2 + \sum_{i=2}^{n-1} l_i \right) + \Delta S,$$

где h — расстояние между параллельными линиями в масштабе чертежа; $l_1, l_2, \dots, l_n$ — длины линий палетки между контурами

в масштабе чертежа; $\sum_2^{n-1} l_i$ — измеряется курвиметром; ΔS — суммарная площадь заштрихованных участков, определяемая по приближенным формулам.

Точность измерения площадей этими способами 0,3—1 % измеряемой площади. За окончательную принимают среднюю площадь из двух измерений, если они разнятся не более 3 %. В противном случае измерения повторяют.

Истинную площадь поверхности $S_{\text{ист}}$, представленной на плане и изогипсах, определяют по формулам:

для плоских участков со средним углом падения δ :

$$S_{\text{ист}} = S_{\text{изм}} / \cos \delta;$$

для участков с переменным углом падения и простирания:

а) по формуле В. И. Баумана (между изогипсами) (рис. 17.6)

$$S_{\text{ист}} = \sqrt{S_{\text{изм}}^2 + B^2},$$

где

$$B = l_{\text{ср}} h = \frac{(l_1 + l_2)}{2} h,$$

$S_{\text{изм}}$ — площадь проекции поверхности между соседними изогипсами, определяемая планиметром или другим способом по плану; $l_{\text{ср}}$ — длина средней горизонтали на плане; h — разность отметок смежных горизонталей;

б) способом П. К. Соболевского по изосекансам поверхности

$$S_{\text{ист}} = \omega \sum_1^n \sec \delta_i,$$

где ω — площадь основания палетки в масштабе плана; $\sec \delta_i$ — угол наклона элементарной площадки поверхности с центром в точке палетки;

в) способом развертки (между двумя изогипсами) (рис. 17.6)

$$S_{\text{ист}} = k_{\text{ср}} l_{\text{ср}},$$

где $k_{\text{ср}}$ — средняя длина профиля поверхности в масштабе плана; $l_{\text{ср}}$ — длина средней горизонтали между границами участка в масштабе плана.

Площадь по наглядным чертежам (в сечениях) определяют по формулам, приведенным в гл. 1, § 3, § 5.

Значение *средней мощности залежи* на данном участке определяют по данным разведочного бурения, каротажа, замеров в горных выработках, обнажениях.

При разведочном бурении мощность залежей и вмещающих пород определяют непосредственным измерением по извлекае-

мому керну или косвенным способом — по каротажу. Чаще их применяют совместно. Измеряют мощность каждого слоя или сорта полезного ископаемого. Мощность рудных тел, не имеющих четких контактов с вмещающими породами (россыпные, вкрапленные, штокерковые месторождения), определяют по данным опробования с учетом заданного бортового содержания.

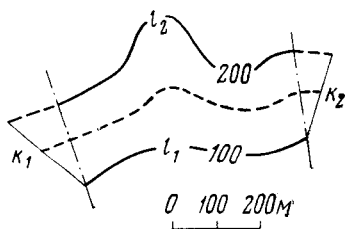


РИС. 17.6. К определению площади поверхности, изображенной в изогипсах

В горных выработках мощность залежи измеряют в местах отбора проб рулеткой с точностью до одного сантиметра. Место замера мощности и отбора проб привязывают к съемочной сети и наносят на план опробования.

Погрешность определения мощности непосредственным измерением в горных выработках составляет 2—5 %, а по данным разведочного бурения достигает 25—30 % и более.

Среднее значение мощности при подсчете запасов вычисляют как среднее арифметическое при равномерном размещении точек измерения (скважин) и нормальном законе распределения значений мощности:

$$M_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n m_i / n,$$

и как средневзвешенное по длинам, интервалам или площадям влияния каждого замера при неравномерном размещении точек измерения мощности и корреляции ее с другими параметрами:

$$M_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n m_i l_i / \left(\sum_{i=1}^n l_i \right),$$

где m_i — мощность в отдельных точках замера; l_i — длина или площадь влияния каждого замера мощности; n — число замеров мощности.

По изолиниям мощности на плане среднюю мощность определяют как среднюю отметку топографической поверхности на заданном участке.

Под плотностью горной породы понимают отношение массы горной породы при ее естественной или определенной влажности к ее полному объему, включающему поры и трещины.

Различают плотность горной породы в ее естественном состоянии и в насыпном виде, т. е. в разрыхленном состоянии.

Плотность полезного ископаемого определяют пробной вырубкой полезного ископаемого, лабораторными, аналитического подсчета и геофизическими методами.

При *пробной вырубке* забой выработки, проходящей по залежи, тщательно выравнивают, очищают, затем производят

вырубку 2—5 м³ полезного ископаемого без применения ВВ. Всю добытую массу полезного ископаемого взвешивают, а объем, из которого она добыта, тщательно замеряют.

Во взвешиваемую массу полезного ископаемого включают прослойки породы, которые при добыче не отбираются. Если в полезном ископаемом имеются прослойки породы, оставляемые в выработанном пространстве или выдаваемые на породный отвал, то их при пробной вырубке отбирают и не взвешивают, а мощность этих прослоек измеряют по всем стенкам забоя.

Из общего объема, из которого добыта проба полезного ископаемого, исключают объем прослоек породы, не идущих в добычу, и получают объем пробы.

Плотность полезного ископаемого

$$\gamma = Q/V,$$

где Q — масса пробы полезного ископаемого, т; V — объем пространства, из которого добыта проба, м³.

Этот способ является надежным для трещиноватых, рыхлых и пористых полезных ископаемых.

Иногда плотность определяют замером сечений отдельных бороздовых проб и их глубин и взвешиванием материала проб. Делением веса отбитого полезного ископаемого в пробе на вычисленный объем пробы получают значение плотности полезного ископаемого.

Плотность должна определяться для каждого сорта полезного ископаемого, запасы которого учитываются отдельно. С целью подсчета запасов полезных ископаемых для каждого его сорта делают 10—20 определений для сложных полезных ископаемых и 5—10 определений — для однообразных по содержанию полезных ископаемых. Одновременно с определением плотности полезного ископаемого определяют его влажность и химический состав тех же образцов и проб. Это необходимо делать потому, что значение плотности полезного ископаемого зависит от минералогического и химического состава полезного ископаемого и его влажности в момент определения плотности.

Лабораторным способом плотность твердых полезных ископаемых определяют взвешиванием:

- 1) образцов полезного ископаемого в воздухе и в воде;
- 2) образцов и определением в мерном сосуде их объемов;
- 3) в воде раздробленного в порошок образца.

Сосуд с водой до высыпания в него порошка также взвешивают. Эти два веса позволяют определить плотность полезного ископаемого.

Лабораторное определение путем гидростатического взвешивания образцов применяют для плотных и однородных по вещественному составу пород. Плотность

$$\gamma = \rho_1 / (\rho_2 - \rho_3), \quad (17.1)$$

где p_1 — масса образца до насыщения водой; p_2 — то же после насыщения водой; p_3 — масса образца в воде.

Образцы пористых и размокающих в воде полезных ископаемых предварительно парафинируют. Плотность

$$\gamma = \frac{p_1}{(p_2 - p_3) - \frac{p_2 - p_1}{\gamma_n}},$$

где p_1 — масса образца в воздухе до парафинирования; p_2 — масса образца в воздухе после парафинирования; p_3 — масса запарафинированного образца в воде; γ_n — плотность парафина.

Лабораторное определение плотности угля иногда производят следующим образом. По каждому пласту из различных забоев и пачек пласта отбирают 15—20 образцов по 200—250 г каждый.

В лаборатории эти образцы делят на две части: одну — 50—100 г и другую — 100—200 г. Меньшая часть поступает на определение зольности (A), а бóльшая — на определение плотности гидростатическим взвешиванием. Плотность угля при естественной его влажности определяют следующим образом:

образец угля очищают от примазок и легко отделяемых частиц угля и дважды взвешивают на технических весах с точностью $\pm 0,1$ г;

погружая образец угля в воду на 10—15 мин, затем обтирают его промокательной бумагой и вторично взвешивают на тех же весах и с той же точностью;

образец дважды взвешивают на гидростатических весах в погруженном в воду состоянии с точностью $\pm 0,1$ г.

Значение плотности угля вычисляют по формуле (17.1).

Аналитическим методом с использованием корреляции плотность полезного ископаемого определяют в зависимости от содержания в нем влаги, золы и других компонентов.

Так, плотность угля в массиве:

$$\gamma = \gamma' + k(A_{в}^c - A_{вг}^c) + \Delta\gamma,$$

где γ' — средняя плотность угля по данным гидростатического взвешивания образцов, приведенная к средней влажности угля в целике (массиве); k — коэффициент изменения плотности угля при изменении содержания внутренней золы на 1 %; $A_{в}^c$ — среднее содержание внутренней золы чистых угольных пачек пласта, %; $A_{вг}^c$ — среднее содержание внутренней золы в образцах, использованных для гидростатического взвешивания, %; $\Delta\gamma$ — поправка за счет примешивания к углю пустой породы, не поддающейся ручной отборке.

Значения k и $\Delta\gamma$ определяют экспериментальными исследованиями. Так, для антрацитов Донецкого бассейна ВНИМИ

$$\gamma = 1,60 + 0,009A^c + 0,017(W^p - 4),$$

где A^c — содержание в угле внутренней золы; W^p — содержание пластовой влаги.

Для углей Подмосковского бассейна

$$\gamma = 1,05 + 0,01A^c + 0,02(W^p - 33);$$

$$\gamma = \gamma' + 0,01(A^c - A).$$

Для рыхлых и землистых углей Днепровского бассейна (при пластовой влажности угля) ВНИМИ рекомендует следующую формулу:

$$\gamma = 1,07 + 0,005A^c.$$

Геофизическими методами. Определение плотности $\gamma_{\text{ц}}$ в целике основано на физических эффектах, например, коэффициента поглощения или рассеяния в горной породе гамма-лучей. Эти коэффициенты пропорциональны плотности вещества.

Плотность вычисляют по формуле

$$\gamma_{\text{ц}} = \rho = C/x \ln I_0/I,$$

где C — постоянная, определяемая экспериментально; I_0 — интенсивность пучка лучей в воздухе, т. е. при $x=0$; x — толщина поглотителя; I — интенсивность пучка лучей после прохождения через поглотитель.

Определение содержания компонентов. Для многих нерудных полезных ископаемых (уголь, горючие сланцы, битумы, гипсы, строительные материалы, серный колчедан, цементное сырье и т. п.) подсчитывают запасы самого сырья, ибо последнее и является ценным компонентом.

Для рудных же полезных ископаемых, кроме запасов руды, определяют запасы их компонентов. В этом случае необходимо определение содержания в рудах компонентов.

Содержание компонентов в месторождениях железа, марганца, кобальта, меди, никеля, олова, серы, сурьмы определяют в процентах. Содержание ценного компонента для россыпных месторождений золота, платины, вольфрамита, монацита, касситерита, киновари определяют в граммах этих минералов, или металлов на кубический метр их содержащих пород.

Содержание вольфрама определяют в виде WO_3 , ванадия V_2O_5 , титана TiO_2 , хрома CrO_3 , фосфора P_2O_5 , бериллия BeO_2 и т. п.

Определение содержаний компонентов производят в лабораториях; методы этих определений описываются в соответствующей литературе.

Определение содержаний компонентов в пробах производят обычно после просушки проб, т. е. в сухой руде. Запасы же компонентов определяют в их естественном состоянии в недрах. Поэтому лабораторные данные о содержаниях компонентов необходимо приводить к их содержанию в рудах недр путем внесения соответствующих поправок на влажность руд.

Влажность определяют сравнением массы сырой руды $q_{\text{сыр}}$ с массой этой же пробы руды, просушенной при $105\text{--}110^\circ$ $q_{\text{сух}}$:

$$B = \frac{q_{\text{сыр}} - q_{\text{сух}}}{q_{\text{сыр}}} 100 \text{ \%}.$$

Содержания C компонентов, определенные в сухих навесках $C_{\text{сух}}$, переводят на их содержание в сырой руде:

$$C = C_{\text{сух}} \frac{100 - B}{100 \text{ \%}}.$$

Определение влажности обычно делают по тем же пробам, по которым определяют объемную массу.

Влажность различных полезных ископаемых изменяется от 2—5 % для золоторудных и некоторых железных руд и до 20—50 % для многих железных, марганцевых и никелевых руд и угольных пластов.

В практике опробования месторождений полезных ископаемых для надежности определения содержания компонентов основных анализов, производимых лабораториями рудников или разведочных партий, производят контрольные анализы. Эти контрольные анализы бывают внутренние, осуществляемые в лаборатории, производящей основные анализы, и внешние, осуществляемые в другой, более совершенной лаборатории.

Для внутреннего контроля обычно отбирают не менее 15—20 дубликатных проб, отбор которых производят по природным и техническим сортам руд. Внутренний контроль обычно вскрывает лишь случайные ошибки анализов.

Для внешнего контроля обычно отбирают не менее 25 дубликатных проб для каждого сорта руды. Внешний контроль производят для вскрытия систематической ошибки анализов. Обработку рядов основных и контрольных анализов проб производят методами математической статистики.

Государственная комиссия по запасам рекомендует определять значение средней систематической ошибки:

$$f = C_x / C_y,$$

где C_x — среднее содержание компонента в контрольных пробах; C_y — среднее содержание компонента в контролируемых пробах.

Величина f определяет, во сколько раз основная лаборатория преувеличивает (если $f < 1$) или преуменьшает (если $f > 1$) содержание компонента в рудах.

Средним кондиционным содержанием компонента называют минимальное его содержание, при котором данная руда может рентабельно разрабатываться.

Оконтуривание тел некоторых полезных ископаемых проводят по кондиционному содержанию компонента, а для некото-

рых полезных ископаемых — по максимальному содержанию вредных компонентов.

Для некоторых полезных ископаемых кондиционные содержания компонентов приведены в инструкциях ГКЗ по подсчету запасов твердых полезных ископаемых и в серии брошюр «Требования промышленности к качеству минерального сырья», изданных Всесоюзным институтом минерального сырья.

Для полиметаллических руд кондиционное среднее содержание устанавливают по ведущему компоненту при допущении отсутствия в пробах других компонентов. Если последние обнаружены в пробах, то их содержание приравнивают к эквивалентному содержанию ведущего компонента, например, к 1 % содержания свинца приравнивают содержание меди в 0,75 % и цинка в 2 % и т. п.

При оконтуривании россыпных месторождений золота среднее кондиционное содержание металла определяет борт эксплуатационного карьера и поэтому носит название среднего бортового содержания металла.

Бортовое содержание определяют с расчетом, чтобы включенные в подсчет золотосодержащие пески пограничных участков россыпи с убогим содержанием металла вместе с более богатым содержанием внутренних запасов песков отвечали кондиционному содержанию металла для данного месторождения.

Определение средних содержаний компонентов. Размещение компонента в теле залежи или в ее части может быть выражено в общем виде $F(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$.

При вычислении среднего содержания компонента в исследуемой залежи мы как бы все значения содержаний компонента в отдельных точках (c_i) залежи приравниваем их среднему значению C_0 . Тем самым мы как бы заменяем реальное пространство с распределением компонента $F(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$ пространством с размещением компонента $f(C_0, C_0, C_0, \dots, C_0)$. При этом должно иметь место следующее равенство:

$$F(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n) = f(C_0, C_0, \dots, C_0). \quad (17.2)$$

Отсюда, чтобы найти среднее содержание компонента в залежи или в ее части, надо найти вид функции F ; заменить в ней все c_i их средней C_0 ; решить уравнение (17.2).

Выше показано, что изолинии средних содержаний на исследуемый объем полезного ископаемого служат геометрическим выражением функции $F(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$. Заменить все значения c_i в функции F их средней C_0 — значит сгладить поверхность, интерпретирующую функцию F до плоскости f . Решить же уравнение (17.2) — значит найти отметку плоскости f .

Следовательно, определение среднего содержания компонента для любого интересующего нас объема залежи по изолиниям средних содержаний компонента в ней практически сводится к отысканию отметки плоскости.

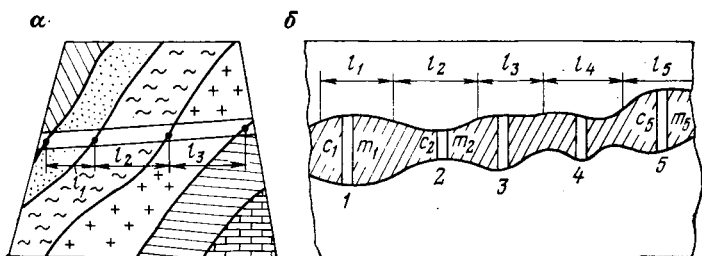


РИС. 17.7. Схема секционного опробования забоя (а) и стенки (б) штрека

При секционном опробовании в забое определение среднего содержания по забою производят как средневзвешенное частных содержаний на длины секций проб по формуле (рис. 17.7)

$$C_0 = \frac{c_1 l_1 + c_2 l_2 + c_3 l_3 + c_4 l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4},$$

где C_0 — среднее содержание компонента; c_i — частные содержания компонента по отдельным пробам; l_i — длины отдельных секций тела полезного ископаемого.

Аналогично определяют среднее содержание компонента в мощных телах, прорезанных ортами и вообще выработками, идущими вкрест простирания тела полезного ископаемого, и опробованных секционными пробами по сортам (разновидностям) руды.

В случае пересечения тела полезного ископаемого штреком, идущим по простиранию тела полезного ископаемого, бороздовые пробы на всю мощность тела чаще берут при различных интервалах между ними (рис. 17.7, б).

Определение среднего содержания в этом случае производят как средневзвешенное на длину влияния проб $l_1, l_2, \dots$ и на мощности тела полезного ископаемого в местах взятия бороздовых проб $m_1, m_2, \dots$,

$$C_0 = \frac{l_1 m_1 c_1 + l_2 m_2 c_2 + \dots + l_n m_n c_n}{l_1 m_1 + l_2 m_2 + \dots + l_n m_n},$$

где C_0 — среднее содержание компонента по штреку; $l_1, l_2, \dots$ — влияние каждой пробы 1—5; $m_1, m_2, \dots$ — мощность полезного ископаемого в местах взятия бороздовых проб; $c_1, c_2, \dots$ — содержание компонента по отдельным пробам.

При более или менее равномерных интервалах между пробами определение среднего содержания

$$C_0 = \frac{m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}.$$

Если и интервалы, и мощности рудного тела в местах взятия бороздовых проб варьируют в незначительных пределах

(не более чем на 25 %), определение среднего содержания производят по формуле

$$C_0 = \sum_1^n c_i/n. \quad (17.3)$$

Определение среднего содержания в блоке между двумя горизонтами горных или разведочных работ (рис. 17.8) производят как средневзвешенное из средних содержаний c_1 , c_2 компонента по горизонтам на площади сечений s_1 , s_2 тела полезного ископаемого этими горизонтами:

$$C_0 = \frac{s_1 c_1 + s_2 c_2}{s_1 + s_2}.$$

При этом средние содержания компонента по горизонтам горных или разведочных работ определяют одним из способов, описанных выше, предпочтительнее при помощи изолиний средних содержаний компонента по горизонту и точечной палетки.

Государственная комиссия по запасам в своих инструкциях по подсчету запасов рекомендует в случае обработки проб числом свыше 20 при отсутствии прямой или обратной корреляции между мощностью тела полезного ископаемого и содержанием компонента (когда коэффициент корреляции менее 0,5) и при несекционном опробовании определять средние содержания компонента как простую арифметическую середину по формуле (17.3).

Во всех других случаях определение среднего содержания компонента следует производить одним из способов, описанных выше.

Определение и учет ураганных проб. При разведке месторождений, особенно редкометалльных, в числе проб появляются одна, две или несколько с содержанием компонента, значительно превышающим, иногда в десятки и даже сотни раз, средние значения по остальным пробам.

Такие пробы получили название ураганных. Их иногда называют исключительно большими, чрезмерно высокими, ненормально высокими, отклонившимися, дикими, выдающимися и т. п.

При подсчете запасов возникает вопрос, какие пробы относить к ураганным и как их учитывать при вычислении среднего содержания, чтобы не допустить резкого завышения или уменьшения запасов полезного компонента.

Существует более 40 различных способов решения задачи об ураганных пробах. В большинстве способов даются рекомендации (формулы) по определению границы между рядовыми и ураганными пробами (порог) и методы учета ураганных проб при определении среднего содержания. Причем, одни авторы рекомендуют исключать ураганные пробы, дру-

гие — заменять их средним, вычисленным по рядовым пробам, по всем пробам, или по двум соседним, или по двум соседним и ураганной, заменять наиболее высоким рядовым значением или уменьшать ураганное значение, обосновывая это какими-либо фактическими данными.

В качестве примера ниже приведены некоторые наиболее распространенные способы определения и учета ураганных проб.

Г. И. Вилесов, заменяя фактическое распределение нормальным, предлагает к ураганным относить пробы с содержанием, превышающим величину

$$k = M + t\sigma,$$

где M — среднее арифметическое; t — коэффициент вероятности; σ — стандарт содержаний.

Содержания ураганных проб рекомендуется распространять не на половину, а на часть расстояния между пробам, соответствующую вероятности появления ураганных проб.

А. П. Прокофьев рекомендует границу между рядовыми и ураганными пробам определять по формуле

$$C_{ип} = kC_{буп},$$

где $C_{буп}$ — среднее содержание без учета проб, подозреваемых в ураганности, $k = M_d n + 1$ — коэффициент, в котором n — объем выборки; M_d — допустимое влияние пробы на среднее содержание, вычисляемое по формуле

$$M_d = vt/\sqrt{n},$$

где v — коэффициент вариации; t — коэффициент вероятности; n — объем выборки.

Ураганные пробы заменяются порогом.

В. И. Кузьмин, опираясь на данные математической статистики, предлагает границу между рядовыми и ураганными пробам определять из выражения

$$H = C_{ср} + k\sigma_c + m_c,$$

где $C_{ср}$ — среднее содержание по выборке; σ_c — стандарт содержаний; k — коэффициент, зависящий от степени асимметричности распределения содержания, принимается равным 4,5; $m_c = t\sigma_c/\sqrt{n}$ — погрешность среднего содержания; n — объем выборки; t — коэффициент вероятности.

Ураганные пробы заменяются величиной H .

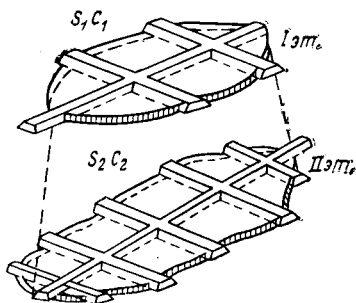


РИС. 17.8. Схема блока между двумя горизонтами горноразведочных работ

А. М. Прерис, подвергнув известные способы численному исследованию, пришел к выводу, что ни один из способов не обладает достаточно высокими для практического использования характеристиками.

Эффект ураганных проб наблюдается при вычислении среднего содержания элементов, обладающих резко выраженным асимметричным распределением при сравнительно малых объемах разведочных выборок, и заключается в резком завышении выборочного среднего по сравнению с истинным средним. Ураганные пробы вызываются не только геологическими, но и другими, в том числе техническими причинами.

Эффект ураганных проб — это следствие применения формулы среднего арифметического в условиях асимметричных распределений.

Если бы можно было выявить закон распределения полезного компонента, то, вычислив математическое ожидание (истинное среднее содержание), проблема определения и учета ураганных проб отпала бы сама собой. Однако параметры закона распределения, как известно, определяются по выборке. Но в выборке могут быть ураганные пробы и вначале их следует определить. Таким образом, проблема не отпадает. Ураганными могут быть пробы различной величины.

Границу между ураганными и рядовыми пробами А. М. Прерис рекомендует устанавливать из выражений:

для правоасимметричных распределений

$$H_n^K = \frac{nC_{\text{ист}} - (n - K) C_{\min}}{K}, \quad (17.4)$$

для левоасимметричных распределений

$$H_n^K = \frac{nC_{\text{ист}} - (n - K) C_{\max}}{K},$$

где n — объем выборки; $C_{\text{ист}}$ — истинное среднее содержание компонента; K — число ураганных проб в выборке; $C_{\min}$, $C_{\max}$ — наименьшее и наибольшее содержание компонента в выборке. При вычислении среднего ураганные пробы исключаются из разведочных выборок.

В левоасимметричных распределениях ураганными являются малые по величине пробы, влияние на среднее они оказывают в сторону занижения.

Ураганные пробы могут существовать только в выборках сравнительно малых объемов. При увеличении объема выборки влияние их на среднее уменьшается и в пределе стремится к истинному влиянию на математическое ожидание.

Следовательно, имеются объемы выборок, при которых возможно существование ураганных проб, и объемы выборок, при которых существование ураганных проб невозможно. Границей между этими двумя областями и служит критический объем выборки $N_{\text{кр}}$. Его можно определить из условия, когда

величина порога равна наибольшему содержанию в подсчетном объеме:

$$H_{N_{кр}}^K = C_{\max},$$

т. е.

$$\frac{N_{кр} C_{ист} - (N_{кр} - K) C_{\min}}{K} = C_{\max},$$

или после преобразования:

$$N_{кр} = \frac{(C_{\max} - C_{\min}) K}{C_{ист} - C_{\min}}.$$

Пример по установлению ураганных проб. При эксплуатационном опробовании участка месторождения ртути получены данные по 32 пробам. В 15-й пробе содержание оказалось равным 9,161 %, в 4-й — 3,796, в 11-й — 0,763, в остальных — значительно меньше, причем наименьшее содержание оказалось равным 0,003 %.

Среднее арифметическое по выборке равно 0,534 %.

Примем, что в выборке имеется одна проба (15) ураганная, найдем значение порога по формуле (17.4):

$$H_{32}^1 = \frac{32 \cdot 0,255 - (32 - 1) 0,003}{1} = 8,067 \%,$$

где 0,255 — среднее арифметическое содержание по всем пробам, кроме пробы 15.

Сравнение значений 15-й пробы и порога показывает, что 15-я проба является ураганной.

Проверим, не является ли и 4-я проба ураганной. Вычислим оценку порога для двух ураганных проб:

$$H_{32}^2 = \frac{32 \cdot 0,137 - (32 - 2) 0,003}{2} = 2,147 \%,$$

где 0,137 — среднее арифметическое без учета проб 4 и 15. Из сравнения содержания по 4-й пробе с порогом видно, что 4-я проба также ураганная.

Проверим на ураганность следующую по величине 11-ю пробу:

$$H_{32}^3 = \frac{32 \cdot 0,116 - (32 - 3) 0,003}{3} = 1,208 \%,$$

$$C_{11} = 0,763 \% < H_{32}^3 = 1,208 \%.$$

Проба 11-я, а следовательно, и все остальные пробы являются рядовыми.

В рассматриваемой выборке содержатся две ураганные пробы. Исключив их, вычисляют среднее по выборке.

СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В практике подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых применяют свыше 20 способов. Наиболее распространенными из них являются четыре следующих способа с их разновидностями: среднего арифметического; изолиний и объемной палетки; разрезов; многоугольников.

§ 1. Способ среднего арифметического

Способ среднего арифметического имеет несколько разновидностей. Обычно название способа среднего арифметического относят к наиболее простой его разновидности — суммарному способу. Остальные разновидности носят название способов: геологических и эксплуатационных блоков, изогипс, Баумана. Рассмотрим эти способы.

Суммарный способ. При подсчете запасов этим способом сложное тело залежи полезного ископаемого, ограниченное снизу и сверху геометрически неправильными поверхностями топографического порядка, трансформируется в равновеликую по объему пластину, площадь которой равна площади залежи в пределах подсчетного контура, а толщина соответствует средней мощности залежи. Схема такого трансформирования залежи показана на рис. 18.1.

Мощность залежи определяют как среднее арифметическое из мощностей по всем выработкам, пересекшим залежь, по формуле

$$M = \sum_{i=1}^n m_i / n,$$

где M — средняя мощность залежи, м; m_i — мощности залежи по отдельным выработкам, м; n — число выработок, пересекших залежь и участвующих в подсчете запасов.

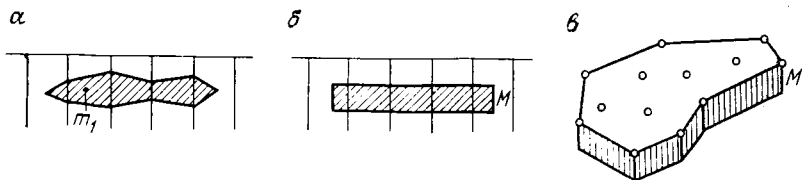


РИС. 18.1. Трансформирование рудного тела при подсчете запасов способом среднего арифметического:

a — разрез залежи по скважинам; b — трансформирование тела в прямоугольник; v — вид трансформированного тела

Среднее содержание компонента в залежи определяют, так же как среднее арифметическое, по данным содержаний в отдельных выработках по формуле

$$C = \sum_1^n c_i / n,$$

где C — среднее содержание компонента по залежи; c_i — содержание компонента в отдельных выработках, участвующих в подсчете; n — число выработок, участвующих в подсчете запасов.

При наличии в месторождении прямой или обратной зависимости между содержанием компонента и мощностью залежи среднее содержание определяют по формуле

$$C = \sum_1^n m_i c_i / \left(\sum_1^n m_i \right).$$

Объем залежи V (м^3) определяют по формуле

$$V = SM,$$

где S — площадь залежи, ограниченная подсчетным контуром. Запасы полезного ископаемого (τ):

$$Q = V\gamma, \quad (18.1)$$

где γ — плотность полезного ископаемого.

Запасы компонента (τ):

$$P = kSM\gamma C = kQC. \quad (18.2)$$

Если C в процентах, то $k=0,01$, если C в граммах на 1 т (при подсчете запасов благородных металлов), то $k=0,001$.

При описанном способе подсчета запасов получают общее или суммарное выражение запасов для залежи в пределах подсчетного контура, почему этот способ и называют иногда *суммарным*.

В половине межконтурной полосы, прилегающей к внутреннему контуру, запасы определяют по тем же данным M и C , что и для основной части залежи. Эти запасы относят по степени разведанности и изученности на одну категорию ниже, чем запасы в пределах внутреннего контура.

Запасы второй половины межконтурной полосы, прилегающей к внешнему контуру, определяют по минимальным данным, принятым при проведении внешнего контура (кондиционный минимум по мощности и содержанию компонента или компонентов).

Эти запасы также относят по степени разведанности и изученности на категорию ниже запасов основной залежи в пределах внутреннего контура.

Суммарный способ широко применяют при любых формах и размерах залежей и условиях залегания залежей, при любом распределении минерализации и любой системе разведки. При-

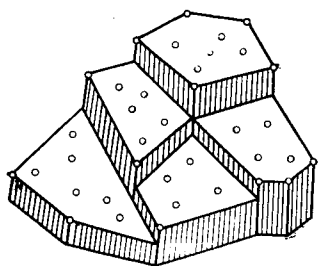


РИС. 18.2. Схема преобразования месторождения при подсчете запасов способом геологических блоков

меняют этот способ главным образом для получения предварительных данных об общих запасах залежи, а также для проверки подсчетов, сделанных другими способами.

Суммарный способ дает достаточно точные результаты, когда число разведочных пересечений, на основании которых подсчитываются запасы, не менее 20—25 при любом размещении этих пересечений с более или менее равномерным их расположением по залежам и при любой изменчивости мощностей залежи и содержаний компонентов.

При малой изменчивости содержаний компонентов и мощностей залежи число разведочных пересечений может быть и меньшим.

Достоинством способа является простота графических вычислительных операций.

Недостаток способа весьма существен и заключается в том, что при таком подсчете запасов не вскрывается характер размещения компонентов, отдельных сортов и в целом запасов полезного ископаемого.

Способ геологических блоков. В ряде случаев залежь полезного ископаемого в пределах подсчетного контура разделяют на отдельные геологические блоки по признакам: различной степени разведанности и изученности (по густоте разведочных пересечений, детальности опробования и т. п.); разных сортов полезного ископаемого, отличающихся различной технологией обработки или использования; разных сроков отработки (разных горизонтов, различных участков, в каждом из которых возможна различная система отработки).

При таком делении залежи последняя как бы трансформируется в ряд сомкнутых пластин, охваченных общим контуром залежи, в пределах которого подсчитывают запас. Толщина каждой пластины соответствует средней мощности залежи в блоке (рис. 18.2).

Объем залежи, запас полезного ископаемого и запас компонента в каждом блоке подсчитывают по вышеприведенным формулам среднего арифметического. Сумма запасов по блокам составляет запасы залежи в пределах общего подсчетного контура.

Погрешность запасов в отдельных блоках может достигать значительных размеров. Она будет тем больше, чем неравномернее характер размещения минерализации. Однако при случайном характере этих погрешностей, суммарные запасы по всем блокам будут определены со значительно меньшей по-

грешностью, чем погрешность запасов отдельных блоков. При достаточно большом числе блоков (не менее 10) суммарные запасы получаются с достаточной для практических целей точностью, не меньшей, чем при других способах подсчета запасов.

Способ эксплуатационных блоков. Если разведку месторождения производят в основном горными работами или на месторождении уже проведены горно-подготовительные выработки, подсчет запасов производят для каждого эксплуатационного блока, оконтуренного с четырех (или менее) сторон горно-подготовительными выработками (штреками, восстающими и пр.).

Запасы в пределах каждого блока подсчитывают по приведенным выше формулам.

Суммируя запасы по блокам, получают общие запасы залежи (или любой ее части в пределах общего подсчетного контура).

Исходным графическим документом для подсчета запасов способом эксплуатационных блоков служит маркшейдерский план выработок или их изображение в проекции на вертикальную или наклонную плоскость. В последнем случае плоскость проекции проводят параллельно средней линии простирания и средней линии падения залежи.

На рис. 18.3 приведен план горных работ по одному из эксплуатационных блоков жильного золоторудного месторождения.

К точкам 1, 2, ..., 19 отнесены пробы, взятые через одинаковый интервал с содержанием компонента c ; в местах взятия проб замерялась мощность жилы m .

Рядом с выработками (криволинейные выработки на плане — штреки, прямолинейные — восстающие) изображены кривые изменения содержания c компонента жилы по двум выработкам.

У каждой точки взятия пробы выписаны номера точек, мощности жилы m в местах и содержание c золота в граммах.

При подсчете запасов в данном блоке в следующем порядке определяют:

площадь блока S . В нашем случае площадь определена как произведение среднего значения истинной длины жилы (т. е. длины в натуре, а не на плане) по штрекам на среднее истин-

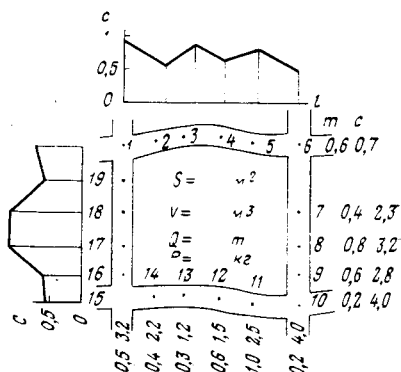


РИС. 18.3. План эксплуатационного блока

ное значение длины блока по восстающим. Площадь жилы по блоку оказалась равной 486 м^2 ;

среднюю мощность по блоку как среднюю арифметическую M из всех замеров: $M=6,7$;

объем полезного ископаемого по блоку:

$$V = SM = 486 \cdot 6,7 = 3256 \text{ м}^3;$$

запас руды блока (массу полезного ископаемого):

$$Q = V\gamma = 3256 \cdot 2,45 = 7977 \text{ т};$$

среднее содержание золота по блоку как среднее взвешенное по мощности:

$$C = 1,95 \text{ г/т},$$

запас золота по блоку:

$$P = kQC = 0,001 \cdot 7977 \cdot 1,95 = 15,55 \text{ кг}.$$

Из изложенного видно, что способ блоков по существу представляет собой способ среднего арифметического.

Этот способ широко применяют при подсчетах, связанных с учетом движения запасов рудника.

Способ изогипс. Для пластовых и жильных месторождений с выдержанной мощностью и с более или менее постоянным значением объемной массы полезного ископаемого запасы в пределах подсчитываемого блока (участка) определяют по формуле $Q = SM\gamma$.

Среднюю мощность полезного ископаемого M определяют как среднее арифметическое из замеров в подсчетном блоке (участке).

Среднее значение объемной массы полезного ископаемого γ также определяют как среднее арифметическое из нескольких его определений (пробной вырубкой, лабораторным или геофизическим методом).

§ 2. Способ изолиний

и объемной палетки проф. П. К. Соболевского

Способ объемной палетки, как наиболее простой, наиболее быстрый, не требующий никаких вспомогательных графиков и работы с планиметром, обеспечивающий всегда необходимую точность определения объемов тел по их изомощностям на плане, нашел широкое применение.

Теория способа заключается в следующем. Дан план в изолиниях мощности (рис. 18.4, а).

Требуется определить объем тела, ограниченного сверху данной поверхностью (характеризующейся изолиниями мощности), с боков оконтуренной границей подсчитываемого участка, а снизу горизонтальной плоскостью H_0 , отметка которой равна нулю.

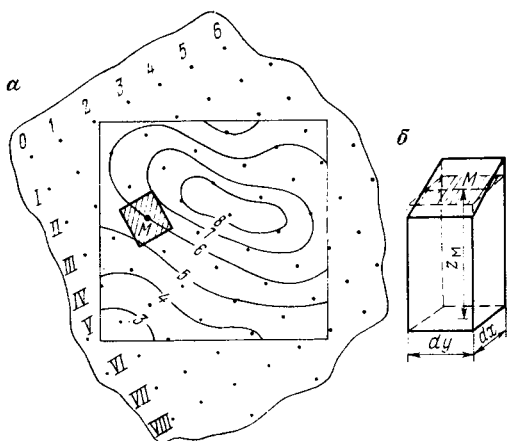


РИС. 18.4. К определению объема тела, ограниченного топографической поверхностью и горизонтальной плоскостью, палеткой П. К. Соболевского:
 а — изо мощности залежи; б — вертикальные призматические столбики, на которые мысленно делится объем тела наложением палетки

Для произвольной точки плана $M(x_m, y_m)$ известна соответствующая ей координата z_m :

$$z_m = f(x, y).$$

Построим в точке M элементарную площадку $dx \cdot dy = ds$ и представим себе в этой точке соответствующий вертикальный призматический столбик высотой z_m (рис. 18.4, б).

Элементарный объем этого столбика

$$dv = z_m dx dy = z_m ds$$

или

$$dv = f(x, y) dx dy.$$

Разобьем весь данный планшет, а вместе с ним и весь подлежащий определению объем квадратной сеткой, размеры ячейки которой достаточно малы.

Очевидно, объем V с любой степенью приближения (тем большей, чем меньших размеров ячейка S) выразится формулой

$$V = s \sum_{i=1}^N z_i,$$

где s — площадь ячейки в масштабе чертежа; z_i — соответствующая каждой ячейке высота, взятая с плана.

Вид последней формулы подсказывает следующий практический путь определения объема тела, выраженного в изолиниях поверхности, ограничивающей этот объем сверху.

На прозрачной бумаге (восковке, кальке) изготовляют сетку квадратов. Чтобы линии квадратной сетки не мешали

определению соответствующей высоты z_i , сетку не вычерчивают, а наносят лишь точки — центры квадратов сетки. Изображенная на рис. 19.4 палетка изготовлена на основе квадратной сетки со стороной в 1 см, т. е. каждая точка палетки эквивалентна площади в $1 \times 1 \text{ см}^2$ плана.

Палетку набрасывают на план изомощностей в произвольном положении. В пределах контура подсчета производят определение у точек палетки мощности и их суммирование.

Объемная палетка может быть использована при подсчете различными способами.

1. Наиболее быстро объем можно определить следующим путем. На план набрасывают палетку. Подсчитывают число точек n_i палетки между двумя смежными изолиниями, умножают его на среднее z_i значение из отметок двух смежных изомощностей. Объем тела

$$V = s \sum_1^N z_i n_i.$$

2. Набросив палетку на план, последовательно определяют отметки z_i у каждой точки палетки и простым суммированием находят значение $\sum_1^N z_i$, умножая которое на основание палетки в масштабе плана, получают искомый объем.

Если число приконтурных точек палетки небольшое, то необходимо вводить поправки в отметки точек палетки, основания которых пересекаются контуром (рис. 18.5). Ячейка *EFLK* пересекается контуром, причем 0,7 ячейки отрезается в контур подсчета, а 0,3 — за контур. В этом случае при подсчете $\sum_1^N z_i$ отметку в точке *A* исправляют за неполноту входа ячейки. В нашем случае $z_A' = 0,7 \cdot 9,4 = 6,6$ м. Следует также учитывать объемы столбиков, центры которых оказались вне контура, но часть основания попала в контур подсчета: так, например, для точки *B* необходимо взять $z_B = 9,7$, умножить на 0,4 (площадь ячейки, отходящей внутрь подсчитываемого контура) и значение произведения $0,4 \cdot 9,7 = 3,9$ приплюсовать к $\sum_1^N z_i$.

Практически это приходится делать редко, так как объемы прирезаемые и объемы отрезаемые при возрастании числа приконтурных точек стремятся в сумме к нулю.

Способ изолинии проф. П. К. Соболевского основан на использовании плана с изолиниями — изомощностями залежи.

При подсчете запасов способом изолиний реальное тело залежи полезного ископаемого или его части, в пределах которой производится подсчет запасов, заменяется новым равновеликим по объему телом, ограниченным снизу горизонтальной плоскостью, с боков — контуром полезного ископаемого, а сверху — поверхностью топографического порядка. В этом

теле будут сохранены значения мощностей и линейных запасов полезного ископаемого и его компонента для любой точки реального пространства полезного ископаемого, в чем и состоит принципиальное отличие метода изолиний от всех других, при которых тело полезного ископаемого также трансформируется в равновеликое тело, но при этом для любой точки пространства тела значения его показателей не сохраняются.

Следовательно, изомощности полезного ископаемого, его изолинии линейного запаса и изолинии запаса компонента вскрывают и дают наглядное изображение характера изменения реальных показателей месторождения полезного ископаемого.

В этом громадное преимущество способа изолиний перед другими способами подсчета запасов полезных ископаемых.

Запасы полезного ископаемого с постоянной плотностью методом изолиний определяют по формуле

$$Q = S\gamma \sum_1^N m_i.$$

На план изомощностей накладывают объемную палетку и производят подсчет суммы значений мощностей $\sum_1^N m_i$ для всех точек палетки, расположенных внутри контура подсчета.

Умножая полученную сумму на площадь основания палетки, учитывая масштаб плана, получают объем полезного ископаемого. Умножая последний на среднее значение плотности полезного ископаемого, получают его запас в единицах массы.

Запас p_i (т) полезного ископаемого при переменной плотности и содержании компонента в каждом элементарном призматическом столбике, на которые мысленно разбито исследуемое полезное ископаемое, равен

$$p_i = s_i m_i \gamma_i c_i / 100 \%,$$

где s_i — площадь основания палетки, m^2 ; m_i — мощность в элементарном столбике; γ_i — плотность полезного ископаемого в столбике; c_i — среднее содержание компонента по элементарному призматическому столбику, %.

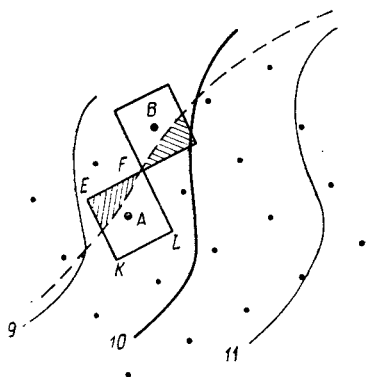


РИС. 18.5. Участок плана с изомощностями залежи, контуром подсчета и наложенной точечной палеткой

Общий запас компонента (τ)

$$P = \frac{s}{100} \sum_1^N m_i \gamma_i c_i.$$

Последняя формула подсказывает следующий наиболее рациональный практический путь определения запасов компонента.

1. По каждой разведочной выработке вычисляют значение линейного (нормального по отношению к плоскости проекции) запаса компонента, т. е. определяют произведения $m_i \gamma_i c_i$ и выписывают их у соответствующих проекций.

2. В результате геометрического анализа числовых значений линейных запасов на плане намечают (ориентировочно) инвариантные линии поверхности, интерпретирующей размещение этих запасов по месторождению.

3. При помощи инвариантных линий определяют направления скатов этой поверхности.

4. Задавшись сечением и обосновав метод интерполирования, на инвариантных линиях и на линиях скатов находят ступенчатые отметки через интервал, обеспечивающий построение необходимого числа изолиний линейных запасов в подсчетном контуре.

5. Через ступенчатые точки с одинаковым значением проводят плавные кривые — изолинии линейных запасов (вертикальных — в случае горизонтальной плоскости проекции, горизонтальных — в случае вертикальной плоскости проекции и т. д.).

6. На план изолиний линейных запасов накладывают палетку и подсчитывают

$$\sum_1^N m_i \gamma_i c_i.$$

7. Перемножают полученное значение суммы линейных запасов всех точек палетки (оказавшихся внутри контура, в пределах которого определяется запас компонента) на величину $s/100$, в результате получают искомый запас компонента.

Геометрический смысл изолиний линейных запасов состоит в следующем. Представим себе, что частицы определяемого металла (компонента вообще), рассеянные в рудной массе, как бы опустились на плоскость проекции по перпендикуляру к ней, осаждение металла на плоскость проекции предполагается только по перпендикулярам к плоскостям проекции.

В результате такого воображаемого осаждения получают какой-то воображаемый слиток осевшего металла, общая масса которого представляет собой общий запас металла месторождения.

Геометрическая форма осевшего слитка такова: снизу слиток ограничен плоскостью проекции; с периферии — цилиндрической поверхностью, направляющая которой — проекция кон-

тура рудного тела или проекция контура, в пределах которого производится подсчет; сверху слиток ограничен некоторой поверхностью топографического порядка.

Если теперь воображаемый осевший слиток металла рас-сечь рядом плоскостей, параллельных плоскости проекции и отстоящих одна от другой на одинаковом расстоянии, то полу-чаются изолинии линейных запасов.

В самом деле, объем осевшего слитка металла в каждом призматическом столбике

$$\omega = \frac{s_i m_i \gamma_i c_i}{100 \Delta},$$

где Δ — удельный вес металла.

Высота осевшего слитка в каждом призматическом стол-бике

$$h_i = \frac{s_i m_i \gamma_i c_i}{100 \Delta s_i}.$$

Величину $\frac{1}{100 \Delta}$, как постоянную для месторождения, обо-значим через k , тогда $h_i = k m_i \gamma_i c_i$.

Следовательно, если значения изолиний линейных запасов умножить на число k , то получим изогипсы поверхности осев-шего слитка металла.

§ 3. Способ разрезов

При разведке месторождений полезных ископаемых выработ-ками, пройденными в горизонтальных или вертикальных плос-костях, по которым можно построить геологические разрезы месторождения, определение запасов полезного ископаемого осуществляется способом *разрезов или параллельных сечений*.

Подсчет запасов способом разрезов заключается в том, что предварительно подсчитывают запас в сечениях полезного ис-копаемого по разведочным линиям (горизонтальным или вер-тикальным — безразлично), в слоях мощностью, равной 1 м, а произведение полусуммы запасов в сечениях на расстояние между ними определяет запас в блоках между двумя сече-ниями. Суммирование запасов по блокам определяет общий за-пас месторождения (или его разведанной части).

На рис. 18.6, а изображены вертикальные разрезы по раз-ведочным выработкам, параллельным линиям $R.L.1$, $R.L.2$, $R.L.3$.

Площадь вертикального сечения полезного ископаемого по разведочной линии l определится как сумма площадей тра-пеций

$$S_1 = \frac{m_1 + m_2}{2} r_{1-2} + \frac{m_2 + m_3}{2} r_{2-3} + \dots + \\ + \frac{m_n + m_{n+1}}{2} r_{n-(n+1)},$$

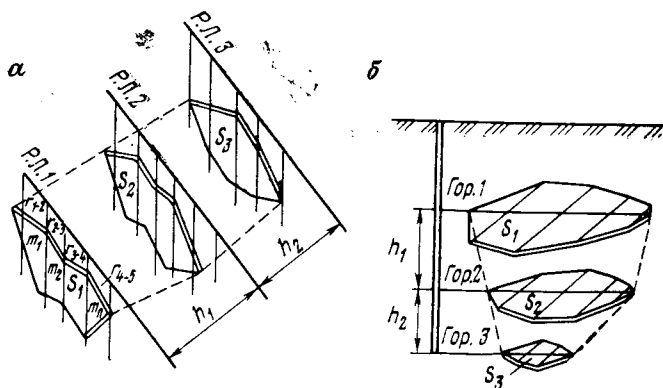


РИС. 18.6. К подсчету запасов методом параллельных вертикальных (а) и горизонтальных (б) сечений

где $m_1, m_2, \dots, m_n$ — мощность по выработке; r_{1-2}, r_{2-3} — расстояние между выработками.

Объем (м^3) вертикального слоя полезного ископаемого с горизонтальной мощностью, равной 1 м:

$$V_1 = S_1 l.$$

Запас в слое сечения (запас в объеме V_1) равен:

а) в случае, когда γ — плотность полезного ископаемого — величина переменная и варьирует в пределах более $\pm 50\%$ среднего его значения,

$$Q_1 = \frac{m_1 \gamma_1 + m_2 \gamma_2}{2} r_{1-2} + \frac{m_2 \gamma_2 + m_3 \gamma_3}{2} r_{2-3} + \dots,$$

или

$$Q_1 = \frac{q_1 + q_2}{2} r_{1-2} + \frac{q_2 + q_3}{2} r_{2-3} + \dots$$

б) в случае, когда γ — величина постоянная или варьирует в пределах менее $\pm 50\%$ среднего его значения,

$$Q_1 = \gamma V_1 = \gamma \left(\frac{m_1 + m_2}{2} r_{1-2} + \frac{m_2 + m_3}{2} r_{2-3} + \dots \right).$$

Запас компонента (запас компонента в объеме V_1) по разведочной линии 1 (Р.Л.1):

$$P_1 = \frac{1}{100} \left(\frac{m_1 \gamma_1 c_1 + m_2 \gamma_2 c_2}{2} r_{1-2} + \frac{m_2 \gamma_2 c_2 + m_3 \gamma_3 c_3}{2} r_{2-3} + \dots \right),$$

где c_1, c_2, c_3 — содержание компонента по скважине, или

$$P_1 = \frac{p_1 + p_2}{2} r_{1-2} + \frac{p_2 + p_3}{2} r_{2-3} + \dots$$

Запас руды и компонента, заключенных между двумя сечениями, расположенными на расстоянии h_1, h_2 , например, между разведочными линиями 1 и 2, определится по формулам:

$$Q_{1-2} = \frac{Q_1 + Q_2}{2} h_1;$$

$$P_{1-2} = \frac{(P_1 + P_2)}{2} h_1.$$

Объем руды (m^3), заключенный между этими сечениями,

$$V_{1-2} = \frac{(S_1 + S_2)}{2} h_1.$$

Объем и запасы для всего месторождения в целом:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n,$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n,$$

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

Объем и запасы межконтурных полос, независимо от того, является ли внешний контур со значением мощности m или содержания C равным промышленному пределу или нулю, подсчитывают как полусумму сечения по внутреннему контуру (например, сечения 1) и сечения по внешнему контуру, умноженную на расстояние между ними.

Аналогично по тем же формулам производят подсчет запасов по горизонтальным параллельным сечениям залежи (горизонтальным разрезам) (рис. 18.6, б).

В практике подсчета запасов имеют место два варианта описанного метода разрезов. Первый из них заключается в том, что подсчет запасов между соседними параллельными сечениями производят не по двум сечениям, а по одному.

Запас участка, тяготеющего к данному сечению, например к сечению по линии 2, принимают равным произведению запаса по этому сечению (сечению 2) на $(h_1 + h_2)/2$.

Второй вариант, широко использующийся в практике подсчета запасов россыпных месторождений, состоит в следующем. Для каждого сечения вычисляют среднюю мощность полезного ископаемого как среднюю арифметическую при одинаковых расстояниях между выработками или как среднюю взвешенную по расстояниям между выработками, если эти расстояния не равны.

Затем вычисляют среднее содержание по сечению, взвешенное по площадям, равным произведению мощности россыпи в каждой выработке на расстояние, отвечающее ее влиянию по линии.

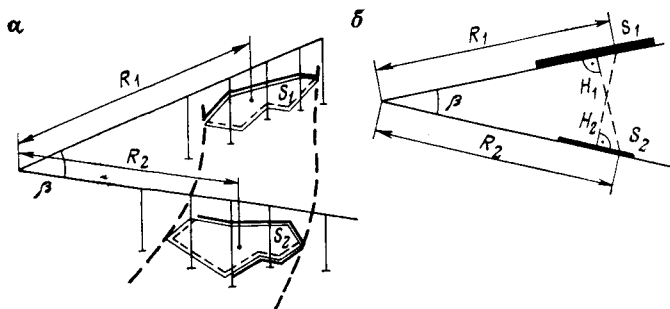


РИС. 18.7. К подсчету запасов при непараллельных разрезах при значительных (а) и малых (б) углах между сечениями

В участке россыпи, тяготеющей к данной разведочной линии, запас металла (кг):

$$p = Sm_0 c_0 1/100,$$

где S — площадь (горизонтальная), тяготеющая к данной линии и равная произведению длины этой линии на $(R_n + R_{n+1})/2$; m_0 , c_0 — средние соответственно мощность и содержание, отнесенные к 1 м³ россыпи.

При непараллельных вертикальных разрезах по разведочным линиям 1, 2, 3 (рис. 18.7) подсчет запасов производят аналогично описанному. Разрезы считают практически непараллельными, если угол между разведочными линиями превышает $\beta > 10^\circ$. Запасы определяют из выражения

$$Q = \frac{\beta}{\sin \beta} \frac{(Q_I + Q_{II})}{2} \frac{(H_I + H_{II})}{2}.$$

Для определения объема между непараллельными сечениями рекомендуют формулу

$$V = \frac{\beta}{6} [R_1'(2S_1 + S_2) + R_2(2S_2 + S_1)],$$

или при малых углах β и $R_1 = H_1/\sin \beta$; $R_2 = H_2/\sin \beta$:

$$V = \frac{\beta}{6 \sin \beta} [H_1(2S_1 + S_2) + H_2(2S_2 + S_1)].$$

При $\beta > 10^\circ$

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \frac{H_1 + H_2}{2},$$

где R_1 , R_2 — расстояния от вершины угла до центра тяжести сечений; H_1 , H_2 — длины перпендикуляров, опущенных из центров тяжести сечений на соседние сечения; S_1 , S_2 — площади сечений; β — угол между разведочными линиями в радианах.

§ 4. Способ многоугольников и треугольников

Способ многоугольников, называемый иногда способом ближайшего района, был предложен проф. А. К. Болдыревым.

Сущность способа заключается в том, что оконтуренное тело полезного ископаемого разбивается на ряд прямых многогранных призм, запасы которых подсчитываются отдельно для каждой призмы.

Общий запас полезного ископаемого и металла по всей залежи получается суммированием запасов отдельных призм.

Многоугольники, служащие основанием призм, строят следующим образом:

соединяют каждую разведочную выработку (скважину, шурф) с ближайшими разведочными выработками (рис. 18.8); к серединам линий, соединяющих данную выработку с ближайшими, восстанавливают перпендикуляры, которые, пересекаясь между собой, образуют многоугольники.

Любая точка многоугольника, построенного таким образом, ближе к данной разведочной выработке, чем к другим выработкам. Поэтому этот метод и называется *методом ближайшего района*. Оконтуривание ближайшего района удобно производить с помощью трафарета (рис. 18.8, б).

При данном способе подсчета запасов тело полезного ископаемого как бы преобразуется в группу сомкнутых многогранных призм, основаниями которых являются построенные выше-указанным способом многоугольники, а высотой — мощности тела по выработкам.

При этом способе выделение внутреннего и внешнего контуров не рекомендуется, так как периферийные многоугольники перекрывают полосу, расположенную между внутренним и внешним контурами. Если же провести внешний контур, то межконтурная полоса разделится на участки, тяготеющие к выработкам, как это указано на рис. 18.8.

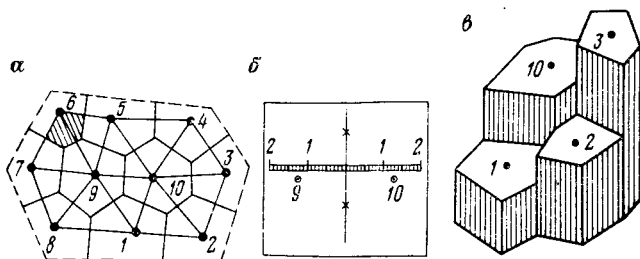


РИС. 18.8. К подсчету запасов способом многоугольников:

а — схема построения многоугольников; б — трафарет, совмещенный с устьями скважин 9 и 10; в — перспектива сомкнутых призм; 1—10 — номера скважин

В соответствии с приведенными выше обозначениями общие формулы подсчета по методу ближайшего района имеют следующий вид:

$$v_i = s_i m_i; \quad q_i = s_i m_i \gamma_i; \quad p_i = s_i m_i \gamma_i c_i / 100;$$

$$V = \sum_1^n v_i; \quad Q = \sum_1^n q_i; \quad P = \sum_1^n p_i.$$

Впервые способ многоугольников проф. А. К. Болдырев применил к подсчету запасов россыпных месторождений. Построение многоугольников (площадей ближайшего района) для россыпных месторождений производят так, как показано на рис. 18.9, где точки a_1' , a_2' и a_3' — точки на разведочных линиях $P.L.1$, $P.L.2$, $P.L.3$, являющиеся границами россыпи с предельным промышленным бортовым содержанием металла. Линии AB и CD делят блоки между разведочными линиями пополам. Линия $m_1 m_2 m_3$ проходит через точки разведочных линий, делящих последние пополам.

Расстояния l между разведочными выработками на разведочных линиях делятся пополам и из полученных точек — середин проводят линии, параллельные соответствующим отрезкам линии $m_1 m_2 m_3$, до линий, делящих блоки пополам.

Таким построением определяют площади ближайших районов для каждой разведочной выработки. На рис. 18.9 заштрихована одна из таких площадей.

Подсчет запасов *способом треугольников* заключается в следующем.

На плане (в любой проекции) строят треугольники $I, II, \dots, X$ путем соединения соответствующих точек разведочных выработок $1, 2, 3, \dots, 9$ прямыми линиями (у вертикальных выработок соединяют устья разведочных выработок, у наклонных — точки входов выработок в полезное ископаемое), причем эти линии не должны пересекаться.

В полосе (заштрихована) между внешним и внутренним контурами (в межконтурной полосе) треугольники получают равнобедренными; основанием их служат линии, проведенные через крайние выработки, пройденные по полезному ископаемому (через которые проводят внутренний контур), а вершинами — точки, лежащие на внешнем контуре и равноудаленные от двух других вершин — разведочных выработок треугольника (рис. 18.10).

Таким образом, месторождение в пределах подсчитываемого контура как бы преобразуется в группу сомкнутых косоусечен-

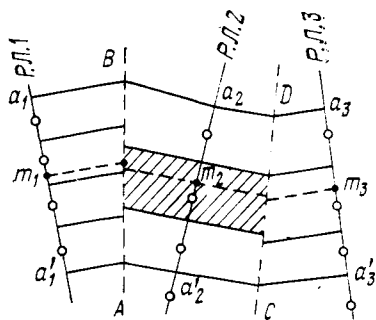


РИС. 18.9. Построение ближайшего района по разведочным линиям россыпного месторождения

ных треугольных призм, общий объем которых равновелик объему тела полезного ископаемого.

При способе треугольников объем полезного ископаемого по месторождению выражается как сумма объемов отдельных призм:

$$\begin{aligned} V &= V_1 + V_2 + \dots + V_n = \\ &= s_1 \frac{m'_1 + m''_1 + m'''_1}{3} + \dots + \\ &+ s_n \times \frac{m'_n + m''_n + m'''_n}{3} = \\ &= \sum_{i=1}^n s_i \frac{m'_i + m''_i + m'''_i}{3}. \end{aligned}$$

Запас полезного ископаемого как сумма запасов по отдельным призмам

$$Q = \sum_{i=1}^n s_i \frac{m'_i \gamma'_i + m''_i \gamma''_i + m'''_i \gamma'''_i}{3}.$$

Запас компонента как сумма запасов по отдельным призмам

$$P = k \sum_{i=1}^n s_i \frac{m'_i \gamma'_i c'_i + m''_i \gamma''_i c''_i + m'''_i \gamma'''_i c'''_i}{3}.$$

§ 5. Комбинированные способы подсчета запасов и статистический способ

В практике подсчета запасов минерального сырья применяют комбинированные способы. При этом комбинирование способов подсчета запасов бывает двояким. Во-первых, различные части одного и того же месторождения подсчитывают разными способами. Такой подсчет производят в том случае, если отдельные части месторождения имеют разную форму или же разведка их осуществлена разной системой разведочных работ. Во-вторых, для удобства использования результатов подсчета запасов при проектировании разработки и планировании добычи на месторождении или в целях достижения повышенной точности подсчета по одному из методов месторождение расчленяют на подсчетные блоки, а подсчет запасов в пределах этих блоков производят другим методом.

При подсчете запасов низших категорий для схематической оценки перспектив районов месторождений полезных ископае-

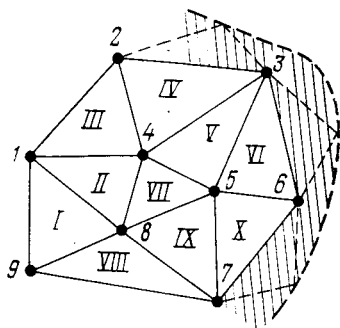


РИС. 18.10. Схема построения треугольников при подсчете запасов

мых применяют приближенный статистический способ, который заключается в следующем.

По результатам эксплуатационных работ или данным детальной разведки месторождения определяют выход полезного ископаемого на единицу площади (например, коэффициент угленосности или коэффициент продуктивности). Затем это количество полезного ископаемого на единицу площади распространяют на всю площадь района месторождения полезного ископаемого, в пределах которой сохраняется та же геологическая обстановка.

При выборе способа подсчета запасов минерального сырья необходимо прежде всего иметь в виду, с какой целью производят подсчет.

Выделяют три случая подсчета запасов полезного ископаемого, в каждом из которых цель подсчета запасов принципиально отлична: полный подсчет (пересчет), оперативный (балансовый) и подсчет при определении потерь и разубоживания. Рассмотрим первый из них.

Полный подсчет (или пересчет) запасов полезного ископаемого производят раз в несколько лет по мере накопления нового материала по изучению и разведке месторождения.

В этом случае обычно заново изготавливают графики, планы и разрезы, на которых с исчерпывающей полнотой изображены: форма залежи (или залежей); геометрия размещения запасов по залежи, их отдельных разновидностей (сортов) и компонентов; горно-геологические и гидрогеологические условия залегания месторождения.

На этой основе производят полный пересчет запасов с учетом всех данных о месторождении (эксплуатации шахтного строительства и разведки) в соответствии с требованиями инструкции ГКЗ.

§ 6. Применение ЭВМ при подсчете запасов

Для простых геологических тел и условий залегания подсчет запасов не представляет особого труда, однако в условиях сложного строения, сильной тектонической нарушенности, большого разнообразия сортов полезного ископаемого, сложной сети разведочных пересечений эта задача, оставаясь весьма ответственной, становится очень трудоемкой. Это обстоятельство повлекло за собой попытки решения задачи подсчета запасов полезных ископаемых с использованием возможностей ЭВМ. В настоящее время разработано несколько эффективных программ, реализующих тот или иной способ подсчета. Рассмотрим особенности некоторых из них.

Одной из необходимых операций при подсчете запасов по большинству способов является вычисление площадей проекций подсчетных блоков. В настоящее время распространены способы подсчета курвиметром, планиметром, палеткой, однако

известен более точный аналитический метод, применение которого было ограниченным из-за трудоемкости расчетов и который в настоящее время программно реализован на ЭВМ.

Программа является частью блока вычисления запасов руды и металла, но может быть использована самостоятельно в задачах, требующих вычисления площади контура, опирающегося на закоординированные точки.

Исходными данными для расчета являются координаты (x_k, y_k) угловых точек замкнутого полигона, ограничивающего подсчетный блок. Вычисления проводят по формулам

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n x_k (y_{k+1} - y_{k-1});$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n y_k (x_{k+1} - x_{k-1}).$$

Координаты точек задают последовательно по или против часовой стрелки. Точки могут быть закоординированы в любой системе координат. Числовой материал набивают и вводят с перфокарт. Результаты вычислений печатаются в тех же единицах, что и координаты угловых точек контура.

В ряде программ подсчета запасов используют числовую модель геологического объекта. Этот способ можно рассматривать как ориентированный на ЭВМ численный аналог метода объемной палетки, предложенного проф. П. К. Соболевским.

Числовые модели представляют собой геометрическую абстракцию, отражающую в некотором приближении и заданном масштабе картину размещения некоторых свойств геологического тела в проекции на избранную плоскость. Численную модель геологического объекта по какому-либо показателю легко представить в виде матрицы, каждый элемент которой является значением показателя в ячейке числовой модели. Все дальнейшие операции для решения задачи подсчета запасов в смоделированных таким образом геологических объектах могут быть сведены к операциям с одноформатными матрицами, весьма эффективно решаемым на ЭВМ. Например, умножив поэлементно матрицу изомощностей на скаляр — площадь ячейки числовой модели, — получают новую матрицу объемов полезного ископаемого в ячейках. Перемножив эту матрицу с матрицей плотности полезного ископаемого в ячейках, получают матрицу запасов полезного ископаемого в ячейках. Просуммировав все элементы последней матрицы, получают общие запасы полезного ископаемого. Эти операции, а также операции вычисления запасов металла выполняются программно по алгоритму, представленному на блок-схеме (рис. 18.11).

Набор и последовательность операций, а также массивы исходных данных описываются на условном языке числовых кодов в специальных бланках. Результаты вычислений печатаются на АЦПУ.

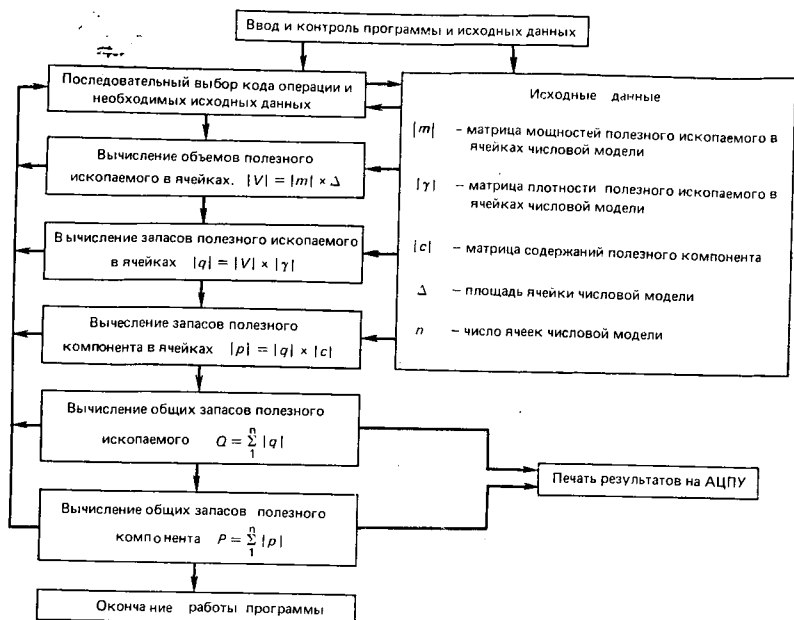


РИС. 18.11. Блок-схема подсчета запасов на ЭВМ

Вычисление запасов на ЭВМ может проводиться также методом разрезов и блоков. Для этого разработана соответствующая программа. Подсчет по методу разрезов проводят как при параллельных, так и при непараллельных сечениях. Программа производит отнесение полезного ископаемого к тому или иному сорту согласно кондициям. Средние содержания по блоку определяют методом средневзвешенного или среднеарифметического. Запасы компонентов вычисляют с учетом коэффициента рудоносности. В пределах рудного тела выделяют некоторую часть, которую рассматривают как однородный в определенном смысле подсчетный блок.

При подсчете методом разрезов блок характеризуется площадями сечений рудного тела по заданным разрезам и расстояниями по нормали между данными разрезами. Подсчетные блоки уподобляются достаточно простым геометрическим телам, для которых программа содержит набор соответствующих формул для расчета.

Для вычислений готовят следующие исходные данные: массив пересечений, массив кондиций на минеральное сырье, средние содержания и мощности, сведения о блоках (название участка, номер рудного тела, объемная масса и категория запасов), сведения о геометрических фигурах, которыми аппроксимируется подсчетный блок, коэффициент рудоносности и др.

Результаты вычислений по каждому блоку могут быть использованы для получения общих оценок запасов по сортам, рудным телам и категориям запасов.

ГЛАВА 19

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

§ 1. Общие сведения

Оценка точности определения запасов в недрах является весьма актуальной проблемой. От количества запасов зависит объем капиталовложений на строительство или реконструкцию горного предприятия. От погрешности определения запасов зависит степень окупаемости капиталовложений, точность определения проектной мощности горного предприятия и, как следствие этого, скорость развития соответствующей отрасли горнодобывающей промышленности.

Погрешности определения запасов в недрах вызывают реальные негативные экономические последствия.

В некотором объеме недр $V_{\text{ист}}$ содержится вполне определенное количество полезного ископаемого (руды) $Q_{\text{ист}}$ и полезного компонента $P_{\text{ист}}$, т. е. истинные запасы руды и компонента. Действительные значения этих запасов нам неизвестны. По данным разведочных работ определяют запасы с некоторой степенью приближения к истинным.

Задачей является получение по данным разведочных выработок такой оценки истинных запасов, которая с возможно большей точностью и надежностью соответствовала бы этим величинам. Для этого необходимо установить выражения, которыми описываются истинные запасы.

В основе большинства способов подсчета запасов лежат формулы (18.1) и (18.2). Эти формулы являются приближенными. Действительно, со статистической точки зрения величины Q , P , γ , C , M и S нужно понимать как математические ожидания. Но так как величины γ , C и M , как правило, статистически взаимозависимы (т. е. коррелированы, причем малая величина корреляционного отношения, например, между мощностью и содержанием еще не говорит о наличии между ними сильных локальных корреляций, возможно, и противоположного знака), то математическое ожидание их произведения не равно произведению математических ожиданий, как трактуют это формулы (18.5), (18.6). С другой стороны, эти формулы оставляют без ответа вопрос, какого рода средние нужно понимать под величинами γ , C и M .

Последнее обстоятельство является причиной дискуссии в соответствующей литературе относительно целесообразности взвешивания при вычислении C . Указанные формулы являются

математически корректными лишь при некоторых значениях величин γ , C , M и S , о чем будет сказано ниже.

Истинные запасы полезного ископаемого и компонента в пределах подсчитываемого объема V , исходя из их физического смысла, могут быть выражены равенствами

$$Q_{\text{ист}} = \iiint \gamma(x, y, z) dV, \quad (19.1)$$

$$P_{\text{ист}} = \iiint \gamma(x, y, z) c(x, y, z) dV, \quad (19.2)$$

где $\gamma(x, y, z)$ и $c(x, y, z)$ — соответственно плотность и содержание — т. е. функции координат точки; dV — дифференциал объема.

Формулы (19.1) и (19.2) являются математически точными. Хотя они и не могут непосредственно быть использованы для вычисления величин Q и P , но могут служить отправными для теоретического вывода расчетных выражений того или иного способа подсчета запасов. Так как аналитически выразить функции $\gamma(x, y, z)$ и $c(x, y, z)$ по результатам разведки практически невозможно, то интегралы формул (19.1) и (19.2) могут быть найдены лишь приближенно как суммы:

$$Q_{\text{ист}} \approx \sum_{i=1}^N \gamma_i V_i = \sum_{i=1}^N \gamma_i s_i m_i, \quad (19.3)$$

$$P_{\text{ист}} \approx \sum_{i=1}^N \gamma_i c_i V_i = \sum_{i=1}^N \gamma_i c_i s_i m_i \quad (19.4)$$

или через математические ожидания

$$Q_{\text{ист}} = S_{\text{ист}} M(l\gamma) M(m)/M(l), \quad (19.5)$$

$$P_{\text{ист}} = S_{\text{ист}} M(l\gamma c) M(m)/M(l), \quad (19.6)$$

где γ_i и c_i — соответственно плотность и содержание компонента в объеме V_i зоны влияния пробы i ; s_i , m_i — площадь и мощность залежи в элементарном объеме V_i ; N — общее число проб в пределах подсчетного контура; $M(m)$, $M(l)$, $M(l\gamma)$ и $M(l\gamma c)$ — математические ожидания отдельных величин (или их произведений) мощности, интервала опробования, плотности и содержания компонента.

Формулы (19.3) и (19.4) могут быть рекомендованы для непосредственного использования при подсчете запасов способом многогранников (аналогия со способом многоугольников), так как величины V_i — это объемные зоны влияния проб, являющиеся многогранниками в общем случае довольно сложной конфигурации. Этот способ является наиболее точным из известных и рекомендуется при разработке программ подсчета запасов на ЭВМ.

Взаимозависимость величин m , γ , c , l , V обуславливает определенную систему определения соответствующих средних значений параметров при подсчете запасов, несоблюдение которой приводит к ухудшению оценки P по сравнению с исходной формулой (19.4), т. е. к потере точности, потере информа-

ции, получаемой при разведке. Способ вычисления средних значений параметров подсчета запасов определяется структурой формул применяемого способа подсчета запасов, которая выявляется при аналитическом выводе этих формул из исходных соотношений (19.3) и (19.4).

Если на некотором реальном месторождении между параметрами подсчета запасов отсутствуют взаимосвязи, то согласно теореме о математическом ожидании независимых случайных величин

$$M(m\gamma c) = M(m) M(\gamma) M(c) \quad (19.7)$$

формулы истинных запасов примут вид

$$Q_{\text{ист}} = S_{\text{ист}} M(m) M(\gamma), \quad (19.8)$$

$$P_{\text{ист}} = S_{\text{ист}} M(m) M(\gamma) M(c). \quad (19.9)$$

Эти формулы отличаются от общеизвестных формул (18.1) и (18.2) более строгой формой записи. Следовательно, последние справедливы только в одном частном случае, когда между параметрами подсчета отсутствуют взаимосвязи, распределение параметров подчинено нормальному закону, а средние арифметические значения показателей при достаточном количестве измерений могут быть приняты равными их математическим ожиданиям. Если между параметрами, например мощностью залежи m и содержанием c , существует взаимосвязь, то для определения погрешности, обусловленной применением формул (18.1) и (18.2), воспользуемся известным положением о том, что математическое ожидание произведения двух коррелированных случайных величин равно произведению математических ожиданий плюс корреляционный момент:

$$M(mc) = M(m) M(c) + K_{mc},$$

учитывая, что $K_{mc} = R_{mc} \sigma_m \sigma_c$, $\sigma_m = M(m) V_m$, $\sigma_c = M(c) V_c$, получим $M(mc) = M(m) M(c) [1 + R_{mc} V_m V_c]$, где R_{mc} — коэффициент корреляции между мощностью залежи и содержанием компонента; σ_m и σ_c — стандарты и V_m , V_c — коэффициенты вариации величин, указанных в индексах. Приняв γ — плотность для месторождения постоянной, получим выражение истинных запасов компонента

$$P_{\text{ист}} = S_{\text{ист}} \gamma M(m) M(c) [1 + R_{mc} V_m V_c].$$

Тогда погрешность, обусловленная применением формулы (18.2), в данном случае составит

$$\Delta P = P_{\text{ист}} - P = G S_{\text{ист}} \gamma M(m) M(c),$$

где $G = R_{mc} V_m V_c$.

Например, при $R_{mc} = 0,2$, $V_m = 0,5$; $V_c = 2,0$; $G = 0,2$. Тогда в зависимости от знака R_{mc} получают завышение или занижение запасов на 20 %. Это существенная величина.

Таким образом, существующие методы подсчета запасов в значительной мере приближены, причем сложившаяся практика их использования допускает еще большее снижение точности, связанное с упрощенным применением этих способов с целью уменьшения трудоемкости графических и вычислительных операций.

§ 2. Факторы, влияющие на точность определения запасов в недрах

Точность определения запасов в недрах зависит от многих разнообразных факторов. Главнейшие из них.

Реальная геологическая ситуация. Форма и условия залегания месторождений весьма разнообразны. Одни месторождения представлены одной пластообразной залежью сравнительно постоянной мощности, другие — серией переплетающихся жил переменной мощности, третьи — рудоносными зонами, в которых гнезда полезного ископаемого характеризуются отсутствием видимой приуроченности к какому-либо горизонту, разлому и т. д. Очевидно, что при прочих равных условиях точность определения запасов на указанных месторождениях не может быть одинаковой.

Однако не только формы залежей влияют на точность определения их объемов. Существенное влияние на последнюю оказывают также число залежей, их структура, степень тектонической нарушенности, вид оруденения, степень изменчивости минерализации, мощности залежи, угла падения, перемежаемость руд различных минералогических и технологических типов, степень минерализации вмещающих пород и т. д.

Перечисленные факторы отражают сложность месторождения, которая, однако, до сего времени оценивается качественно (см. главу 18, § 1).

Система разведки. Известны случаи, когда именно несоответствие системы разведки реальной геологической обстановке вызывало крупные погрешности в определении запасов.

Ориентирование линий разведочной сети не по падению залежей, а в некотором произвольном направлении приводило к неудовлетворительному выявлению структуры всего месторождения и отдельных залежей, что вызывало увеличение затрат на дополнительную разведку месторождения.

Плотность разведочной сети является одним из важнейших факторов, определяющих точность подсчета запасов полезного ископаемого. Плотность сети выражают или количеством геологоразведочных выработок (ГРВ), приходящихся на единицу площади, или площадью, приходящейся на одну ГРВ (обратный показатель). Наиболее распространенным показателем, характеризующим плотность сети, являются параметры этой сети, т. е. расстояния между соседними ГРВ в направлениях падения и простирания залежей, или размеры ячейки сети.

В общем случае структура месторождения и количество запасов определяются тем точнее, чем выше плотность сети (или меньше ее параметры). Если с увеличением плотности уточнения не достигается, это свидетельствует о достаточности разведки или переразведанности месторождения или его участка. Параметры разведочных сетей устанавливают в соответствии с группой сложности месторождения с использованием месторождения-аналога.

Следует отметить, что группу сложности как разведываемого месторождения, так и месторождения-аналога пока еще устанавливают на основе качественных описательных критериев, поэтому такая оценка сложности в существенной мере подвержена субъективным влияниям.

Сложность должна оцениваться не на качественной, а на количественной основе. Методика количественной оценки сложности должна учитывать все существенные геологические факторы.

Точность и представительность определения значений мощности залежи, плотности и содержания компонентов влияет как на точность оконтуривания форм залежей, так и на точность определения средних значений подсчетных параметров, т. е. в конечном итоге на точность определения запасов полезных ископаемых.

Известны случаи существенного неподтверждения запасов руды и полезных компонентов на месторождениях, вызванного именно систематическими погрешностями опробования и измерений других параметров.

Повышение точности и представительности определения параметров подсчета запасов может быть достигнуто как совершенствованием методов и технических средств измерений и опробования, так и совершенствованием методов интерпретации полученных результатов, правильным учетом так называемых «ураганных» проб или проб с исключительным содержанием.

Способы интерпретации геологоразведочных данных. К ним относятся способы оконтуривания залежей, увязки разрезов по разведочным линиям, установления закономерностей пространственного размещения значений содержания полезных и вредных компонентов.

Существуют различные способы оконтуривания залежей, и применение их вносит неоднозначность в решение этой задачи. Увязка разрезов тоже может производиться по-разному, особенно при ограниченной геологоразведочной информации и отсутствии сколько-нибудь надежных маркирующих горизонтов, слоев и т. д. Таким образом, увязка разрезов наследует неоднозначность, появившуюся при оконтуривании, и добавляет свою.

Закономерности размещения содержания полезных и вредных компонентов устанавливают различными методами. В общем случае это дает различные результаты.

Неоднозначность, приобретенная при оконтуривании залежей и увязке разрезов, дополняется неоднозначностью установления закономерностей размещения содержания компонентов.

Результаты же интерпретации геологоразведочных данных являются той единственной основой, по которой определяют все исходные данные для подсчета запасов — значения площади и мощности залежей, плотности полезного ископаемого, содержания полезных компонентов.

Таким образом, методы интерпретации геологоразведочных данных являются одним из весьма существенных факторов возникновения погрешностей, снижения и повышения точности определения запасов в недрах. В связи с этим задача совершенствования методов интерпретации является весьма актуальной. Этим, в частности, объясняется бурный процесс математизации и интенсивных поисков методологических основ для применения различных математических аппаратов в геологии и геометрии недр для установления максимально правдоподобной модели месторождения по имеющейся информации.

Способы подсчета запасов. Точность определения запасов в недрах во многом зависит от соответствия применяемого способа подсчета запасов реальной геологической ситуации и системе разведки.

Принципиальное отличие способов друг от друга состоит в том, что каждый способ по-своему решает задачу определения области влияния каждой пробы (содержание, мощность и пр.) и средних значений параметров по исходным данным.

Способы оценки точности определения запасов в недрах. Существует три принципиально различных способа оценки точности определения запасов в недрах: разрежения разведочной сети; сравнения результатов подсчета запасов с данными эксплуатации; расчета на основе математико-статистического аппарата.

Способ разрежения разведочной сети состоит в том, что запасы определяют по наиболее густой сети и принимают их за свободные от погрешностей. Затем сеть разрежают до различной плотности, определяя при каждой плотности погрешность определения запасов сопоставлением их с ранее подсчитанными.

Таким образом, способ разрежения разведочной сети оценивает влияние на погрешность определения запасов только плотности сети без учета влияния всех факторов, перечисленных выше (реальной геологической ситуации, системы разведки, точности и представительности опробования, способов интерпретации геологоразведочных данных, способов подсчета запасов).

Способ сравнения результатов подсчета запасов с данными эксплуатации является наиболее полным и точным (если соблюдаются необходимые условия его применения). Он оценивает погрешности определения запасов, вызванные всеми существенными факторами, так как подсчитанные запасы сравниваются с действительными, отработанными в недрах.

Способ этот, однако, весьма чувствителен к горнотехническим и организационным условиям отработки запасов: для того чтобы сравнивать подсчитанные запасы с отработанными, необходимо с достаточной достоверностью определить отработанные запасы.

Способ расчета на основе математико-статистического аппарата приводится ниже.

Из изложенного ясно, что проблема оценки и повышения точности определения запасов в недрах является проблемой комплексной. Ее решение связано одновременно с решением задачи оптимизации плотности разведочной сети, повышения точности опробования, совершенствования системы разведки, способов интерпретации геологоразведочных данных на основе геометризации, способов подсчета запасов и т. п.

§ 3. Погрешность подсчета запасов

Расчет точности определения запасов приводится на основе математико-статистического аппарата. При этом предполагается, что погрешность определения запасов зависит от погрешности определения значений площади, мощности, плотности, содержания, способа и алгоритма, используемого при подсчете запасов, погрешности определения значений того или иного параметра и числа его значений, дисперсии, принятого уровня доверительной вероятности (и соответствующего коэффициента вероятности).

Рассматриваемый способ оценки точности учитывает только способ подсчета запасов и не учитывает всех прочих факторов.

Общая погрешность запасов руды и компонента, определяемых по формулам $Q = SM\gamma$ и $P = SM\gamma C$, может быть определена как погрешность функции независимых переменных:

$$M_Q = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial M}\right)^2 m_M^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \gamma}\right)^2 m_\gamma^2},$$

$$M_P = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial M}\right)^2 m_M^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \gamma}\right)^2 m_\gamma^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C}\right)^2 m_C^2}.$$

Найдя частные производные, после преобразования получим:

$$M_Q = Q \sqrt{\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 + \left(\frac{m_M}{M}\right)^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\gamma}\right)^2},$$

$$M_P = P \sqrt{\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 + \left(\frac{m_M}{M}\right)^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{m_C}{C}\right)^2},$$

где M_Q и M_P — общие абсолютные погрешности запаса руды и компонента; m_S , m_M , m_γ , m_C — общие погрешности определения среднего значения площади, мощности, плотности и содержания компонента залежи; S — площадь в пределах контура подсчета запасов; M , γ , C — средние значения мощности, плотно-

сти и содержания компонента залежи. Каждая из общих погрешностей m_S, m_M, m_γ, m_C включает в себя две ошибки — техническую m_{iT} : ($m_{ST}, m_{MT}, m_{\gamma T}, m_{CT}$) определения значений показателей в отдельных точках и ошибку оконтуривания m_{iS} оконтур и репрезентативности (представительности, аналогии) m_{iR} : ($m_{MR}, m_{\gamma R}, m_{CR}$):

$$\left. \begin{aligned} m_S &= \pm \sqrt{m_{ST}^2 + m_{S \text{ оконтур}}^2}, \\ m_M &= \pm \sqrt{m_{MT}^2 + m_{MR}^2}, \\ m_\gamma &= \pm \sqrt{m_{\gamma T}^2 + m_{\gamma R}^2}, \\ m_C &= \pm \sqrt{m_{CT}^2 + m_{CR}^2}. \end{aligned} \right\}$$

К числу технических ошибок относятся: ошибки измерения площади, замеров мощности залежи, взятия, обработки и анализа проб. Каждая из этих ошибок может быть грубой, систематической и случайной. Ошибки измерения площади S планиметром принимают равной $m_S = 1/200 - 1/300S$.

Ошибку m_{iT} среднего значения показателя (M, γ, C) только из-за технических ошибок определения значений показателя в отдельных точках можно определить по формуле ошибок средней арифметической

$$m_{iT} = m_i / \sqrt{n}, \quad (19.10)$$

где n — число отдельных определений, из которых получено среднее значение $m_S(m_M, m_\gamma, m_C)$.

Размер этих ошибок m_i может быть установлен экспериментально или по формуле

$$m_i = \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{(n-1)}},$$

где δ — отклонение значения показателя в отдельной точке от среднего его значения: $M - m_i$; $\gamma - \gamma_i$; $C - c_i$; $[\delta\delta]$ — сумма квадратов отклонений.

Технические погрешности измерений, как правило, не выходят за пределы погрешности репрезентативности.

Погрешность репрезентативности

$$m_{iR} = t \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n(n-1)}} k, \quad (19.11)$$

где t — коэффициент вероятности ($t=1, 2$, вероятность 75 %; $t=1,7$, вероятность 90 %),

$$k = (S - nf)/S,$$

или

$$k = (v - n\omega)/v,$$

S — площадь залежи в пределах подсчетного контура; j или ω — элементарная площадка или объем залежи, в пределах которых значение показателя можно практически принять за постоянную величину; n — число определений показателя.

Определяют эти величины экспериментально или визуально.

При наличии выраженной корреляции (связи) между двумя переменными по формулам M_Q и M_P получают заниженные оценки погрешности запасов. В этом случае для определения погрешности запасов зависимые параметры заменяют новой независимой переменной. Пусть установлена корреляция между M и C . В этом случае средние значения мощности и содержания по результатам определений m_i и c_i в n точках равны

$$M = \Sigma m_i / n; \quad C = \Sigma m_i c_i / \Sigma m_i,$$

тогда запас компонента:

$$P = S \frac{\Sigma m_i}{n} \gamma \frac{\Sigma m_i c_i}{\Sigma m_i} = S \gamma \frac{\Sigma m_i c_i}{n},$$

обозначив $\frac{\Sigma m_i c_i}{n} = F$ новой независимой переменной, получим

$$P = S \gamma F,$$

откуда

$$M_P = \pm P \sqrt{(m_S/S)^2 + (m_\gamma/\gamma)^2 + (m_F/F)^2},$$

или

$$M_P \% = \pm 100 \sqrt{(m_S/S)^2 + (m_\gamma/\gamma)^2 + (m_F/F)^2}.$$

Погрешность m_F можно вычислить как погрешность выборочной средней

$$m_F = \pm t \sigma_F / \sqrt{n},$$

где $\sigma_F = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (m_i c_i - F)^2}{n}}$ — среднеквадратическое отклонение новой независимой переменной.

Аналогично можно подсчитать погрешность запасов при наличии корреляции между C и γ и др.

В зависимости от характера статистического распределения показателей в значениях m_M , m_γ и m_C будут преобладать или технические ошибки определений m_i , γ_i и c_i и тогда общие ошибки значений M , γ и C будут определены по формуле (19.10), или ошибки репрезентативности, определяемые по формуле (19.11).

Достоверность подсчета запасов и соответственно определение их категорий в общем случае зависят от изменчивости показателей и плотности разведочной сети. Численная оценка достоверности запасов различных категорий не установлена.

Некоторые исследователи считают, что запасы по категориям разведанности определяются с погрешностью: $A \pm 25-20\%$; $B \pm 25-30\%$; $C_1 \pm 35-50\%$.

Пример. Найти погрешность определения площади. В треугольнике, образованном между точками пересечения скважин глубокого бурения с пластом, даны сторона $a=360$ м со средней квадратической погрешностью $m_a = \pm 2$ м и высота $h=220$ м со средней квадратической погрешностью $m_h = \pm 1$ м.

Площадь треугольника

$$S = \frac{1}{2} ah = 1/2 \cdot 360 \cdot 220 = 39600 \text{ м}^2.$$

Среднюю квадратическую погрешность определения S находят по формуле

$$M_S = \sqrt{(\partial S / \partial a)^2 m_a^2 + (\partial S / \partial h)^2 m_h^2};$$

но

$$\frac{\partial S}{\partial a} = h/2 = 220/2 = 110;$$

$$\frac{\partial S}{\partial h} = a/2 = 360/2 = 180,$$

тогда

$$M_S = \sqrt{110^2 \cdot 2^2 + 180^2 \cdot 1^2} = \pm 284,2 \text{ м}.$$

Предельная относительная погрешность определения площади треугольника (в процентах к площади)

$$\epsilon_{\text{пр}} = \frac{284,2 \cdot 2}{39600} 100 \% = \pm 1,4 \%.$$

Пример. Найти погрешность определения объема. Дана крутопадающая рудная залежь, вскрытая штреками и ортами на горизонтах 300 и 360 м.

По данным геолого-маркшейдерской съемки на планах произведено оконтуривание залежи. Определены площади сечений залежи:

$S_{300} = S_1 = 23\,000 \text{ м}^2$ со средней квадратической погрешностью $m_{S_1} = \pm 163 \text{ м}^2$.

$S_{360} = S_2 = 45\,000 \text{ м}^2$ со средней квадратической погрешностью $m_{S_2} = \pm 320 \text{ м}^2$.

Объем залежи между сечениями

$$V = (S_1 + S_2)h/2 = (23\,000 + 45\,000) 60/2 = 2\,040\,000 \text{ м}^3.$$

Средняя квадратическая погрешность определения V

$$M_V = \sqrt{(\partial V / \partial S_1)^2 m_{S_1}^2 + (\partial V / \partial S_2)^2 m_{S_2}^2};$$

так как

$$V = S_1 h/2 + S_2 h/2,$$

то

$$\partial V / \partial S_1 = h/2 = 60/2 = 30 \text{ м}, \quad \partial V / \partial S_2 = h/2 = 30 \text{ м},$$

тогда

$$M_V = \sqrt{30^2 \cdot 163^2 + 30^2 \cdot 320^2} = \pm 10773 \text{ м}^3.$$

Предельная относительная погрешность определения объема залежи между двумя горизонтами, обусловленная погрешностями определения площадей сечений:

$$\epsilon_{\text{пр}} = \frac{10\,773 \cdot 2}{2\,040\,000} 100 \% = \pm 1,1 \, \%$$

Пример. Запас металла в залежи, оконтуренной горными выработками, подсчитан по способу среднего арифметического.

Определить погрешность подсчета запасов компонента.

$$P = \frac{1}{100} SM\gamma C = \frac{1}{100} 235\,000 \cdot 8,4 \cdot 2,9 \cdot 4,3 = 246\,158 \text{ т} \approx 246 \text{ тыс. т},$$

где $S = 235\,000 \text{ м}^2$ — площадь горизонтальной проекции залежи в пределах контура подсчета, определена со средней квадратической погрешностью $m_s = \pm 6500 \text{ м}^2$;

$M = 8,4 \text{ м}$ — средняя вертикальная мощность залежи определена с погрешностью $m_m = \pm 1,5 \text{ м}$;

$\gamma = 2,9 \text{ т/м}^3$ — средняя плотность руды по данным пробной вырубki, определена с погрешностью $m = \pm 0,3 \text{ т/м}^3$;

$C = 4,3 \%$ — среднее значение содержания металла, определено с погрешностью $m_c = \pm 1,1 \%$.

Подставляя числовые значения в формулу, получим

$$M_P = 246\,000 \sqrt{\left(\frac{6500}{235\,000}\right)^2 + \left(\frac{1,5}{8,4}\right)^2 + \left(\frac{0,3}{2,9}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{4,3}\right)^2} =$$

$$= 246\,000 \cdot 0,330 = \pm 81\,180 \text{ т}.$$

Относительная предельная погрешность запаса металла

$$\epsilon_{\text{пр}} = \frac{81\,180 \cdot 2}{246\,000} \cdot 100 \% = \pm 66 \, \%.$$

Следовательно, $P = 246 \text{ тыс. т} \pm 66 \%$.

ГЛАВА 20

УЧЕТ СОСТОЯНИЯ, ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ, ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

§ 1. Общие положения

Правилами охраны недр предусматривается, что горнодобывающие предприятия при разработке месторождений обязаны: обеспечить предусмотренное проектом комплексное извлечение запасов из недр, регулировать отработку различных по качеству запасов полезных ископаемых, установленных планом развития горных работ, контролировать полноту их выемки, не допускать консервацию запасов и их потерь, особенно в контактных зонах, не допускать увеличения объема временно неактивных запасов, вести систематические маркшейдерско-геологические наблюдения в горных выработках, своевременно пополнять горную графическую документацию с целью исполь-

зования ее для оперативного руководства, вести маркшейдерско-геологический учет состояния и движения запасов, учет добычи, показателей извлечения из недр в соответствии с отраслевыми инструкциями.

Основными задачами учета состояния и движения запасов в недрах являются: контроль обеспечения горного предприятия балансовыми, промышленными запасами и готовности их к выемке; установление изменений запасов в процессе эксплуатации месторождений; контроль полноты извлечения запасов из недр; систематизация материалов по запасам для планирования разведочных и горных работ.

Учет движения запасов полезного ископаемого производит геолого-маркшейдерская служба с целью контроля за правильным и более полным использованием богатств недр и систематического наблюдения за своевременным обеспечением горного предприятия вскрытыми и подготовленными запасами для избежания перебоев в работе.

При учете отражают не только состояние запасов на тот или иной период времени, но и все изменения в запасах, происшедшие за отчетный период.

При учете движения запасов фиксируют: исходные балансовые запасы горного предприятия, их движение (изменения) за отчетный период и остаток на конец отчетного периода; промышленные запасы в целом и по степени их готовности к выемке (вскрытые, подготовленные и т. п.); добычу за отчетный период; потери полноценных запасов при разработке; запасы из числа балансовых, оказавшиеся при разработке месторождений негодными к разработке по кондиции (нерабочая мощность, некондиционное содержание полезных или вредных компонентов); забалансовые запасы и их изменения.

Учет движения запасов производят на основе геолого-маркшейдерской документации периодически в сроки, установленные вышестоящими организациями, по подсчетным единицам (блокам или фигурам), принятым при утверждении запасов ГКЗ (ТКЗ).

Контроль правильности учета движения запасов и отражения изменения запасов за время существования горного предприятия осуществляет маркшейдерско-геологическая служба вышестоящей организации.

Учет движения запасов в недрах производят по специальным формам. Образцы этих форм приведены в специальных инструкциях по учету запасов.

Изменения исходных балансовых запасов происходят вследствие добычи полезного ископаемого, потерь при добыче; уменьшения площади шахтного или рудного поля в результате изменения их границ; исключения некоторых тел полезного ископаемого или их частей, нецелесообразных к отработке по технико-экономическим причинам, из-за некондиционности по мощности, содержанию полезных и вредных компонентов или

по горно-эксплуатационным условиям залегания (например, участки с интенсивной тектонической нарушенностью, сильно обводненные); уменьшения средних значений показателей (мощности, объемной массы полезного ископаемого, содержания полезных компонентов; неполноты выемки полезного ископаемого).

Наряду с уменьшением возможно и увеличение запасов вследствие ввода в эксплуатацию залежей полезного ископаемого или их частей, выявленных в процессе эксплуатационной разведки; изменения границ шахтного поля, увеличивающих его площадь; увеличения средних значений показателей месторождения (мощности, объемной массы, содержания полезных компонентов).

Расход полезного ископаемого за отчетный период в общем случае состоит из: добычи, потерь из-за неполноты выемки и доставки полезного ископаемого, оставления в недрах некондиционных запасов, расхода на собственные нужды. При эксплуатации и доразведке месторождения осуществляют различные виды подсчета запасов:

полный, или генеральный. Его производят при завершении определенного этапа промышленной разведки и получении новых данных о месторождении;

оперативный, или периодический (ежемесячный, поквартальный, годовой). Его производят в связи с разработкой или доразведкой на участках, где установлены изменения запасов (в блоках, горизонтах и т. п.).

Этот вид, в свою очередь, разделяют на нарастающий — пересчет запасов производят на разведываемых или доразведываемых участках без эксплуатации, и на балансовый оперативный — на месторождениях, одновременно разрабатываемых и разведываемых.

Изменения балансовых запасов, происходящие в результате доразведки (пересчета), подлежат переутверждению ГКЗ (ТКЗ).

Списание запасов производят в соответствии с Положением о порядке списания запасов полезных ископаемых с баланса горнодобывающих предприятий, утвержденным Госгортехнадзором СССР.

§ 2. Классификация запасов по степени подготовленности к добыче

Наличие достаточного количества вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых является важнейшим условием нормальной деятельности горного предприятия.

По готовности к *промышленному освоению*, степени подготовленности к добыче балансовые запасы месторождений, как

уже отмечено, разделяют на исходные, промышленные, вскрытые, подготовленные и готовые к выемке.

Исходные балансовые запасы — запасы из числа утвержденных ГКЗ, принятые по проекту горного предприятия на момент сдачи его в эксплуатацию, в пределах технических границ или горного отвода, представленного предприятию. При доразведке, изменении границ горного отвода и по другим причинам возможно изменение исходных балансовых запасов.

Промышленные запасы — часть балансовых, которая подлежит извлечению из недр по проектам или планам развития горных работ. Определяются путем исключения из балансовых запасов проектных потерь.

Вскрытыми считаются балансовые запасы месторождения или его части, подсеченные вскрывающими горными выработками эксплуатационного сечения, из которых в дальнейшем обеспечивается проведение других горных выработок, необходимых для подготовки этих запасов к добыче.

При открытой разработке к вскрытым относят балансовые запасы полезного ископаемого участков уступов, верхняя площадь которых искусственно освобождена от покрывающих пород (полезного ископаемого вышележащих уступов) или обнажена вследствие естественных условий залегания, а на нижнюю пройдена вскрывающая выработка (въездная траншея для транспорта, подъемника, конвейера и т. д.), предусмотренная проектом или планом разработки месторождения.

Границу вскрытых запасов принимают: по восстанию — от горизонта подсечения вскрывающей горной выработкой до выхода залежи на земную поверхность или верхней выклинки залежи, или до вышележащего горизонта, над которым запасы отработаны (рис. 20.1); по простираанию — в пределах шахтного поля, установленного проектом, до выклинки залежи или до крупных тектонических нарушений, переход через которые требует проведения обособленных горно-капитальных вскрывающих выработок.

Границы вскрытых запасов *II* при открытых разработках принимают на глубине — горизонт, подсеченный выездной траншеей; в плане — площадь залежи уступа, освобожденная от покрывающих пород или полезного ископаемого вышележащего уступа *III*, не вскрытые и подготовленные *I* запасы (рис. 20.2).

Запасы полезного ископаемого в предохранительных целиках основных выработок, под транспортными путями, зданиями и сооружениями на поверхности, а также запасы в барьерных целиках учитывают особо и переводят во вскрытые только после ликвидации охраняемых объектов или оформления в надлежащем порядке разрешения на выемку предохранительного целика.

По степени разведанности к вскрытым запасам могут относиться запасы категорий *A, B, C₁*, удовлетворяющие перечисленным условиям.

РИС. 20.1. Схема расположения балансовых запасов при подземной разработке:

I — не вскрытых; *II* — вскрытых; *III* — подготовленных; *IV* — отработанных: *1* — ствол; *2* — слепой ствол; *3* — квершлаг; *4* — восстающий

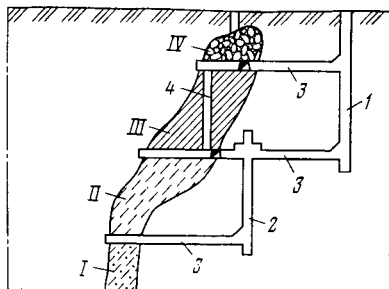
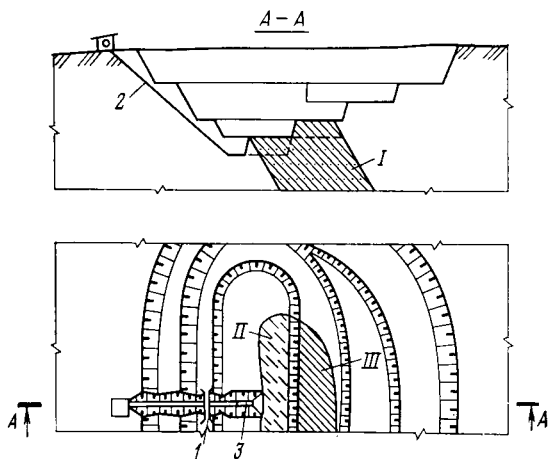


РИС. 20.2. Схема расположения запасов при открытой разработке:

1 — погрузочный мост; *2* — скиповый подъем; *3* — зумпер подъемника



Подготовленными при подземной разработке считают ту часть вскрытых запасов, для отработки которой пройдены все горно-подготовительные выработки, предусмотренные проектом в соответствии с принятой системой разработки, обеспечивающие безопасность работ, полноту выемки запасов и разделяющие этаж на выемочные (эксплуатационные) блоки, камеры или панели (рис. 20.3).

Подготовленными при открытом способе разработки являются запасы из числа вскрытых, обнаженные от покрывающих вскрышных пород и для разработки которых выполнены горно-подготовительные работы, предусмотренные техническим проектом.

Подготовленные запасы разделяют на *активные* и *временно неактивные*.

Подготовленные запасы во временных блоковых целиках (надштрековых, подштрековых, междуканальных и т. д.), а также в подготовленных, но временно оставленных блоках, выемка которых не предусмотрена утвержденным годовым планом горных работ и не будет производиться в течение установленного

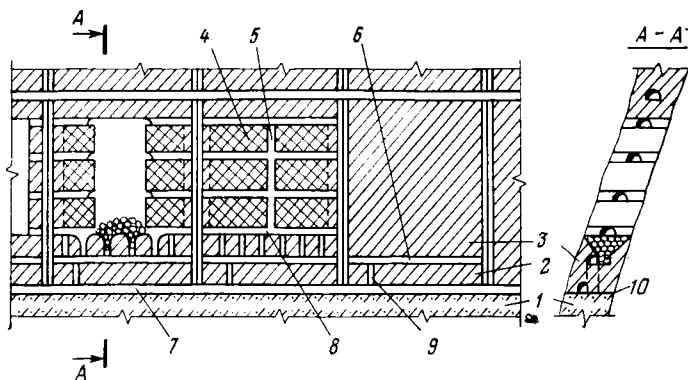


РИС. 20.3. Распределение запасов при разработке системой подэтажных штреков:

1 — не вскрытые; 2 — вскрытые; 3 — подготовленные; 4 — готовые к выемке; 5 — разрезной восстающий; 6 — скреперный штрек; 7 — откаточный штрек; 8 — подсечный штрек; 9 — рудоспуск; 10 — горизонт откатки

нормативного срока обеспеченности подготовленными запасами, относят к временно неактивным подготовленным запасам.

Для сокращения временно неактивных подготовленных запасов полезных ископаемых на предприятии ежегодно разрабатывают проект (мероприятия) по переводу их в активные с указанием конкретных сроков ввода в эксплуатацию, который дается руководителем предприятия (рудоуправления, комбината).

Временно неактивные запасы переводят в активные только после проведения необходимых горных работ, предусмотренных проектом, при условии, что выемка их включена в годовой план горных работ и возможна полностью или частично в течение установленного нормативного срока обеспеченности подготовленными запасами.

При оценке степени обеспеченности рудника подготовленными запасами в расчет принимают только активные подготовленные запасы с учетом запасов отбитой руды.

По степени разведанности к подготовленным запасам могут быть отнесены запасы: на месторождениях первой группы — категории А, второй группы — А и частично В и третьей группы А, В и С₁.

Готовыми к выемке считаются запасы из числа подготовленных активных в контуре выемочных участков, блоков, камер, панелей, в которых пройдены согласно проекту все подготовительные и нарезные выработки и подготовительные для добычи работы в соответствии с правилами технической эксплуатации, такие как зачистка уступов, подготовка к ведению БВР, подведение подземных путей к экскаваторам, проведение временно используемых водоотводящих канав и зумпфов.

Перевод подготовленных запасов в категорию «готовые к выемке» может производиться частями блоков, панелей по мере проходки нарезных выработок при условии возможности очистной выемки этой части блока, панели без нарушения общей технологии его отработки, принятой проектом для данной системы разработки, обеспечения безопасного ведения работ и полноты выемки запасов.

Для комбинированных систем разработки перевод вскрытых запасов в подготовленные и готовые к выемке осуществляется по схемам систем разработки, составляющим комбинированную систему.

Кроме того, различают запасы во временных целиках, временно заваленные, временно затопленные; запасы временно находящиеся в пожарных участках.

Отнесение запасов по промышленной классификации к тому или иному виду производят в соответствии с отраслевыми инструкциями по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. В инструкциях приводятся методики расчета нормативов запасов по степени их подготовленности к добыче с учетом горно-геологических условий разработки, техники и технологии горных работ, обеспечивающих добычу согласно плану.

Часть запасов полезного ископаемого, оставляемая при разработке месторождения в недрах, составляет фактические потери при добыче.

Погашенными считаются балансовые запасы полезного ископаемого (или их часть), отделенного от массива при ведении очистных, проходческих и вскрышных работ, выданного из недр, а также потерянного при добыче.

Величина погашенных запасов определяется в соответствии с отраслевой инструкцией по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Перевод запасов из низших категорий выполняется по данным горных работ и эксплуатационной разведки в соответствии с действующей инструкцией по применению классификации запасов месторождений полезных ископаемых. Запасы в блоках категорий *B* и *C*₁, добытые или потерянные за отчетный период, в более высокие категории не переводят и учитывают по тем категориям, по которым они числились на начало года.

Изменения запасов, связанные с передачей части запасов с баланса одного предприятия на баланс другого предприятия, обосновывают и оформляют в установленном порядке с фиксацией этих изменений на маркшейдерских планах.

Первичный учет запасов на горном предприятии ведут в «Книге первичного учета состояния и движения запасов».

§ 3. Нормирование и учет состояния вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов

Эффективность разработки месторождений в значительной мере зависит от наличия в необходимых соотношениях вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов. Недостаток, например, готовых к выемке запасов нарушает ритмичность работы горного предприятия, снижает производительность горного оборудования. Наоборот, при избытке этой категории запасов происходит замораживание средств, увеличение оборотных фондов предприятия, замедление их оборачиваемости.

Следовательно, для каждого горнодобывающего предприятия должны быть установлены определенные нормативы, служащие критерием правильного планирования горных работ. Нормативы представляют собой неснижаемые резервы подготовленных и готовых к выемке запасов, которыми должно располагать предприятие при заданном размере добычи и принятых системах разработки.

Нормативы запасов по степени их подготовленности к добыче должны обеспечивать безусловное выполнение производственных планов при ритмичной работе предприятий по добыче полезных ископаемых; отражать технический прогресс в горном деле; учитывать специфику горно-геологических, а в необходимых случаях — и климатических условий; способствовать наиболее рациональному использованию запасов минерального сырья; соответствовать принципу минимальных объемов горно-капитальных, горно-подготовительных, нарезных работ и, возможно, более поздних сроков их осуществления, т. е. принципу максимальной экономии трудовых и материальных затрат.

Наличие нормативов позволяет своевременно оценивать состояние горных работ — отставание подготовительных выработок, могущее привести к невыполнению плана добычи, или, наоборот, необоснованное их опережение, ведущее к преждевременным затратам и замораживанию средств.

Величина нормативов обуславливается рядом факторов: системой разработки и ее параметрами в данных горно-геологических условиях, скоростью подвигания подготовительных, нарезных выработок и очистных работ и др. С изменением указанных факторов изменяются и нормативы обеспеченности предприятия запасами. Поэтому нормативы запасов устанавливаются для каждого горного предприятия в отдельности и корректируются по мере изменения условий разработки.

Нормативы готовых к выемке запасов

$$Q_r = Q'_{tr} K_1 K_2 / \left(\sum_{i=1}^k m_i \right),$$

где Q'_{tr} — технически необходимый норматив запасов; K_1 и K_2 — коэффициенты резерва, гарантирующие подтверждение

ожидаемых соответственно объемов руды и содержания металлов в ней; k — число технологических сортов руды, добываемой на предприятии; m_i — доля некоторого i -го технологического сорта в общем объеме добычи рудника.

Под технически необходимым нормативом понимают минимально необходимое для выполнения предприятием плана количество готовых запасов, находящееся в одновременной разработке, которое в среднем равно половине запасов всех блоков, находящихся в одновременной эксплуатации.

Для определения нормативов запасов используют показатели, соответствующие прогрессивным технологическим нормам.

Определяемые нормативы отражают влияние показателей потерь и разубоживания руды при добыче.

Необходимость учета количества руд различных технологических сортов вытекает из дополнительных требований к рудам на отдельных предприятиях по условиям обогащения, металлического передела или транспортирования. В этих случаях не вся добытая руда может представлять товарную продукцию. Например, на горизонте карьера имеется три технологических сорта в соотношении 0,25 : 0,35 : 0,40 и требуется обеспечить состав товарной руды в соотношении соответственно 0,50 : 0,30 : 0,20. Исходя из этих условий, на горизонте можно добыть руды заданного состава в количестве 0,25 + 0,15 + 0,10, т. е. 50 % общего количества запасов. Оставшиеся 50 % запасов должны быть или переработаны отдельно, или складированы. В этом случае сумма долей технологических сортов руды равна 0,5.

Аналогично учитывают необходимость увеличения нормативов также при планировании завышенных содержаний металла по сравнению с фактически имеющимися на данном горизонте, участке, блоке. Подобные случаи должны быть рассмотрены, если они ведут к потерям или порче остающихся запасов руды.

Коэффициенты резерва:

$$K_1 = 1 + t\delta_1/\mu_1; \quad K_2 = 1 + t\delta_2/\mu_2, \quad (20.1)$$

где μ_1, μ_2 — средние величины подтверждаемости соответственно объемов руды и содержания металла в ней; δ_1, δ_2 — средние квадратические отклонения отдельных показателей подтверждаемости от средних значений; t — критерий достоверности.

Средние значения анализируемых показателей и возможные средние квадратические отклонения от них находят путем анализа ожидаемых значений геологических показателей и фактических величин этих показателей, установленных в результате отработки тех или иных рудных блоков, участков, горизонтов. Величину критерия достоверности выбирают в интервале от 1 до 3. Обычно его принимают равным 1,5—2, что соответствует

достоверности 0,87—0,95 и обеспечивает достаточную надежность результатов расчетов.

Число отработанных добычных блоков U , по показателям выемки которых могут быть вычислены значения коэффициентов резерва K_1 и K_2 , с заданной степенью точности определяют по формуле

$$U = \frac{t^2 \sigma^2 N_0}{(N_0 - 1) \Delta^2 + t^2 \delta^2},$$

где N_0 — общее число добычных блоков на оставшихся запасах месторождения, определяемое делением общих запасов руды на среднее количество руды в блоке; t — критерий достоверности; σ — среднее квадратическое отклонение от среднего значения подтверждаемости объемов руды (μ_1) или содержания металла в ней (μ_2) [см. формулу (20.1)]; величина σ может быть найдена по результатам анализа показателей 10—20 или большего числа блоков; Δ — допустимый предел отклонения искомых значений μ_1 и μ_2 , находимых по результатам анализа n добычных блоков, от генеральных средних значений μ_1 и μ_2 для всех оставшихся на месторождении запасов; величину Δ задают в пределах 2—3% величины μ_1 или μ_2 в зависимости от того, для какого фактора устанавливают n (для количества руды или содержания в ней металла).

Нормативно количество опережающих запасов руды, категорий подготовленных и вскрытых определяют в прямой зависимости от времени, необходимого для создания этих запасов при данной технической оснащенности предприятия:

$$(Q_n - Q_r)/Q_r = T_n/T_r; \quad (Q_v - Q_n)/Q_r = T_v/T_r,$$

где Q_r , Q_n , Q_v — нормативы запасов соответственно готовых к выемке, подготовленных и вскрытых; T_r , T_n , T_v — время необходимое для создания опережающих запасов соответствующих категорий готовности к выемке.

Как следует из формулы, величина нормативных запасов руды во многом зависит от потенциальных возможностей предприятия по обеспечению прогрессивных темпов производства горных работ при действующей технологии и наличной технической оснащенности производства.

Состояние обеспеченности предприятия в месяцах подготовленными O_n и готовыми Q_r к выемке запасами оцениваются по формулам

$$N_n = Q_n/D_6 12; \quad N_r = Q_r/D_6 12, \quad (20.2)$$

где D_6 — годовой план добычи в пересчете на балансовые запасы, тыс. т.; 12 — число месяцев в году.

Таблица 20.1

Даты отчетного периода	Запасы, тыс. т		Обеспеченность запасами, месяцы	
	$Q_{\text{п}}$	$Q_{\text{г}}$	$N_{\text{п}}$	$N_{\text{г}}$
1/I текущего года	1000	560	18/15,0	10/8,4
1/IV	1050	580	18/15,7	10/8,7
1/VI	1100	610	18/16,4	10/9,1
1/VII	1150	630	18/17,2	10/9,5
1/I следующего года	1200	670	18/18,0	10/10,0

Примечание. В числителе дана обеспеченность запасами нормальная, а в знаменателе — фактическая.

Величина D_6 рассчитывается в зависимости от годового плана добычи товарной продукции $D_{\text{т}}$, потерь Π и разубоживания P по формуле

$$D_6 = D_{\text{т}} \frac{100 - P}{100 - \Pi}.$$

Пример. Дано распределение запасов $Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{г}}$ по датам отчетного периода (см. табл. 20.1), величина $D_{\text{т}}=844$ тыс. т, $\Pi=5\%$, $P=10\%$; $D_6=800$ тыс. т.

Требуется определить: $N_{\text{п}}$ и $N_{\text{г}}$. Решение записано в табл. 20.1.

Вероятностно-статистическими и экономическими исследованиями установлено, что оптимальное управление готовыми к выемке запасами может быть достигнуто на основе учета основных технологических и экономических показателей работы предприятия. Решение этой задачи становится возможным с помощью ЭВМ и математического моделирования процесса формирования запасов. Учет движения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов осуществляет геолого-маркшейдерская служба на начало каждого квартала по каждой выемочной единице по соответствующим формам.

Основу учета составляет геолого-маркшейдерская документация, получаемая в результате съемок и учета добытого полезного ископаемого, потерь и разубоживания и состояния вскрытых подготовленных к выемке запасов.

По данным учета движения запасов производят планирование производства геологоразведочных, капитальных, подготовительных и эксплуатационных работ по обеспечению предприятия разведанными запасами.

§ 4. Показатели извлечения полезного ископаемого из недр

Эффективность работы горных предприятий оценивается прежде всего тем, насколько полно и качественно извлекались запасы полезного ископаемого из недр и соблюдался оптимальный уровень потерь и разубоживания.

Необоснованность величин потерь и разубоживания приводит к значительному народнохозяйственному ущербу. Так,

например, экономический ущерб одной только угольной промышленности вследствие сверхнормативных потерь запасов ежегодно составляет более 0,5 млрд. руб.* В этой же работе говорится о вредных последствиях экономически необоснованных потерь, что теория нормирования потерь полезных ископаемых долгое время не включала понятия экономически обоснованных потерь, а взамен провозглашался лозунг максимально полного извлечения запасов. Однако эти максималистские требования не подкреплялись никакой системой материального стимулирования, что толкало производителей на поиски десятков путей возможного «обхода» таких законоположений, тем более что во многих случаях они были не только не обоснованы, но и невыполнимы. А вопросы комплексного использования многих попутных компонентов практически не решались совсем. При этом оказалось, что ущерб, наносимый народному хозяйству в целом, никак не ощущается самим горным предприятием. Чем вызван такой парадокс? В этой же работе дается следующее объяснение: потерянные части запасов шахтного (карьерного) поля компенсируются самим предприятием путем подключения другой (обычно лучшей) части запасов этого же поля, так что мощность шахты при возникновении потерь не изменяется, а себестоимость добычи даже снижается. Экономический ущерб возникает лишь много лет спустя — при ускоренно происходящем исчерпании уменьшившихся запасов поля. Для компенсации выбывающей мощности государство досрочно вкладывает средства в строительство новой шахты, и затраты на добычу полезного ископаемого на этой новой шахте обычно выше, чем на выбывшей. Оба эти вида ущербов возникают вне хозрасчетных рамок шахты, допустившей потерю запасов.

Отсюда видно, насколько важна народнохозяйственная значимость изучения вопросов потерь и разубоживания с целью их определения, нормирования, планирования и учета.

Уровень фактических потерь полезного ископаемого в % относительно его добычи на начало 70-х годов характеризуется по некоторым видам минерального сырья следующими средними величинами (в числителе — при подземном, в знаменателе — при открытом способе разработки): уголь — 30,3/8,5; руда и минеральное сырье: Кривой Рог 20—25/6,5, Джезказган — 30/35, Текели 18,1/—, Тырнауз 23/—, Гай —/11 (при разубоживании руды — 13 %), «Апатит» — 19,0/3,2, Соликамский комбинат — 46,2.

Практикой и исследованиями установлено, что при одной и той же системе или технологии разработки, применяемой в аналогичных условиях, но при различной ценности руды, рациональный уровень ее извлечения из недр неодинаков.

Полнота и качество отработки запасов месторождений выражаются *коэффициентом извлечения полезного ископаемого*

* Астахов А. С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. Недра, М., 1981.

из недр, коэффициентом изменения качества, а также основными отчетными и учетными показателями на предприятиях — потерями, разубоживанием и засорением.

Потери полезного ископаемого — это часть балансовых запасов полезных ископаемых, неизвлеченная из недр при разработке месторождения, а также попавшая в отвалы пород и оставленная в местах складирования, погрузки и на транспортных путях горного предприятия. Потери уменьшают подготовленные к добыче запасы.

Имеют место следующие равенства.

I. По полезному ископаемому (по руде)

$$D = B + (n - k) - P + B,$$

откуда

$$P = B + (n - k) - D + B.$$

II. По компоненту (металлу)

$$Pc = Bc + (nc - kc) - Dc_d + Bc_b,$$

где D — количество добытого полезного ископаемого или товарной руды (при отсутствии сортировки на поверхности); B — количество погашенных балансовых запасов: n и k — остатки полезного ископаемого на складах, в отвалах на начало и конец отчетного периода, со средним содержанием в них компонента c_n и c_k ; P — суммарные потери неотбитого и отбитого полезного ископаемого; B — количество разубоживающей породы.

Потери полезного ископаемого (руды) исчисляются в долях единицы или процентах и выражаются отношением количества потерянных запасов P_0 (в тоннах или кубических метрах) к количеству погашения балансовых запасов B :

$$P = P_0 / (B \cdot 100), \%$$

Потери полезного компонента — это количество полезного компонента, содержащегося в потерянном полезном ископаемом. Так же как и потери полезного ископаемого, они исчисляются в долях единицы или в процентах и выражаются отношением количества потерянного полезного компонента Pc_n к количеству этого компонента в погашенных балансовых запасах Bc :

$$P = Pc_n / Bc \cdot 100, \%$$

где c_n — содержание полезного компонента в потерянном полезном ископаемом; c — содержание полезного компонента в погашенных балансовых запасах.

При содержании $c_n = c$ потери полезного ископаемого и потери полезного компонента, выраженные в процентном отношении или долях единицы, численно равны между собой.

Разубоживание P (%) — изменение (как правило, снижение) содержания полезных компонентов в добытом полезном

ископаемом a по сравнению с содержанием их в балансовых запасах c вследствие примешивания к ним пород, а также вследствие потерь обогащенной мелочи, выщелачивания полезных компонентов:

$$P = \frac{c - a}{c} 100, \%. \quad (20.2)$$

Разубоживание, вызванное только примешиванием в руду вмещающих пород (ее засорением), выражается отношением количества этих пород B к добытой рудной массе D (%):

$$P = B/D 100, \%. \quad (20.3)$$

При отсутствии металла во вмещающих породах и потерь обогащенной рудной мелочи величины разубоживания, определенные по формулам (20.2) и (20.3), будут численно равны.

Засорение — количество пустых пород, примешанных к добытой рудной массе в процессе разработки (тыс. т).

Величину засорения необходимо знать для расчета экономически целесообразного уровня разубоживания или извлечения балансовых запасов.

Коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр k_n выражается отношением количества полезного компонента в добытом полезном ископаемом Da к соответствующему количеству этого компонента в погашенных балансовых запасах Bc :

$$k_n = Da/Bc.$$

Коэффициент k_n характеризует полноту извлечения полезного ископаемого из недр при добыче и учитывает фактические потери полезного ископаемого в недрах из балансовых запасов и привнесение полезного компонента с примешиваемыми породами, частично компенсирующее потери. Коэффициент k_n отражает также снижение качества извлекаемого полезного ископаемого вследствие оставления в недрах неизвлеченным полезного компонента из более бедных частей месторождения.

Коэффициент извлечения из недр может быть выражен отношением валовой ценности 1 т добытого полезного ископаемого Π_d к валовой ценности 1 т погашаемых при разработке балансовых запасов Π_6 :

$$k_n = D\Pi_d/B\Pi_6.$$

Изменение качества полезного ископаемого при добыче выражается коэффициентом изменения качества при добыче k_k — отношением показателей качественной характеристики добытого полезного ископаемого и погашенных балансовых запасов:

$$k_k = a/c,$$

где a — содержание полезного компонента в добытом полезном ископаемом; c — содержание полезного компонента в погашенных балансовых запасах.

Коэффициент изменения качества может быть выражен отношением валовых ценностей 1 т добытого полезного ископаемого Π_d и 1 т балансовых запасов Π_b :

$$k_k = \Pi_d / \Pi_b.$$

При использовании в качестве учетных показателей коэффициентов извлечения из недр $k_{из}$ и изменения качества при добыче k_k учитывают, что на большинстве месторождений цветных металлов достоверное определение их возможно на основе предварительно определенных данных о количестве потерь и величине разубоживания руды.

Между коэффициентами $k_{из}$ и k_k и показателями потерь и разубоживания существует зависимость:

$$k_{из} = 1 - П = Bb / Bc; \quad k_k = 1 - P (1 - b/c),$$

где b — содержание полезного компонента в разубоживающих породах B .

Для угольных месторождений коэффициент извлечения угля из недр $k_{из}$ и коэффициент изменения качества k_k (для угля) вычисляют по формулам:

$$k_{из} = \frac{D (100 - A_d^c)}{B (100 - A_B^c)}; \quad k_k = \frac{100 - A_d^c}{100 - A_B^c},$$

где A_d^c и A_B^c — зольность соответственно добытого угля по статистическому учету D и погашенных балансовых запасов, %.

§ 5. Классификация, определение и учет потерь и разубоживания

При добыче и переработке полезных ископаемых возникают: потери и разубоживание при добыче; потери полезного ископаемого при его обогащении; потери при металлургическом переделе.

Ниже рассматриваются вопросы, относящиеся только к первому виду потерь. Классификация потерь представлена на схеме (рис. 20.4).

Общие потери — сумма потерь по всем причинам их возникновения.

Проектные потери — потери, предусмотренные проектом разработки месторождения или его части. Они разделяются на нормативные — нормы потерь, рассчитанные и утвержденные в установленном порядке по бассейнам, районам, месторождениям и т. п. для применяемых систем разработки и их разновидностей, и на плановые — предусмотренные календарным (годовым, квартальным) планом развития горных работ в соответствии с уточненными геологическими и горно-техническими условиями эксплуатации месторождения согласно нормативам потерь.

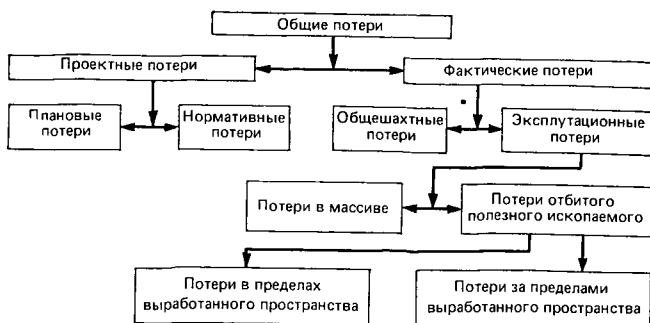


РИС. 20.4. Классификация потерь полезных ископаемых

Фактические — потери, образованные в процессе разработки месторождения.

Потери и разубоживание полезных ископаемых при добыче подразделяют на два класса.

1. *Общерудничные (общешахтные)* — потери в охранных (предохранительных) целиках, оставляемых около капитальных горных выработок различного назначения, под наземными и подземными зданиями и сооружениями, водоемами, в целиках около буровых скважин и крупных тектонических нарушений, в барьерных целиках между шахтными полями, у границ безопасного ведения горных работ.

2. *Эксплуатационные* потери и разубоживание.

По физическому состоянию их разделяют на две группы: потери полезного ископаемого в массиве и потери отбитого полезного ископаемого. Разубоживание разделяется также на две группы — первичное, которое происходит в процессе отделения (отбойки) полезного ископаемого от массива, и вторичное, образуемое при выпуске и доставке полезного ископаемого из блока, при экскавации, погрузке и складировании.

По источникам возникновения различают следующие виды потерь и разубоживания:

при подземной разработке

потери по площади в целиках у подготовительных выработок (междублоковых, надштрековых, подштрековых) и в опорных целиках внутри выемочных участков; в выклинивающихся частях или апофизах рудных тел; по мощности — в пачках полезного ископаемого, оставляемых в почве или кровле, между слоями при слоевой или селективной разработке; отбитого полезного ископаемого в выработанном пространстве и в закладке, а также вывезенного вместе с породой в отвалы; разубоживание в результате прирезки боковых пород для создания необходимой ширины очистного пространства; из-за включения в контур отрабатываемого блока прослоев пород,

не отнесенных к запасам блока; при выпуске руды на контакте ее с обрушенными породами отработанных блоков (секций); совместное появление потерь и разубоживания при разработке тектонически нарушенных участков залежей (пластов) и рудных тел (угольных пластов) сложной конфигурации; из-за сложности контакта полезного ископаемого под обрушенными налегающими породами;

при открытой разработке
потери при экскавации, погрузке и транспортировании; совместное появление потерь и разубоживания при добыче в приконтурных зонах; на контактах полезного ископаемого с породными прослоями, не включенными в подсчитанные запасы; при взрывных работах.

Все перечисленные выше виды потерь и разубоживания подлежат определению, нормированию, планированию и учету.

Определение потерь и разубоживания производят на основе графоаналитического анализа размещения полезных ископаемых в недрах по данным эксплуатационной разведки или по данным опробования буровзрывных скважин, исходя из параметров технически возможных вариантов отработки запасов блока (участка). Подсчеты потерь и разубоживания производят в блоковых картах или в книгах оперативного учета, по которой два раза в год составляется отчетность.

Сведения о существующих методах определения потерь и разубоживания приводятся в «Сборниках инструктивных материалов по рациональному использованию в охране недр», выпущенных в настоящее время по отраслям горнодобывающей промышленности (угольной, черной, цветной, горно-химической).

§ 6. Нормирование потерь и разубоживания полезного ископаемого при его добыче

Нормирование (расчет нормативов) потерь и разубоживания имеет целью установление оптимальных соотношений между ними на основе технико-экономической оценки принятых для сравнения вариантов отработки запасов блока.

Критерием выбора экономического варианта служит получение максимальной прибыли P_p в расчете на единицу погашенных балансовых запасов, равной

$$P_p = C_k - C, \quad \text{или} \quad P_p = C_6 K_k I_o - C,$$

где C_k — ценность конечной продукции, извлекаемой из 1 т погашенных балансовых запасов, руб.; C — себестоимость добычи, транспортирования и переработки 1 т добытого полезного ископаемого, отнесенная к единице балансовых запасов, руб.; C_6 — валовая ценность 1 т балансовых запасов, устанавливаемая по прейскуранту оптовых цен на готовую конечную продукцию C_o , руб.; I_o — извлечение при обогащении.

Для однокомпонентного полезного ископаемого $C_6 = C_0 c / 100$, а для многокомпонентных $C_6 = \sum_{i=1}^n C_0 \frac{c_i}{100}$, где c_i —

содержание i -го полезного ископаемого (даже если он не извлекается на данном предприятии) с ценой C_{0i} , %; n — число полезных компонентов.

В случае многокомпонентности полезного ископаемого вместо содержания c берут приведенное его значение

$$c = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i C_{0i} / C_0,$$

где c_0 и c_i — содержание основного и сопутствующих компонентов; C_{0i} / C_0 — отношение цены отдельных сопутствующих компонентов к цене основного компонента.

Общая сущность расчета нормативов потерь и разубоживания для условий отработки запасов подземным способом заключается в следующем.

Для систем разработки с *открытым очистным пространством, магазинированием руды, с закладкой и креплением* очистного пространства нормативы потерь и разубоживания по вариантам определяются построением на геолого-маркшейдерских планах и разрезах конструктивных элементов системы разработки и оценкой по ним объемов извлекаемой и теряемой части полезного ископаемого, прихватываемых пород или некондиционных руд, а при системах разработки с обрушением руды и вмещающих пород — прогнозированием, основанным на теории выпуска.

Вопрос о целесообразности оставления в выработанном пространстве или извлечения запасов полезного ископаемого из целиков решается технико-экономическим расчетом с учетом включения затрат по выемке целиков или замене их искусственными опорами в себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого при сравниваемом варианте.

Нормативы потерь и разубоживания при извлечении полезного ископаемого определяются отраслевыми инструкциями.

§ 7. Экономический ущерб от сверхнормативных потерь и разубоживания

Сверхнормативные потери преждевременно истощают природные ресурсы и увеличивают долю погашаемых основных средств в затратах на добычу руды; разубоживание руды влияет на ее ценность, показатели извлечения металлов при обогащении и, следовательно, на себестоимость конечной продукции.

Ниже приводится методика расчета экономического ущерба в результате допущенного отклонения потерь и разубоживания от их нормальных значений.

При разработке эксплуатационного блока может оказаться, что фактические потери или разубоживание выше их нормативных значений. Одновременно возможно отклонение показателей добычи и переработки 1 т руды. Следовательно, и экономические последствия будут другими. Величина отклонения их от оптимального значения представляет собой ущерб, наносимый народному хозяйству из-за нерационального использования недр.

Ущерб (убытки), вызванный сверхнормативными потерями и разубоживанием, отнесенный к 1 т балансовых запасов, в руб

$$Y = \Delta \pi_{\sigma_n} - \Delta \pi_{\sigma_{\phi}}, \quad (20.4)$$

где $\Delta \pi_{\sigma_n}$ — экономические последствия при разработке блока нормативными потерями и разубоживанием, принимаемыми по справочнику, руб/т; $\Delta \pi_{\sigma_{\phi}}$ — экономические последствия при разработке блока с фактическими потерями и разубоживанием, руб/т:

$$\Delta \pi_{\sigma_{\phi}} = \frac{1 - P_{\phi}}{1 - P_{\phi}} (0,01 a_y I_y C_o - C_{т. \phi}), \quad (20.5)$$

P_{ϕ} и P_{ϕ} — соответственно фактические потери и разубоживание при разработке рассматриваемого блока (участка), доли единицы; a_y — содержание металла (условного металла) в товарной руде, добытой из этого блока, %; I_y — коэффициент извлечения металла (условного металла) из руды этого блока в концентрат на обогатительной фабрике; C_o — оптовая цена основного полезного компонента в концентрате, руб/т; $C_{т. \phi}$ — фактические суммарные затраты на добычу, транспортирование и переработку 1 т товарной руды по данному блоку, руб/т.

Если содержание условного металла (полезного компонента) в товарной руде, добытой из блока, неизвестно, то его определяют по формуле (в %)

$$a_y = c_y (1 - P_{\phi})$$

или

$$a_y = (c_y - c_y \Pi + b P K_z) / K_z,$$

где c_y — условное содержание основного металла в погашаемых балансовых запасах, %; b — содержание металла в разубоживающих породах, %; K_z — коэффициент эксплуатационных запасов;

$$K_z = (1 - P_{b(c)}) / (1 - P_{b(c)}),$$

в котором $P_{b(c)}$ и $P_{b(c)}$ — соответственно потери и разубоживание рационального варианта валовой или селективной выемки, доли единицы.

Формула (20.5) учитывает не только сверхнормативные потери и разубоживание, но и допущенные отклонения их из-за изменения суммарных затрат на добычу, транспортирование и

переработку 1 т руды $C_{т.ф}$ и извлечения металла (условного металла) в концентрат на обогатительной фабрике.

По формуле (20.4) определяют ущерб от сверхнормативных потерь и разубоживания и оценивают мероприятия по улучшению использования недр, т. е. она применима, если при разработке удалось снизить потери и разубоживание, но затраты на добычу несколько увеличились; потери и разубоживание нормативные, а затраты на добычу, транспортирование и переработку 1 т руды снижены или снижены потери руды, несколько увеличено разубоживание при снижении затрат на добычу. Тогда эту формулу записывают так:

$$\Delta\P_p = \mathcal{E}_{п\sigma_{ф}} - \mathcal{E}_{п\sigma_{н}}.$$

где $\Delta\P_p$ — дополнительная прибыль, полученная за счет улучшения использования недр, отнесенная к 1 т балансовых запасов, руб.

Пример. Мощность рудного тела 25 м; угол падения 50° ; высота уступа 10 м; содержание условного металла в балансовых запасах 0,2 %, в разубоживающих породах 0,05 %; суммарные затраты на добычу, транспортирование и переработку 1 т руды 5 руб.; фактические потери 3,0 %, разубоживание — 6,25 %.

По справочнику находят соответствующее исходным данным отработанного блока $\mathcal{E}_{п\sigma_{н}} = 6,416$ руб/т. Затем рассчитывают по формулам:

$$a_y = \frac{0,2 - 0,2 \cdot 0,030 + 0,05 \cdot 0,0625 \cdot 1,034}{1,034} = 0,190 \%,$$

$$\mathcal{E}_{п\sigma_{ф}} = \frac{1 - 0,030}{1 - 0,0625} (0,01 \cdot 0,190 \cdot 0,87 \cdot 6700 - 5) = 6,261 \text{ руб/т.}$$

Тогда ущерб, нанесенный сверхнормативными потерями и разубоживанием

$$U = 6,416 - 6,261 = 0,155 \text{ руб/т.}$$

§ 8. Методы определения фактических потерь и разубоживания при добыче полезных ископаемых

Учет потерь и разубоживания производят ежемесячно по каждой учетной единице, используя формулы прямого и косвенного учета.

Сущность *прямого* (основного) *метода* учета заключается в определении потерь и разубоживания на основе систематически производимых съемок и замеров объемов потерь полезного ископаемого и объемов примешиваемых пород; сопоставления контуров рудных тел (угольных пластов), отображаемых на геолого-маркшейдерских планах и разрезах, с контурами фактической отработки.

Потери и разубоживание по контуру рудного тела (пласта) определяют путем замеров площадей обнажения полезного ископаемого и площадей отбитых и отслоившихся пород. Мощность потерянной части рудного тела устанавливают по замеру

и опробованию пройденных на контакте горных выработок, шпуров и скважин.

Потери Π и разубоживание P в процентах от количества погашенных балансовых запасов B и добытой рудной массы D при прямом методе определяют по формулам:

потери руды

$$\Pi_p = \frac{\Sigma \Pi_i}{B} 100 \%,$$

потери металла

$$\Pi_m = \frac{\Sigma \Pi_i c_{\Pi i}}{B_c} 100 \%,$$

разубоживание

$$P = \frac{\Sigma B_i}{D} 100 \%,$$

где $\Sigma \Pi_i$ — сумма отдельных видов потерь; C — содержание полезного компонента в погашенных запасах; $c_{\Pi i}$ — содержание полезного компонента в каждом виде потерь руды; B_i — масса примешиваемых пород.

При сложной форме рудной залежи величину разубоживания рассчитывают путем деления определяемых по замеру отбитой и извлеченной частей балансовых запасов B_o к общему количеству извлеченной из блока рудной массы D :

$$P = \left(1 - \frac{B_o}{D}\right) 100 \%.$$

Косвенные методы определения потерь применяют только тогда, когда невозможно определение потерь и разубоживания руды непосредственными прямыми замерами. К косвенным относятся методы определения потерь и разубоживания руды по разности между количеством погашенных балансовых запасов и добытой руды и содержанием в них полезных компонентов, а также петрографический, весовой, графоаналитический и др.

Потери руды и металла Π (%) косвенным методом определяют по разности между количествами погашенных балансовых запасов B и добытой руды D с учетом содержания полезных компонентов в погашаемых запасах c , добываемом полезном ископаемом a и примешиваемых породах b

$$\Pi = \left(1 - \frac{D}{B} \frac{a-b}{c-b}\right) 100 \%.$$

Разубоживание руды P (%) устанавливают по снижению содержания полезных компонентов в добытой руде a по сравнению с содержанием их в погашенных балансовых запасах c :

$$P = \frac{c-a}{c-b} 100 \%.$$

При отсутствии во вмещающих породах полезного компонента, по которому производят расчеты, или при малом его содержании по сравнению с браковочным содержанием a_0 (при $b \leq 0,2a_0$) потери Π (%) и разубоживание P (%) допускается определять по формулам:

$$\Pi = \left(1 - \frac{D}{Bc}\right) 100 \%,$$

$$P = \frac{c - a}{c} 100 \%.$$

Если содержание в потеряннй руде c_n отличается от содержания в погашенных запасах c более чем на 10 % (относительных), то потери Π (%) и разубоживание руды P (%) рекомендуется определять по формулам:

$$\Pi = \frac{\left[c - b - \frac{D}{B}(a - b)\right]}{c_n - b} 100 \%;$$

$$P = \frac{\frac{B}{D}(c - c_n) + (c_n - a)}{c_n - b} 100 \%.$$

Петрографический метод определения разубоживания руды применяют при условии визуального различия между рудой и породой, содержащимися в исследуемой рудной массе. Из добытой массы отбирают пробу и выделяют крупную фракцию (более 5—7 мм). Последнюю сортируют на руду и разубоживающие породы. Разубоживание P' руды в отдельной пробе определяется

$$P' = \frac{B}{Q} 100 \%,$$

где B — масса разубоживающих пород, выделенных из крупных фракций пробы; Q — общая масса крупной фракции пробы с рудной массой D_i .

Среднее разубоживание по блоку (участку) как взвешенное по отдельным пробам

$$P = \Sigma P' D_i / (\Sigma D_i).$$

Весовой метод определения разубоживания руды применяют в основном для оперативного контроля. Основан на различии в массе вагонеток с чистой и с разубоженной рудой

$$P = \frac{\frac{V}{Q} \frac{k_3}{k_p} - \frac{1}{\gamma_1}}{\frac{1}{\gamma_2} - \frac{1}{\gamma_1}} 100 \%,$$

где V — объем вагонетки, м³; Q — средняя масса находящейся в вагонетке руды, т; γ_1 , γ_2 — средняя плотность руды и породы,

т/м³; k_p — средний коэффициент разрыхления руды в вагонетке; k_3 — коэффициент заполнения вагонетки.

Величины Q и k_3 устанавливают для каждого проходящего состава с рудой.

В необходимых случаях для учета потерь и разубоживания применяют комбинированный метод, при котором, если количество разубоживающих пород B определено непосредственно, потери

$$П = \frac{(B - Д + B)}{B} \frac{c_n}{c} 100 \%$$

полезного ископаемого определены прямым методом, то разубоживание

$$P = 1 - \frac{B - П}{Д} 100 \%$$

Применительно к определению потерь и разубоживания руды прямым методом (через отношение суммы отдельных видов потерь $\Sigma П_i$ к погашенным балансовым запасам блока B и отношение суммы примешиваемых пород ΣB_i к количеству добытой руды $Д$) погрешности определения m_n и m_p рассчитывают по формулам:

$$m_n = \pm \frac{100}{B} \sqrt{\Sigma m_{n_i}^2 + \frac{m_B^2}{B^2} \Sigma П_i^2};$$

$$m_p = \pm \frac{100}{Д} \sqrt{\Sigma m_{p_i}^2 + \frac{m_D^2}{Д^2} \Sigma B_i^2},$$

где m_{n_i} и m_{p_i} — средние абсолютные погрешности определения количества потерянной руды и примешанных пород по двум-трем независимым выборочным определениям одних и тех же объемов, m_b , m_d — абсолютные погрешности определения погашенных балансовых запасов и добытой руды.

При косвенном методе определения потерь и разубоживания погрешности m_n и m_p :

$$m_n = (100 - П) \times \sqrt{\frac{m_v^2}{v^2} + \frac{m_o^2}{\gamma^2} + \frac{m_d^2}{Д^2} + \frac{m_c^2}{(c - b)^2} + \frac{m_a^2}{(a - b)^2} + \frac{m_b^2 (c - a)^2}{(c - b)^2 (a - b)^2}};$$

$$m_p = (100 - P) \sqrt{\frac{m_c^2}{(c - b)^2} + \frac{m_a^2}{(a - b)^2} + \frac{m_b^2 (c - a)^2}{(c - b)^2 (a - b)^2}}.$$

Из результатов вычислений следует, что погрешности определения потерь и разубоживания изменяются в пределах:

по методу прямого учета

$$2,2 \leq m_n \leq 12,1;$$

$$1,6 \leq m_p \leq 8,6;$$

по методу косвенного учета

$$4,6 \leq m_n \leq 34,7;$$

$$3,1 \leq m_p \leq 23,1.$$

Отсюда вытекает, что прямой метод учета точнее косвенного (округленно) по потерям в 2—4 раза, по разубоживанию в 2—3 раза.

Таким образом, прямой метод учета потерь и разубоживания предпочтительнее косвенного. Для этого требуется дальнейшее повышение качества геолого-маркшейдерских работ, оснащение этой службы современной техникой. Таким путем можно добиться эффективности мер по недопущению сверхнормативных потерь и разубоживания, связанных с выбором оптимальных соотношений между ними, соблюдением очередности извлечения запасов из недр, качественным выполнением работ по закладке, обоснованием применимости совместного и раздельного способов выемки, качественной зачисткой мест под взрывные работы, погрузки, разгрузки, складирования и др.

В Типовом положении о ведомственной маркшейдерской службе, утвержденном постановлением Совета Министров СССР в октябре 1981 г., определены главные задачи маркшейдерской службы. К числу этих задач относится своевременное и высококачественное осуществление маркшейдерских работ для обеспечения наиболее полного и комплексного использования месторождений полезных ископаемых, эффективного и безопасного ведения горных работ и охраны недр, осуществление контроля за правильностью разработки месторождений, выполнением мероприятий по безопасности ведения работ, охране окружающей природы, зданий и сооружений от влияния горных работ, выполнение с участием геологической службы работ, связанных с геометризацией месторождений полезных ископаемых.

Исходя из главных задач, возлагаемых на маркшейдерскую службу, специалисты-маркшейдеры должны уметь не только проводить геодезические работы на поверхности и маркшейдерские — в горных выработках, знать технологию подземных и открытых горных работ и строительства сооружений, но и выполнять геометризацию недр, выявлять форму, свойства и условия залегания полезных ископаемых, состояние горного массива и последствия влияния горных выработок на земную поверхность, здания, сооружения, уметь оценивать горногеологические и инженерно-геологические условия ведения горных работ.

Все это необходимо для планирования разведки и рациональной разработки месторождений, управления движением запасов, учета добычи, потерь и разубоживания.

Высокая эффективность добычи и переработки полезных ископаемых основывается на комплексном учете как природных факторов, так и техники, технологии, экономики и управления производством.

Все эти факторы имеют широкие диапазоны изменения. Оптимальное решение возможно лишь с помощью ЭВМ. Геометризация недр служит основой для ввода природных факторов в ЭВМ с последующим отражением полученных решений в виде наглядных и метрических графиков.

В связи с этими основными вопросами дальнейшего развития геометрии и геометризации недр являются:

1. Разработка методов и приемов решения горно-геометрических задач и построения максимально правдоподобной геометрической, цифровой или аналитической модели месторождения или его отдельных показателей по имеющейся ограниченной информации на основе использования данных геологии

и широкого арсенала математических методов, ЭВМ и графопостроителей.

2. Разработка методов определения минимального количества и рационального размещения разведочных единиц (измерений, определений, опробования) для построения геометрической модели месторождения с точностью, удовлетворяющей требованиям производства.

3. Разработка методов прогнозирования показателей разрабатываемых участков и полей на прилегающие зоны, совершенствование методов маркшейдерско-геологических съемок и документации обнажений, методов установления взаимосвязи размещения минерализации со структурой месторождения.

4. Разработка и совершенствование методов геометризации геомеханических свойств массива горных пород и процессов, происходящих в массиве, вызванных разведочными и горными работами.

5. Совершенствование методов управления движением запасов на горном предприятии с целью экономичного, рационального и более полного извлечения полезных ископаемых из недр.

Перечисленное не ограничивает содержания всех проблем геометризации недр. Успешное их решение и практическое использование полученных результатов будут способствовать рациональному освоению богатств недр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Автоматизация планирования горных работ на железорудных карьерах/Астафьев Ю. П., Давидкович А. С., Бевз Н. Д. и др. М., Недра, 1982.
- Адигамов Я. М., Мининг С. Э. Нормирование потерь полезных ископаемых при добыче руд. М., Недра, 1978.
- Арсеньев С. Я., Прудовский А. Д. Внутрикатьерное усреднение железных руд. М., Недра, 1980.
- Бастан П. П., Болошин Н. Н. Усреднение на горно-обогатительных предприятиях. М., Недра, 1981.
- Букринский В. А. Практический курс геометрии недр. М., Недра, 1965.
- Геометризация месторождений полезных ископаемых. Под ред. проф., д-ра техн. наук В. А. Букринского и канд. техн. наук Ю. В. Коробченко. М., Недра, 1977 (Научно-техническое горное общество).
- Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М., Наука, 1975.
- Гудков В. М., Васильев А. А., Николаев К. П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
- Ершов В. В. Горно-геологические факторы освоения месторождений полезных ископаемых. Изд. МГИ, М., 1980.
- Ивахненко А. Г., Зайченко Ю. П., Димитров В. Д. Принятие решений на основе самоорганизации. М., Сов. радио, 1976.
- Каждан А. Б., Гуськов О. И., Шиманский А. А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. Учебное пособие. М., Недра, 1979.
- Корольков П. А. Введение в геометрию потока (геометрию процессов). Научные труды «Геометризация месторождений минерального сырья как основа рационального освоения недр». М., изд. МГУ, 1969. С. 188—209.
- Ломоносов Г. Г. Формирование качества руды при открытой добыче. М., Недра, 1975.
- Ломоносов Г. Г. Инженерная графика. Учебник для вузов. М., Недра, 1984.
- Малышева Н. А., Сиренко В. Н. Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов. М., Недра, 1977.
- Миронов К. В. Геологические основы разведки угольных месторождений. М., Недра, 1973.
- Михалевич Д. С. Технология изготовления и размножения графической документации при инженерно-геодезических и маркшейдерских работах. М., Недра, 1979.
- Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М., Недра, 1984.
- Невский В. А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. М., Недра, 1979.
- Прерис А. М. Общая методика подсчетов запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Киев, Вища школа, 1978.
- Рабочая книга по прогнозированию. Под ред. И. В. Бестужев-Лада. М., Мысль, 1982.
- Разрывные нарушения угольных пластов (по материалам шахтной геологии)/И. С. Гарбер, В. Е. Григорьев, Ю. Н. Дупан и др. Л., Недра, 1979.
- Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1984.
- Рыжов П. А. Геометрия недр. 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1964.
- Рыжов П. А. Математическая статистика в горном деле. М., Высшая школа, 1973.
- Сборник инструктивных материалов по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. М., Недра, 1977.
- Симкин Б. А., Шкута Ю. К. Аналитическое моделирование месторождений и их открытой разработки. М., Наука, 1976.

- Соболевский П. К.* Современная горная геометрия.— Социалистическая реконструкция и наука, 1932, № 7. с. 5—7.
- Совершенствование методов маркшейдерских работ и геометризации недр.* Под общ. ред. В. А. Букринского, Я. З. Рашковского, Е. Ф. Фролова. М., Недра, 1972 (Научно-техническое горное общество).
- Справочник по маркшейдерскому делу/Под ред. проф., д-ра техн. наук А. Н. Омельченко.*— 4-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1979.
- Харбух Дж., Бонэм-Картер Г.* Моделирование на ЭВМ в геологии. Пер. с англ. М., Мир, 1974.
- К. Шеннон.* Работы по теории информации и кибернетике. Пер. с англ. М., Мир, 1963.
- Oldřich Hajkr, Karel Neset.* Geometrie nerostných ložisek. SNTL/ALFA, Praha, 1978.
- Hoványi Lehel, Füst Antal.* Geodézia ÉS BANYASZATI Geometria. II. (Bányászati geometria). Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
- H. Meixner/V. A. Bukrinskij.* Markschedewesen für Bergbaufachrichtungen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 1977.
- Христов Иван.* Минна геометрия. Държавно издателство «Техника», София, 1974.
- Трофимов А. А.* Основы горной геометрии. Учебное пособие для вузов. М., изд. МГУ, 1980.
- Турчанинов И. А., Иофис М. А., Каспарьян Э. В.* Основы механики горных пород. Л., Недра, 1977.
- Ушаков И. Н.* Горная геометрия. 4-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1979.
- Формы геологических тел (терминологический справочник).* Под ред. Ю. А. Косыгина, В. А. Кулындышева, В. А. Соловьева. М., Недра, 1977.
- Ходжаев Р. Ш.* Экономическая оценка разработки нарушенных угольных пластов. М., Недра, 1978.
- Чернышов С. Н.* Трещины горных пород. М., Наука, 1983.
- Четвериков Л. И.* Методологические основы опробования пород и руд. Воронеж, Изд. ВГУ, 1980.
- Дж. Девис.* Статистика и анализ геологических данных. М., Мир, 1977.
- Крамбейн У., Грейбилл Ф.* Статистические модели в геологии. М., Мир, 1969.
- Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики. М., Мир, 1968.
- У. Прэтт.* Цифровая обработка изображений. М., Мир, 1982.
- Фокс А., Пратт М.* Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. М., Мир, 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть первая	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИИ И ГЕОМЕТРИЗАЦИИ НЕДР	8
Глава 1. Математическая интерпретация и моделирование размещения показателей недр	8
§ 1. Общие положения	8
§ 2. Геометрический анализ геохимического поля (способом П. К. Соболевского)	11
§ 3. Методы и виды геометризаций недр	13
§ 4. Математическое моделирование размещения показателей недр с применением ЭВМ и графопостроителей	20
Глава 2. Проекции, применяемые при геометризации недр	25
§ 1. Общие положения	25
§ 2. Проекции с числовыми отметками	26
§ 3. Аффинные проекции	52
§ 4. Векторные проекции	60
§ 5. Аксонометрические проекции	66
§ 6. Стереографические проекции	74
§ 7. Стереоаксонометрия, анаглифы и голография	78
Глава 3. Вероятностно-статистические методы обработки и оценки данных при геометризации недр	82
§ 1. Общие замечания	82
§ 2. Случайные величины и законы их распределения	84
§ 3. Сравнение эмпирического распределения с теоретическим	92
§ 4. Вычисление числовых характеристик случайных величин по небольшому числу наблюдений	94
§ 5. Вычисление числовых характеристик при большом числе наблюдений	100
§ 6. Определение наличия и тесноты корреляции между показателями месторождения	102
§ 7. Определение вида корреляции между двумя признаками	112
§ 8. Множественная корреляция	116
§ 9. Применение теории информации	118
§ 10. Применение теории случайных функций	119
§ 11. Эргодическое свойство функции размещения и определение ее характеристик по одной реализации	125
§ 12. Размер статистического окна при сглаживании реализаций	129
Глава 4. Функции топографического порядка и математические действия с их графическими выражениями	131
§ 1. Общие положения	131
§ 2. Арифметические действия с поверхностями топографического порядка	132
§ 3. Алгебраические действия с поверхностями топографического порядка	138
§ 4. Определение некоторых характеристик топографической функции по ее графическому выражению	145

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ФОРМ ЗАЛЕЖЕЙ, РАЗМЕЩЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОЦЕССОВ

Глава 5. Геометрические параметры залежи, их определение и документация	148
§ 1. Элементы залегания залежи и их определение	148
§ 2. Документация обнажений залежи и ее унификация на перфокартах	161
§ 3. Съёмка и документация скважины	166
§ 4. Определение координат точки пересечения скважины с залежью и геометризация оси скважины	173
§ 5. Погрешность определения положения точек пересечения скважины с залежью	178
§ 6. Проектирование направленных скважин и поиски их из горных выработок	182
§ 7. Определение параметров залежи по данным разведочного бурения	186
Глава 6. Характеристика изменчивости показателей залежи и сложности месторождений	189
§ 1. Общие положения	189
§ 2. Количественная оценка изменчивости	190
§ 3. Коэффициент изменчивости	195
§ 4. Показатель сложности	201
Глава 7. Плотность, расположение точек и оценка точности реализаций функции размещения показателей залежи	203
§ 1. Общие замечания	203
§ 2. Оценка точности реализации размещения показателя, представленного топографической поверхностью	204
§ 3. Оценка точности реализации размещения показателя, представленного контуром	210
Глава 8. Геометризация структуры месторождения, формы, условий залегания и положения залежи в недрах	214
§ 1. Понятие о структуре месторождения и ее геометрических элементах	214
§ 2. Геологические разрезы и профили, методы их построения	216
§ 3. Гипсометрические планы залежи, методы построения и практическое значение	217
§ 4. Гипсометрический план изоповерхности с заданным значением показателя	221
§ 5. Мощность залежи полезного ископаемого и ее изображение	225
§ 6. Глубина залегания полезного ископаемого и ее изображение	228
§ 7. Геометризация условий залегания полезных ископаемых	229
§ 8. Применение ЭВМ и графопостроителей при геометризации месторождений	230
Глава 9. Геометризация складок	234
§ 1. Складчатость и ее генезис	234
§ 2. Геометрические элементы и параметры складки	241
§ 3. Формы складок и их классификация	244
§ 4. Определение геометрических параметров и элементов складки	247
§ 5. Изображение складок	249
Глава 10. Геометризация разрывных структур (дизъюнктивов)	259
§ 1. Общие сведения о дизъюнктивах	259
§ 2. Признаки и методы выявления разрывных нарушений	263
§ 3. Геометрические элементы и параметры разрывных нарушений	264
§ 4. Классификация разрывных нарушений	271
§ 5. Геолого-геометрическая документация и графическое моделирование разрывных нарушений	281

§ 6. Характеристика тектонической нарушенности угольных пластов и шахтных полей и ее влияние на комплексно-механизированную разработку	286
§ 7. Прогнозирование разрывных нарушений при разработке месторождений	291
§ 8. Поиски смещенной части пласта и задание выработок на смещенную часть	294

Глава 11. Геометризация трещиноватости массива горных пород . . . 299

§ 1. Виды трещин и их классификация	299
§ 2. Наблюдения и обработка наблюдений трещиноватости	303
§ 3. Геометрические показатели трещиноватости	308
§ 4. Связь трещиноватости с тектонической структурой месторождения	312
§ 5. Влияние трещиноватости массива на производство горных работ	315

Глава 12. Геометризация физико-химических и геомеханических свойств залежей полезных ископаемых и массива горных пород . . . 318

§ 1. Общие замечания	318
§ 2. Исходные данные для качественной характеристики месторождения, методы измерения и опробования	320
§ 3. Геолого-маркшейдерская документация при опробовании и ее унификация на перфокартах	323
§ 4. Методика обработки данных измерения и опробования	325
§ 5. Графики изменения содержаний компонентов по разведочным выработкам, их построение и методы сглаживания	327
§ 6. Изолинии качественных свойств полезного ископаемого и методы их построения	334
§ 7. Связь между компонентами минерализации и структурой и ее практическое использование	342
§ 8. Геометризация геомеханических свойств массива горных пород	346

Глава 13. О геометризации процессов в массиве горных пород . . . 350

§ 1. Общие замечания о геометризации потока	350
§ 2. Геометризация геодинамики массива горных пород в районе месторождений	356
§ 3. Геометризация процесса рудообразования	362
§ 4. Геометризация изменений напряженного состояния массива горных пород при проведении горных выработок	363

Часть третья

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ . . . 367

Глава 14. Особенности геометризации некоторых типов месторождений 367

§ 1. Геометризация угольных месторождений	367
§ 2. Геометризация железорудных месторождений	375
§ 3. Геометризация месторождений цветных металлов и золота	379
§ 4. Геометризация месторождений горно-химического сырья	384
§ 5. Геометризация месторождений нерудных строительных материалов	387

Глава 15. Прогнозирование размещения показателей месторождений . 397

§ 1. Общие замечания	397
§ 2. Количественные методы прогнозирования размещения показателей месторождения	400
§ 3. Прогнозирование морфологических показателей залежи	408
§ 4. Прогнозирование функции размещения компонентов	414

Глава 16. Планирование горных работ в режиме усреднения с использованием ЭВМ . . . 421

§ 1. Общие сведения и исходные данные	421
§ 2. Планирование на этапе проектирования	424

§ 3. Перспективное и текущее планирование добычи на этапе эксплуатации	427
§ 4. Применение ЭВМ при планировании добычи с заданным содержанием компонента	438

Часть четвертая

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ 441

Глава 17. Запасы полезных ископаемых, их параметры и классификация 441

§ 1. Общие сведения, терминология и классификация запасов	441
§ 2. Подготовленность месторождений (участков) для промышленного освоения	444
§ 3. Рациональное использование и охрана недр	445
§ 4. Параметры подсчета запасов и их определение	447

Глава 18. Способы подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых 466

§ 1. Способ среднего арифметического	466
§ 2. Способ изолиний и объемной палетки проф. П. К. Соболевского	470
§ 3. Способ разрезов	475
§ 4. Способ многоугольников и треугольников	479
§ 5. Комбинированные способы подсчета запасов и статистический способ	481
§ 6. Применение ЭВМ при подсчете запасов	482

Глава 19. Оценка точности подсчета запасов 485

§ 1. Общие сведения	485
§ 2. Факторы, влияющие на точность определения запасов в недрах	488
§ 3. Погрешность подсчета запасов	491

Глава 20. Учет состояния, движения запасов, потерь и разубоживания при разработке месторождений 495

§ 1. Общие положения	495
§ 2. Классификация запасов по степени подготовленности к добыче	497
§ 3. Нормирование и учет состояния вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов	502
§ 4. Показатели извлечения полезного ископаемого из недр	505
§ 5. Классификация, определение и учет потерь и разубоживания	509
§ 6. Нормирование потерь и разубоживания полезного ископаемого при его добыче	511
§ 7. Экономический ущерб от сверхнормативных потерь и разубоживания	512
§ 8. Методы определения фактических потерь и разубоживания при добыче полезных ископаемых	514

Заключение 519

Список литературы 521

ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ БУКРИНСКИЙ

ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Редактор издательства *Э. Н. Чернегова*
Переплет художника *Т. Н. Погореловой*
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*
Технический редактор *Л. Г. Лаврентьева*
Корректор *С. Г. Барсукова*

ИБ № 6290

Сдано в набор 13.06.85. Подписано в печать 09.10.85. Т-20713.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журн. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 33,0. Усл. кр.-отт. 33,0. Уч.-изд. л. 34,32. Тираж 5000 экз. Заказ № 1372/534—9.
Цена 1 р. 50 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного
Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга»
им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государ-
ственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая
ул., 14.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

**В издательстве «Недра»
готовятся к печати новые книги**

БАКЛАШОВ И. В., КАРТОЗИЯ Б. А. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОРОДНЫХ МАССИВАХ.

Учеб. пособие для вузов.

20 л. 1 р. 10 к.

Рассмотрены механические свойства горных пород и состояние породных массивов, их деформируемость и прочность в зависимости от структурно-механических особенностей. Приведены аналитические и экспериментальные методы исследования механических процессов и области применения. Описан механизм линейного, а также неупругого деформирования и разрушения породных массивов, даны рекомендации по прогнозированию их устойчивости. Изложены принципы управления механическими процессами в результате упрочнения и разупрочнения породных массивов, выбора предельной формы контура, пролетов и конструкций крепи горных выработок.

Для студентов горных вузов, обучающихся по специальности «Физические процессы горного производства».

(План 1986, № 211)

СТЕНИН Н. И. ОРГАНИЗАЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.

2-е изд. перераб. и доп. 10 л. 55 к.

Проанализирована существующая структура маркшейдерской службы в горнодобывающей промышленности и намечены пути ее совершенствования. Рассмотрены вопросы технического нормирования и организации маркшейдерских работ. Даны рекомендации по перспективному и текущему планированию маркшейдерских работ, а также оценке работы маркшейдерских отделов горных предприятий. Второе издание (1-е изд.— 1974) значительно переработано и дополнено новыми материалами по организации работ при изучении процессов сдвижения горных пород, контролю и приемке маркшейдерских работ.

Для инженерно-технических работников маркшейдерской службы горнодобывающей промышленности.

(План 1986, № 206)

Предварительные заказы на книги принимают местные магазины книготорга, распространяющие научно-техническую литературу. Своевременно оформите заказы на интересующие Вас издания.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
