Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного знамени горного института, том XXIX, вып. I, 1953 г.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ГЕОМЕТРИИ НЕДР

(горной геометрии)

Проф. Д. А. Казаковский

Геометрия недр (горная геометрия) оформилась как самостоятельная дисциплина в послеоктябрьский период на базе социалистической горной промышленности, поставившей по-новому задачи рациональной разведки, разработки и использования недр.

Благодаря усилиям многочисленного коллектива научных работников и новаторов-производственников методы решения горногеометрических задач получили серьезное развитие и эти задачи выделились из курса маркшейдерского дела.

Однако быстро развивающаяся горная промышленность предъявляет все новые и новые требования к горной геометрии. Удовлетворение этих требований невозможно без дальнейшей разработки и развития теории и практики горногеометрических работ, без привлечения к этому вопросу внимания широкой маркшейдерской общественности.

В продолжение ряда лет состояние и задачи горной геометрии не подвергались обстоятельному разбору и обсуждению. Практические возможности геометрии, по существу, недооцениваются, недостаточно развивается научно-исследовательская работа в этой области, вследствие чего геометрия недр отстает от запросов горной промышленности.

На недостаточное внимание к вопросам горной геометрии недр указывает, в частности, отсутствие работ этого профиля в тематических планах Всесоюзного научно-исследовательского маркшейдерского института и ряда маркшейдерских кафедр горных и индустриальных институтов.

Настоящая статья, не претендующая на всестороннее освещение рассматриваемого вопроса, ставит перед собой цель характеристики изученности некоторых вопросов геометрии недр и выяснения содержания дальнейших исследовательских работ в этой области. Она кратко касается всех разделов горной геометрии, начиная с проекций, применяемых при решении горногеометрических задач, и кончая учетом движения запасов, потерь, разубоживания и добычи.

1

Исследования в области проекций, применяемых в горной геометрии, в последние годы проводились в следующих направлениях:

1) выяснение применимости циклографических и векториальных проекций (Г. В. Крунчак, К. М. Лебедев и др.);

2) исследование метрических свойств аксонометрических и аффинных проекций (А. П. Рылов и др.);

3) создание приборов для механического построения аффинных, аксонометрических и перспективных изображений (А. П. Рылов, Г. В. Вальц, А. И. Рафалович и др.);

4) разработка техники построения изображений горных выработок в проекции на вертикальную плоскость и топографических поверхностей методом изолонг (Д. Н. Оглоблин, И. Л. Таранов, П. А. Шехтман, Б. А. Ростковский).

Одновременно с этим Всесоюзным научно-исследовательским маркшейдерским институтом проделана большая работа по составлению условных обозначений для маркшейдерских планов угольных шахт и карьеров и по составлению ГОСТ условных обозначений.

В результате перечисленных выше исследовательских работ даны формулы и графики для учета искажений угловых и линейных величин при аффинном и аксонометрическом проектировании, предложено несколько конструкций приборов для механического построения пространственных изображений. В настоящее время проводится подготовка к изготовлению приборов на заводе маркшейдерских инструментов.

Исследование циклографических проекций показало, что эти проекции как способ изображения объектов обладают рядом существенных недостатков и уступают другим проекциям. Возможно лишь сочетание их с ортогональными проекциями на одну плоскость при решении некоторых метрических задач.

Примерно такое же положение выясняется в связи с исследованием векториальных проекций академика Е. С. Федорова. Они могут быть использованы при решении некоторых горногеометрических задач, в частности при изучении корреляционных связей между компонентами в полезном ископаемом.

Основная часть проведенных работ касалась исследования и детальной разработки известных видов проекций и не ставила перед собой задачи изыскания новых принципов проектирования. Между тем коренное улучшение методов изображения горных выработок и геологических структур в сложных горногеологических условиях является весьма актуальной задачей и требует неотложного решения. В решении этой задачи заинтересованы не только шахты и рудники, но также нефтяная промышленность, где недостатки современных способов изображения часто служат серьезным препятствием при расшифровке весьма сложных глубинных структур.

2

Решение горногеометрических задач, связанных с правильными пластовыми залежами, базируется на известных методах начертательной и аналитической геометрии. Эти методы хорошо разработаны и освещены в литературе.

Иначе обстоит дело с нарушенными пластовыми формами залегания. Задачи, относящиеся к ним, являются более сложными, а методика решения их в достаточной степени не разработана. Исследования в этой области проводились от случая к случаю. Можно указать лишь на две-три работы по геометрии складок (Я. И. Перельштейн, М. И. Гусев) и на отдельные работы по дизъюнктивам (Я. И. Перельштейн, И. Н. Ушаков, И. А. Молчанов, В. С. Попов и др.).

В недалеком прошлом отмечалось стремление применить в полном объеме аппарат аналитической геометрии при изучении складчатых поверхностей, не считаясь с тем, что поверхности складок могут быть уподоблены геометрически правильным поверхностям лишь в каких-то пре-

делах, с той или иной степенью приближения. Схоластичность такого подхода к решению задачи в настоящее время не вызывает сомнений.

Наряду с этим имеется и другая точка зрения, отрицающая целесообразность использования свойств правильных поверхностей при решении задач, связанных со складчатыми формами залегания. Сторонники этой точки зрения исходят из того, что в природе нет таких форм залегания, которые можно отождествлять с плоскостями или линейчатыми поверхностями типа конических и цилиндрических.

Однако согласиться с этим нельзя, так как поверхности пластовых залежей на ограниченных участках без больших ошибок можно уподоблять правильным поверхностям. Это позволяет с успехом решать задачи изображения складок, пользуясь свойствами указанных правильных поверхностей.

К числу недостатков исследовательских работ по геометрии складок следует отнести слабое использование обширных фактических материалов для проверки существующих методов построения складчатых поверхностей. До сих пор не было проведено ни одной сколько-нибудь значительной работы, ставящей целью проверку надежности и точности таких методов построений, как метод нормалей и графиков схождения, метод геометрически правильных поверхностей и др. Такая проверка не встречает каких-либо затруднений, так как фактические материалы высокой достоверности в огромных количествах имеются на наших угольных шахтах.

Недостаточное внимание уделяется также исследованию дизъюнктивных смещений с целью решения основной задачи — разработки методики отыскания смещенной части залежи.

В ряде работ, выполненных или опубликованных в последние годы, наблюдается увлечение геометрической стороной вопроса, в частности геометрическими классификациями смещений и вопросами изображения поверхности сместителя в изолиниях. На практике чаще всего отсутствуют данные для изображения сместителя в изолиниях. Что же касается классификаций, то их назначение не может выходить за рамки задач терминологии.

Переоценка роли классификаций объясняется неправильным представлением о характере смещений, наблюдаемых в природе (правильные поступательные смещения встречаются крайне редко), и о роли классификаций при отыскании смещенной части залежи. На самом деле решение задачи по отысканию смещенной части залежи не может быть достигнуто применением той или иной классификации и, вообще говоря, не требует предварительного выяснения типа смещения.

В последние годы по вопросу связи смещений со складчатостью и кливажем в ряде бассейнов и месторождений (Донбасс, Кузбасс, Ткварчельское месторождение и др.) собраны обширные фактические материалы. В результате проведенных работ получены интересные и практически важные выводы о характере проявления смещений. Однако в этих работах уделялось недостаточное внимание физической стороне явления, в частности механизму образования дизъюнктивов. Между тем, изучая только геометрическую сторону явления, мы неизбежно остаемся на поверхности фактов и не достигаем глубокого раскрытия физической сущности и закономерностей наблюдаемых дизъюнктивных смещений.

3

Начиная с 1930 г. проводилась геометризация на ряде угольных месторождений и бассейнов (Кизеловский бассейн, отдельные участки Челябинского бассейна, Подмосковного бассейна, Донбасса и др.). Объектами геометризации являлись гипсометрия и отчасти мощность

пластов. В качестве метода геометризации был принят метод изолиний, при этом построения производились по данным горно-эксплуатационных и разведочных выработок.

Проведенные работы по своему характеру являлись чисто производственными и не внесли почти ничего нового в методику геометризации. Организации, проводившие эти работы, ограничивались составлением горногеометрических графиков и не интересовались их дальнейшей судьбой.

Между тем в отношении практического использования результатов геометризации далеко не все обстояло благополучно. Так, например, материалы эксплуатационной геометризации шахт Кизеловского бассейна не использовались и не пополнялись, так как гипсометрические планы были составлены по данным горных работ и освещали лишь участки, полностью отработанные или оконтуренные горными выработками, а участки, более интересующие шахты, не могли быть освещены из-за отсутствия достаточного числа скважин. Такая же судьба постигла результаты геометризации некоторых шахт Челябинского бассейна.

Указанные факты, а также ограниченное использование или даже отсутствие комплекта горногеометрических графиков в материалах крупномасштабного (эксплуатационного) картирования подавляющего числа угольных шахт указывают на наличие серьезных недостатков в современной постановке геометризации угольных месторождений. Эти факты свидетельствуют об ограниченных возможностях существующей методики геометризации и о необходимости ее дальнейшей разработки и усовершенствования.

К числу недостатков этой методики следует отнести прежде всего несовершенство применяемого в настоящее время основного изобразительного приема — метода изолиний. Он не является универсальным и ограниченность его отчетливо выступает при геометризации пластов в сложных условиях залегания (мощные пласты, сильно нарушенное залегание и т. д.), а также при характеристике таких важных в производственном отношении факторов, как кливаж, характер и устойчивость кровли и т. п.

До сих пор указанные факторы оставались вне поля зрения и основное внимание уделялось гипсометрии и мощности пластов. При этом все построения производились по координатам точек, полученным в искусственных обнажениях. Разработке методов построений, основанных на различных закономерностях угленакопления, не уделялось необходимого внимания. Между тем для большинства угольных месторождений характерно отсутствие достаточно большого числа скважин в пределах отдельно взятых шахтных полей.

Хорошо известно, что возможности метода изолиний ограничены наличием разведочных данных и сам по себе метод не может восполнить недостатков разведки. Однако в некоторых печатных работах этот вопрос трактуется неправильно и применению геометризации приписывается даже открытие двух десятков новых угольных пластов в таком хорошо разведанном районе, как центральный район Донбасса [9].

Слишком преувеличенно также оцениваются возможности использования гипсометрических и других планов в отношении прогноза условий залегания на соседних неразведанных участках [14, 15]. Фактически возможность такого прогноза весьма ограничена, особенно при сложных условиях залегания месторождений.

Указанная недостаточно критическая оценка проведенных работ и метода изолиний не может быть признана нормальной. Она сыграла

отрицательную роль, неправильно ориентируя производственников, создавая ложное впечатление полного благополучия и не мобилизуя на дальнейшее изыскание и разработку наиболее рациональных способов геометризации угольных месторождений.

4

На рудных месторождениях в последние 20—25 лет работы по геометризации проводились в несколько бо́льших масштабах, чем на угольных шахтах. Они оказали безусловно положительное влияние на улучшение маркшейдерской документации и постановки маркшейдерской службы в целом. Работы подобного рода необходимо проводить и в будущем, широко используя для этого силы маркшейдерских отделов и бюро рудников.

Однако здесь, как и в области геометризации угольных месторождений, следует преодолеть отставание теории и практики геометризации от запросов производства, устранить отрыв от геологической обстановки и крен в сторону чистой геометрии, обеспечить более тесную увязку геометризации с горнотехническими задачами и освободиться от некоторых схоластических приемов решения указанных задач.

Необходимо признать, что геометризация месторождений еще не вошла как необходимый и совершенно обязательный элемент в повседневную практику маркшейдерской службы рудников. Это объясняется, с одной стороны, слабой разработанностью методики геометризации и, с другой — недостаточным вниманием к этим вопросам руководящих и контролирующих органов маркшейдерской службы, а также изжившим себя (при современной насыщенности горных предприятий инженерно-техническими кадрами) подрядным проведением работ по геометризации месторождений.

69265

В практике геометризации рудных месторождений также наблюдалось такое положение, когда результаты работ, выполненных той или иной организацией, на производстве в процессе разработки месторождений не проверялись и результаты такой проверки не обобщались. Это обстоятельство лишало возможности судить о точности графиков, их положительных и отрицательных сторонах, их пригодности для решения повседневно возникающих горнотехнических задач и т. п.

Между тем известны случаи неудачной геометризации, исключавшие практическое использование горногеометрических графиков. Так, на Блявинском месторождении горно-эксплуатационное опробование систематически фиксировало значительное несогласие с составленными по данным разведки качественными и структурными планами, которые поэтому вскоре утратили свое значение.

Как указано выше, одной из причин относительно слабого практического внедрения геометризации является недостаточная разработанность некоторых вопросов методики геометризации. Правильный выбор методики геометризации невозможен без предварительного изучения закономерностей оруденения. Некоторые геометры не учитывают важности этого этапа и минуют его или ограничиваются элементарным анализом, основанным на сглаживании или теории средних.

Такой подход нельзя признать правильным, так как примитивный анализ или полное игнорирование геологической обстановки и характера оруденения сводит всю последующую работу к операции механического характера. Между тем здесь можно широко и с большим эффектом использовать такие методы современной математической статистики, как частная и множественная корреляция, анализ стахастических схем распределения, дисперсионный анализ и т. д.

Указанные методы являются надежной основой парагенитического анализа, установления условий образования, отложения и распределения компонентов. В настоящее время предпринимаются попытки приложения этих методов к решению ряда вопросов региональной геологии и учения об осадочных образованиях. Возможность и целесообразность использования их при геометризации месторождений также не вызывает сомнений.

Вторым не менее важным требованием, предъявляемым к геометризации, является увязка номенклатуры и способов составления горногеометрических графиков с характером разведочных данных и условиями разработки месторождений. Отсутствие такой увязки лишает результаты геометризации практической ценности.

Существенным препятствием на пути более широкого внедрения геометризации является недостаточная разработанность методов изображения различных показателей на горногеометрических графиках. Метод изолиний как основной и пока единственный изобразительный прием оказывается совершенно непригодным при геометризации мощных рудных залежей (типа Криворожских, Хибинских и др.), а также при обобщении эксплуатационной разведки. Поэтому горногеометрические графики находят здесь или весьма ограниченное применение или не применяются совершенно.

На ряде рудных месторождений применению метода изолиний препятствует отсутствие необходимых разведочных данных, так как они получаются в процессе разработки месторождений на участках, оконтуриваемых горно-эксплуатационными выработками (месторождения редких металлов и др.).

До сих пор мы не имеем однозначного и достаточно обоснованного способа построения изолиний. Усиленно рекомендуемый для этой цели некоторыми авторами метод инвариант не отвечает своему назначению. Он перенесен из практики составления топографических планов без учета специфики исходных данных, используемых при геометризации.

В горной геометрии пользуются площадным и объемным сглаживанием, однако техника применения этих методов достаточно не разработана.

Недостаточно разработанными являются также выбор сечения изолиний, вопросы номенклатуры и построения горногеометрических графиков применительно к условиям и требованиям эксплуатации месторождений различных типов, вопросы приложения горногеометрических графиков к решению некоторых горно-эксплуатационных и горноразведочных задач. Эти вопросы имеют особенно большое практическое значение.

В настоящее время при помощи горногеометрических графиков решаются лишь немногие разведочные и горно-эксплуатационные задачи: определение контура открытых разработок при заданном отношении мощности вскрыши к мощности залежи полезного ископаемого, планирование добычи полезного ископаемого заданного качества, выбор расположения скважин при детальной разведке, выбор места заложения шахтных стволов и некоторые другие более мелкие задачи. Этот перечень далеко не исчерпывает области возможного приложения методов геометрии недр и нуждается в значительном расширении. Кроме этого, и существующие методы в ряде случаев требуют дальнейшей разработки, критической оценки и проверки на фактических материалах. Так, известный в настоящее время метод определения контура открытых разработок при заданном коэффициенте вскрыши касается наиболее простого случая решения задачи и может быть применен при сравнительно малой глубине разработок и больших размерах карьера по площади. Метод выбора

расположения скважин (по П. К. Соболевскому) до сих пор не получил применения в практике работы геологоразведочных партий. Это обстоятельство безусловно указывает на наличие в нем недостатков, частично уже отмеченных в литературе [17]. Окончательное суждение о методе можно вынести лишь после практической его проверки в производственных и лабораторных условиях (на моделях).

Особо следует остановиться на приложении горногеометрических графиков к выбору места заложения шахтных стволов. Идея этого метода была высказана проф. П. К. Соболевским и в 1933 г. детально разработана Д. Н. Оглоблиным. За прошедшие 20 лет метод не получил никакого применения в практике проектирования шахт. Специалисты-горняки считают этот метод совершенно не приемлемым по ряду принципиальных соображений [21].

Несмотря на это в литературе по горной геометрии рассматриваемому методу часто уделяется незаслуженно большое внимание [15]. Недостатки метода вполне очевидны и в основном сводятся к следующему.

1. При решении задачи (в части приложения метода изолиний) игнорируются такие решающие факторы, как потери полезного ископаемого в околошахтных целиках, зависящие от положения ствола (в лежачем или висячем боку), гидрогеологические условия, удобство расположения подъездных путей и т. д.

2. Построение изолиний исходных и суммарного графиков стоимостей требует для значительного числа точек нецелесообразных громоздких вычислений, равносильных оценке ряда вариантов расположения ствола. На практике же обычно ограничиваются двумя-тремя вариантами, а остальные, как заведомо невыгодные, отбрасывают.

3. Параметры и технико-экономические показатели, необходимые для подсчета «отметок» изоповерхностей, с точки зрения инженерного расчета определяются примитивно, а подчас и неправильно (например, стоимость проходки ствола берется с учетом лишь мощности пересекаемых пород, оценка расходов по доставке людей производится аналогично определению стоимости транспортировки грузов и т. д.).

Все это указывает на нецелесообразность рекомендации и детального освещения метода в учебных пособиях, где следует лишь в общих чертах показать методическую сторону вопроса, иллюстрируя изложение примером определения работ откатки грузов по штреку.

Желательно рассмотреть возможность использования основных положений метода при установлении рациональной последовательности отработки участков залежи с изменчивой мощностью (предложение доц. Д. Ф. Борисова).

5

В горной геометрии значительное внимание уделяется подсчету запасов твердых полезных ископаемых. Проведенные в последние 20—25 лет исследовательские работы в этой области были направлены на создание новых методов подсчета запасов, разработку способов характеристики изменчивости показателей залежи и оценки точности подсчета запасов.

Следует отметить, что известные в настоящее время методы подсчета запасов с достаточной полнотой охватывают все случаи и специфические условия различных месторождений. Правильный выбор метода из числа существующих обеспечивает получение результатов, точность которых определяется не столько методом подсчета, сколько детальностью разведки. Таким образом, разработка новых методов подсчета по данным предварительных и детальных разведок не является актуальной задачей.

Особой оценки заслуживает метод изолиний (П. К. Соболевского). Как указывает В. И. Смирнов [17], в практике подсчета запасов метод изолиний фактически не находит применения. В ряде случаев этот факт расценивается как показатель консерватизма геологов-разведчиков. На самом деле это, конечно, не так, ибо метод изолиний наряду с положительными сторонами обладает и рядом существенных недостатков. Применение этого метода требует наличия достаточно большого количества данных, затрудняет выделение запасов различных сортов руд и раздельный подсчет во внутреннем контуре и межконтурной полосе, затрудняет подсчет запасов при сложной структуре залежи и т. д.

Совершенно очевидно, что нельзя ставить вопрос о предпочтительности этого метода независимо от геологических условий и целей подсчета запасов.

В отличие от подсчета запасов по данным предварительных и детальных разведок методы подсчета по данным эксплуатационных разведок нуждаются в дальнейшем развитии. Последнее должно быть направлено на упрощение техники подсчетов, связанных с использованием тех многочисленных данных, с которыми в этом случае приходится иметь дело. Кроме того, должно быть устранено такое положение, когда из-за отсутствия совершенных способов подсчета результаты опробования не используются полностью.

Выше отмечалось направление проведенных исследовательских работ. Часть из них относится к созданию новых методов подсчета запасов (П. К. Соболевский, А. С. Золотарев, С. С. Изаксон и др.). Эти работы существенно расширили перечень методов и сделали возможным их выбор с учетом условий залегания, способа разведки и назначения подсчета. Но они не сняли с повестки дня актуальный вопрос рационализации подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки в наиболее сложных условиях.

Значительные работы были проведены нашими геологоразведочными организациями и Институтом горного дела АН СССР по вопросам классификации запасов. В результате была создана новая классификация запасов и составлены инструкции по ее применению. Особенно большой интерес со стороны маркшейдеров и разведчиков был проявлен к оценке точности подсчета запасов и опробования, определению необходимой плотности разведочной сетки, характеристике изменчивости залежи, определению промышленного контура залежи, учету исключительных проб и т. д. (В. Г. Соловьев, К. А. Пожарицкий, П. А. Рыжов, Е. П. Прокопьев, Д. А. Казаковский, М. В. Владыкин и др.).

При решении перечисленных вопросов значительное внимание уделялось применению математической статистики. Следует указать, что в этой области имели и имеют место в настоящее время элементы неправильного, механического подхода к решению задачи.

Применение методов статистики оказалось весьма плодотворным при изучении закономерностей оруденения, характера распределения компонентов и корреляционных связей, при получении различного рода средних характеристик, при анализе точности опробования и т. д. Дальнейшие исследования в этом направлении крайне желательны и обещают быть весьма плодотворными. Но предложения по применению статистики к оценке ошибок подсчета запасов, густоты разведочной сетки, а также изменчивости показателей залежи нуждаются в коренном пересмотре.

В качестве исходной для оценки ошибок аналогии подсчитанных запасов обычно рекомендуют формулу [15]:

$$m = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}\sqrt{k}. \tag{1}$$

При этом

$$k = \frac{F - nf}{F}, \tag{1'}$$

где m — ошибка среднего значения показателя залежи;
t — коэффициент вероятности;
σ — среднее квадратическое отклонение;
n — количество измеренных значений показателя;
F — площадь залежи (или участка);
f — элементарная площадка, в пределах которой показатель залежи может быть принят практически постоянным.

Соотношение (1) вытекает из известной в математической статистике формулы стандарта σ_x средней x из бесповторной выборки

$$m = \sigma_{\bar{x}} = t\sigma\sqrt{\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N}}, \tag{2}$$

где N — объем генеральной совокупности;
N_1 — объем выборочной совокупности.

Применительно к определению ошибок аналогии имеем

$$N = \frac{F}{f}, \quad N_1 = n.$$

откуда, на основании выражения (2),

$$m = t\sigma\sqrt{\frac{F - nf}{nF}}. \tag{1''}$$

Выбор коэффициента k в формуле (1) является задачей крайне неопределенной. С другой стороны, применительно к разведке месторождений скважинами величина $\sqrt{k}$ близка к единице или отличается от последней в пределах, не превышающих погрешности определения самого m по формуле (1).

Если принять $\sqrt{k} = 1$, то на основании формулы (1) получим

$$m = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

или при $t = 1$

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \tag{3'}$$

Формулы (1)—(3) рассчитаны, как известно, на стохастические (вероятностные) ряды и случайные выборки. Надежность формул при этом существенно зависит от характера распределения величин генеральной совокупности и объема выборки.

Следовательно, чтобы установить применимость этих формул к оценке ошибок аналогии подсчитанных запасов, необходимо выяснить:

а) является ли процесс получения разведочных данных безусловно стохастическим процессом — можно ли совокупность разведочных данных во всех случаях считать случайной выборкой;

б) можно ли игнорировать тот факт, что в практике разведки месторождений «выборка», как правило, мала, а распределение показателей залежи не подчинено закону нормального распределения.

В. И. Романовский [11] указывает: «Как осуществить главную цель выборочного исследования — вопрос, равносильный вопросу о том, как произвести в данных конкретных условиях наиболее эффективную, наиболее репрезентативную выборку, т. е. выборку такую, в которой распределение изучаемого признака было бы возможно ближе к распределению его в генеральной совокупности» (стр. 234). И далее: «... бесповторная выборка представляет выборку по схеме невозвращенного шара... и для нее процесс отбора должен быть построен по признакам, не имеющим связи с исследуемым признаком, и при том так, чтобы была обеспечена одинаковая возможность каждому из остающихся членов быть обследованному при повторении отбора» (разрядка наша. Д. К.) [стр. 236]. В другой книге [12] В. И. Романовский пишет: «Наиболее простой способ получения случайной выборки заключается в следующем. Члены генеральной совокупности нумеруются один за другим и затем из полученных номеров наудачу берется столько, сколько членов должно войти в выборку... чтобы выбрать наудачу номера, можно поступать так.

Каждый номер записывается на карточку. Карточки делаются одинаковыми и тщательно тасуются, после чего из них вынимается одна какая-нибудь и номер ее записывается. Затем она возвращается в пачку (или откладывается при бесповоротной выборке — ДК), которая снова тщательно тасуется перед повторным вынниманием» (стр. 11).

Для обеспечения случайности выборки пользуются также и другими приемами (например, применяют таблицы случайных чисел). Таким образом, случайность отбора является одним из основных условий получения репрезентативной выборки.

Примером стохастического испытания является известный опыт с шарами. Многократное извлечение шаров из урны с последующим тщательным перемешиванием их является стохастическим испытанием, обеспечивающим получение репрезентативной выборки.

Представим себе еще такой опыт. Пусть дана точная модель некоторой рудной залежи. Мысленно расчленим эту залежь на прямые, вертикально ориентированные призмы с весьма малой площадью основания. В центре каждой призмы измерим вертикальную мощность залежи, численные значения которой надпишем на отдельных шарах, и будем производить опыт, подобный предыдущему. При условии перемешивания шаров появление того или иного шара будет являться случайным событием, а ряд численных значений мощности, надписанных на извлеченных шарах, — рядом, удовлетворяющим известным признакам стохастического ряда.

Стохастический ряд можно получить также, если в ящике с шарами предыдущего опыта сделать крышку с отверстиями, расположенными в форме разведочной сетки, и после тщательного перемешивания шаров извлечь из каждого отверстия по одному шару.

Однако имеют ли что-либо общее описанные опыты с процессом получения мощностей при разведке месторождений? Общего здесь мало, так как условия, обеспечивающие случайность выборки (перемешивание шаров, применение таблиц случайных чисел и т. д.) в последнем случае не выполняются. Задавая первую скважину, мы не вправе полагать, что в ней может быть обнаружена любая из N мощностей элементарных призм, так как положение скважины определяется имеющимися сведениями о залежи. Вторую скважину мы задаем на заранее выбранной линии (профиле) и на определенном расстоянии l от первой скважины.

Можно ли утверждать, что вскрытие второй скажиной любой из N мощностей (например, в точке, расположенной на расстоянии менее l)

является равновероятным? Такое утверждение совершенно не обосновано. Оно было бы верно в случае, когда мы имели бы дело с перемешанной рудой или если бы процесс разведки был подобен описанным выше опытам с перемешанными шарами.

В реальных залежах мощности не «перемешаны» и здесь не бывает такого положения, когда в двух весьма близких точках может наблюдаться появление мощностей самых разнообразных величин. Если бы это имело место, то нельзя было бы охарактеризовать изменение мощностей поверхностью топографического порядка.

Это положение справедливо и для линейных запасов руды и металла. Следовательно, применение формул статистики к оценке ошибок запасов, а не объемов не оказывается в лучшем положении.

Еще хуже обстоит дело в случае неравномерной сетки скважин или когда содержание компонента по данным опробования штреков оказывается систематически завышенным благодаря тому, что направление штреков при проходке определяется результатами опробования и стремлением провести штрек по более богатой руде.

В рудных проявлениях случайное и закономерное существуют бок о бок. Так, например, содержание компонентов в отдельных пробах может обнаруживать случайные колебания. Однако при осреднении этих содержаний вскрывается вторая сторона — определенная тенденция в изменении содержания, выклинивание залежи и т. п. Неучет этого и необеспечение случайности выборки делает формулы (1)—(3) ненадежными.

Сторонники применения формул (1)—(3) опираются в основном на «случайность» расположения сетки разведочных скважин. Однако последняя обусловливает (и то не всегда) случайность в получении суммы показателей по скважинам, а не случайность показателей при заданном единственном положении сетки, с которым мы имеем дело в подсчете запасов.

Таким образом, значения показателей залежи, получаемые по сетке разведочных скважин, образуют ряд, который более правильно назвать псевдостохастическим, имеющим лишь внешнее сходство с истинно стохастическим рядом.

При применении формул (1)—(3) не учитывается также характер распределения членов генеральной совокупности и объем выборки. В. И. Романовский [12] указывает: «Это равенство (имеется в виду вероятность того, что ошибка m не превзойдет некоторой величины C — ДК) точно для выборок из нормальной совокупности и годно в этом случае для любых значений n; если же выборка берется не из нормальной совокупности, то оно лишь приближенно и годно для бóльших n (стр. 74).

Под «бóльшим» здесь следует понимать n порядка нескольких десятков или даже сотен. В практике же подсчета запасов чаще всего имеют дело с малыми значениями n, при которых не представляется возможным судить даже о законе статического распределения величин. Несмотря на это, в литературе [14] можно встретить примеры приложения формул (1)—(3) к подсчету ошибки среднего значения показателей залежи, вычисленного по 10,5 и даже 2 значениям (например, при оценке ошибок аналогии в методе горизонтальных и вертикальных сечений).

Одновременно с этим необходимо иметь в виду, что формулы (1)—(3) рассчитаны на оценку ошибок средних выборочных совокупностей. Часто этого не учитывают и применяют формулы к оценке ошибок подсчета такими методами, где не пользуются средними арифметическими

из всей «выборки» показателей залежи (метод треугольников, изолиний и др.). Даже в методе среднего арифметического (суммарном), где средние показатели «привязываются» к определенной площади, мы, строго говоря, имеем дело не с ошибкой репрезентативности, а с ошибкой аналогии, зависящей не только от точности определения средних и площадей, но также и от размера этих площадей. Это обстоятельство подтверждается, в частности, получением различных ошибок при подсчете запасов указанным методом во внутреннем и внешнем контурах.

Следует отметить, что термин «ошибка репрезентативности», применяемый при оценке точности подсчета запасов, неудачен и вытекает из непонимания математического смысла приведенных выше формул. Его следует заменить более правильным — «ошибка аналогии».

Наконец, важным является вопрос о выборе коэффициента вероятностей t. В разведочном деле определенность в выборе величины t имеет особое значение (в отличие, например, от обработки геодезических и маркшейдерских измерений). Это объясняется тем, что количество разведочных выработок, необходимое для разведки залежи с определенной точностью при $t = 3$, будет в 9 раз больше, чем при $t = 1$ и что, следовательно, принятие того или иного t влечет за собой резкое изменение объема дорогостоящих работ по проведению разведочных выработок.

Однако никаких сколько-нибудь обоснованных рекомендаций по выбору величины коэффициента вероятности не имеется.

Подводя итог изложенному, необходимо, таким образом, констатировать:

1) получаемые в результате разведки скважинами числовые значения показателей залежи, как правило, не являются случайной выборкой, что наряду с малым объемом выборки и отклонением от нормального закона распределения делает формулы (1)—(3) ненадежными даже при вычислении ошибок средних в «выборках»;

2) стремление распространить эти формулы на случай оценки точности подсчета запасов методами, где не используются средние из всей «выборки», противоречит математической логике и приводит к ошибочным формулам [7];

3) не имея объективного критерия применимости формул, можно рассчитывать лишь на случайное совпадение подсчитанных и фактических ошибок главным образом за счет неопределенности в выборе коэффициента вероятности.

Следовательно, в таком виде формулы статистики не могут быть применимы при оценке точности подсчета запасов и выборе расстояний между разведочными выработками.

Совершенно очевидно, что при решении поставленной задачи должны быть использованы другие исходные положения, учитывающие специфические особенности показателей залежи как величин, интерпретируемых поверхностями топографического порядка.

6

Существенное место в современной горной геометрии занимают вопросы учета движения запасов, потерь, разубоживания полезных ископаемых, а также маркшейдерский контроль добычи. Кстати, отнесение этих вопросов к горной геометрии является чисто традиционным и условным, так как решение их не базируется исключительно на геометрических приемах.

Исследовательские работы по вопросам охраны недр в широком смысле и в том числе по учету движения запасов, нормированию и учету

потерь и разубоживания проводились в 1938—1952 гг. в сравнительно широких масштабах на рудных и особенно угольных месторождениях. В них участвовали ВНИМИ (рудники Главогнеупора, Кузбасс, Донбасс, Подмосковный бассейн, некоторые рудники цветных металлов и др.), кафедра маркшейдерского дела Ленинградского горного института (Черемховское месторождение, комбинат Эстонсланец и др.), кафедра маркшейдерского дела Свердловского горного института (открытые разработки угольных и рудных месторождений на Урале), институт геологии Казахской ССР (алтайские рудники) и другие организации.

На основе этих работ составлены и внедрены в производство инструкции и наставления по классификации и учету запасов, потерь и разубоживания полезных ископаемых. Особенно детальные и полные инструкции составлены для угольных шахт и разрезов.

Для более сложных условий разработки рудных и нерудных месторождений вопросы учета движения запасов, учета и нормирования потерь изучены недостаточно. Здесь до сих пор отсутствуют достаточно детальные и унифицированные руководства.

По вопросам маркшейдерского контроля добычи исследовательские работы проводились с 1938 г. главным образом ВНИМИ и кафедрой маркшейдерского дела Ленинградского горного института (рудники Главогнеупора, Кузбасс, Донбасс, Карагандинский бассейн, Черемховское месторождение и др.). Эти работы позволили существенно восполнить большой пробел в вопросах маркшейдерского контроля добычи. На основе исследований составлены частные наставления для ряда бассейнов и месторождений (Кузбасса, Черемховского месторождения, рудников Главогнеупора, Эстонских и Гдовских сланцевых месторождений и др.), а также проекты общих инструкций для угольных шахт и карьеров.

В инструкциях и наставлениях даны достаточно обоснованные рекомендации по таким вопросам, как определение объемного веса полезных ископаемых в массиве и штабелях, определение густоты точек замера мощностей, способы замера кубатуры и т. д. Несмотря на это, вопросы маркшейдерского контроля и учета добычи нельзя считать полностью изученными. Особенно это касается разработки рудных месторождений как подземным, так и открытым способами.

В дополнительной разработке (применительно к различным условиям) нуждаются такие вопросы, как нормирование и борьба с потерями и разубоживанием, определение кубатуры выемки и объемного веса полезных ископаемых в массиве и штабелях, учет потерь и разубоживания, планирование добычи по заданному качеству руды, определение точности оперативного подсчета запасов, добычи, потерь и разубоживания.

Успешное решение этих вопросов немыслимо без широкого привлечения геологов и эксплуатационников. В прошлом это обстоятельство не учитывалось в должной мере, что являлось одним из существенных недостатков исследовательских работ в рассматриваемой области.

7

Особо следует остановиться на теоретических основах геометрии недр. Часто подчеркивают необходимость выделения теоретических основ и к ним относят [15]: 1) так называемый анализ геохимического поля; 2) математическую статистику; 3) математические действия над топографическими поверхностями.

С определением и трактовкой теоретических основ в таком виде трудно согласиться. За названием «анализ геохимического поля» по существу скрываются некоторые априорные и недостаточно конкретные геометрические представления. Они не вскрывают физической стороны явления и не увязываются с современными взглядами геохимии и учением о рудных образованиях.

Действия над топографическими поверхностями — один из возможных приемов решения некоторых горногеометрических задач. Но в горной геометрии широко пользуются и другими математическими действиями: нахождение процентов, умножение, деление (например, при подсчете запасов) и т. п. Почему не включить тогда в теоретические основы геометрии недр и эти обычные арифметические действия, тем более, что действия над топографическими поверхностями практически находят и могут находить исключительно редкое применение (в большинстве случаев пользуются непосредственными способами построения графиков).

Примерно то же можно сказать и об отнесении к «теоретическим основам» математической статистики. Она широко применяется в различных науках, в том числе, например, в сельском хозяйстве и др. Однако никто не утверждает, что математическая статистика является теоретической основой сельскохозяйственных наук!

С другой стороны, известно, что в геометрии недр очень многие задачи решаются не методами математической статистики, а методами начертательной и аналитической геометрии, тригонометрии и т. д. Почему же тогда и их не включить в «теоретические основы» геометрии недр, отдавая предпочтение только математической статистике?

Совершенно очевидно, что пространные рассуждения на эту тему являются совершенно излишними и вызывают недоумение. Столь же ненужными являются споры о названии предмета («горная геометрия» или «геометрия недр»), фетишизация метода изолиний и оценка его как особой новой геометрии потока — поля и т. д. Все это является лишним, надуманным и уводит в сторону от решения действительно полезных и практически важных вопросов.

* * *

В предлагаемой статье дана общая характеристика изученности некоторых вопросов геометрии недр и указаны задачи дальнейших исследований. В заключение сформулируем кратко эти задачи.

1. Изыскание и разработка рациональных структур изображения горных выработок и геологических структур в сложных горногеологических условиях.

2. Разработка методики геометризации угольных месторождений сложного типа (Кузбасс и др.).

3. Расширение задач геометризации за счет наглядного изображения не только формы залежи, но также и других элементов, интересующих горные предприятия (кливаж, устойчивость кровли, газоносность и т. д.).

4. Разработка методов горногеометрических построений, основанных на закономерностях угленакопления. Проверка на имеющихся обширных фактических данных точности и возможной области применения существующих методов построения гипсометрических планов пластов (метод нормалей, графики схождений, метод правильных поверхностей).

5. Изучение закономерностей проявления дизъюнктивных смещений в различных геологических условиях с привлечением структурного анализа и тщательно продуманных лабораторно-экспериментальных иссле-

дований. В качестве основной задачи таких исследований необходимо поставить создание методики расшифровки нарушенных структур при геометризации и отыскание смещенной части пласта.

6. Разработка методики изучения закономерностей оруденения (на базе современной математической статистики).

7. Создание методики эксплуатационной геометризации рудников, разрабатывающих мощные залежи.

8. Выяснение по горно-эксплуатационным данным точности горногеометрических графиков, составляемых по данным предварительной и детальной разведок.

9. Разработка методов решения геологоразведочных и горно-эксплуатационных задач при помощи горногеометрических графиков.

10. Изыскание более совершенных методов подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки при разработке рудных месторождений.

11. Дальнейшее исследование вопросов характеристики разведанности и точности подсчета запасов (в частности, выяснение возможных путей использования и критериев применимости формул статистики).

12. Дальнейшая разработка вопросов охраны недр и, в частности, вопросов учета потерь и разубоживания полезных ископаемых, а также маркшейдерского контроля добычи (особенно на рудных месторождениях в сложных горногеометрических условиях).

Решение этих вопросов немыслимо без мобилизации внимания широкой маркшейдерской общественности, без тесной увязки как с геологической обстановкой, так и с условиями эксплуатации месторождений.

Необходимо обеспечить комплексную разработку поставленных задач с участием геологов и специалистов по разработке месторождений, избегая чисто геометрического направления в их решении.

Помимо теоретических исследований и опытных работ на шахтах и рудниках следует всемерно использовать лабораторно-экспериментальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бальц Г. В. и Рафалович А. И. Универсальный прибор для механического построения центральных и аффинных проекций, Маркшейдерское дело. Металлургиздат, 1951.
2. Ермолаев К. Ф. Итоги геометризации Алтайских полиметаллических месторождений. Труды Алтайской сессии АН Казахской ССР, 1946.
3. Казаковский Д. А. Методические указания по учету запасов, потерь и маркшейдерскому контролю добычи при разработке каменноугольных месторождений. Труды ВНИМИ, Углетехиздат, 1947, вып. 14.
4. Казаковский Д. А. Методические указания по определению объемного веса пород при маркшейдерских замерах на месторождениях огнеупорных глин, магнезита, стекольных песков, известняков и доломитов. Труды ВНИМИ, Углетехиздат, 1947, вып. 14.
5. Казаковский Д. А. К вопросу о маркшейдерском контроле добычи при разработке каменноугольных месторождений. Труды ВНИМИ, Углетехиздат, 1948, вып. XVI.
6. Казаковский Д. А. Контроль добычи посредством замера складов. Труды ВНИМИ. Углетехиздат, 1949, вып. XVIII.
7. Казаковский Д. А. К вопросу оценки ошибок аналогии при подсчете запасов месторождений. Труды ВНИМИ, Углетехиздат, 1951, вып. XIV.
8. Манукян П. А. Охрана недр. Углетехиздат, 1951.
9. Машкевич В. П. Русская маркшейдерская школа, изд. Московского горного института, 1949.
10. Перельштейн Я. И. Анализ механики и геометрии сбросовых нарушений в центральном районе Донбасса, Маркшейдерское дело. Металлургиздат, 1950.
11. Романовский В. И. Математическая статистика. ОГИЗ, 1938.

12. Романовский В. И. Применение математической статистики в опытном деле. Гостехиздат, 1947.
13. Рудаков М. Л. Маркшейдерский учет на карьерах. Металлургиздат, 1952.
14. Рыжов П. А. Геометрия недр. Гостоптехиздат, 1941.
15. Рыжов П. А. Геометрия недр. Углетехиздат, 1952.
16. Рылов А. П. Выбор условий построения маркшейдерских планов в аффинных проекциях, Маркшейдерское дело. Металлургиздат, 1951.
17. Смирнов В. И. Подсчет запасов минерального сырья. Геолиздат, 1950.
18. Соболевский П. К. Современная горная геометрия. Социалистическая реконструкция и наука, 1932, № 7.
19. Соловьев В. Г. Методы вариационной статистики в приложении к разведке и подсчету запасов полезных ископаемых. ОНТИ НКТП СССР, 1939.
20. Ушаков И. Н. Горная геометрия. Углетехиздат, 1951.
21. Шевяков Л. Д. Основы теории проектирования угольных шахт. Углетехиздат, 1950.

Поступило 27/III 1953 г.