

Дир. 3 _____

Зам. Дир. 3 _____

Сек. 3 _____

Сл. 3 _____

Сл. 3 _____

(по списку)

О Т Ч Е Т

по теме № I-86

СОСТАВЛЕНИЕ РУКОВОДСТВА ПО ДЕТАЛЬНОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
РАЗВЕДКЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕНИЯ
ОПЫТА РАЗВЕДОЧНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ И ПРИМЕНЕНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РАЗВЕДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ДИРЕКТОР

А. Земцов

А. ЗЕМЦОВ

ЗАМ. ДИРЕКТОРА

Д. Суражский

Д. СУРАЖСКИЙ

НАЧАЛЬНИК ЛАБОРАТОРИИ

Б. Арапов

Б. АРАПОВ

Лаборатория № II

Изм. № _____

Арх. № _____

Фонд. № _____

Опись № _____

Ед. хранения № _____

(по описи)

О Т Ч Е Т

по теме № I-86

СОСТАВЛЕНИЕ РУКОВОДСТВА ПО ДЕТАЛЬНОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
РАЗВЕДКЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕНИИ
ОПЫТА РАЗВЕДОЧНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ И ПРИМЕНЕНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РАЗВЕДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Часть I

Всего на _____ листах
1970

Хранить постоянно (по перечню №)

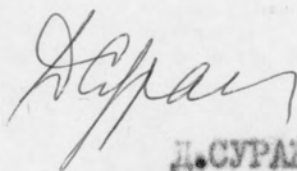
Д. Я. Суражский, И. В. Родин,
Г. Н. Петров

СОСТАВЛЕНИЕ РУКОВОДСТВА ПО ДЕТАЛЬНОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
РАЗВЕДКЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕНИЯ
ОПЫТА РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ И ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА

Часть I

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ
И ОТВЕТСТВЕННЫЙ ИСПОЛНИТЕЛЬ



Д. СУРАЖСКИЙ

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ИСПОЛНИТЕЛЬ

И. РОДИН

Москва 1970

С. Г. Д.Я.Суражский, М.В.Рощин,
Г.М.Петров

Предисловие	6
Глава 1. Урановые рудные скоты	9
1.1. Предварительные замечания	9
1.2. Типы урановых рудных скотов	19
Литература к гл.1	65
ДЕТАЛЬНАЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА	
Глава 2. Месторождения урана	67
2.1. Предварительные замечания	67
2.2. Математическая модель сортировки при лотерейном распределении элементов	72
Часть I	
2.3. Углубленная оценка по образцовочным скотам скотов полезного компонента	89
2.4. Численность разведочной скоты и эффективность полезной сортировки	99
Литература к гл.2	114

Москва 1970

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава I. Урановые рудные системы.	9
I.1. Предварительные замечания.	9
I.2. Типы урановых рудных систем.	19
Литература к гл. I	65
Глава 2. Статистическая модель геолого-разведочного процесса	67
2.1. Предварительные замечания.	67
2.2. Математическая модель сортировки при логнор- мальном распределении признаков.	72
2.3. Раз ^б раковка аномалий по ориентировочным оценкам запасов полезного компонента	89
2.4. Плотность разведочной сети и эффективность подземной сортировки.	99
Литература к гл. 2	114

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа, предлагаемая вниманию читателя, не учебник и не учебное пособие. Это, скорее, попытка рассмотреть некоторые методические проблемы, связанные с разведкой месторождений урана, в свете новых представлений, возникших в результате анализа полевого и экспериментального материала, накопленного за последние годы. Ее содержание обусловлено стремлением авторов охватить в основном четыре круга вопросов.

Во-первых, это вопросы, касающиеся морфологии урановых месторождений и ее влияния на методику разведки. До сих пор они разработаны очень слабо. Существующие морфологические классификации геологических объектов в большинстве случаев не пригодны для выбора разведочных систем, прежде всего потому, что они построены по чисто геометрическому принципу, без учета генезиса формы и внутреннего строения рудного тела. Между тем отсутствие дифференцированного подхода к месторождениям, хотя и относящимся к одной и той же морфологической группе, но отличающимся друг от друга по условиям морфогенеза, как известно, повлекло за собой немало печальных недоразумений. Составление новой морфологической группировки рудных месторождений, действительно облегчающей выбор системы разведки и направления магистральных разведочных выработок, следует считать одной из наиболее актуальных проблем поисково-разведочной геологии. Некоторые предложения по этому вопросу читатель найдет в первой главе книги.

Второй круг вопросов связан с решением основной задачи разведки — оценки геологических параметров урановых месторождений по дискретным данным опробования рудных тел в скважинах и в горных выработках. Здесь мы стремились к тому, чтобы осветить, по возможности, кратко и интуитивно и, по необходимости, не строго пути использования для этой цели некоторых методов современной математики. Соответствующий раздел книги в основном представляет собой попытку построить математическую модель процесса разведки как процесса сортировки, т.е. выделения в пространстве, занимаемом месторождением, рудных систем более высокого порядка. Изложение рассчитано на читателя, знакомого с основами теории вероятностей, математической статистики и теории случайных процессов.

Третий круг вопросов касается методики детальной и эксплуатационной разведки урановых месторождений. В соответствии с общей концепцией авторов о разделении геолого-разведочного процесса на ряд последовательных стадий, в зависимости от характера и объекта оценки, под термином "детальная разведка" понимается совокупность геолого-разведочных операций, направленных на получение количественных характеристик геологических параметров отдельно по каждой рудной залежи, а под термином "эксплуатационная разведка" — совокупность операций, направленных на оценку параметров каждого отдельно взятого рудного тела. Главное внимание уделяется вопросу о влиянии формы и внутреннего строения этих рудных объектов на выбор рациональной системы разведки, т.е. той комбинации методов получения геологической информации, которая более других согла-

суется со спецификой месторождений и представляется наиболее оправданной экономически. Системы эксплуатационной разведки рассматриваются в тесной связи с системами разработки рудных тел.

Четвертый круг вопросов — оценка погрешностей определения геологических параметров рудных систем на основе статистического анализа данных, полученных в процессе разведки месторождений различного структурно-морфологического типа. Результаты статистического анализа сопоставляются с результатами экспериментов по сдвигению и разрежению разведочной сети. Цель этого исследования заключалась в установлении границ использования геостатистических методов, развиваемых, в частности, К. Матероном.

Таков, в общих чертах, логический скелет книги. К сожалению, она не избежала тематической неуравновешенности — об одном в ней сказано слишком много, о другом — слишком мало. Это обусловлено, в первую очередь, новизной и сравнительно слабой изученностью проблемы в целом. Несмотря на этот недостаток, мы надеемся, что читатель найдет книгу полезной и информативной.

Первая глава книги написана Д.А. Суражским, вторая — Ю.В. Рощиным, третья и четвертая — Г.И. Петровым при участии Г.Д. Березнова.

Авторам приятно признать неоценимую помощь своих друзей и коллег — Ю.А. Арапова, П.В. Прибиткова, В.Л. Шапкина, В.И. Герасимова, В.Е. Бойцова, подвергнувших рукопись работы критике, иногда безжалостной. Без этого книга была бы значительно хуже, чем она есть.

Глава I

УРАНОВЫЕ РУДИНЫЕ СИСТЕМЫ

I.1. Предварительные замечания.

Морфология рудных объектов, - т.е. пространственные формы и происхождение этих форм, зависят прежде всего от комплекса условий внешней среды. Сравнительно редко, тогда, когда руда образуется одновременно с вмещающими породами, морфология рудных скоплений подчиняется одному виду контроля - стратиграфическому /в случае собственно осадочных месторождений/ или фашиальному /в случае собственно магматических месторождений/. Обычно же морфологические черты оруденения представляют собой результат сочетания двух или более элементов геологической структуры. Одни из этих элементов определяют границы зоны /или области/ рудогенеза, другие ответственны за отложение полезного компонента и, следовательно, - за форму, размеры и пространственное положение рудных концентраций в пределах этой зоны /или области/.

Факторы первой группы назовем рудоконтролирующими, а факторы второй группы - рудолокализирующими. Термины эти в достаточной степени условны и ими следует пользоваться только применительно к тому уровню, на котором производится изучение рудных объектов: действительно, один и тот же фактор /например - трещина, оперяющая разлом/ может быть локализирующим по отношению к месторождениям и контролирующим по отношению к отдельным рудным телам.

Такой подход требует, естественно, уточнения понятий, характеризующих рудные объекты различного масштаба, особенно ввиду того терминологического хаоса, который господствует в рассматриваемой нами области учения о рудных месторождениях. Даже такие, знакомые каждому геологу и широко используемые термины, как "рудное поле", "рудное месторождение", "рудная залежь", "рудное тело", "рудное гнездо" — трактуются разными авторами далеко не однозначно.

Вот некоторые примеры определения понятия "рудное поле".

1. "Совокупность месторождений, связанных с каким-либо данным массивом изверженных пород" /Бетехтин, 1939/.

2. "Географическое сочетание рудных проявлений, объединенных общностью происхождения из одного магматического очага" /Тетяев, 1940/.

3. "Совокупность генетически связанных рудопоявлений" /Щербаков, 1945/.

4. "Крупный участок земной поверхности /и недр/, заключающий в себе ряд рудных месторождений, обычно сходных между собой по составу и генезису оруденения" /Геологический словарь, 1955/.

5. "Участок земной коры с серией пространственно сближенных и одновременных или близких по времени и генетически родственных месторождений" /Крейтер, 1956/.

6. "Обособленный участок земной коры, заключающий в себе совокупность рудных тел, созданных единым геолого-геохимическим процессом и находящихся в единой геологической позиции, определяющей состав комплекса вмещающих горных пород и их тектоническое строение" /Королев и Шехтман, 1959/.

7. "Минерализованный /рудноносный/ участок земной коры, в котором возникновение и локализация руды обусловлены особенностями строения отдельных частей региональных /крупных/ тектонических структур, влияющих на образование и размещение рудных поясов, а также развивающимися на их фоне локальными /относительно более мелкими/ структурами" /Великий, 1961/.

8. "Сравнительно небольшая рудоносная площадь с одновременными или близкими по возрасту генетически связанными между собой обогатенными рудными месторождениями и рудными телами, приуроченными к локальным тектоническим элементам, к участкам с благоприятными для оруденения вмещающими породами или генетически связанными с какими-либо телами изверженных пород" /Обзор геологических понятий и терминов..., 1963/.

Ни одно из этих определений нельзя признать сколько-нибудь удачным. Не говоря уже об ошибках чисто семантического порядка /поле = "совокупность", "сочетание", "площадь" и т.д./ все они многословны, путаны и противоречивы. Одни исследователи под термином "рудное поле" имеют в виду совокупность месторождений, другие - совокупность рудных тел, третьи - совокупность рудопроявлений, причем содержание последних трех терминов если и раскрывается, то в весьма общей и мало вразумительной форме.

x/ Особенно нелепы такие выражения, как "строение структур", применяемые, в частности, А.С.Великим. "Структура" /structure/ в переводе на русский язык и есть "строение".

Термин "месторождение" в Геологическом словаре /1955/ трактуется как "естественное скопление полезного ископаемого в земной коре, разработка которого при данной экономической конъюнктуре может считаться целесообразной", а в других работах /Шербаков, 1945; Великий, 1961/ - как синоним понятия "рудное поле".

Также не имеет четко очерченных границ понятие о рудном теле.

Согласно Тетяеву /1940/, это - "участок данного рудного поля"; по мнению А.В.Королева /1954/ - "обособленное среди горных пород скопление руды"; по определению В.И.Смирнова /1965/ - "ограниченное со всех сторон скопление природного минерального сырья, приуроченное к определенному структурно-геологическому элементу или комбинации таких элементов". Геологический словарь /1955/ определяет рудное тело как "скопление руды любой формы", а А.С.Великий /1961/ дает пространное, но, тем не менее, также ничего не говорящее определение, которое начинается словами "минерализованный /рудоносный/ участок земной коры...".

Еще большая путаница и разнобой отмечаются в трактовке таких менее употребительных понятий, как "рудный узел", "рудная зона", "рудное гнездо", "рудный столб" и т.д.

Главная слабость приведенных выше и многих других определений заключается в том, что в их основу кладутся исключительно генетические взаимоотношения, обычно трудно устанавливаемые и почти всегда вызывающие ожесточенные споры.

Между тем, понятие о руде и все производные от этого понятия суть понятия горно-экономические, и их нельзя рассматривать в отрыве от практики горного дела и геолого-разведочных работ. С другой стороны, следует, разумеется, учитывать также и геологическую сущность рудных объектов, рассматривая их, однако, не как "металлогенические элементы" /термин А.С.Великого/, а как природные системы - закономерное сочетание рудных и безрудных компонентов, находящихся в определенных отношениях друг с другом. Такие системы с некоторой долей условности, как всегда в подобных случаях, можно назвать "рудными системами" х/.

Исходя из этих представлений, среди рудных объектов разного масштаба можно выделить следующие категории.

1. Рудное ^{или агрегат} гнездо - система, состоящая из рудных и нерудных минералов в отношениях, отвечающих установленным кондициям на данное минеральное сырье. Ввиду своих ограниченных размеров рудное ^{или агрегат} гнездо самостоятельного интереса для эксплуатации не представляет.

2. Рудное ^{агрегат} тело - система, состоящая из рудных ^{агрегат} гнезд и разделяющих их безрудных и слабо оруденелых пород в отношениях, допускающих отработку всей этой совокупности как единого целого.

х/ Под словом "система", согласно существующим определениям, подразумевается "объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов и явлений" /БСЭ, т.39, стр.158/.

3. Рудная залежь - система, включающая в себя совокупность рудных тел, сближенных настолько, что все они могут быть подготовлены к очистной выемке единым комплексом подготовительных ~~хвост~~ выработок.

4. Рудное месторождение - система, включающая в себя совокупность генетически связанных рудных залежей, сближенных настолько, что их горное вскрытие может быть осуществлено единым комплексом капитальных выработок.

5. Рудное поле - система, включающая в себя совокупность генетически связанных рудных месторождений, сближенных настолько, что они могут служить сырьевой базой для ~~уд~~ крупного горнорудного предприятия.

Все компоненты, входящие в системы одного и того же класса, подчиняются единому структурному контролю. Соподчиненные системы отличаются друг от друга характером рудоконтролирующих элементов, а следовательно - не только размерами, но и формой занимаемого ими пространства / например - рудное поле может быть изомерным, месторождение в нем - плитообразным, рудные залежи в месторождении - столбобразными и рудные тела в залежи - линзообразными и т.д. / То же можно сказать и о других важных параметрах - изменчивости и прерывистости оруденения, увеличивающихся с переходом от низших классов к высшим.

Каждая из описанных выше рудных систем имеет свое производственное ~~назначение~~ назначение. В общем случае рудное месторождение может рассматриваться как единое целое на стадии горного вскрытия, рудная залежь - на стадии подготовки к эксплуатации, рудное тело - на стадии очистной выемки, тогда как понятие о рудном поле как едином целом имеет практический смысл

только в процессе геологических исследований, а также на стадии проектирования горнорудного предприятия.

Теперь мы можем яснее, чем это делалось раньше, представить себе и задачи, стоящие перед геологами на разных этапах поисково-разведочного процесса, в основу которого, как указывал В.М.Крейтер /1940/, должна быть положена идея оценки геологических объектов /табл. 1/.

Логично, по-видимому, принять, что на этапе поисково-разведочных работ предметом такой оценки является рудное поле, на этапе предварительной разведки - рудное месторождение, на этапе детальной разведки - рудная залежь и на этапе эксплуатационной разведки - рудное тело. ^{х/}

Совершенно очевидно, что границы отдельных рудных систем, так же как и представления об их форме, размерах, изменчивости и прерывистости оруденения, определяются прежде всего условиями на данное минеральное сырье. Изменение последних нередко влечет за собой переход рудных систем из одной категории в другую. Так, например, резкое снижение бортового и минимального среднего содержания или метропроцента может привести к превращению рудной залежи или даже целого месторождения в единое рудное тело, тогда как при существенном повышении этих кондиций крупное рудное тело разбивается на несколько мелких рудных тел, т.е., по существу, превращается в рудную залежь.

^{х/} Здесь, как и в дальнейшем изложении, имеется в виду количественная оценка геологических параметров с получением интегральных характеристик /объем, содержание, запас полезного компонента/. Методика денежной оценки запасов полезных ископаемых в СССР еще не разработана.

Различие между соподчиненными рудными системами полностью стирается тогда, когда месторождение представлено единой залежью, а залежь — одним рудным телом. Примером подобного рода являются диктионемовые сланцы Прибалтики.

Несколько слов — о терминах "рудный столб", "рудный узел" "рудная зона".

По существующим определениям, "рудный столб" — это "первично или вторично обогащенный участок рудного тела, обычно грубо столбообразной формы среди более бедных руд" /Геологический словарь, 1955/. Если такой участок представляет собой самостоятельный объект обработки, то понятие о рудном столбе совпадает с предложенным выше понятием о рудном теле. Если же под этим термином подразумевается просто скопление руд определенного сорта /хотя бы и добываемых селективно, но одновременно с окружающими их рудами другого, более низкого сорта/, то он вообще теряет всякий смысл.

Термин "рудный узел" трактуется как "местное скопление /группа/ рудных месторождений в пределах рудоносного района... /Геологический словарь, 1955/. В таком понимании он полностью отвечает термину "рудное поле" и, следовательно, является излишним.

Термин "рудная зона", по существующим представлениям, соответствует понятию о рудном поле, вытянутом в одном направлении. Он излишен, так как морфологические особенности рудных систем в данной их группировке в качестве классификационного критерия не используются.

В заключение остановимся на некоторых понятиях, относящихся к геометрии рудных систем.

В дальнейшем изложении рудные системы с двумя длинными и одним коротким измерениями мы будем называть **пластовыми** или **пластообразными** - если они не связаны с разрывами и **жильными** или **жлообразными** - если они приурочены к разрывам; предполагается, что мощность этих систем в сотни раз меньше их протяженности по падению или простиранию; среди жид выделим простые, сложные, ветвящиеся, четковидные, камерные, седловидные и лестничные. Термины эти довольно прочно укоренились в геологической литературе и в специальном определении не нуждаются.

Рудные системы с двумя короткими и одним длинным измерениями, не связанные с разрывами, условимся называть **лентовидными**, связанные с разрывами - **трубообразными** или **столбообразными**. Предполагается, что протяженность этих систем по падению или по склонению по крайней мере в десятки раз превышает их размер в поперечнике. Системы с криволинейными поверхностями, **S** - образные в поперечном сечении, будем обозначать термином "ролл".

Изомерные рудные системы будем называть **штокообразными**, а системы, переходные от плоских к изомерным - **линзообразными** /табл. 2а/.

1.2. Типы урановых рудных систем.

При выборе рациональной стратегии детальной и эксплуатационной разведки необходимо в полной мере учитывать те элементы геологической структуры, которые определяют форму и положение

ние в пространстве соподчиненных рудных систем: месторождения в целом, рудной залежи в месторождении, рудного тела в рудной залежи.

Локализация месторождений урана, так же как и месторождений многих других металлов, может быть обусловлена: а/ положением рудовмещающих пород в стратиграфическом разрезе; б/ литолого-фациальными особенностями этих пород; в/ складчатыми или разрывными деформациями /табл. 26/. Обычно на первый план выступает один из этих рудоконтролирующих факторов. Соответственно среди урановых месторождений можно выделить следующие группы.

1. Месторождения, подчиняющиеся, в основном, стратиграфическому контролю.

2. Месторождения, подчиняющиеся, в основном, литолого-фациальному контролю.

3. Месторождения, контролируемые, главным образом, складчатыми деформациями.

4. Месторождения, контролируемые, главным образом, разрывными деформациями.

Месторождения первой группы представляют собой недислоцированные пласты ураноносных осадочных пород, развитие на площадях, измеряемых десятками /а иногда сотнями/ квадратных километров. Оруденение, как правило, одноярусное, убогое, весьма равномерное и практически непрерывное. Сплошность пласта изредка нарушается размывами, наложенными на уже сформировавшиеся породы и определяющими границы отдельных рудных залежей. Обычно же рудные залежи и рудные тела не выделяются, и, таким образом, понятие о месторождении совпадает с понятием о рудной залежи и о рудном теле.

Наиболее характерными представителями месторождений первой группы являются урансодержащие черные сланцы, фосфориты, темноцветные глины с костными остатками ископаемых рыб и аналогичные им осадочные месторождения, в которых не устанавливается заметного перераспределения металла, отложившегося одновременно с вмещающими породами. (Суражский, 1960).

Разведка таких месторождений относительно проста. Разбуривание по прямоугольной сетке и гамма-каротаж скважин дают вполне надежную информацию о мощности продуктивного пласта и содержании в нем полезного компонента. Детальная разведка отличается от предварительной разведки только плотностью разведочной сети. Роль магистральных пресечений играют линии буровых скважин, которые могут быть ориентированы в любом направлении. Необходимости в эксплуатационной разведке, как правило, не возникает.

Месторождения второй группы располагаются в гетерогенных осадочных и осадочно-вулканогенных толщах, иногда собранных в мелкие складки и разбитых трещинами различного порядка, но в общем залегающих горизонтально. От месторождений первой группы они отличаются многоярусным строением, резко прерывистым оруденением и многообразием факторов, контролирующих положение рудных залежей и рудных тел.

Эту группу месторождений можно разбить на три подгруппы:

- 1) Месторождения с стратиформными рудными системами;
- 2) Месторождения с секущими рудными системами;
- 3) Месторождения с комбинированными рудными системами.

К первой подгруппе, как показывает ее название, относятся месторождения, в которых как рудные залежи, так и рудные

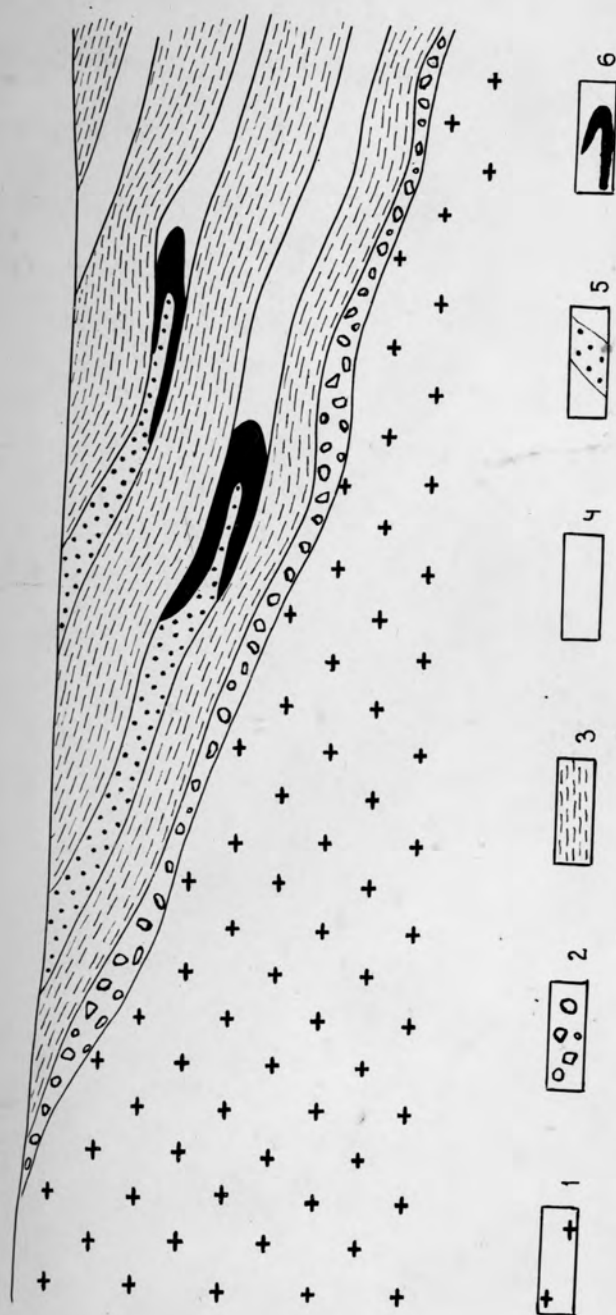


Рис. 1. Ролловидные залежи на выклинивании зон пластового окисления / разрез/
 1-граниты; 2-конгломераты; 3-г.лин; 4-пески; 5-зона пластового окисления;
 6-рудине залежи

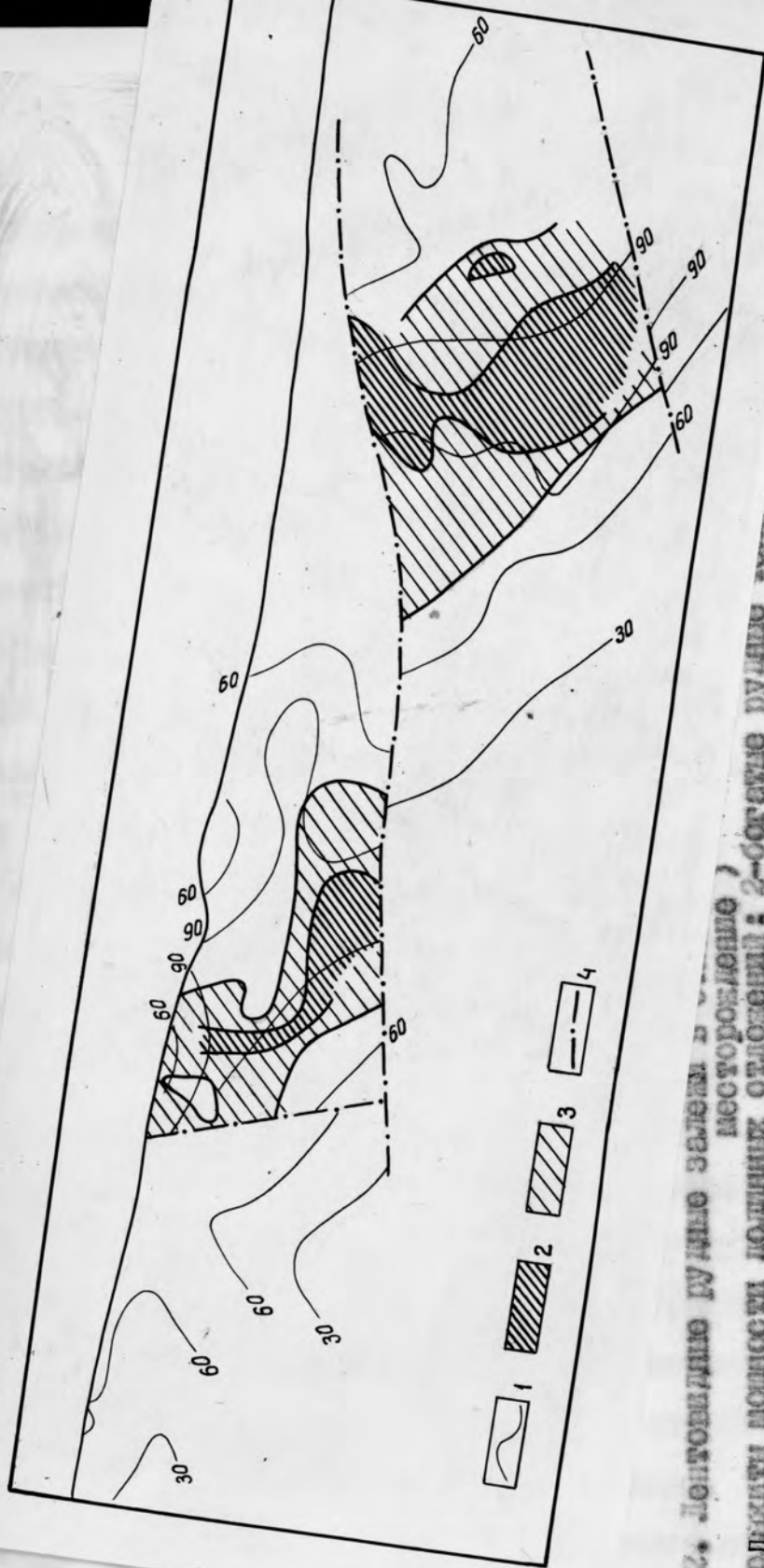


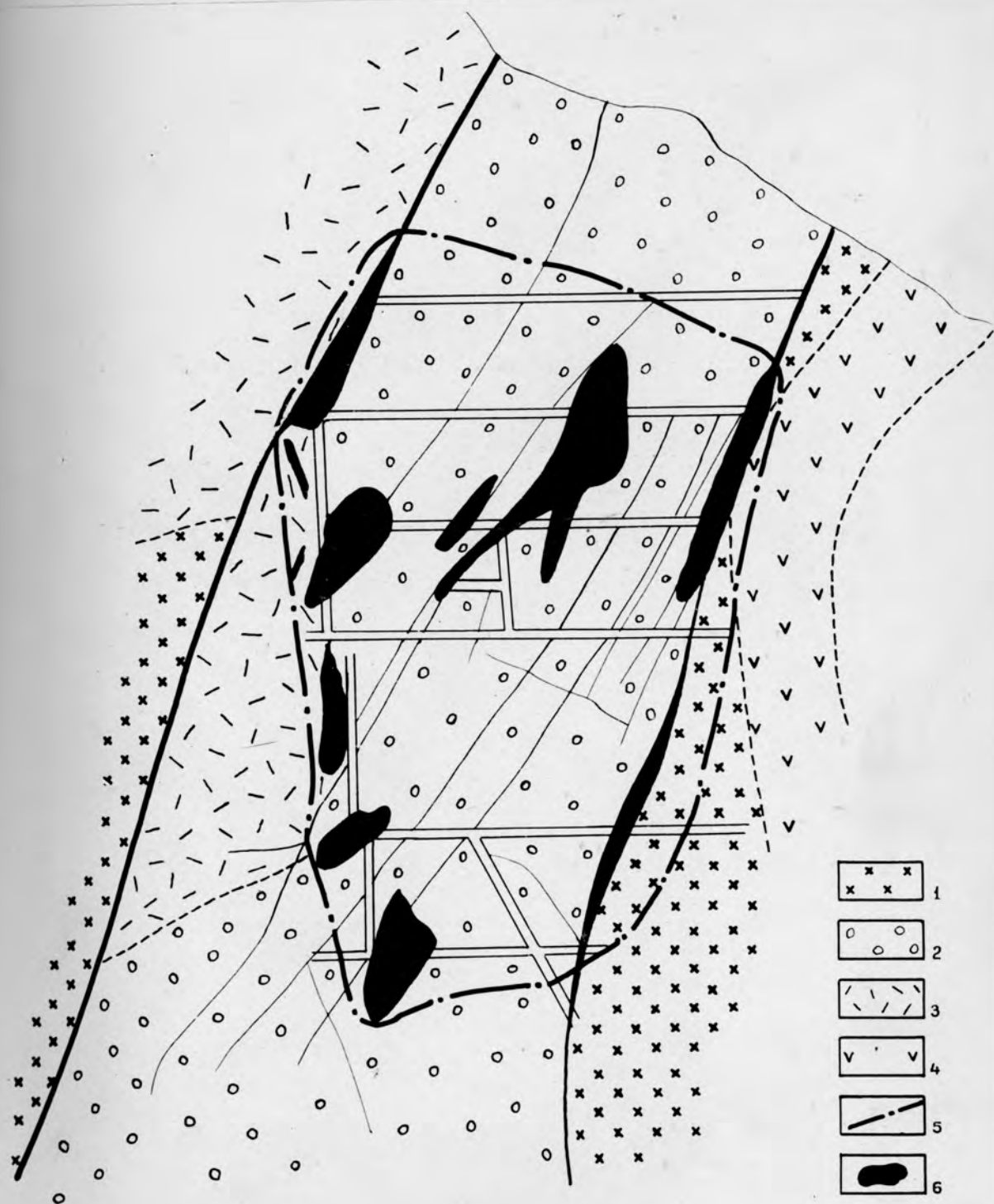
Рис. 2.2. Геоморфологическое разделение, несоразмерное,
 1-изометричные долинные отложения; 2-слагающие долинные
 4-разрывные нарушения.

тела, составляющие эти залежи, ориентированы согласно с боковыми породами. Рудораспределение обусловлено, в основном, литолого-геохимическими особенностями вмещающей среды - контактами пород, контрастных либо по проницаемости, либо - по содержанию веществ, способствующих выпадению урана из растворов. Соответственно рудные залежи могут быть пластообразными и роллообразными; в том и в другом случае они представляют собой совокупность линзообразных рудных тел (рис. 1)

Тогда, когда "благоприятные" породы заполняют древние эрозийные каналы, приходится иметь дело с лентовидными залежами, вытянутыми по направлению палеорусел (рис. 2).

Типичными представителями месторождений первой подгруппы являются экзогенные эпигенетические месторождения, так называемого "инфильтрационного" типа, расположенные в зонах питания подземных вод (Батурий и др., 1965, Евсеева и др. 1967). Площадь рудных залежей измеряется иногда десятками, а площадь рудных тел - единицами квадратных километров. Расстояния между залежами внутри месторождений и между рудными телами внутри залежей варьирует в широких пределах, измеряясь соответственно километрами и десятками до сотен тыс. метров. Тем не менее коэффициенты рудоносности, т.е. отношения площадей, занимаемых соподчиненными рудными системами, довольно велики. Для месторождений в целом они колеблются от 0,3 до 0,5, для рудных залежей - от 0,4 до 0,6 и для рудных тел - от 0,7 до 0,9. Изменчивость оруденения, если ее выразить коэффициентом абсолютной контрастности, находится в пределах 0,03 - 0,128.

Разведка этих месторождений, так же как и ранее описанных, производится главным образом при помощи буровых скважин,



- 1. Гранодиориты.
- 2. Гранит-порфиры и лавобрекчии липаритов.
- 3. Туфы и туфовые песчаники.
- 4. Порфиры.
- 5. Границы рудной зоны.
- 6. Рудные тела.

Рис. 3. Рудная залежь в дайки субвулканических пород (разрез).
 1. Гранодиориты, 2. Гранит-порфиры и лавобрекчии липаритов.
 3. Туфы и туфовые песчаники. 4. Порфиры. 5. Границы рудной зоны.
 6. Рудные тела.

при чем бурение остается основным видом разведочных работ на всех стадиях разведки - предварительной (определение границ и оценка месторождения в целом), детальной (определение границ и оценка отдельных рудных залежей) и эксплуатационной (определение границ и оценка отдельных рудных тел). Скважины проходятся на всю мощность продуктивной пачки (в большинстве случаев - до кристаллического фундамента). Роль магистральных пересечений играют буровые линии, ориентированные вкрест направлению подземного потока. Осложнения в процессе разведки возникают обычно из-за нарушений радиоактивного равновесия и необходимости, в связи с этим, постановки специальных исследований для определения поправочных коэффициентов к содержаниям металла, рассчитываемым по результатам гамма-каротажа скважин.

Месторождения второй подгруппы - крутопадающие дайки изверженных, обычно субвулканических пород, на изгибах которых образуются неправильной формы штокверковые залежи с распылчатыми границами. Каждая залежь представляет собой совокупность линзообразных или столбообразных тел, контролируемых зонами интенсивной трещиноватости или тектоническими контактами дайки с окружающими породами (рис.3). Длина таких даек измеряется километрами, площадь залежей (в горизонтальном сечении) - десятками тысяч кв.м., площадь рудных тел - тысячами кв.м. Коэффициент рудоносности для месторождений в целом колеблется от 0,1 до 0,2, для рудных залежей он достигает 0,5 и для рудных тел - 0,7-0,8. Коэффициент абсолютной контрастности находится обычно в пределах 0,2-0,3.

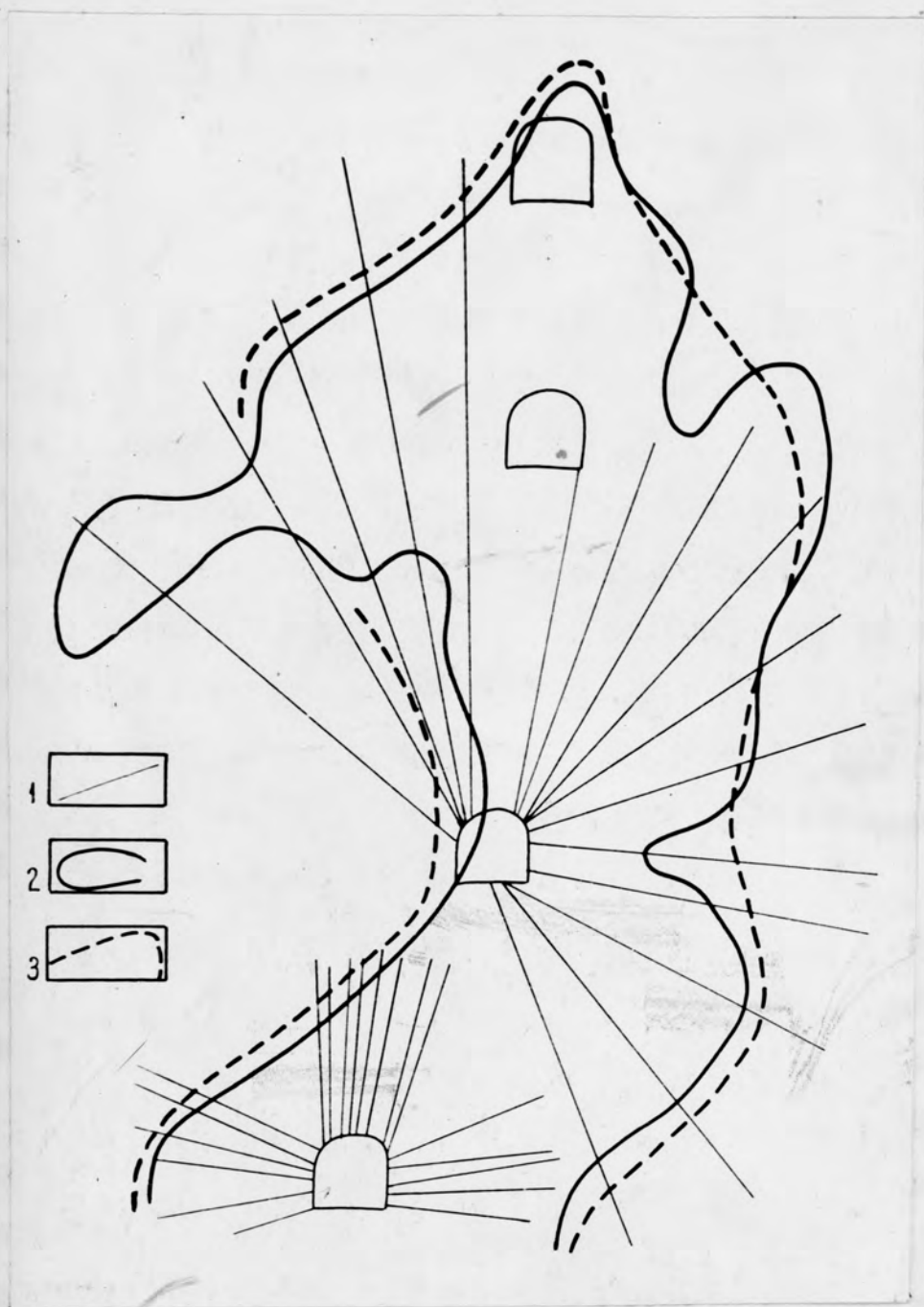


Рис. 4. Система разведки рудных тел в месторождениях второй подгруппы (разрез)
1.-Шпур; 2-границы рудного тела; 3-границы отбойки

Месторождения этой подгруппы, ввиду крайнего непостоянства и неустойчивости пространственных форм рудоносности, разведываются почти исключительно горными выработками - в основном комбинацией штреков на разных горизонтах с ортами, пересекающими всю мощность дайки - от висячего до лежащего бока. Созданная таким образом система вертикальных и горизонтальных сечений позволяет довольно легко установить границы минерализованных участков или, иначе говоря - грубо оконтурить рудные залежи. Что же касается оценки отдельных рудных тел, то эта задача решается обычно в процессе очистной выемки - путем гамма-каротажа штуров, закладываемых для отбойки рудной массы (рис. 4). Проходка специальных разведочных выработок или скважин на стадии эксплуатационной разведки в подобных случаях не практикуется.

Третья подгруппа объединяет месторождения, в которых наряду с стратиформными встречаются также и секущие рудные системы. Среди них можно выделить следующие разновидности:

а) Месторождения, состоящие из рудных ^{же} залежей двухмиф морфологических типов: пластообразных, в основном метасоматических, контролируемых определенными горизонтами или прослоями "благоприятных" пород и жиллообразных, приуроченных к зонам разломов, секущих продуктивный пласт, но не выходящих за его пределы. В пластообразных залежах отдельные рудные тела ориентированы согласно слоистости, в жиллообразных они имеют нередко форму труб или столбов, склоняющихся по линии пересечения двух разноориентированных трещин. В строении пластообразных залежей иногда принимают участие и седловидные тела, форма которых контролируется либо трещинами отслоения в сводах небольших антиклиналей, либо же - сочетанием

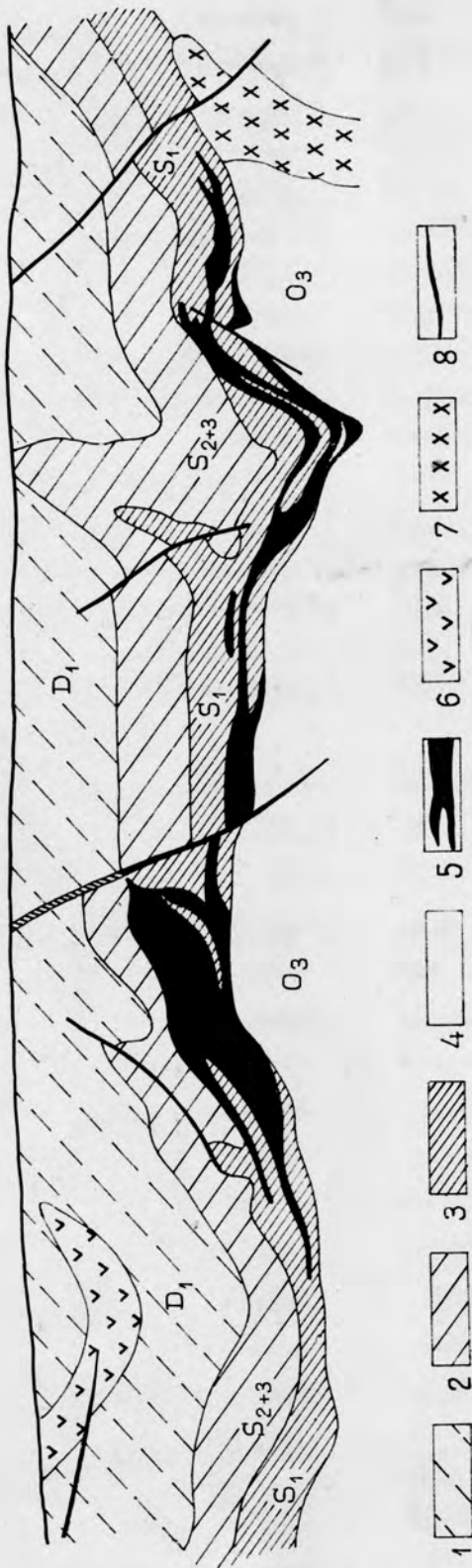


Рис. 5. Схема геологического строения одного из месторождений третьей подгруппы. (план)

1-известково-глинистые сланцы и известняки; 2-углисто-глинистые сланцы и доломитовые мергели; 3-углисто-кремнистые и углисто-глинистые сланцы; 4-сланцево-глинистые сланцы; 5-рудинные залежи; 6-мабазы; 7-диориты; 8-разрывные нарушения.

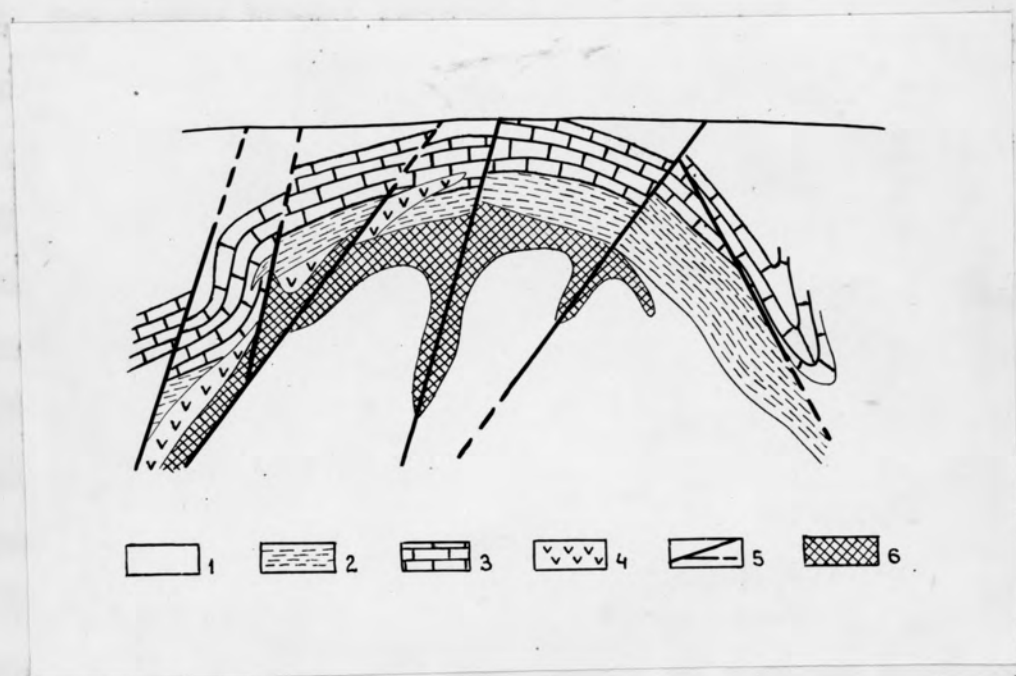


Рис. 1.6. Строение рудного тела одного из месторождений третьей подгруппы (поперечный разрез)
 1-глинистые сланцы; 2-углисто-кремнистые сланцы;
 3-известняки; 4-диабазы; 5-разрывные нарушения;
 6-рудное тело

этих трещин с поперечными разрывами (рис.рис.5,6). В генезисе формы рудных залежей и рудных тел немалую роль играют экранирующие горизонты непроницаемые или слабо проницаемые осадочных пород.

К этой разновидности относятся например экзогенные эпигенетические месторождения, сформировавшиеся в зонах разгрузки подземных вод (Евсеева и др., 1967) и месторождения спорного генезиса, описанные, в частности Р.В.Гецевой и А.А. Деригиным (1963), Б.Л.Рыбаловым (1965) и В.А.Крупенинским (1969).

б) Месторождения, состоящие, в основном, из пластообразных залежей типа стратиформных штоквернов, в которых отдельные рудные тела представляют собой совокупность тонких прожилков, или же сложные жилы, секущие продуктивный пласт (рис.7). В тех-же месторождениях встречаются иногда крупные киллообразные залежи, не подчиняющиеся литолого-стратиграфическому контролю (рис.8).

К этой разновидности относятся некоторые гидротермальные месторождения в депрессиях, наложенных на древний фундамент и выполненных гетерогенной толщей осадочно-эффузивных пород. Одно из таких месторождений описано Ф.П.Вольфсоном и др. (1966).

Месторождения этой подгруппы имеют в плане изометрические очертания и занимают площади, измеряемые десятками до сотен кв.км. Пластообразные залежи в них разделены безрудными промежутками до километра и более. Размеры залежей иногда достигают сотен тысяч кв.метров. Расстояния между рудными телами обычно не велики - десятки, реже - сотни метров.

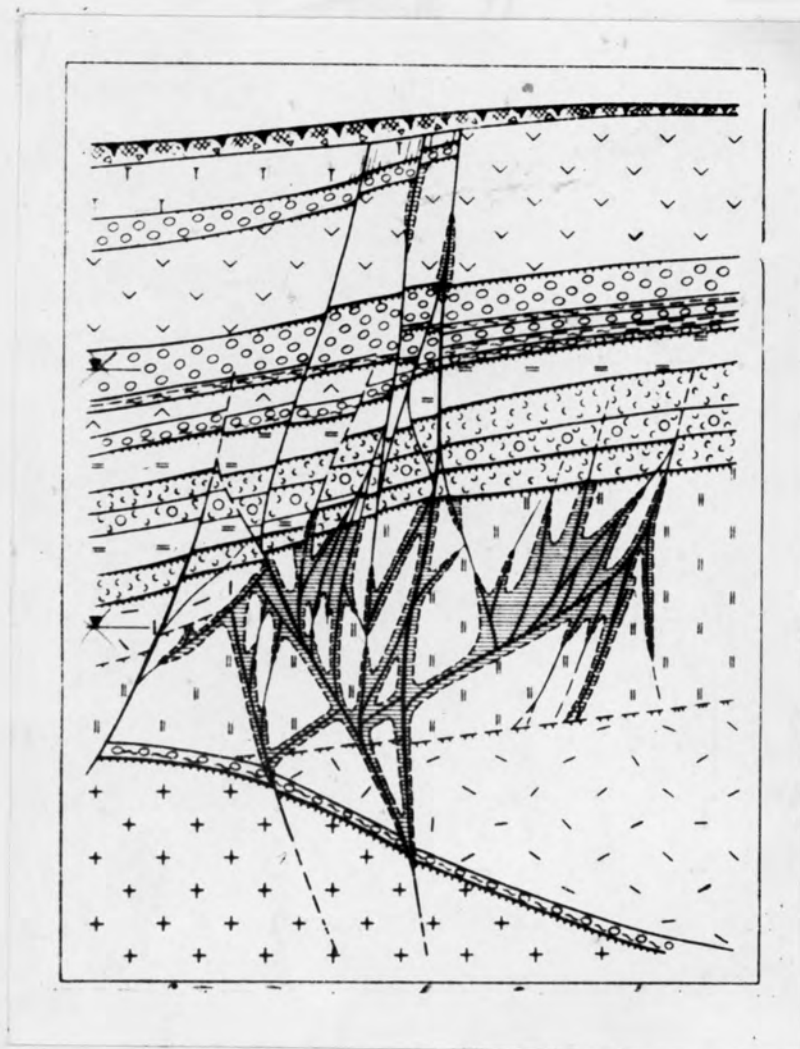


Рис. 7. Стратиформный штокверк в дацитах /разрез/
/ по Ф.И. Вольфсону, Л.П. Ишуковой и др. 1967 /
Условные обозначения см. рис. 8

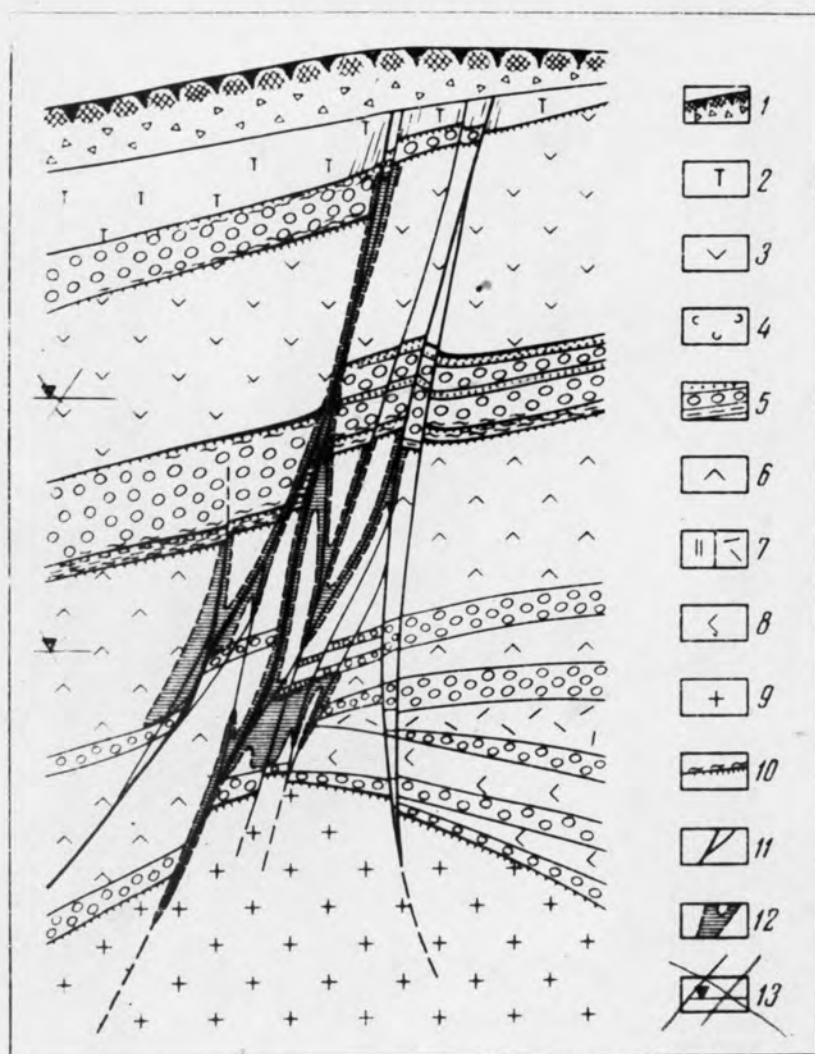


Рис. 8. Сложная жила в гетерогенной пачке осадочно-эффузивных пород. / по Ф.И.Вольфсону, Л.П.Ишуковой и др., 1967/
(разрез)
1-четвертичные отложения; 2-фельзиты; 3-андезиты;
4-туфы дацитов; 5-туфоконгломераты, песчаники и алевролиты;
6-базальты; 7-флицидальные и массивные дациты; 8-андезитобазальты; 9-граниты; 10-контактные тектонические срывы и зоны расщепления; 11-крутопадающие разрывы;
12-урановорудные тела

Площадь, занимаемая каждым из рудных тел, достигает иногда многих десятков тысяч кв.м. Что же касается киллообразных залежей, то их размеры варьируют в самых широких пределах. Длина наиболее крупных из них как по падению, так и по простиранию редко превышает несколько сотен метров, при мощности до 8-10 м. Количество таких залежей не велико и запасы металла в них, как правило, составляют небольшую часть общих запасов месторождения. Однако они привлекают к себе внимание высокой контрастностью руд и повышенным содержанием металла в руде.

Коэффициент рудоносности для месторождений в целом определяется цифрами порядка 0,01, для рудных залежей он колеблется в пределах 0,3-0,5 и для рудных тел - в пределах 0,7 - 0,8. Коэффициент абсолютной контрастности для различных рудных тел колеблется от 0,18 до 0,54.

Разведка и оценка описанных рудных объектов - дело довольно сложное. Обычно бурение вертикальных скважин с поверхности позволяет получить информацию, необходимую и достаточную для оконтуривания месторождения в целом и выяснения общей картины распределения в нем рудных залежей, то есть для решения оценочных задач на стадии предварительной разведки. Способ детальной разведки зависит от морфологии залежей. В случае киллообразных залежей для детальной разведки применяется комбинация горизонтальных горных выработок с восставками; в случае киллообразных залежей основными разведочными единицами являются штреки на разных горизонтах в комбинации с ортами и восставками. Эксплуатационная разведка, как правило, производится с помощью скважин камерного бурения,

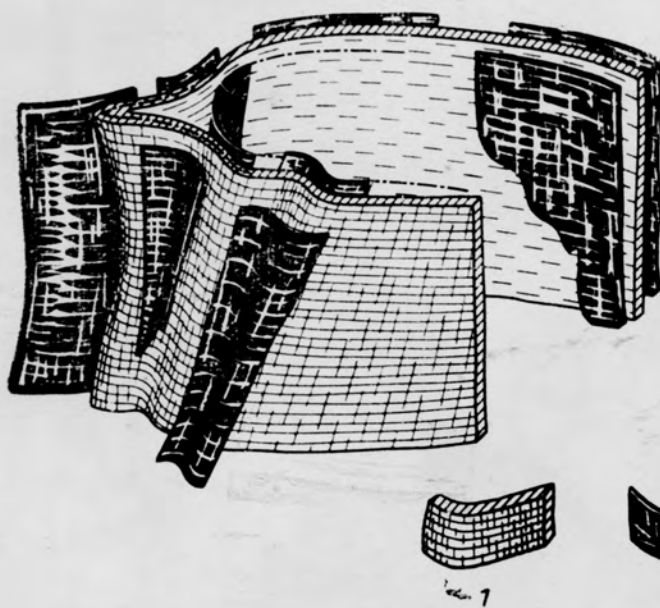


Рис. 9. Схематическое изображение первого структурного типа:

1 - горизонт тектонической свиты; 2 - зона рудной минерализации; 3 - тектонические зоны.

Рис. 9. Рудные залежи в участках центрального залегания сильно свитой свиты (по Петрову и др., 1969)

1 - горизонт тектонической свиты; 2 - урановая руда; 3 - тектонические зоны.

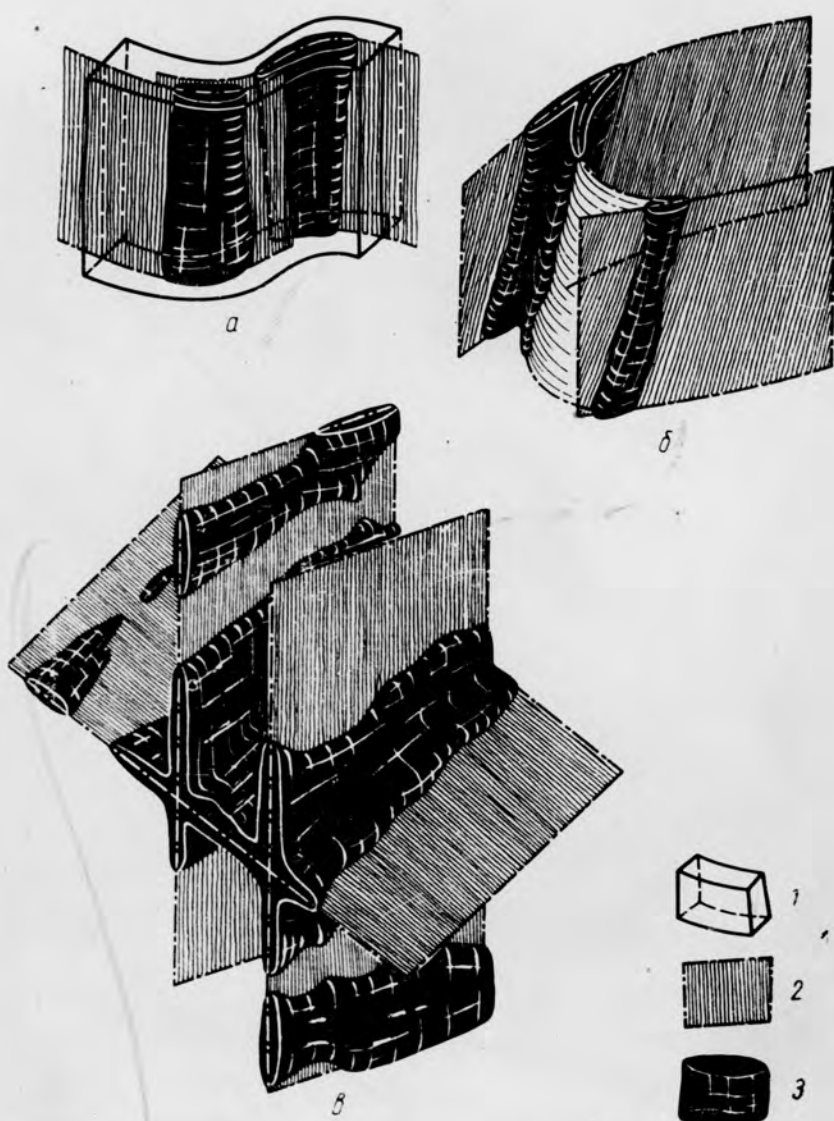


Рис. 10. Контроль рудных тел изгибами (а), сочленениями (б) тектонических зон и сопряжениями круто и полого падающих тектонических зон (в):

1-горизонт тахоитовой свиты; 2-плоскости тектонических зон; 3-урановая руда (по Петрову и др., 1969)

расположенных веерообразно под различными углами к горизонту.

Месторождения третьей группы можно разбить на две подгруппы:

- 1) Месторождения с согласными рудными системами;
- 2) Месторождения с секущими рудными системами.

Месторождения первой подгруппы представляют собой обычно совокупность внутриформационных пластовых или пластообразных залежей в участках центроклинального замыкания сильно сжатых синклиналей (рис. 9). Рудолокализирующими структурами в строгом смысле слова являются зоны мелкой трещиноватости, возникающие, как правило, в результате скольжения при изгибе на границе хрупкой и пластической деформации.

Положение рудных тел определяется флексурными изгибами и антиклинальными складками высших порядков, осложняющими крылья главных синклиналей. В том и в другом случае роль рудолокализирующих структур играют межпластовые срывы и зоны смятия на контакте пород с различными механическими свойствами.

Наиболее обычны столбообразные тела, пластовые и седловидные жилы. Первые приурочены к флексурам, - вторые - к шарнирам мелких антиклиналей (рис. 10).

Почти всегда складчатая структура месторождений в значительной степени осложняется серией дорудных разломов. Тем не менее в процессе формирования руд доминирующую роль играет не выполнение открытых полостей, а избирательное замещение материала окружающей среды.

Типичными представителями урановых месторождений, относящихся к данной подгруппе, являются месторождения в железорудных формациях докембрия (Петров и др., 1969). Ураноносные

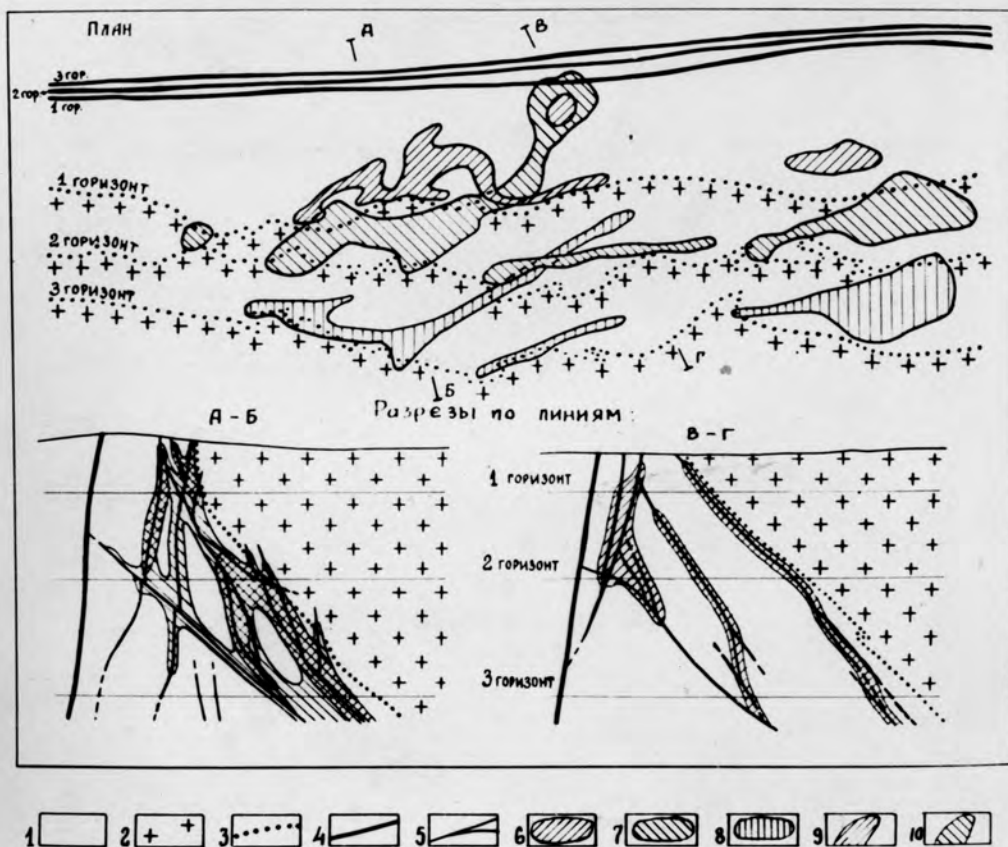


Рис. 11. Рудные столбы под нависающей кровлей интрузива
 1-Песчаники, алевролиты и аргиллиты; 2-гранитоиды;
 3-контакты пород; 4-разрывные нарушения; 5-рудные жилы;
 6-сечение рудных столбов на уровне 1 горизонта;
 7-то же на уровне 2 горизонта; 8- то же на уровне 3 гори-
 зонта; 9-контуры рудных столбов в плоскости разреза;
 10-то же за плоскостью разреза / по А.В.Заварзину и др., 1970/.

пласти осадчонетаморфических пород, принадлежащих к этой формации, протягиваются иногда на несколько километров по простиранию и на многие сотни метров - по падению. Площадь каждой рудной залежи составляет обычно сотни тысяч, а площадь каждого рудного тела - десятки тысяч кв.м. Площадной коэффициент рудоносности для месторождений в целом - 0,4-0,6, для рудных залежей - 0,8-0,9, для рудных тел - 0,9-1,0, коэффициент абсолютной контрастности - 0,06-0,08.

Для общей оценки таких месторождений на стадии предварительной разведки с успехом могут быть использованы буровые скважины на линиях, ориентированных по простиранию синклинальной складки. Оценка отдельных залежей на стадии детальной разведки производится исключительно с помощью горных выработок - штреков на разных горизонтах в сочетании с ортовыми выработками, пересекающими полную мощность рудоносной свиты. На стадии эксплуатационной разведки к этой комбинации выработок добавляются восстания и скважины камерного бурения.

Вторая подгруппа объединяет месторождения, приуроченные к антиклинальным структурам, в которых рудные залежи, в виде серии субпараллельных жил, выполняют трещины, возникающие в процессе складкообразования и ориентированные нормально к осевой плоскости складки. Пучки таких жил, образующие "рудные узлы" располагаются иногда на участках воздымания шарниров антиклиналей. Рудные тела имеют обычно форму столбов, положение которых определяется линиями сопряжения основной и оперяющей трещин, или же - экранирующим влиянием пород, залегающих на продуктивную свиту (рис.11,12).

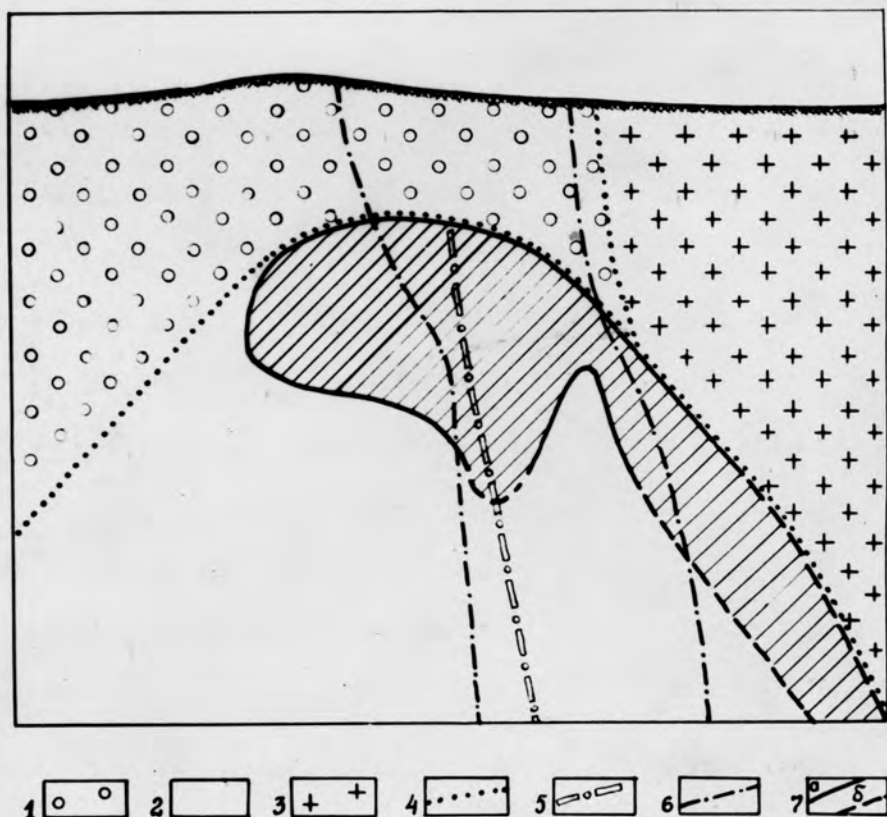


Рис. 12. Урановое оруденение, контролируемое сочетанием нескольких факторов.

(разрез в плоскости жилы, секущей антиклинальную складку)

1-песчаники и конгломераты; 2-песчаники, алевролиты и аргиллиты; 3-гранитоиды; 4-контакты пород;
5-ось антиклинали; 6-разрывные нарушения; 6-границы рудного столба: а) установленные, б) предполагаемые
(по А.В.Заварзину и др. 1970)

Длина таких рудоносных антиклиналей достигает иногда десятка километров, расстояние между отдельными "рудными узлами" измеряется километрами и между отдельными залежами - сотнями метров. По простиранию и по падению отдельные залежи протягиваются на многие сотни метров при мощности до 3-4 м. Рудные тела в залежах отделены друг от друга безрудными промежутками в десятки метров. Площадь рудных тел варьирует от нескольких десятков до нескольких сот квадратных метров.

Коэффициент рудоносности для месторождения в целом колеблется от 0,01 до 0,027, для рудных залежей - от 0,2 до 0,4, для рудных тел - от 0,7 до 0,9. Коэффициент абсолютной контрастности, как правило, не выходит за пределы 0,2-0,6.

Одно из таких месторождений хорошо описано в работе А.В.Заварзина и др. (1970). Единственным источником информации, необходимой для оценки подобных рудных систем, являются подземные выработки. На стадии предварительной разведки это, главным образом, магистральные квершлаги, ориентированные по простиранию антиклинали, на стадии детальной разведки - этажные штреки и восстания, разбивающие залежи на прямоугольные блоки, на стадии эксплуатационной разведки - подэтажные штреки и камерные скважины, располагаемые веерообразно под различными углами к горизонту.

К четвертой группе относятся месторождения, в которых в качестве главного рудоконтролирующего фактора, на первый план выступают разрывные деформации различного характера и происхождения. В этой группе, так же, как и в ранее описанных, можно выделить несколько подгрупп.



Рис. 13. Гудные залены в узлах сопряжения основного разлома с оперяющими разрывами в плоскости главного разлома (разрез)
 1-линии сопряжения главного разлома с оперяющими трещинами; 2-линии пересечения главного разлома с секущими трещинами; 3-рудные залены

Рис. 14. Рудные тела в зоне крупного разлома древнего заложения среди докембрийских метаморфических пород. (план)

1-вмещающие породы докембрия;
2-блестящие шпаты; 3-зона метасоматических изменений вмещающих пород;
4-рудные тела





Рис. 15. Урановые рудные тела в зоне крупного разлома среди докембрийских гранито-гнейсов (план)

1-Гранитогнейсы; 2-Разрывные нарушения; 3-Границы области развития щелочного метасоматоза; 4-Рудные тела; 5-Ореолы рассеянной урановой минерализации.

1. Месторождения, расположенные непосредственно в зонах крупных разломов ;

2. Месторождения, расположенные в тектонических блоках между сходящимися разломами ;

3. Месторождения, расположенные в тектонических блоках между параллельными разломами.

4. Месторождения, пространственно связанные с одиночными трещинами скола.

В месторождениях первой подгруппы рудные залежи представляют собой минерализованные блоки пород, входящих в состав тектонических зон и приуроченные либо к искривленным разломам, либо к линиям сопряжения его с операционными трещинами второго и высшего порядков. В первом случае залежи имеют жильнообразную форму, во втором - форму столбов, склоняющихся под различными углами к горизонту (рис.13). В плитообразных залежах рудные тела протягиваются вдоль ограничений разломов в виде цепочек плоских линз, иногда кулисно заходящих друг за друга и обнаруживающих явную связь с щелочными метасоматитами (рис.рис.14,15). В случае столбообразных залежей понятию о рудном теле ближе всего отвечают отдельные жилы или штокверки неправильной формы на участках сопряжения послойных и секущих трещин.

Типичными представителями месторождений первой подгруппы являются минерализованные зоны разломов в активизированных щитах или платформах. Одна из ^{их} наиболее характерных особенностей - тесная связь уранового оруденения с процессами альбитизации или калишпатизации рудомещающих пород (Казанский, 1969).

Длина рудоносных разломов измеряется километрами, а иногда и десятками километров; рудные залежи в них протяги-

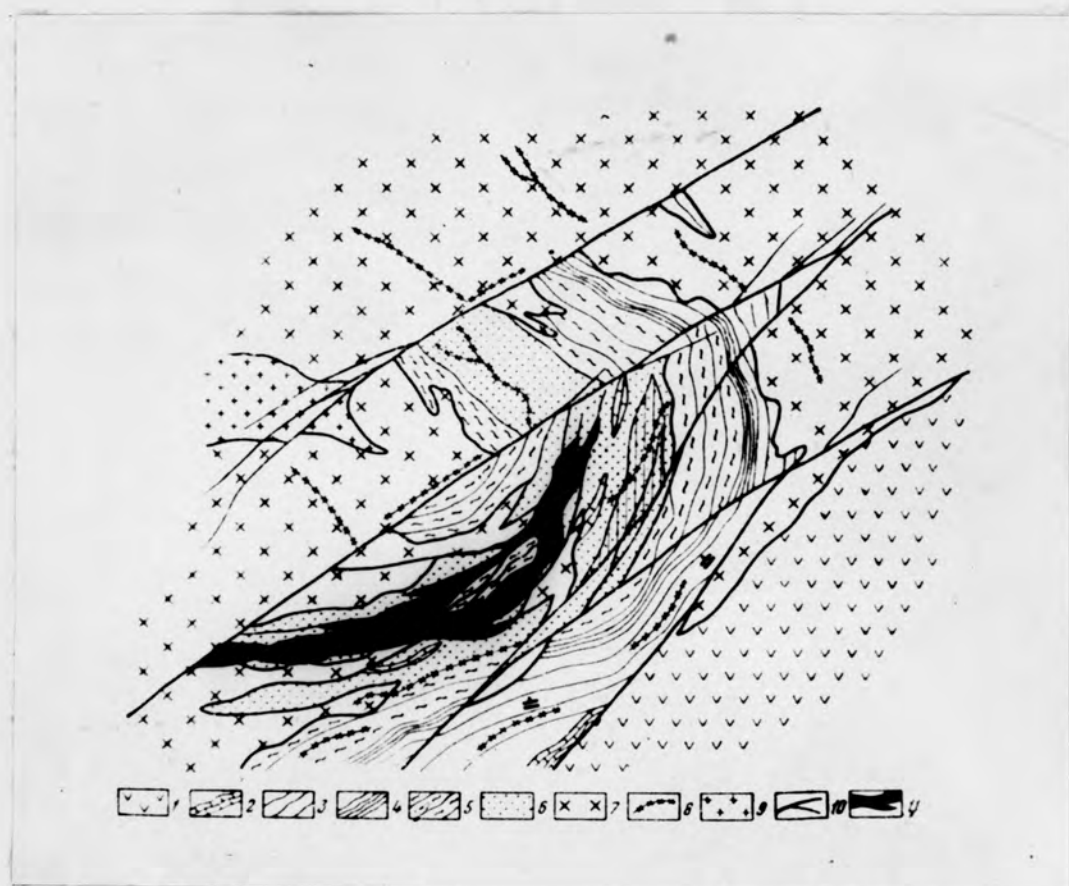


Рис. 16. Рудная залежь в замке синклинали между сходящимися разломами (план). По Л.В.Хорсвилу /1966/.

1-порфириты первой толщи; 2-6-отложения второй толщи;
 2-известняки; 3-песчаники и туфопесчаники; 4-алевролиты;
 5-аргиллиты; 6-туфы и туфопесчаники; 7-диориты; 8-дайки
 лампрофиров; 9-поздние граниты; 10-разломы; 11-рудная залежь.

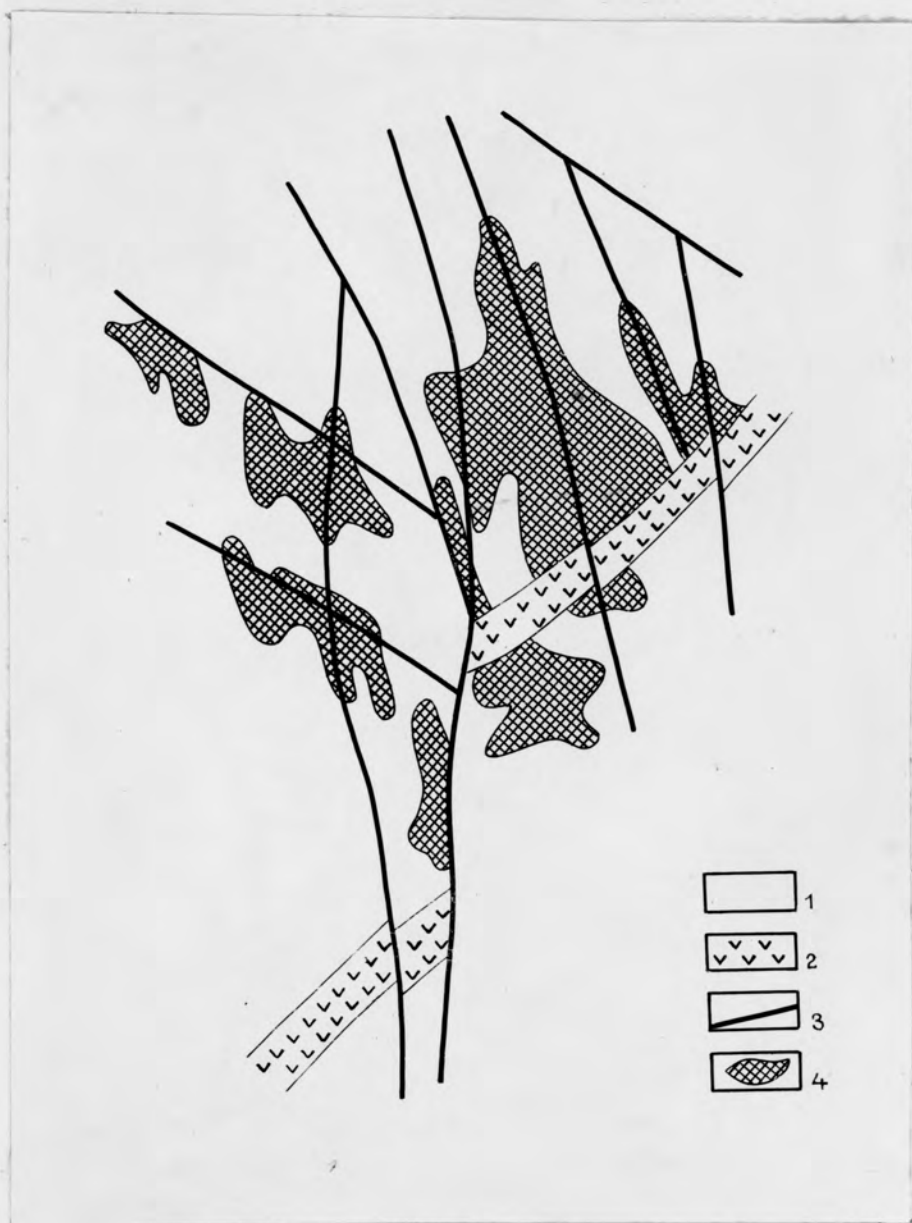


Рис. 17. Рудные тела в узлах пересечения дайки
разрывными нарушениями (план).
1-липарит-порфиры; 2-кварцевые микропориты;
3-разрывные нарушения; 4-рудные тела.

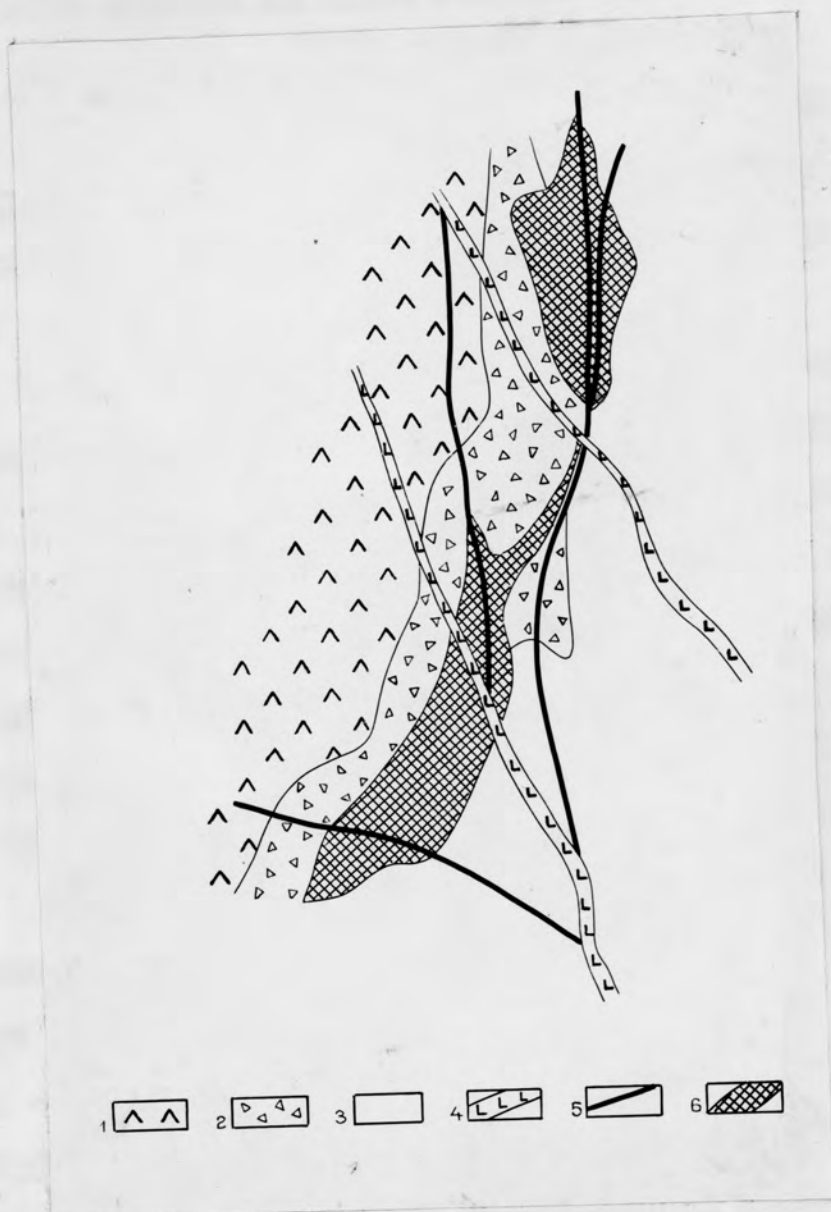


Рис. 18. Рудные тела в тектонически-нарушенных контактах пород с различными физико-механическими свойствами (план).
 1-порфиры; 2-лавобрекчии порфиров; 3-субвулканические порфиры; 4-диоритовые порфиры; 5-тектонические нарушения; 6-рудные тела.

ваются на сотни метров, а рудные тела в рудных залежах - на многие десятки до сотен метров. Глубина оруденения достигает 1000 - 1500 м.

Коэффициент рудоносности для месторождений 0,4-0,5, для рудных залежей - 0,7 - 0,9, для рудных тел близок к единице, при коэффициенте абсолютной контрастности порядка 0,08 - 0,10.

Задача общей оценки месторождений на стадии предварительной разведки может быть решена с помощью буровых скважин, располагаемых по квадратной сети. Для оценки отдельных залежей необходима проходка горных выработок - штреков на разных горизонтах в комбинации с квершлагами, пересекающими всю мощность рудоносной зоны. На стадии эксплуатационной разведки для оценки отдельных рудных тел дополнительно проходятся восстающие и скважины камерного бурения.

В месторождениях второй подгруппы залежи имеют вид клиновидных блоков, склоняющихся согласно линиям сопряжений двух разноориентированных разломов, а рудные тела в залежах - вид штокверков неправильной формы, контролируемых интрузивными дайками или локальными зонами дробления в контактах пород с различными механическими свойствами (рис., рис. 16, 18).

Типичные примеры рудных систем этой подгруппы дают месторождения уран-молибденовой формации (Лавров и др. 1962, 1964; Власов и др., 1966; Каждан, 1967)^{они}, отличаются весьма прерывистым и крайне неравномерным распределением металла. Коэффициент рудоносности в них колеблется от 0,01 до 0,1, для отдельных рудных залежей он варьирует в пределах 0,4-0,5



Рис. 19. Рудные залежи в флогопитовых породах, контролируемые сопряженными секущими нарушениями с пологими разрывами (разрез)
 1-флогопит; 2-углисто-кремнистые сланцы с прослоями основного адуанов; 3-граниты;
 4-пологие разрывы; 5-IV-лине тела.

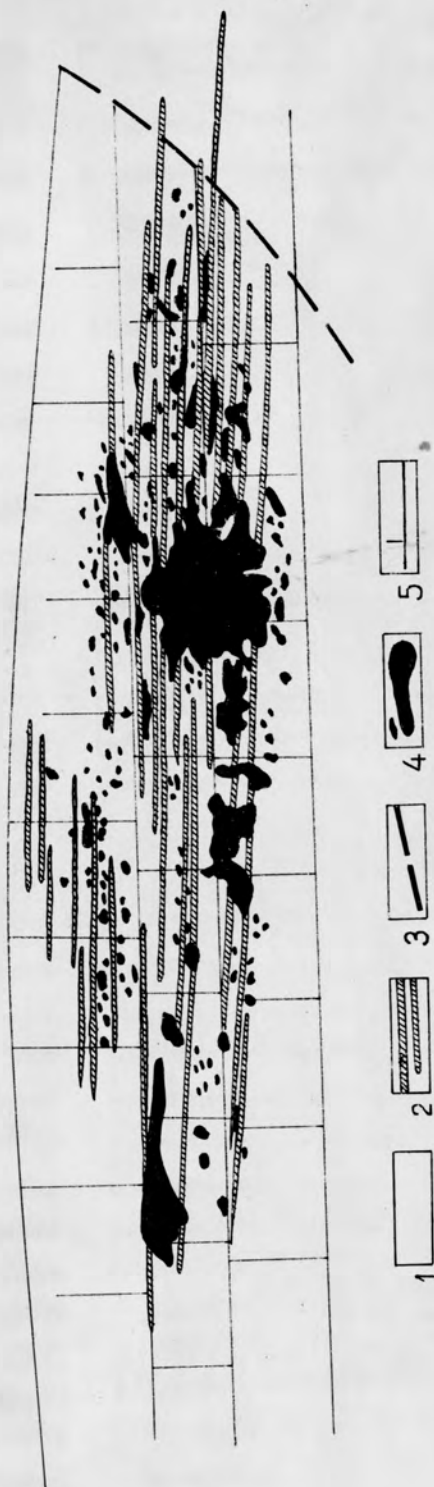


Рис. 20. Рудное тело в гетерогенной сланцево-амфиболитовой толще (проекция на вертикальную плоскость)
 1-сланцы; 2-амфиболиты; 3-разрывные нарушения; 4-урановая руда; 5-горные выработки.

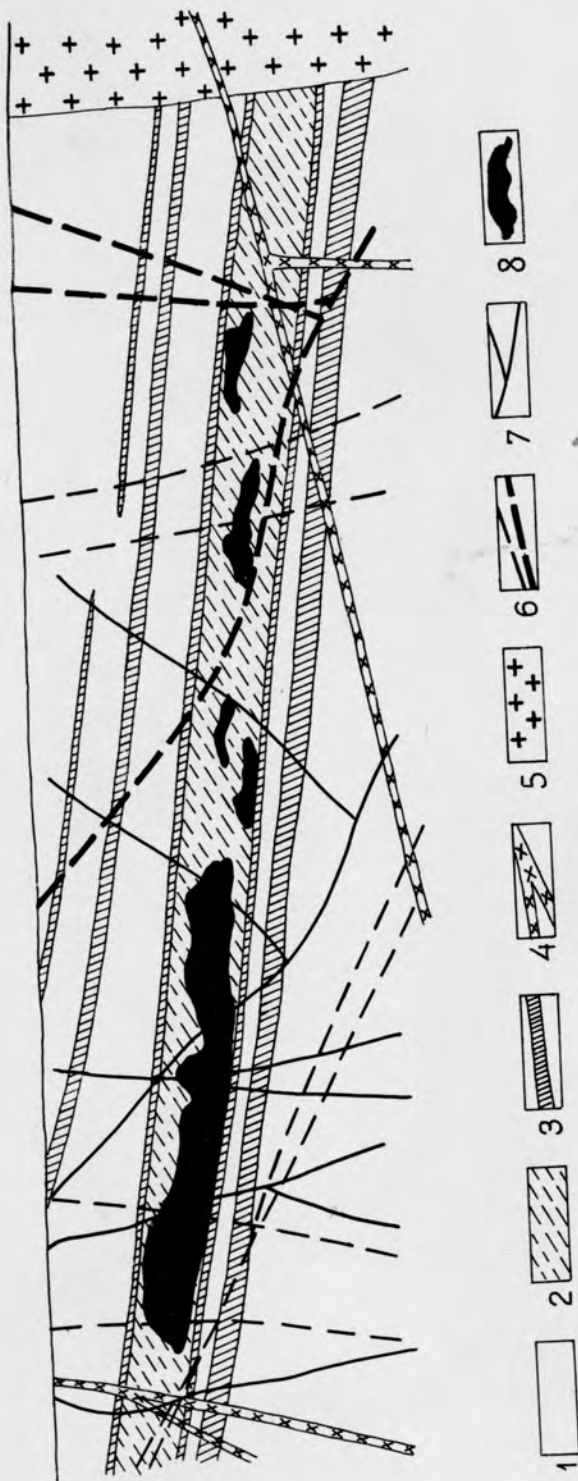


Рис. 21. Рудное тело в шпиритизированных сланцах (разрез в плоскости жила)
 1-сланцы; 2-шпиритизированные сланцы; 3-кварциты; 4-гранит-порфиры;
 5-граниты; 6-разрывные нарушения; 7-кварцевые жилы; 8-уреновая руда

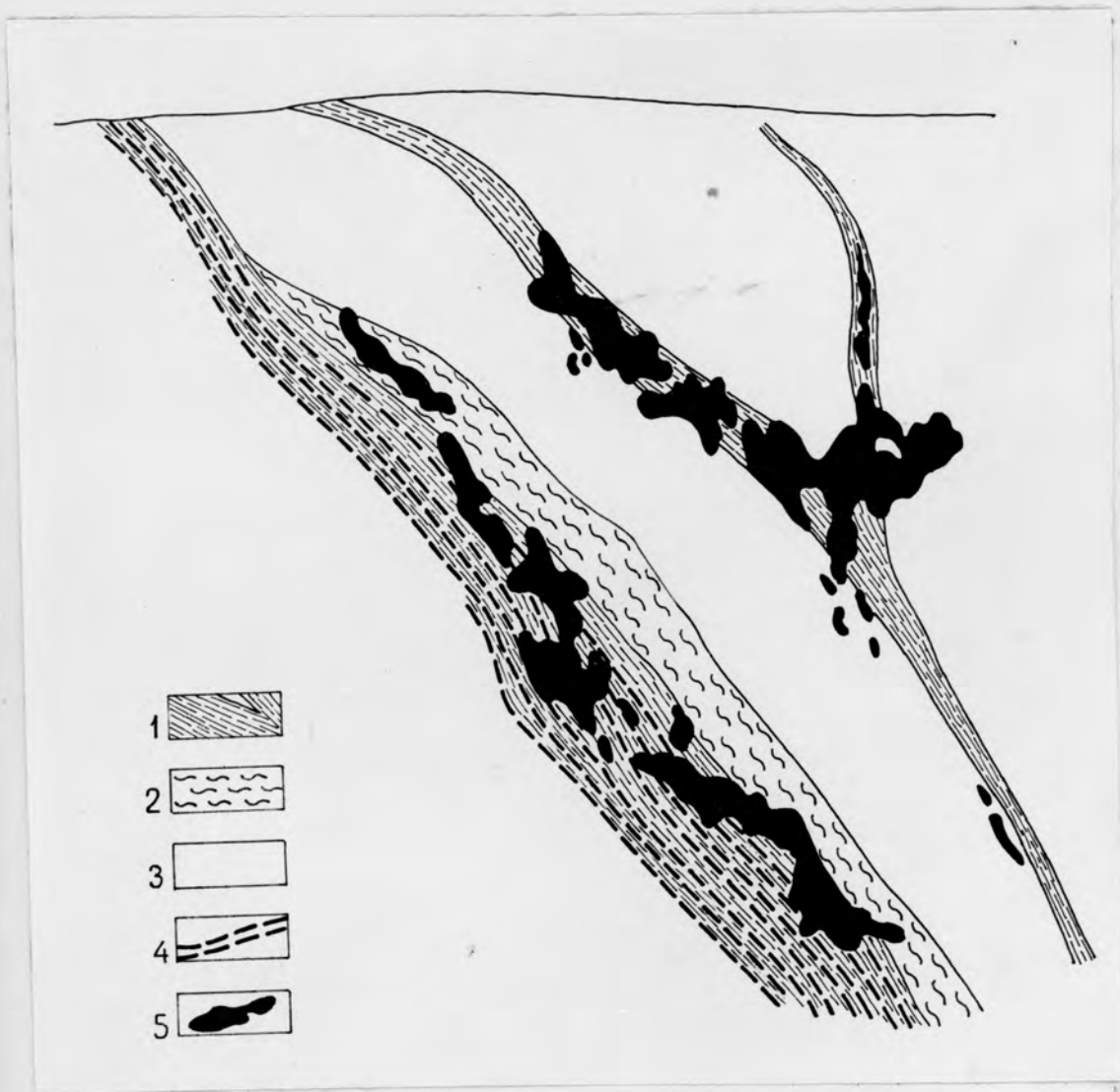


Рис. 22. Рудные тела, контролируемые сочетанием структурных и литологических факторов (разрез в плоскости жил)
 1-углисто-кварцевые сланцы; 2-филлиты; 3-амфиболиты;
 4-послойные нарушения; 5-урановая руда

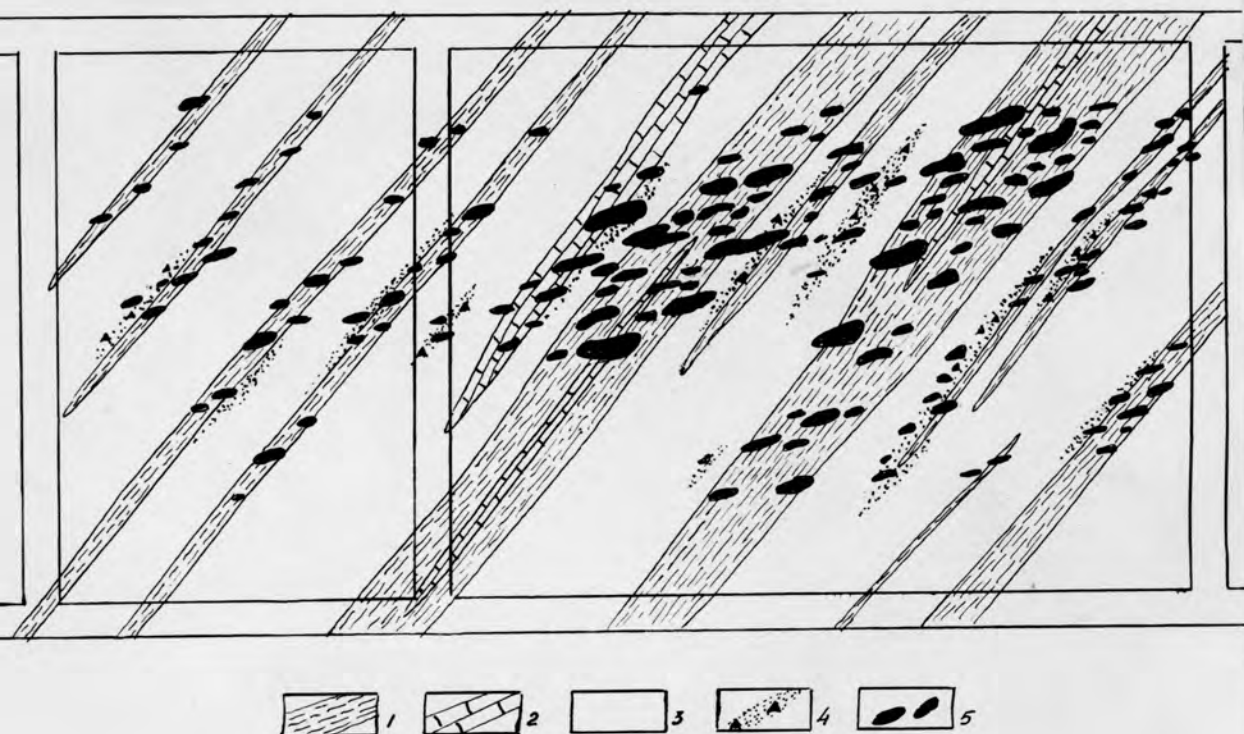


Рис. 23. Оруденение, контролируемое составом
рудонесущих пород (разрез в плоскости шпала).

1-углисто-кварцевые сланцы;

2-скарны;

3-сланцевые сланцы;

4-участки распространения хлорита и шприта в породах;

5-урановая руда.

и для отдельных рудных тел - в пределах 0,8-1,0. Коэффициент абсолютной контрастности почти никогда не превышает 0,13. Площадь рудных залежей (в проекции на горизонтальную плоскость) измеряется иногда тысячами, а площадь рудных тел - сотнями кв.м. Для общей оценки месторождений на стадии предварительной разведки используется колонковое бурение - линиями, ориентированными нормально к склонению залежи; детальная и эксплуатационная разведка заключается в проходке горизонтальных горных выработок в двух перпендикулярных направлениях в комбинации с камерным бурением - веерами, наклоненными под разными углами к горизонту.

В месторождениях третьей подгруппы рудные залежи представлены обычно пучками параллельных жил, выполняющих сколовые трещины и ориентированных так-же, как и разломы, между которыми они заключены. Положение этих пучков, как правило, определяется участками сопряжения относительно крупных по-
слойных и секущих разрывов (рис.19). При разведке и эксплуатации таких месторождений под термином "рудное тело" понимается совокупность плоских рудных линз, находящихся в одной жиле и контролируемых большим количеством разнообразных геологических факторов. Решающая роль принадлежит литологическому контролю, в связи с которым рудные тела принимают форму столбов, склоняющихся согласно падению пласта или прослоя "благоприятных" пород (рис.19)²⁰⁻²³. Кроме того на морфологию рудных тел и на их положение в пространстве существенное влияние оказывают экранирующие поверхности разного рода (рис.24), "структурные ловушки" образуемые сочетанием разрывов, секущих жилу по различным направлениям, тектонические контакты пород

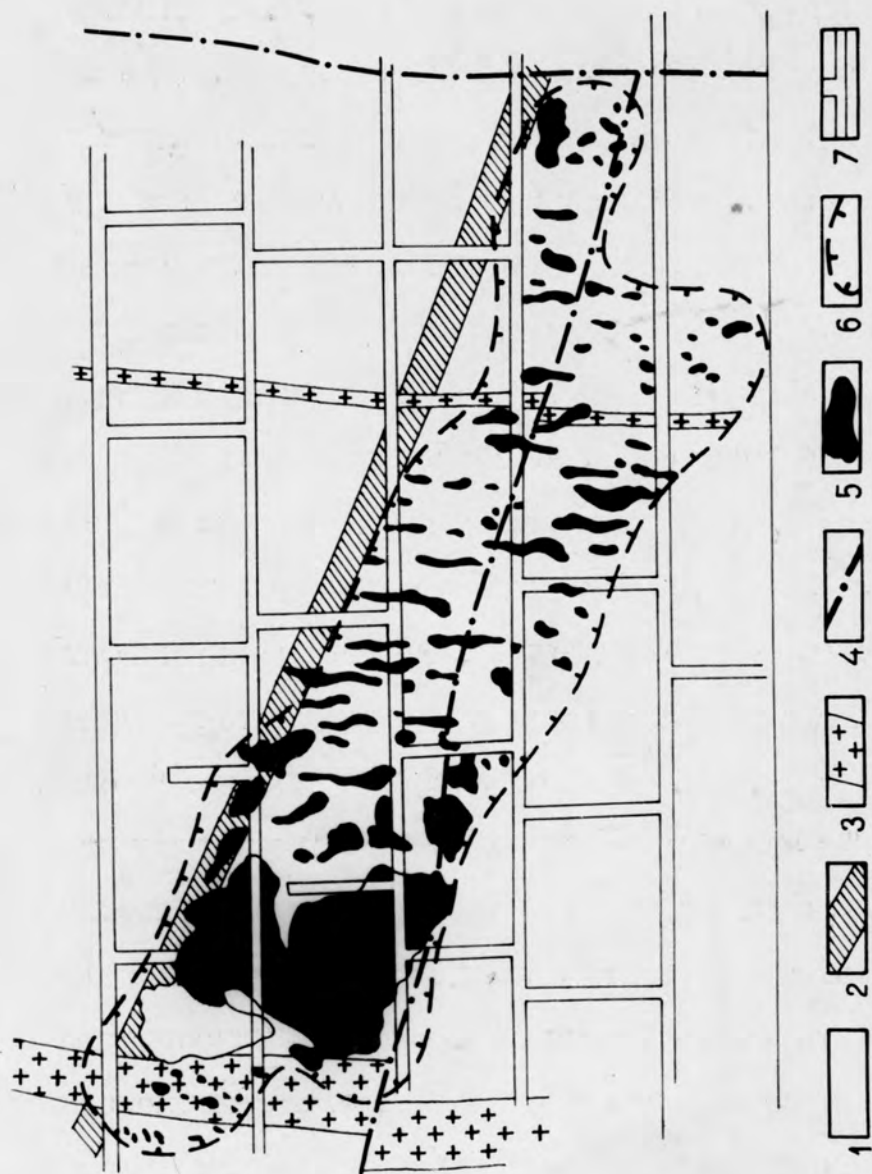
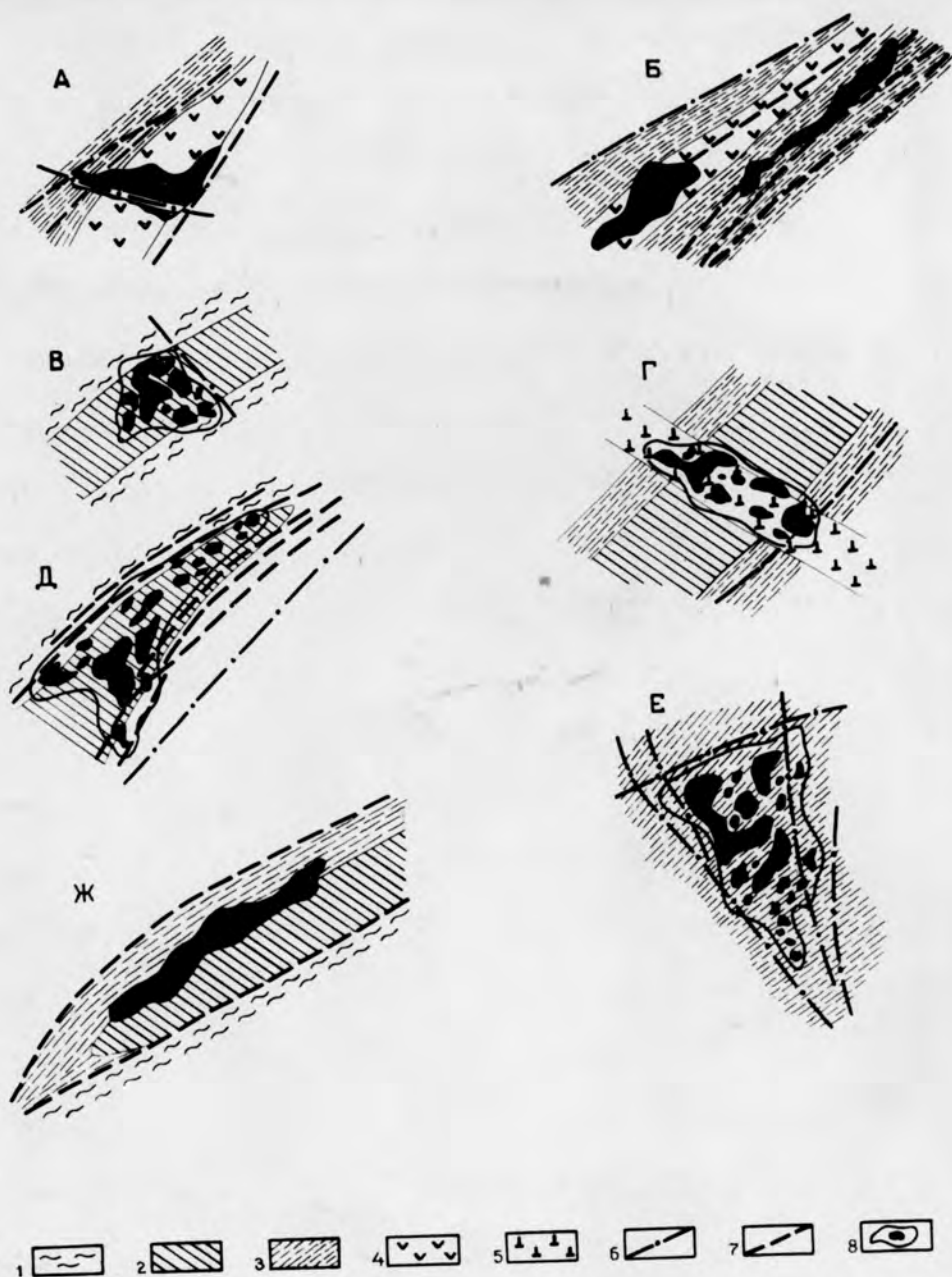


Рис. 24. Контроль оруженения двумя зернами (разрез в плоскости шпиль)
 1-песчанник и алевролиты; 2-конгломераты; 3-мелкий известняк; 4-глины
 с примесью глин; 5-ураниевая руда; 6-границы рудного тела;
 7-горные выработки.

с контрастными физико-химическими свойствами, интрузивные дайки и пр. Некоторые примеры такого комбинированного рудо-контроля показаны на рис.25.

Рудные системы, подобные описанным, особенно характерны для месторождений пентаметальной (уран-никель-кобальт-висмут-серебряной) формации, расположенных обычно в экзо-контактах гранитных массивов и протягивающихся на многие километры, в виде полос, ориентированных перпендикулярно или диагонально к преобладающему простиранию ураноносных жил. Длина последних измеряется, как правило, десятками или первыми сотнями метров и лишь в отдельных редких случаях достигает 1-2 км. Глубина, на которую распространяется оруденение в отдельных случаях доходит до 2-х км, при чем "критическим" горизонтом является поверхность гранитных массивов, подстилающих продуктивную осадочно-метаморфическую толщу.

По степени прерывистости и изменчивости оруденения эти рудные системы вполне аналогичны рудным системам месторождений второй подгруппы третьей группы и они разведываются в общем так-же, как и последние - т.е. почти исключительно при помощи подземных горных выработок. На стадии предварительной разведки это магистральные квершлагги, ориентированные нормально к преобладающему простиранию рудных жил, на стадии детальной разведки - штреки, в сочетании с восстанавливающими, рассекающими жилы на прямоугольные блоки, на стадии эксплуатационной разведки - подэтажные выработки и скважины камерного бурения, применяемого, главным образом, для фиксации жильных апофиз.

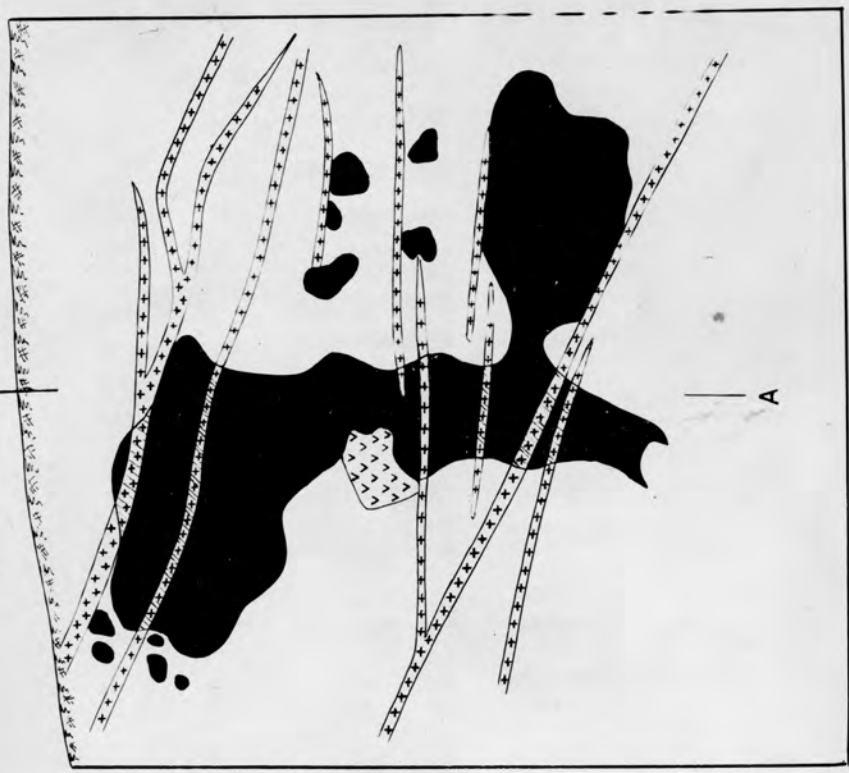


Примеры комплексированного рудоконтроля

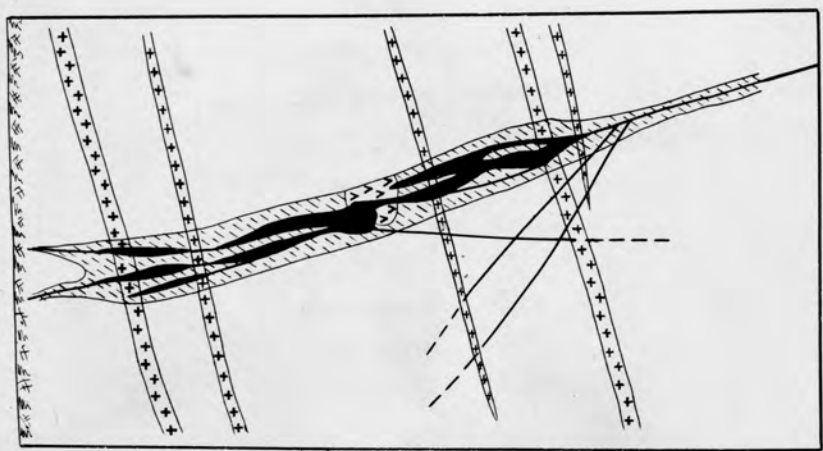
1-фиолиты; 2-скарнирование амфиболовые сланцы; 3-кварцево-углистые сланцы; 4-амфиболиты; 5-хлоритизированные персициты; 6-линии сочленения мил; 7-последние нарушения; 8-контуры рудных столбов.

Рис. 25. А, Д, Ж - оруденение в благоприятных породах, ограниченных тектоническими контактами; Б-пример сочетания структурного и литологического контроля; В-рудная линза, контролируемая благоприятными породами в узле пересечения двух трещин; Г-то же в дайки, секущей благоприятный горизонт; Е-рудная линза в треугольнике, образованном трещинами различных направлений.

Продольный разрез



Разрез по линии А



- 1. 2. 3. 4. 5. 6.

Рис. 1.26. Пример комбинированного геологического разреза. 1-амфиболиты; 2-хлоритизированные граниты; 3-габбро микрограниты; 4-зона нарушения; 5-тектонические трещины; 6-плутоническое тело

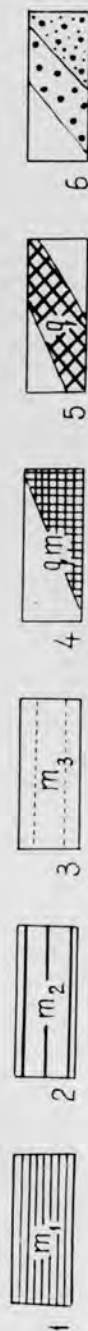
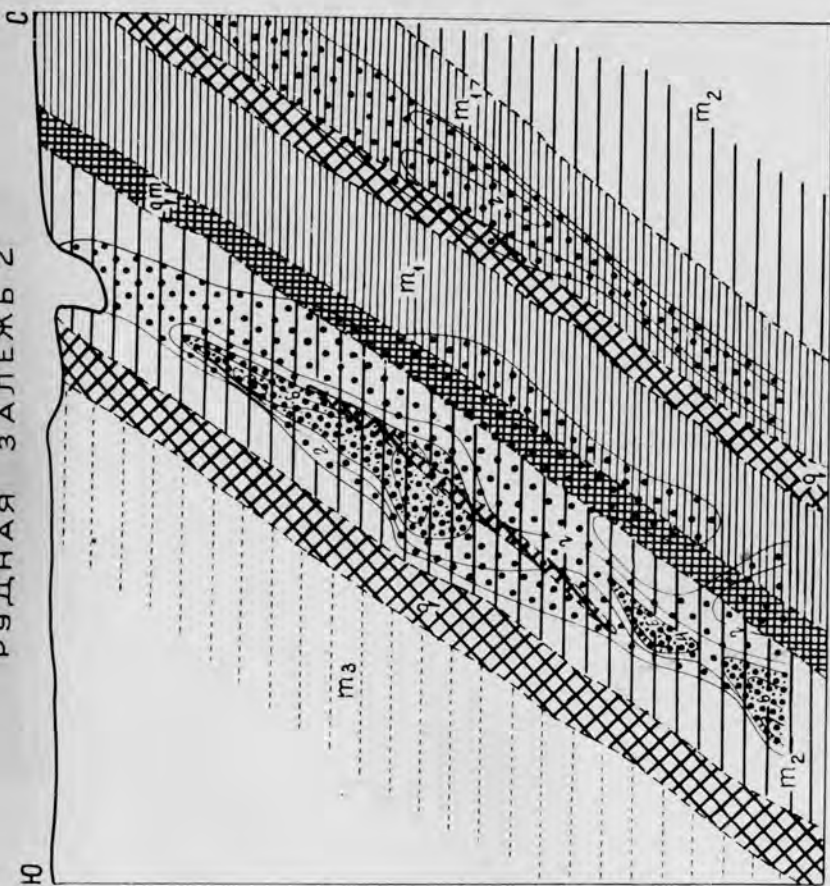
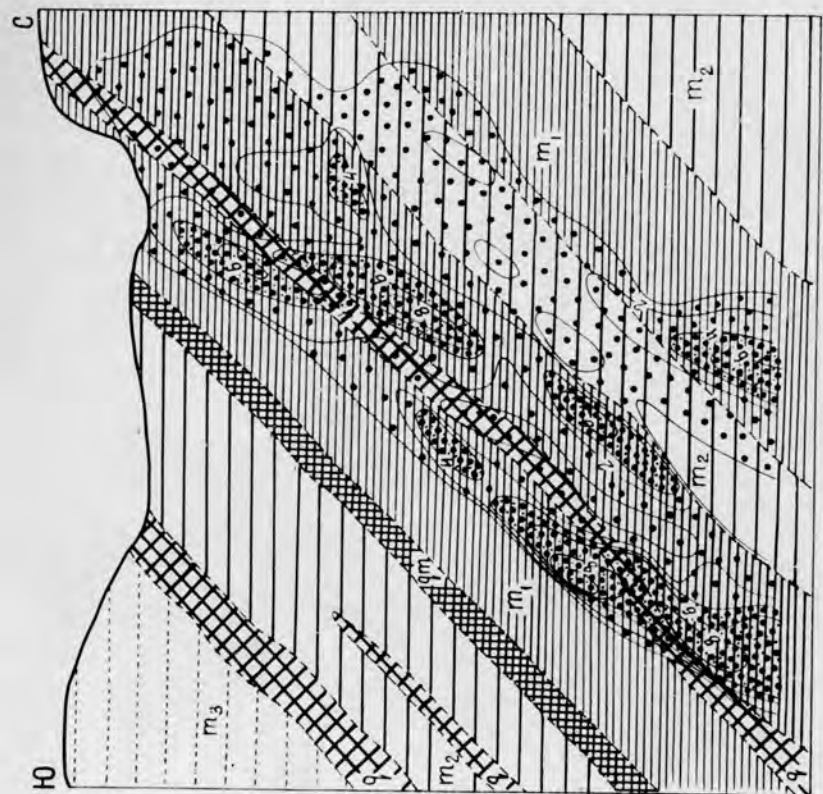


Рис. 27. Пример литологического контура обнаружен в исследовании четвертой порции. 1-плотные гнейсо-сланцы; 2-плотные-плотные гнейсо-сланцы; 3-плотные-плотные гнейсо-сланцы; 4-плотные-плотные гнейсо-сланцы; 5-плотные-плотные гнейсо-сланцы; 6-плотные-плотные гнейсо-сланцы. В изометрии показаны / через 1 м /

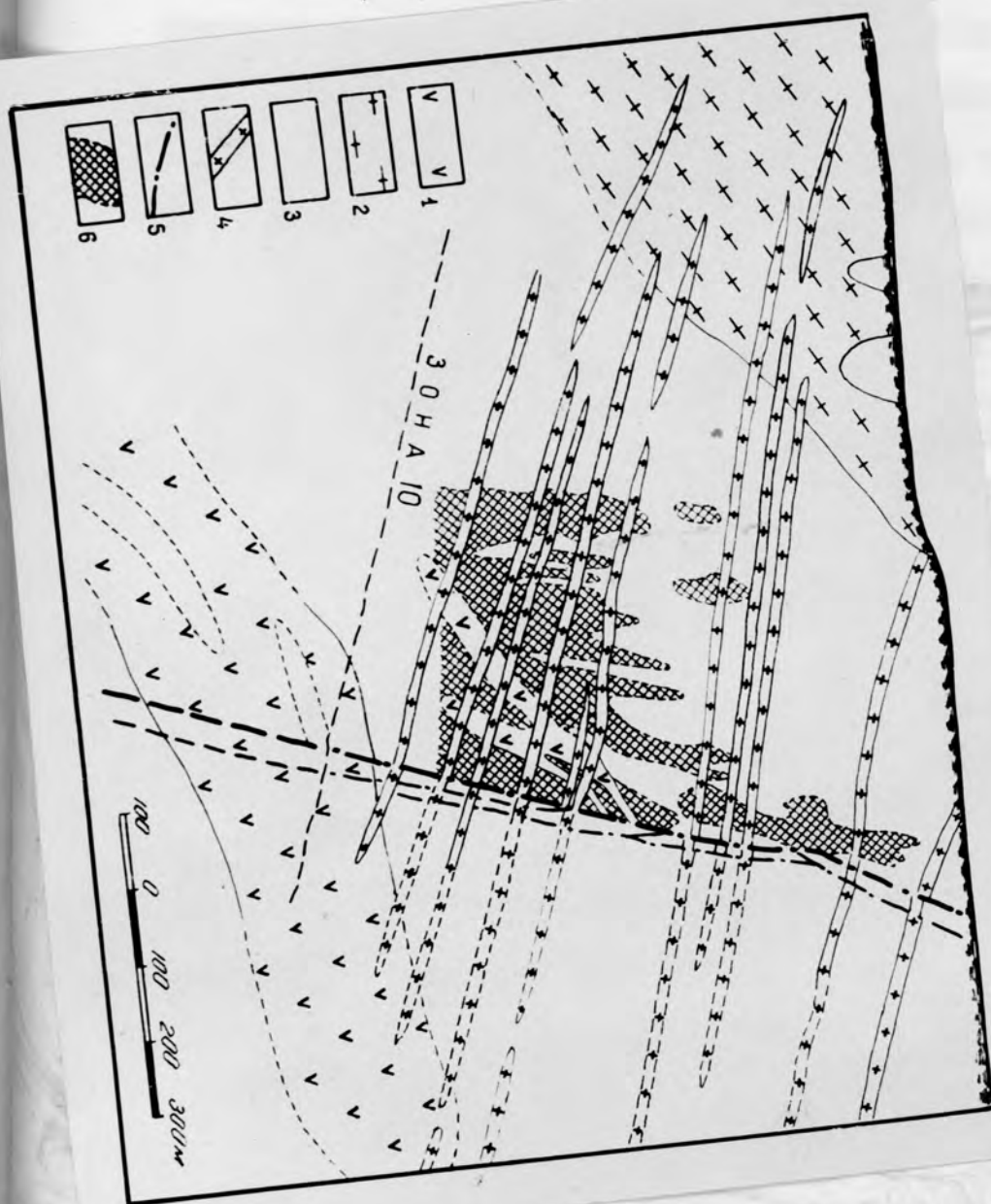


Рис. 28. Пример комбинированного рудоконтроля.
(продольный разрез по залежи)

1-Мелкозернистые биотитовые, кварц-биотитовые гнейсы, амфиболиты; 2-биотитовые, амфибол-биотитовые диориты;
3-порфировидные биотитовые граниты; 4-дайки аплитов и мелкозернистых гранитов; 5-тектонические нарушения;
6-урановая руда

Месторождения четвертой подгруппы состоят из килооб-
разных залежей, приуроченных к отдельным, относительно про-
тяженным трещинам скола. Рудные тела различной, чаще столбо-
образной формы тяготеют к пересечениям разноориентированных
трещин, зонам дорудного изменения боковых пород, к благоприят-
ным прослоям и к участкам развития полон^гадающих даек (рис. 26,
27). Длина рудоносных трещин измеряется сотнями метров, длина
отдельных рудных тел - многими десятками метров. Глубина про-
мышленного оруднения достигает 1000 м. Коэффициент рудонос-
ности для залежей - порядка 0,1-0,2, для рудных тел - поряд-
ка 0,5-0,6. Коэффициент абсолютной контрастности находится
обычно в пределах 0,1-0,15..

Единственный способ детальной разведки - проходка под-
земных горных выработок-штреков, восстанций и ортов, пе-
ресекающих всю мощность продуктивной зоны. На стадии экслю-
атационной разведки дополнительная информация, касающаяся
деталей строения и границ рудных тел получается путем про-
ходки подэтажных штреков, камерных скважин и шпуров, ориен-
тированных вкрест простирания рудной залежи.

Литература к главе I

1. БАТУРИН и др. (1965)
Экзогенные эпигенетические месторождения урана.
М., Атомиздат, 1965.
2. БЕТЕКТИН А.Т. (1939)
К вопросу об изучении рудных месторождений.
Изв. АН СССР сер.геол. № 2.
3. БЕЛИКИН А.С. (1961)
Структуры рудных полей.
Из-во Ленинград.Университета.
4. ВЛАСОВ Б.П. и др. (1966)
Геология месторождений уранмолибденовой формации
М., Атомиздат.
5. ВОЛЫСОН Ф.И. и др. (1966).
Основные черты геологии гидротермальных урановых
рудных полей и месторождений.
В кн. "Геология гидротермальных месторождений"
М. Изд. "Наука".
6. Геологический словарь (1955)
М.Госгеолтехиздат.
7. Евсеева Л.С. и др. (1967).
К вопросу об условиях образования и классификации экзо-
генных эпигенетических месторождений урана.
В сб. "Вопросы прикладной радиогеологии."
М. Атомиздат.
8. ЗАВАРЗИН А.В. и др. (1970).
В кн. Месторождения урана: Зональность и парагенезисы
М., Атомиздат, 1970 (в печати).
9. КАКЦАН А.Б. (1967).
Месторождения уран-молибденовой формации.
В сб. "Вопросы прикладной радиогеологии" вып.2.
М.Атомиздат.
10. КОРОЛЕВ А.В. (1954)
Классификация морфогенетических типов послемагматических
рудных тел.
Зап.Узб.отд.Всес.мин-ва, вып.6.
11. КОРОЛЕВ А.В., ШЕКТМАН П.А. (1959)
Классификация послемагматических рудных полей.
В кн. "Закономерности размещения полезных ископаемых". т.2
Изд. АН СССР.

12. КРЕЙТЕР В.М. (1940)
Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых.
М. Госгеолиздат.
13. КРЕЙТЕР В.М. (1956)
Структуры рудных полей и месторождений.
М. Госгеолтехиздат.
14. Крупенин В.А. (1969)
Закономерности размещения урановых руд на месторождениях среди углисто-кремнистых сланцев и известняков.
Геол. Рудн. Мест., № 4.
15. ЛАВРОВ Н.П. и др. (1962)
Геологическая структура урановых гидротермальных месторождений, приуроченных к жерловым фациям эффузивов и субвулканическим интрузивам.
Тр. ИГиМ АН СССР, вып. 82.
16. ЛАВРОВ Н.П. и др. (1964)
Некоторые особенности геологии гидротермальных урановых месторождений, приуроченных к экстрезивам.
Геология рудных месторождений, № 6.
17. Обзор геологических понятий и терминов..... (1963)
М. Академиздат.
18. ПЕТРОВ Р.П. (1969)
О месторождениях урана в железорудных формациях докембрия.
М. Атомиздат.
19. РЫБАЛОВ Б.Л. (1965)
Структурные особенности и вопросы генезиса урановых месторождений, залегающих в черных сланцах и карбонатных породах.
Геол. Рудн. мест., № 2: 111-114.
20. СМЕРНОВ В.И. (1965)
Геология полезных ископаемых, ~~М. изд.~~ М. изд. "Недра"
21. СУРАЖСКИЙ Д.Я. (1960)
Методы поисков и разведки месторождений урана.
М. Госатомиздат.
22. КАЗАНСКИЙ В.И.
23. ТЕТЯЕВ М.М. (1940)
Тектоника рудных полей жильного типа (к методике исследования).
Советская геология № 8 и 9.
24. ШЕРБАКОВ Д.И. (1945)
Принципы и методика составления металлогенической карты.
Сб. "Советская геология", № 5.

Глава 2

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА

2.1. Предварительные замечания

Земная кора содержит громадное количество разнообразных полезных ископаемых, однако практическую ценность представляет лишь часть этих ресурсов, сосредоточенная в ограниченных пространствах и образующая рудные системы, которые в современной конъюнктуре могут рассматриваться как возможные объекты эксплуатации. Конечная задача поисковых и геологоразведочных работ — локализация этих объектов — производится в несколько стадий. Конкретное содержание работ на каждой стадии находится в зависимости от многих условий и в общем случае должно обеспечивать в некотором смысле оптимальную стратегию выявления и отработки месторождений полезных ископаемых. С многостадийностью поисково-разведочного процесса связана двойственность задач, решаемых на каждой стадии. Во-первых, это общая оценка данной рудной системы в целом, во-вторых, выделение из состава этой рудной системы объектов оценки на следующей стадии работ. Так например, на стадии поисково-разведочных работ, дается оценка общей рудности территории (рудного поля), и, вместе с тем, производится разбраковка рудопроявлений на потенциально промышленные и заведомо бесперспективные. На стадии предварительной разведки вторая группа рудопроявлений, в свою очередь, должна быть разделена на промышленные и непромышленные. Разделение объекта после-

дований на совокупность элементов и выделение из числа этих элементов объектов для следующих стадий работ одна из наиболее характерных особенностей всего геолого-разведочного процесса, начиная от разведочных поисков ~~и~~ и кончая сортировкой добытых руд.

Вся эта процедура ("выделение перспективных площадей", "разбраковка аномалий" и т.п.), несмотря на специфику информации, используемой на каждой стадии работ, на различные объекты и цели их разделения на группы (классы и т.п.), в основе своей имеет много общего и могут рассматриваться как различные формы одной операции, которую можно назвать операцией сортировки. В связи с этим, ^{до того как} ~~и~~ приступить к дальнейшему изложению следует, прежде всего, рассмотреть основные понятия и положения, которые необходимо учитывать при построении математической модели операции сортировки.

В геолого-разведочном деле можно выделить две широко распространенные операции, которые условно можно назвать оценкой по данным опробования и сортировкой по данным опробования. Первая операция - оценка среднего (или суммарного) значения признака (например, содержания) в некотором заданном объеме исследуемого пространства, вторая - разделение объекта на части (элементы), характеризующиеся различными значениями того или иного признака.

При проведении сортировки предполагается существование совокупности объектов (элементов сортировки), различающихся по некоторому признаку, положенному в основу сортировки. Чем неоднороднее совокупность элементов сортировки

по этому признаку (то есть чем сильнее естественная контрастность элементов сортировки), тем значительнее может быть эффект сортировки. Эффект сортировки может быть оценен: степенью различия классов ("продуктов сортировки") по сортировочному признаку. Хорошей характеристикой контрастности распределения сортировочного признака между элементами сортировки и возможной эффективности сортировки является так называемая кривая извлечения. Кривая извлечения показывает зависимость между долей элементов, составляющих класс, и долей заключенного в них сортировочного признака. Рассмотрим свойства кривой извлечения на примере разделения совокупности объемных элементов руды по значениям содержания полезного компонента в этих элементах. Если ξ_i — истинное содержание полезного компонента в объеме v_i , а ξ_δ — граничное (бортовое) содержание сортировки, то вся совокупность объемных элементов может быть разделена на два класса:

"хвосты" — объемы v_i с $\xi_i < \xi_\delta$

"концентрат" — объемы v_i с $\xi_i > \xi_\delta$

В том случае, когда все элементы характеризуются постоянным содержанием (нулевая контрастность), операции сортировки не имеет смысла, и кривая извлечения представляет собой линию равенства (рис. I)

$$\varepsilon = \gamma$$

где ε — доля полезного компонента в классе;

γ — доля класса.

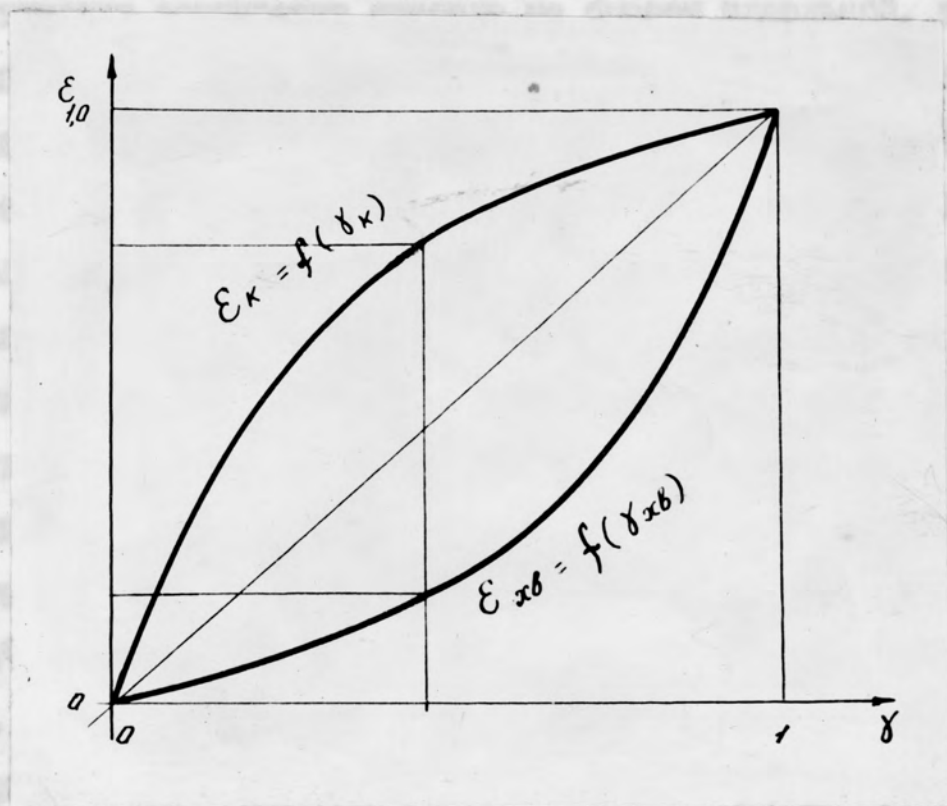


Рис.2.1. Кривая извлечения при нулевой контрастности

Если элементы характеризуются различными значениями содержаний, то кривые извлечения ($\mathcal{E}_{x\delta} = f(\delta_{x\delta})$ — для "хвостов", $\mathcal{E}_\kappa = f(\delta_\kappa)$ — для "концентрата") тем сильнее отходят от линии равенства, чем больше контрастность элементов сортировки. Сортировка, производимая по истинным значениям содержаний $\bar{f}_i$ называется идеальной.

Практически сортировка никогда не бывает идеальной, так как она проводится не по истинным значениям признака, а по их оценкам x , находящимся с истинными значениями в более или менее тесной статистической зависимости. В силу этого обстоятельства при сортировке неизбежны ошибки, которые заключаются в том, что часть элементов с содержаниями $\bar{f}_i < \bar{f}_\delta$ при сортировке по x относится к "концентрату", а часть элементов с $\bar{f}_i > \bar{f}_\delta$ — к "хвостам". Таким образом, для фактической (не идеальной) сортировки характерны неизбежные "потери" элементов с $\bar{f} > \bar{f}_\delta$ и "разубоживание" "концентрата" элементами с $\bar{f} < \bar{f}_\delta$. Эти ошибки ухудшают эффективность фактической сортировки, по сравнению с идеальной. Это ухудшение будет тем больше, чем слабее статистическая связь между основным признаком сортировки ($\bar{f}$) и признаком (x), по которому проводится фактическое разделение элементов на классы. При заданной естественной контрастности элементов сортировки параметры фактической сортировки будут приближаться к параметрам идеальной по мере увеличения тесноты связи между x и $\bar{f}$. Именно поэтому большое значение имеют исследования, направленные на выбор и конструирование информативных признаков при разборе аномалий и на разработку эффективных статистических оценок

при решении геостатистических задач.

Замечим, что при заданном уровне погрешностей оценок x теснота связи между x и $\bar{f}$ тем больше, чем больше дисперсия основного признака $\bar{f}$ (то есть чем выше естественная контрастность элементов сортировки). Так как естественная контрастность элементов сортировки, как правило, возрастает с уменьшением их объема, то эффективность сортировки в некоторых случаях может быть улучшена путем увеличения детальности исследования (и соответствующего уменьшения объема элемента сортировки).

2.2. Математическая модель сортировки при логнормальном распределении признаков

Частотные распределения различных признаков месторождений урана могут быть достаточно хорошо описаны с помощью логнормального закона распределения ^(Карлье, 1966, Матерон, 1968). Это относится, в первую очередь, к распределению объемных элементов руды (проб, сосудов, блоков) по содержанию в них полезного компонента, к распределению мощностей урановых тел и линейных запасов урана по пересечениям. Кроме того, установлено приближенно логнормальное распределение месторождений по их стоимости, по запасам извлеченных в них руд и полезных компонентов. Все это позволяет для описания естественной контрастности распределения элементов сортировки на различных стадиях геолого-разведочных работ использовать логнормальную модель распределения.

Приемлемость логнормального закона provedena также и для описания совместных распределений истинных значений при-

знаков и их оценок, получаемых в процессе поисково-разведочных работ. Это позволяет использовать логнормальную модель для описания операции фактической сортировки.

Некоторые свойства логнормального распределения

Рассмотрим некоторые свойства логнормального распределения применительно к вопросам сортировки. В качестве переменной величины возьмем содержание $\bar{f}$ полезного компонента в элементе сортировки, например, в объемном элементе руды. Заметим, что если в качестве элемента сортировки выступает рудопроизведение, то роль признака играет запас полезного компонента в нем. При этом объему (или весу) исходной горнорудной массы соответствует общее число разбраковываемых рудопроизведений.

Логнормальный закон распределения величины $\bar{f}$ полностью определяется двумя параметрами, в качестве которых часто выбирают среднее значение $\mu = E \ln \bar{f}$, и дисперсию, $\sigma^2 = D \ln \bar{f}$, логарифмов $\bar{f}$.

Тогда медианное, Me , и среднее, m , значения и коэффициент вариации, V , содержания определяются выражениями:

$$\bar{f}_{0,5} \equiv Me(\bar{f}) = \exp \mu \quad (1)$$

$$E \bar{f} \equiv m = \exp \left(\mu + \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \quad (2)$$

$$V(\bar{f}) = (\exp \sigma^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Доля совокупности, состоящая из объемных элементов с содержанием меньшим или равным заданной величине $\bar{f}_p$

определяется функцией распределения

$$F(\bar{f}_p) = \frac{1}{G\sqrt{2\pi}} \int_0^{\bar{f}_p} \frac{1}{\bar{f}} \exp\left[-\frac{(\ln \bar{f} - \mu)^2}{2G}\right] d\bar{f} \quad (4)$$

Если ввести нормированную величину

$$z = \frac{\ln \bar{f} - \mu}{G} \quad (5)$$

и обозначить символом T общий вес (объем) исходных элементов сортировки, то вес объемных элементов с содержанием, заключенными в интервале $\bar{f}_1 < \bar{f} < \bar{f}_2$, среднее содержание и количество металла в этом же интервале определяются соотношениями, ~~xxx~~:

$$T(\bar{f}_1, \bar{f}_2) = T \int_{\bar{f}_1}^{\bar{f}_2} dF(\bar{f}) = T \cdot [F(z_2) - F(z_1)] \quad (6)$$

$$m(\bar{f}_1, \bar{f}_2) = \int_{\bar{f}_1}^{\bar{f}_2} \bar{f} dF(\bar{f}) / \int_{\bar{f}_1}^{\bar{f}_2} dF(\bar{f}) = m \frac{F(z_2 - G) - F(z_1 - G)}{F(z_2) - F(z_1)} \quad (7)$$

$$Q(\bar{f}_1, \bar{f}_2) = m(\bar{f}_1, \bar{f}_2) \cdot T(\bar{f}_1, \bar{f}_2) = Q [F(z_2 - G) - F(z_1 - G)] \quad (8)$$

где $Q = mT$ — общее количество металла в исходной совокупности элементов;

а $F(u)$, где $u = z_1, z_2, z, -G$ и т.д. — значение функции распределения величины $u = N(0,1)$, то есть

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (9)$$

которое может быть найдено по таблицам, приведенным в до-

бом руководстве по теории вероятностей или математической статистике.

Выражение основных показателей идеальной сортировки через параметры распределения

Рассмотрим случай сортировки исходной совокупности элементов на два класса. В первый класс будем относить элементы сортировки, содержания в которых не превышают заданного уровня $\bar{x}_0$, во второй - остальные элементы. В реальных условиях при проведении сортировки на разных стадиях геологоразведочных работ к первому классу могут быть отнесены непромышленные рудопроизведения, блоки некондиционных руд, сосуды и отдельные куски отбитой горнорудной массы, содержание полезного компонента в которых ниже принятого бортового. В практике обогащения отбитых руд для обозначения первого класса часто используют термин "хвосты", для обозначения второго класса - "концентрат". Сознвая неудачность этих терминов в общем случае, мы за неимением лучших сохраним их пока для обозначения классов сортировки на всех стадиях геолого-разведочного процесса.

Все показатели идеальной сортировки являются функциями параметров логнормального распределения, μ и σ^2 , и граничного содержания, $\bar{x}_p$, или нормированного граничного содержания z_p , связанного с $\bar{x}_p$ соотношением (5).

Характеристики "концентрата" (доля исходной совокупности, попавшая в концентрат, или "выход концентрата", δ_k , доля полезного компонента в концентрате, ϵ_k , и среднее содержание полезного компонента в нем, β_k) могут быть

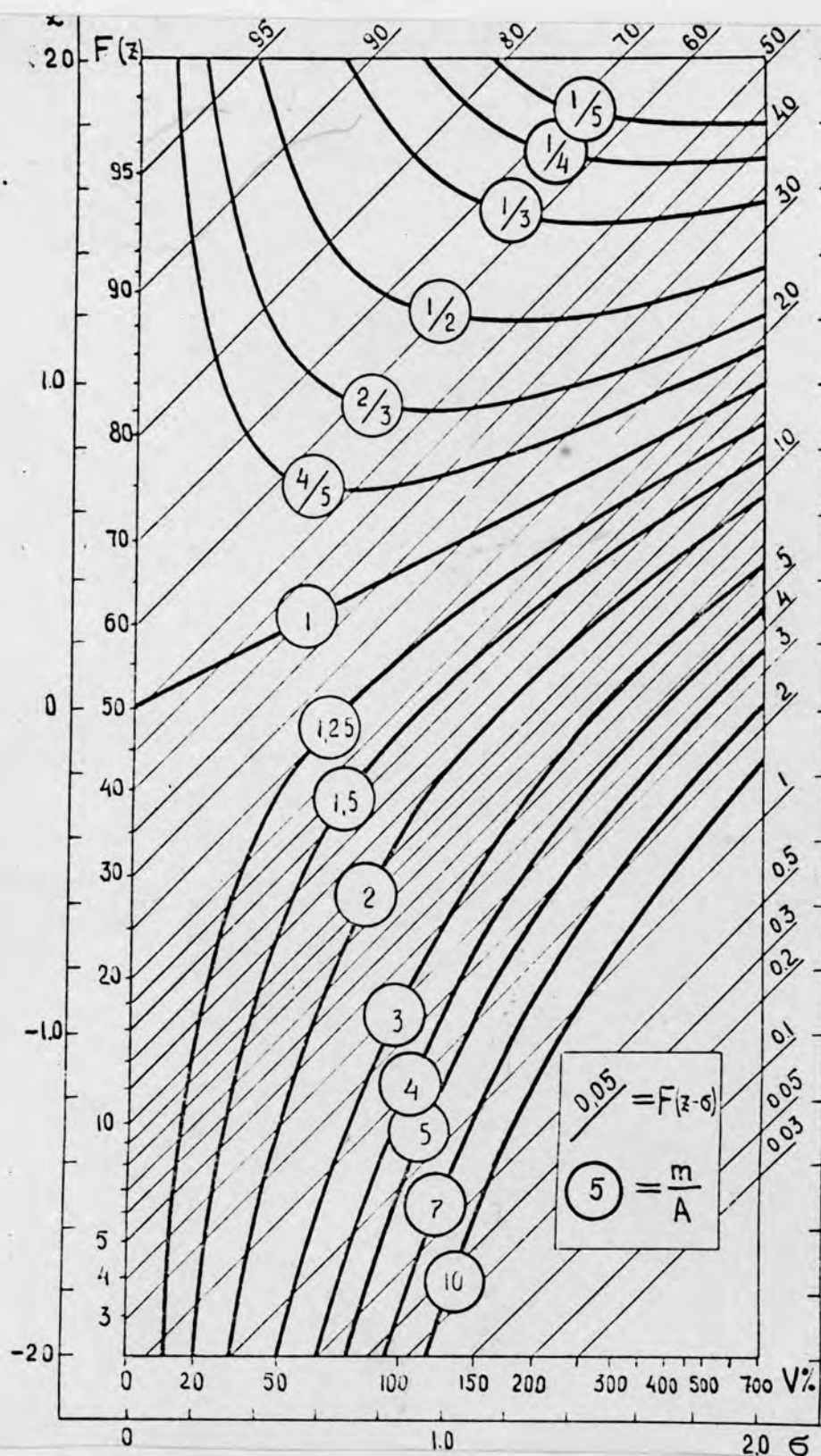


Рис. 22. Взаимоотношения между средним содержанием полезного компонента в исходной руде, L , уровнем разделения $\bar{F}_B$, выходом класса элементов сортировки с содержанием $\bar{F} < \bar{F}_0$ и извлечением металла в этот класс

получены с помощью формул (6) - (8) при подстановке в них значений

$$\bar{z}_1 = \bar{z}_\delta \text{ и } \bar{z}_2 = \infty$$

Имеем:

$$\gamma_K = T(\bar{z}_p, \infty) / T = 1 - F(z_p) \quad (10)$$

$$\varepsilon_K = Q(\bar{z}_p, \infty) / Q = 1 - F(z_p - b) = 1 - F(z_q) \quad (11)$$

$$\beta_K = m(\bar{z}_p, \infty) = m \frac{1 - F(z_p - b)}{1 - F(z_p)} \quad (12)$$

Соответственно для аналогичных характеристик хвостов:

$$\gamma_{xb} = 1 - \gamma_K = F(z_p) \quad (13)$$

$$\varepsilon_{xp} = 1 - \varepsilon_K = F(z_p - b) \quad (14)$$

$$\beta_{xb} = m(0, \bar{z}_\delta) = m \frac{F(z_p - b)}{F(z_p)} \quad (15)$$

Взаимосоотношение между средним содержанием полезного компонента в исходной руде, α , уровнем разделения, $\bar{z}_p$, выходом класса элементов сортировки с содержаниями $\bar{z} < \bar{z}_\delta$ и извлечением металла в этот класс представлено на рис. 2. в виде номограммы. При пользовании номограммой необходимо ~~///~~:

I. Из точки шкалы абсцисс, соответствующей заданному значению $b(\ln \bar{z})$ или $V(\bar{z})$, провести вертикаль до пересечения с линией, отвечающей отношению, $m/\bar{z}_\delta$.

среднего содержания в логнормальной совокупности, $\bar{z}$, к уровню разделения (бортовому содержанию) $\bar{z}_p$.

2. По ординате точки пересечения, определить величину z_δ (по шкале z) и $F(z_\delta) = \delta x b$ (по шкале $\delta x b$).

3. По индексу диагонали, проходящей через точку пересечения, определить значение $\varepsilon x b = F(z_\delta - b)$. Это же значение может быть считано в точке пересечения диагонали с осью ординат.

Пример: заданным величинам $b(\ln \bar{z}) = 1,15$, $m = 0,19$ и $\bar{z}_\delta = 0,03$ соответствуют $m/\bar{z}_\delta = 6,33$; $100 \delta = 15\%$ и $100 \varepsilon x b = 1,4\%$.

Некоторые свойства корреляции логнормальных величин и показатели фактической сортировки

Как правило сортировка не является идеальной, так как проводится не по истинным значениям признака $\bar{z}$, положенного в основу разделения элементов на классы, а по некоторому признаку x , находящемуся в более или менее тесной статистической зависимости с $\bar{z}$. В качестве признака x может выступать результат измерения (оценка) основного или косвенного признака, корреляционно связанного с основным.

Рассмотрим модель статистической связи в случае, когда переменные $\bar{z}$ и x характеризуются совместным логнормальным распределением.

Коэффициентом логнормальной корреляции переменных $\bar{z}$ и x назовем коэффициент линейной корреляции их лог-

рифмов, то есть

$$\rho_{\ln x \ln z} = \frac{\text{cov}(\ln x \ln z)}{\sigma(\ln z) \sigma(\ln x)}, \quad (16)$$

где $\text{cov}(\ln x \ln z)$ - ковариация величин $\ln x$ и $\ln z$,
 $\sigma(\ln x)$ и $\sigma(\ln z)$ - их стандартные отклонения.

Условное среднее значение $m_{z/x}$ величины z при фиксированном x определяется уравнением регрессии z на x (Матерон, 1968).

$$m_{z/x} = m_z \left(\frac{x}{m_x} \right)^\beta e^{\frac{1-\beta}{2} \text{cov}(\ln x \ln z)} \quad (17)$$

где m_z и m_x - средние значения z и x ,

$$\beta = \rho_{\ln x \ln z} \frac{\sigma(\ln z)}{\sigma(\ln x)} = \frac{\text{cov}(\ln x \ln z)}{\sigma^2(\ln x)}$$

Если от исходной совокупности отобрана часть элементов сортировки по признаку $x_1 < x < x_2$, то доля отобранных элементов определится, как и ранее, формулой

$$T(x_1, x_2) = T[F(z_2) - F(z_1)], \quad (18)$$

где $z_i = \frac{\ln x_i - \mu(\ln x)}{\sigma(\ln x)}$

Среднее содержание и доли запасов металла z в этой части руды определяются соответственно формулами (Матерон, 1968)

$$m_z(x_1, x_2) = m_z \frac{F[z_2 - \rho \sigma(\ln z)] - F[z_1 - \rho \sigma(\ln z)]}{F(z_2) - F(z_1)} \quad (19)$$

$$Q_{\bar{x}}(x_1, x_2) = Q \cdot \{F[z_2 - \rho\sigma(\ln \bar{x})] - F[z_1 - \rho\sigma(\ln \bar{x})]\}, \quad (20)$$

где $\rho = \rho \ln \bar{x} \ln x$ - коэффициент логнормальной корреляции величин x и $\bar{x}$.

Как следует из приведенных выше формул, показатели фактической (неидеальной) сортировки определяются параметрами совместного распределения основного признака сортировки и его оценки и, в частности, зависят от степени их взаимосвязи.

Характеристики "концентрата", то есть доли исходной совокупности элементов, отобранных по признаку $x > x_g$, определяются следующими выражениями:

для выхода "концентрата"

$$\gamma_k = T(x_p, \infty) / T = 1 - F(z_p), \quad (21)$$

для доли полезного компонента в "концентрате"

$$\varepsilon_k = Q_{\bar{x}}(x_p, \infty) / Q = 1 - F[z_p - \rho\sigma(\ln \bar{x})] = 1 - F(z_g') \quad (22)$$

для среднего содержания полезного компонента в концентрате

$$\beta_k = m_{\bar{x}}(x_p, \infty) = m_{\bar{x}} \frac{1 - F(z_p - \rho\sigma(\ln \bar{x}))}{1 - F(z_p)} \quad (23)$$

где
$$z_p = \frac{\ln x_p - \mu(\ln x)}{\sigma(\ln x)}$$

Для аналогичных характеристик "хвостов" соответственно имеем:

$$\gamma_{xb} = 1 - \gamma_k = F(z_p), \quad (24)$$

$$\varepsilon_{xb} = 1 - \gamma_k = F[z_p - \rho \sigma(\ln \bar{x})] = F(z_q), \quad (25)$$

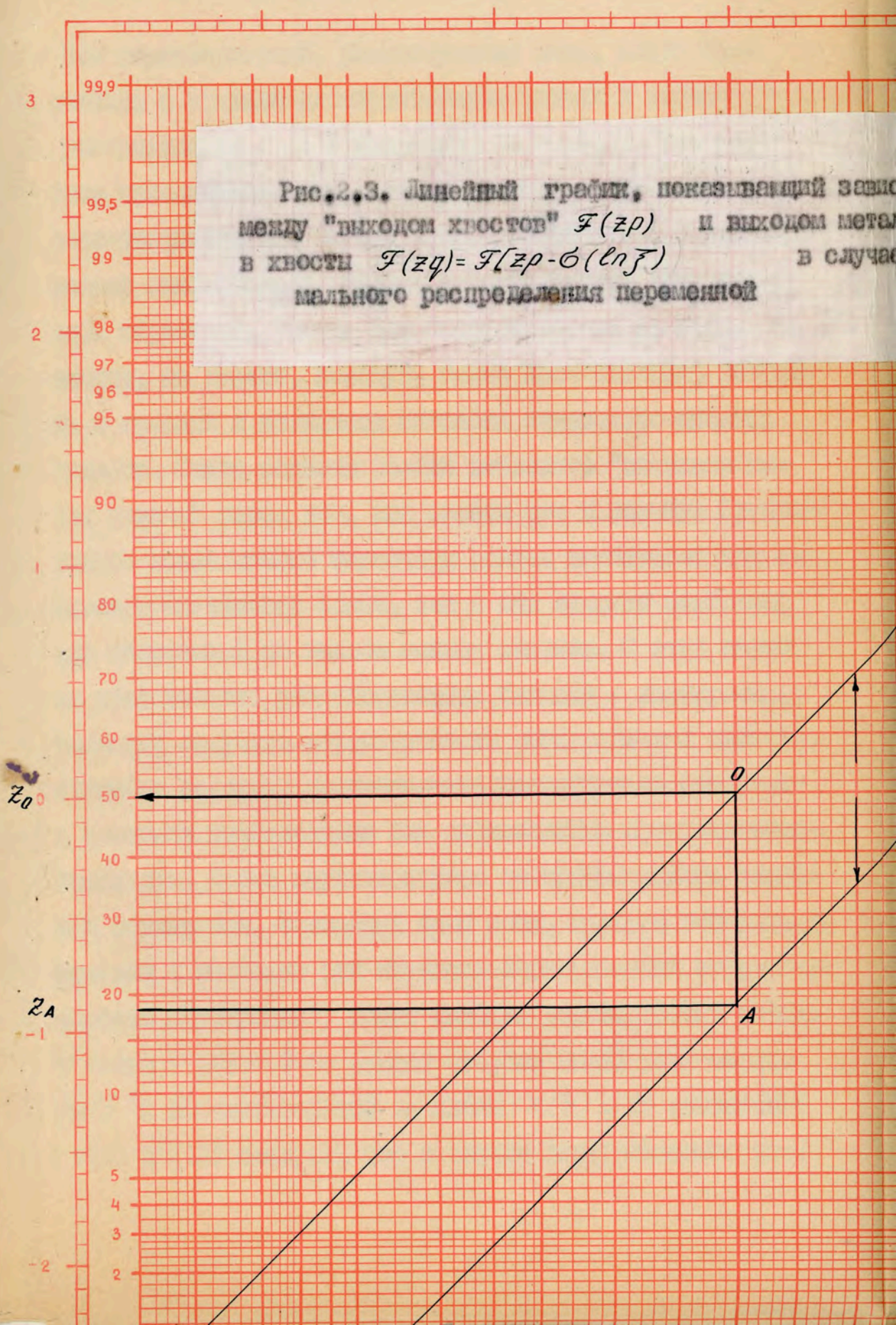
$$\beta_{xb} = m_{\bar{x}}(0, x_p) = m_{\bar{x}} \frac{1 - F[z_p - \rho \sigma(\ln \bar{x})]}{1 - F(z_p)} \quad (26)$$

Легко увидеть, что формулы (10) - (15), полученные ранее для случая идеальной сортировки, являются частными вариантами формул (21) - (26), когда $x = \bar{x}$ и соответственно $\rho = \rho \ln \bar{x} \ln x = 1$.

Как следует из полученных выше выражений для различных показателей сортировки, эффективность фактической сортировки определяется "естественной контрастностью" элементов сортировки по основному признаку (измеряемой величиной $\sigma(\ln \bar{x})$) и теснотой связи между основным признаком и его оценкой, по величине которой принимается решение об отнесении элемента сортировки к тому или другому классу.

Действительно, если естественная контрастность мала, то доля полезного компонента отнесенного к классу сортировки незначительно отличается от доли этого класса по отношению к исходной совокупности. С другой стороны, если оценка x является малоинформативной по отношению к основному признаку $\bar{x}$, то эффективность сортировки может быть незначительной даже при большой естественной контрастности.

Рис. 2.3. Линейный график, показывающий зависимость между "выходом хвостов" $F(z_p)$ и выходом металла в хвосты $F(z_q) = F[z_p - \sigma(\ln \bar{f})]$ в случае нормального распределения переменной



и, показывающий зависимость
 $z\rho)$ и выходом металла
 $\eta_j)$ в случае логнор-
переменной

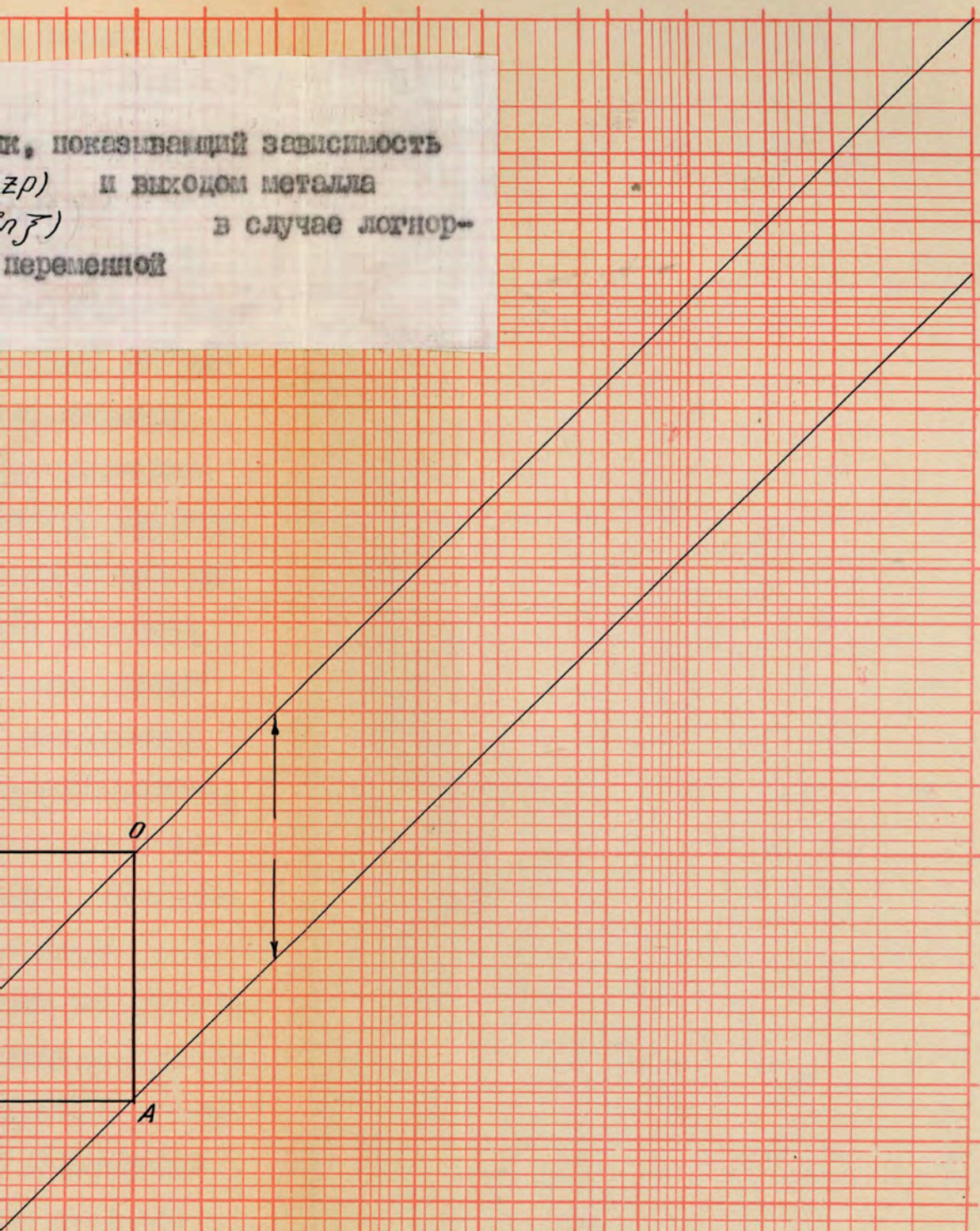
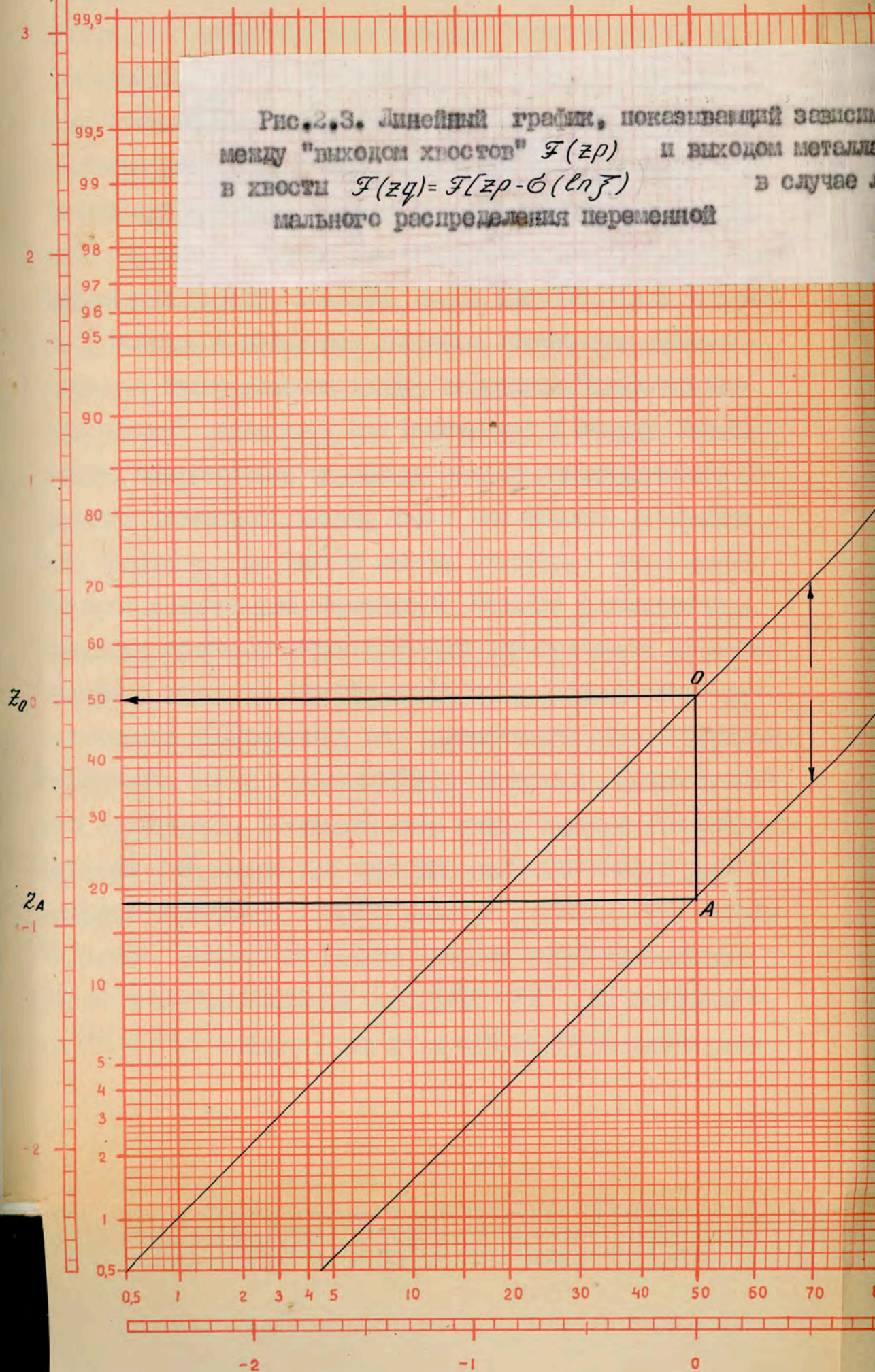
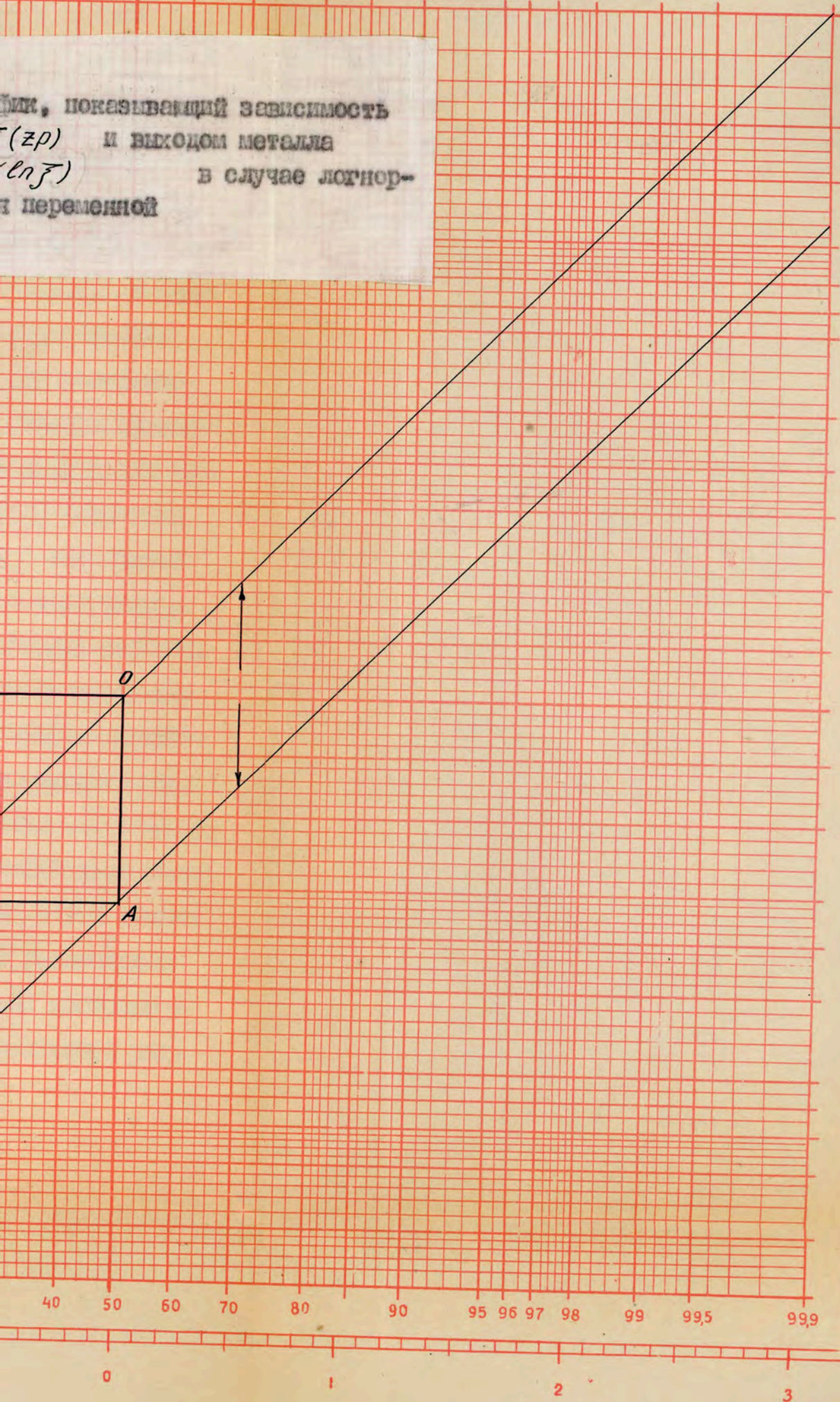


Рис. 2.3. Линейный график, показывающий зависимость между "выходом хвостов" $F(z_p)$ и выходом металла в хвосты $F(z_q) = F[z_p - 6(\ln 5)]$ в случае нормального распределения переменной



график, показывающий зависимость
 $\gamma(z\rho)$ и выходом металла
 $(\ln \bar{\gamma})$ в случае логнор-
 мальной переменной



Графические способы представления и оценки характеристик логнормального распределения

Все характеристики, рассмотренные выше, могут быть рассчитаны с помощью соответствующих формул и таблиц функции распределения $F(u)$ величины $u = V(0,1)$. Все более широкое привлечение вычислительных машин к обработке геолого-геофизических данных и их статистическому анализу позволяет использовать строгие и сколь угодно трудоемкие способы обработки. Однако это обстоятельство не только не уменьшает, но делает, пожалуй, более настоятельной потребностью в простых и наглядных способах первичного анализа материалов. Такие способы должны позволить "покупать материал руками" перед тем, как ввести его в машину. Предварительное исследование первичных данных необходимо как для правильной постановки задач, так и для лучшего понимания смысла полученных на выходе машины ответов. С этой целью можно использовать ряд специальных бланков и номограмм, позволяющих получить характеристики логнормальных величин, практически исключив необходимость пользоваться сколь-нибудь сложными вычислениями или специальными статистическими таблицами. Кроме вероятностного логарифмического трафлета и номограммы, описанной нами выше, широкое возможности применения (особенно при изучении логнормальной корреляции и вопросов сортировки) имеет двойной вероятностный бланк. Этот бланк (рис. 3) по каждой стороне имеет равномерные шкалы z и соответствующие им шкалы $F(z)$. Из соотношений (10) и (12) следует, что в случае логнормального рас-

предела переменной зависимости между "выходом хвостов", $F(z_p)$, и "выходом металла в хвосты", $F(z_q) = F[z_p - 5(\ln \bar{z})]$ выражается линейным графиком

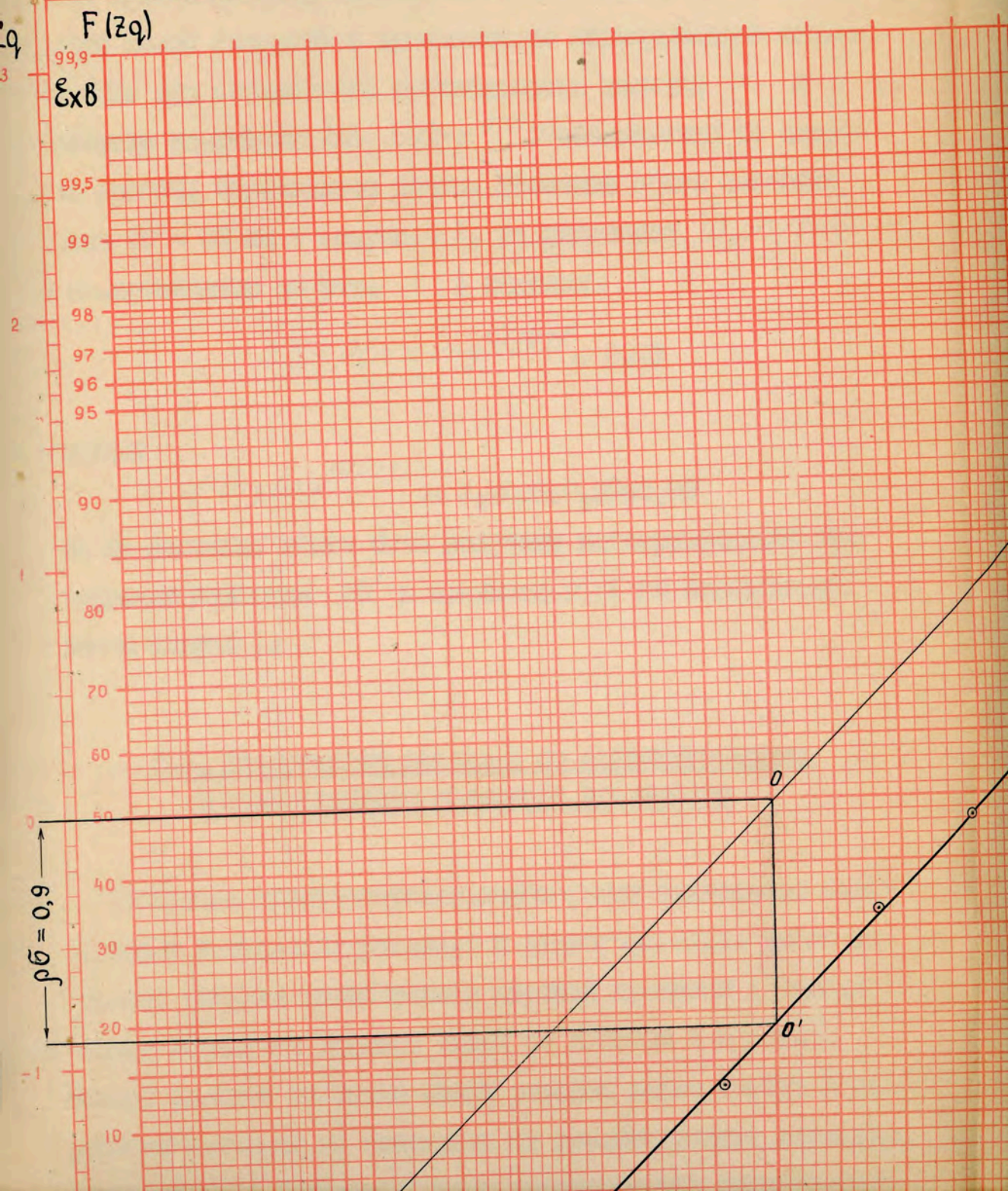
$$z_q = z_p - 5(\ln \bar{z}) \quad (30)$$

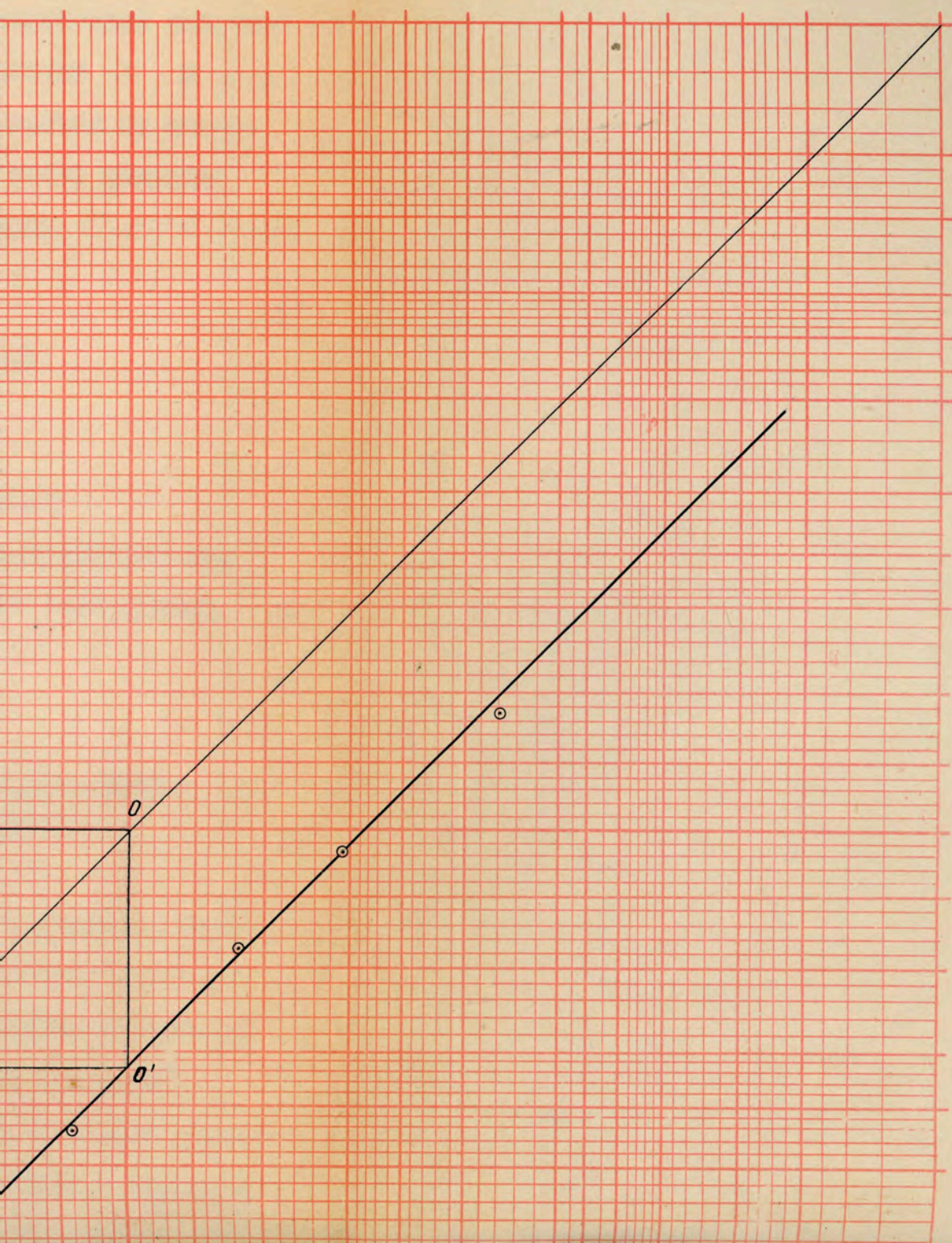
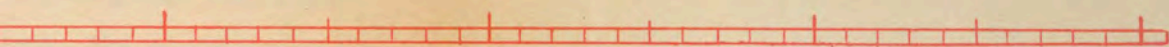
где $z_e (e = p, q)$ определяется соотношением $e = F(z_e)$. Этот график располагается параллельно диагонали (ниже ее), а смещение его по вертикали относительно диагонали (измеренное в единицах z) равно $5(\ln \bar{z})$ х). Зависимость "выхода концентрата" от "выхода металла в концентрат" выражается на этом бланке аналогичной прямой, но расположенной выше диагонали.

Пример: На рис. 3 построены графики зависимости ϵ_{xv} от γ_{xv} (кривая 1) и ϵ_K от γ_K (кривая 2) при идеальной сортировке для случая, когда значения $\bar{z}$ распределены логнормально с дисперсией $5^2(\ln \bar{z})^2 = 1$. В частности, кривые извлечения показывают, что если при сортировке данная совокупность делится на два равных по объему класса, то в первом классе (в "хвостах") будет заключено %, а во втором (в "концентрате") - % исходных запасов металла.

Этот же бланк удобно использовать для оценки характеристик совместного логнормального распределения переменных. В частности, при фактической сортировке по x эффективность

х) При построении шкал бланка удобно использовать масштаб $1/z = \frac{10}{\ln 10} = 4,34$ см. Тогда это смещение, измеренное в сантиметрах равно $10 (\ln \bar{z})$.





z_q $F(z_q)$

99,9

ξ_{XB}

99,5

99

98

97

96

95

90

80

70

60

50

40

30

20

10

5

4

3

2

1

0,5

0,5

1

2

3

4

10

20

30

40

50

60

70

80

-2

-1

0

$\rho\sigma = 0,9$

0

0'

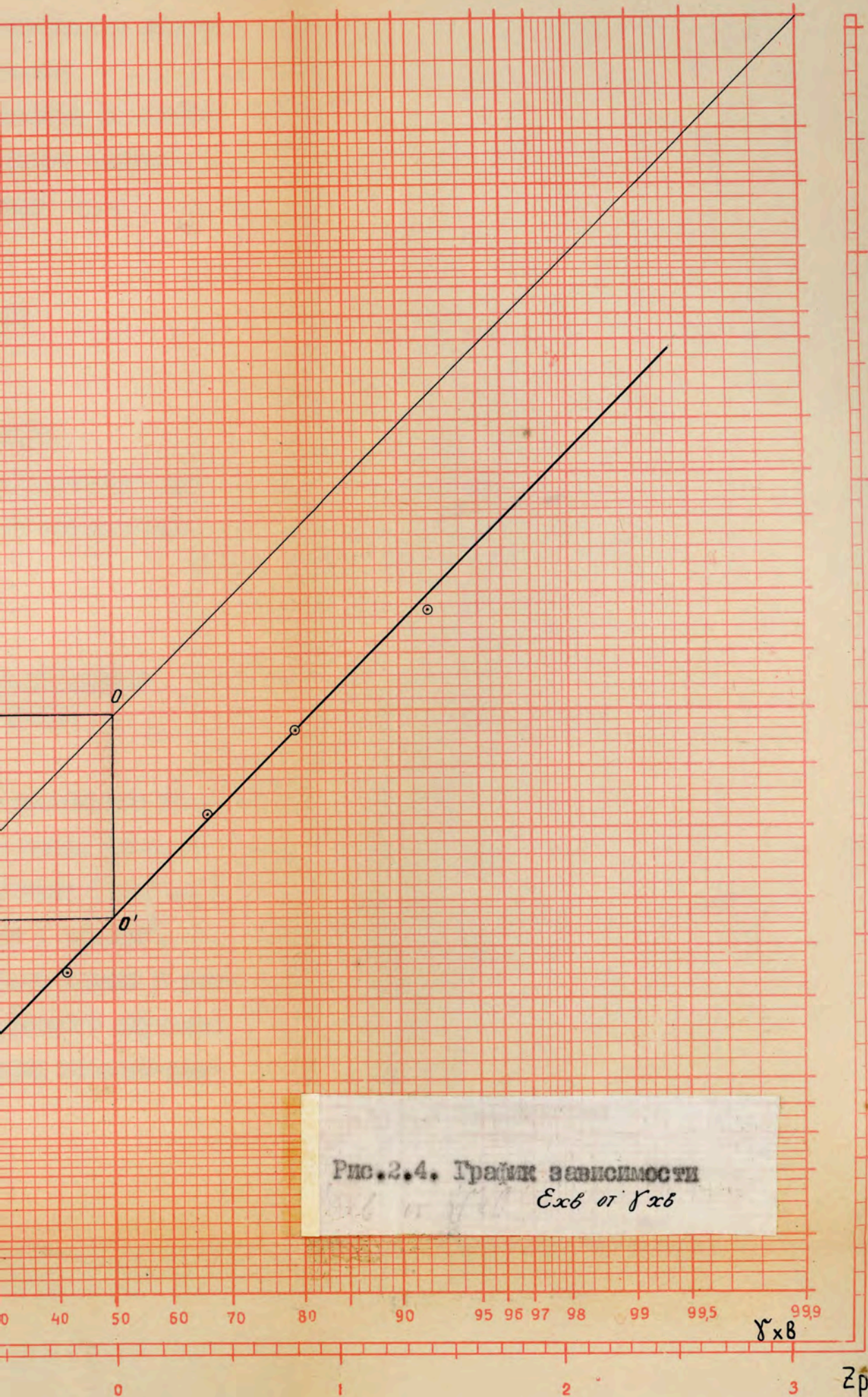


Рис.2.4. График зависимости
 ϵ_{x6} от γ_{x6}

$\varepsilon_{x\bar{x}}$ от $\sqrt{x\bar{x}}$ (см. табл. I столбцы 3 и 5), построенные на двойном вероятностном бланке (рис. 4), хорошо осредняются прямой линией, параллельной диагонали. На основании этого можно говорить о приемлемости логнормальной аппроксимации для совместного распределения величин x и $\bar{x}$. Значение параметра $\rho \ln x \ln \bar{x}^{\sigma(\ln \bar{x})}$ оценивается по смещению прямой, осредняющей точки. Величина этого смещения равна $00' - 39$ см (см. рис. 4). Из равенства $10 \rho \sigma(\ln \bar{x}) = 3.9$ (см. примечание на стр.) находим

$$\rho \ln x \ln \bar{x}^{\sigma(\ln \bar{x})} = 0,39$$

Отсюда:

$$\rho \ln \bar{x} \ln x^{\sigma(\ln \bar{x})} = 2,3026 \cdot 0,39 = 0,90$$

Это же значение может быть получено непосредственно при измерении смещения $00'$ в единицах z (по обрамляющим шкалам бланка).

2.3. Разбраковка аномалий по ориентировочным оценкам запасов полезного компонента

На стадии поисково-разведочных работ выявляется большое число аномальных участков и рудопроявлений. Число их в разных районах колеблется в широких пределах (табл. 2) и может достигать десятка тысяч на площади I млн. км². Поэтому большое значение имеет решение задач оценки и разбраковки аномалий на основании их геологического изучения без проведения большого объема дорогостоящих геолого-разведочных работ.

Таблица 2

Число аномалий, выявляемых на площади I млн. кв. км.
(Дралик, 1964)

Страна	Число аномалий	Автор
Конго-Катанга	11500	Рейнтвене
Франция	750-1500	Блондель
Сев.Алжир	10000	Бурегард
В среднем	2000-3000	-"-

В классической схеме на стадии поисково-разведочных работ отбраковываются те рудопоявления, которые могут быть отнесены к рудопоявлениям непромышленного типа на основании их геологического изучения без проведения работ по подсчету запасов. Те же рудопоявления, которые относятся к благоприятным промышленно-генетическим типам и, следовательно, могут быть в последующем объектами промышленной разработки, должны передаваться для проведения работ следующей стадии - предварительной разведки. При этом опыт показал, что лишь незначительная часть рудопоявлений, относящихся к потенциально промышленному типу, в действительности содержит запасы, соответствующие промышленным условиям и отвечающие условиям их рентабельной отработки. До последнего времени задача оценки масштабов оруденения и выяснения возможной рентабельности месторождения решалась на стадии предварительной разведки с привлечением иногда значительных объемов буровых и даже горных работ. Таким образом, большие средства затрачивались на изучение в ко-

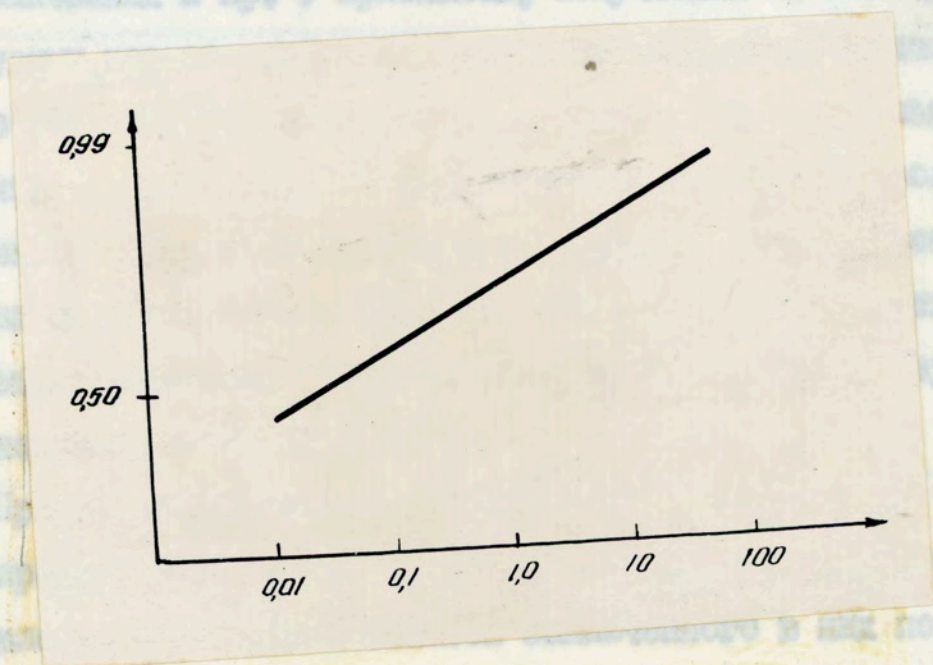


Рис.2.5. Эмпирический график функции частотного распределения продуктивности 285 рудников района Лейзен

очисл счета пустых аномалий. В этой связи представляют-
ся весьма интересными попытки решения задачи, постановка
которой стала возможной в последнее время в связи с внедре-
нием ЭВМ. Содержание задачи - оценка масштабов оруденения
(прогнозная оценка порядка величины запасов месторожде-
ния (на основании комплекса косвенных (геологических ,
геохимических и пр.) признаков, полученных по малому чис-
лу рудных пересечений (и даже по единичным скважинам)).
Можно показать, что, несмотря на весьма приблизительный
характер таких оценок, в некоторых случаях они позволят
весьма эффективно производить разбраковку аномалий еще на
стадии поисково-разведочных работ и тем самым существенно
уменьшить непроизводительные расходы на детальное изуче-
ние неперспективных аномалий.

Произведем ориентировочную оценку эффективности такой
сортировки. О характере и степени неоднородности рудо-
проявлений по величине запасов заключенного в них полезно-
го компонента можно судить по данным о стоимости месторож-
дений, приведенным в работах Алле /1956/ и Сликтера /1960/.
За среднюю стоимость месторождения (в недрах) они приня-
ли утроенную стоимость его годовой добычи. По данным Алле,
распределения месторождений по их стоимости (и, соответ-
ственно, запасам) подчиняется логнормальному закону и
характеризуется очень большими значениями дисперсий
(табл.3). На рис.5 показан эмпирический график функции
частотного распределения продуктивности 285 рудников рай-
она Бейзен энд Рейндж (США). Как видно, эмпирические
точки хорошо осредняются прямой линией, что свидетельствует

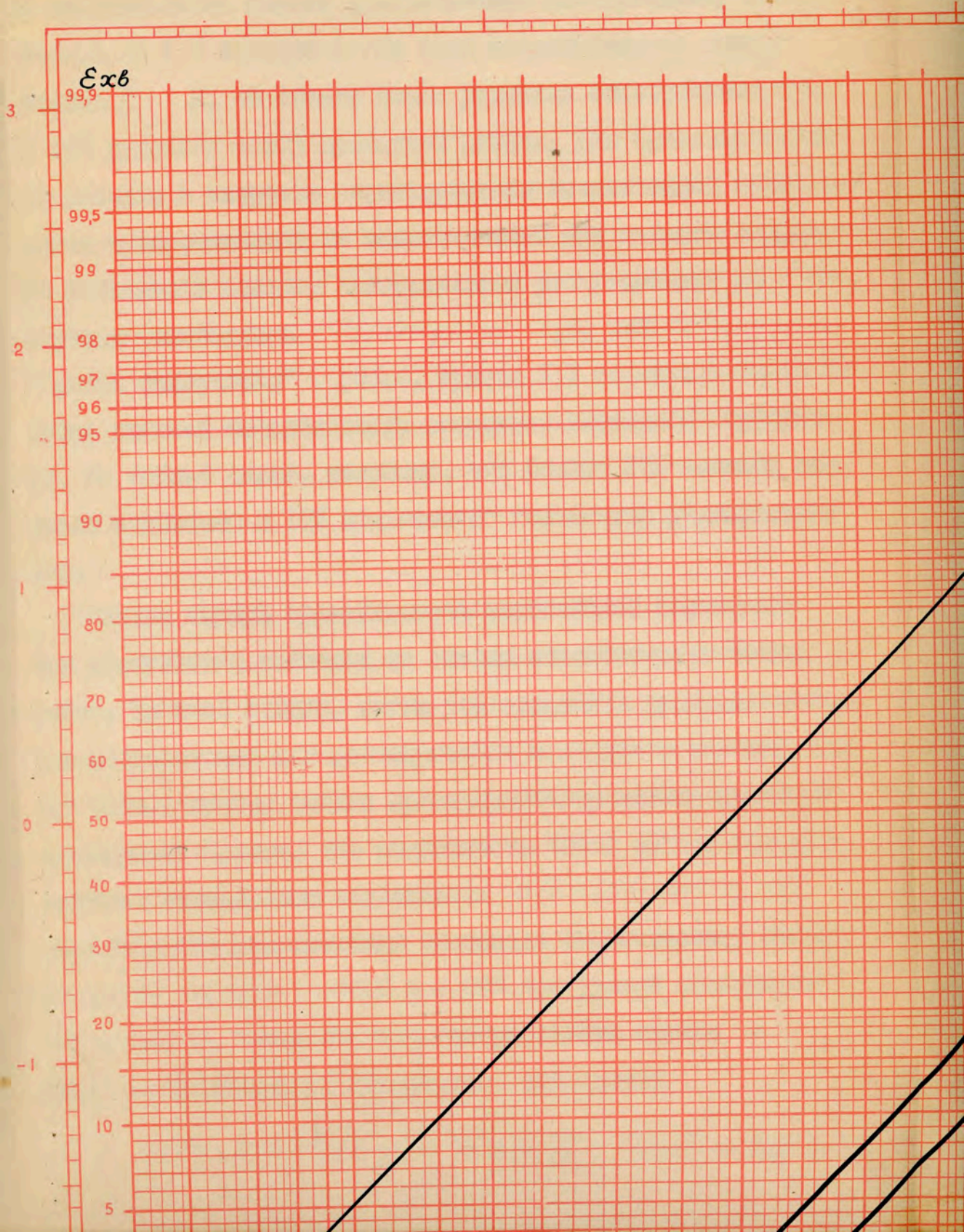
Таблица 3

Параметры логнормальных распределений
месторождений по их стоимости^{х)}

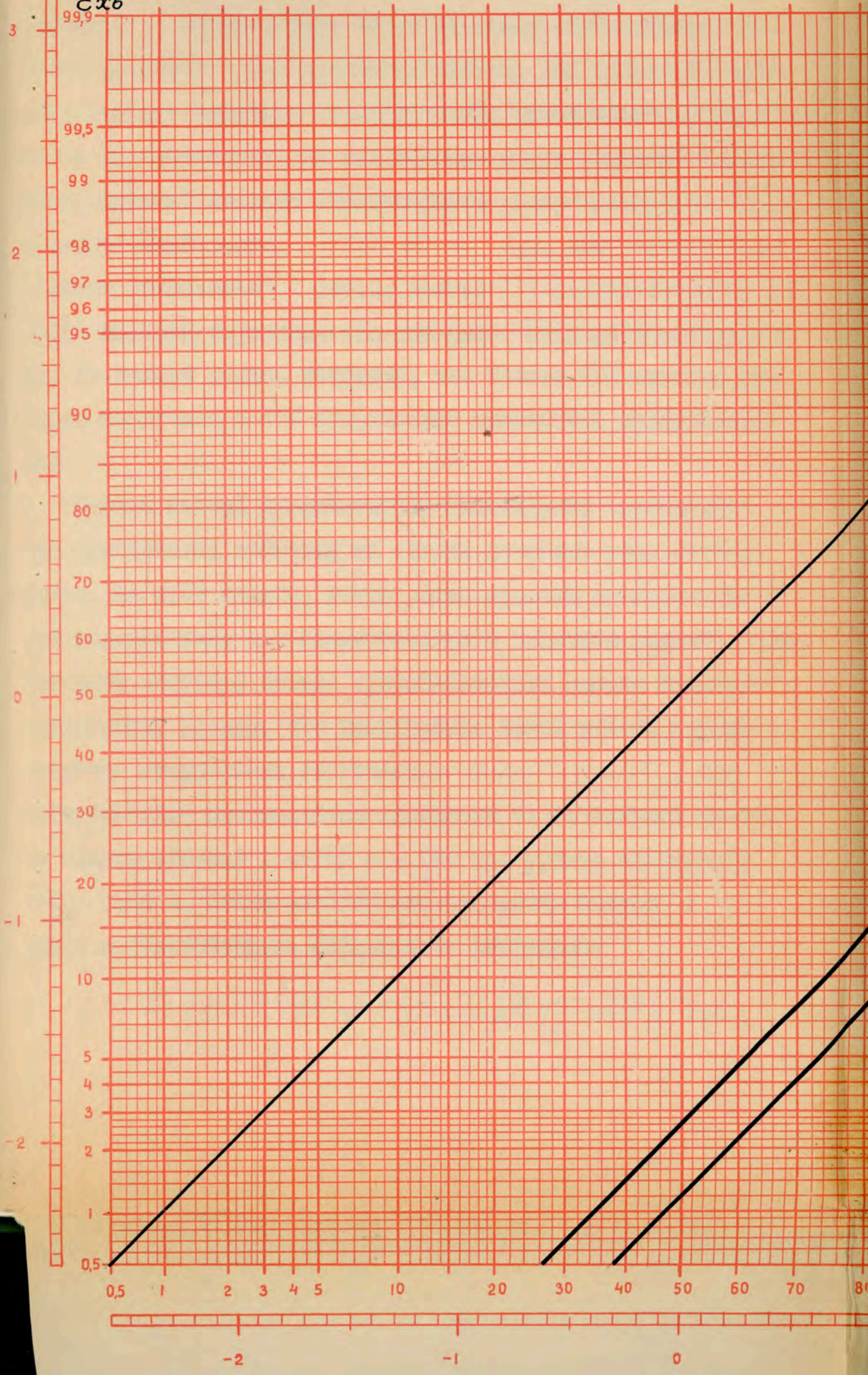
Страна	Количество изученных месторож- дений	Медiana, $\mu(\ln \bar{x})$	Среднее квадра- тическое откло- нение	
			$\sigma(\ln \bar{x})$	$\sigma(\lg \bar{x})$
✓ Франция, ИИИИИИ	86	0,075	2,57	1,1
✓ Сев. Африка, ИИИИИИ	125	0,067	2,15	0,9
Зап. Америка	285	0,016	3,62	1,55
США	440	0,250	2,46	1,06
По всему миру	539	0,50	2,95	1,28

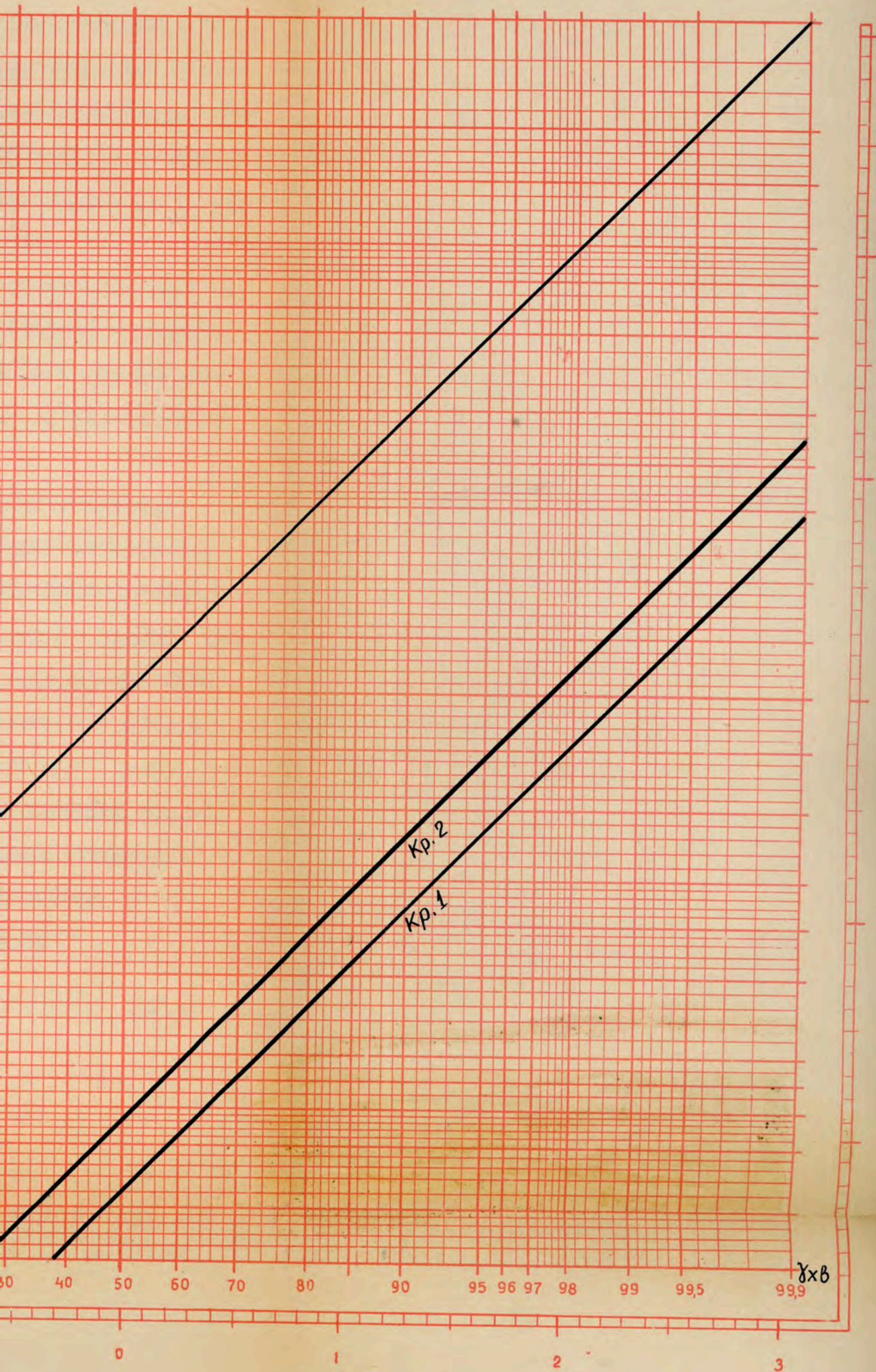
х) Примечание. Стоимость месторождений выражена
в миллиардах франков

Exb



Ex 6





о хорошем согласии эмпирических данных с предположением о логнормальном законе распределения месторождений по их стоимости (и запасам). На этой территории, по данным Нолана χ^2 , 4% общего числа рудников обеспечивают 80%, а 16% рудников - 97% суммарной добычи. Для ориентировочного расчета в качестве характеристики естественной контрастности рудопроявлений по заключенным в них запасам полезного компонента возьмем логнормальное распределение со стандартным отклонением $\sigma(\ln \bar{z}) = 2,3$, или $\sigma(\lg \bar{z}) = 1$. "Кривая извлечения" (рис.6, кривая I) свидетельствует об очень высокой эффективности возможной идеальной сортировки. Из табл.4 видно, например, что больше 80% запасов металла заключено в 10% выявленного количества рудопроявлений.

Оценим теперь эффективность фактической сортировки при разбраковке аномалий на стадии поисково-разведочных работ. На этой стадии, когда разведанность рудопроявления еще недостаточна для геометризации и подсчета запасов, может быть получена только ориентировочная оценка масштаба оруденения. Примем, что погрешность такой оценки характеризуется стандартным отклонением $\sigma(\Delta x \ln \bar{z}) = 0,7$, что соответствует максимальным значениям относительной ошибки до одного порядка (+960% и - 90% при уровне значимости $I-P = 0,05$). Таким образом контрастности оценок x будет соответствовать стандартное отклонение

$$\sigma(\ln x) = \sqrt{\sigma^2(\ln \bar{z}) + \sigma^2(\Delta x \ln \bar{z})} = \sqrt{1 + 0,49} = 1,2 ,$$

Таблица 4

$$b(\log 3)(x) = \frac{b'(\log 3)}{b(\log 3)} = \frac{1}{1.2} = 0.83$$

74	5	26	95	40	95
84	10	16	90	26	90
92	20	8	80	15	80
96	30	4	70	8	70

а эффективной контрастности запасов $\bar{z}$ при сортировке по оценкам x стандартное отклонение

$$\sigma(\lg \bar{z}(x)) = \rho \ln x \ln \bar{z} \sigma(\lg \bar{z})$$

или, с учетом формулы (29),

$$\sigma(\lg \bar{z}(x)) = \frac{\sigma^2(\lg \bar{z})}{\sigma(\lg x)} = \frac{1}{1.2} \approx 0.83$$

"Кривая извлечения" при фактической сортировке, построенная по найденному значению $\rho \sigma(\lg \bar{z})$ (см.рис.6, кривая 2), свидетельствует об уменьшении эффективности фактической сортировки, по сравнению с идеальной. Так например, если при идеальной сортировке, отбраковка 74% аномалий приводит к потере 5% суммарных запасов, то при фактической сортировке в рассматриваемых условиях потери запасов при той же доле забракованных аномалий возрастают вдвое. Однако, несмотря на это, эффективность остается все же довольно высокой. Даже столь неточная (фактически полуколичественная) оценка масштабов оруденения, характеризующая запасы с точностью до порядка их величины, позволяет отбраковать значительную долю бесперспективных в промышленном отношении аномалий при весьма умеренных потерях возможных запасов полезного ископаемого (см.табл.4 *, два последние столбца).

Полученные результаты подчеркивают большую практическую важность исследований, направленных на разработку методов оценки масштабов оруденения по анализу геолого-геохимической и др.косвенной информации на стадии поисково-разведочных работ.

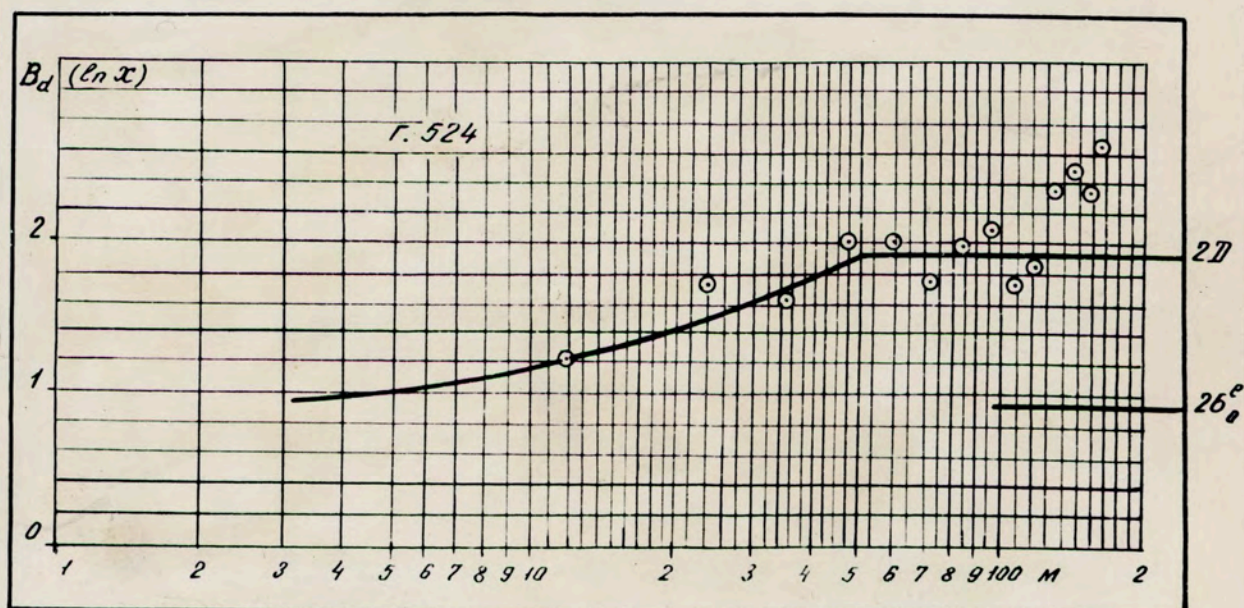
2.4. Детальность разведочной сети и эффективность подземной сортировки

Подземная сортировка, или сортировка на месте залегания, состоит в исключении из общего объема месторождения отдельных его частей (например, блоков) с непромысленными запасами полезного ископаемого, отработка которых экономически неоправдана. Вопросы подземной сортировки рассматривались в связи с проблемой предсказания результатов эксплуатации месторождений / Карлье, 1966, Формери 1958/. При этом основное внимание уделялось оценке естественной контрастности элементов селекции и изучению зависимости естественной контрастности от размеров этих элементов. В то же время, как было показано выше, эффективность реальной сортировки определяется не только естественной контрастностью элементов селекции в пределах месторождения, но и точностью оценки истинного значения содержания (запаса) полезного компонента в отдельном блоке по данным разведки. Это позволяет подойти к анализу детальности разведочной сети с точки зрения обеспечения эффективной подземной сортировки при заданном (обусловленном системой отработки) размере блока селекции.

Для примера проиллюстрируем подобный подход на материалах, полученных при разведке одного из горизонтов уранового месторождения.

На стадии предварительной разведки горизонта продуктивная зона месторождения была вскрыта на всю мощность с интервалом между пересечениями, равным 12,5 м. Методом

разрешения сети (до интервала между пороговыми, равного 200 м) была определена погрешность оценки запасов по рудной сети при угле разрезов сети от 25 до 200 м (оценка по сети 12,5 м принималась за базисную, а ее ошибка, соответственно, этим методом не определялась). Результаты определения точности оценки и дисперсионные функции остаточных погрешностей, рассчитанные для по-



$$\sigma_0^2(\ln \gamma) = 0,25; \quad C = 0,30; \quad \alpha = 250 \text{ м,}$$

где $\sigma_0^2(\ln \gamma)$ — дисперсия ошибки оценки (дисперсия случайной компоненты вариационности);

C — дисперсия перехода (вариационности остаточной дисперсии вариационности вариационности);

Рис. 2.7. Вариограмма линейных запасов одного из месторождений урана. Сплошной линией показана теоретическая вариограмма

разрезания сети (до интервала между пересечениями, равного 200 м) была оценена погрешность оценки запасов по рудной зоне при шаге разведочной сети от 25 до 200 м (оценка по сети 12,5 м принималась за исходную , и ее ошибка, соответственно, этим методом не определялась). Результаты определения точности оценок и доверительные границы относительных погрешностей, рассчитанные для доверительной вероятности $P=0,8$, представлены в табл.5. По данным разведки были также рассчитаны эмпирические вариограммы содержаний, рудных мощностей и линейных запасов в пределах горизонта. Для анализа точности и детальности проведенной разведки воспользуемся вариограммой линейных запасов (рис. 7). В качестве теоретической модели эмпирической вариограммы была принята вариограмма транзитивного типа, соответствующая сферической модели изменчивости пространственной переменной ^(Матерон, 1968) ~~XXX~~. По эмпирическим данным были получены следующие оценки параметров теоретической вариограммы:

$$\sigma_0^2(\ln \bar{z}) = 0,25; \quad C = 0,30; \quad \alpha = 250 \text{ м},$$

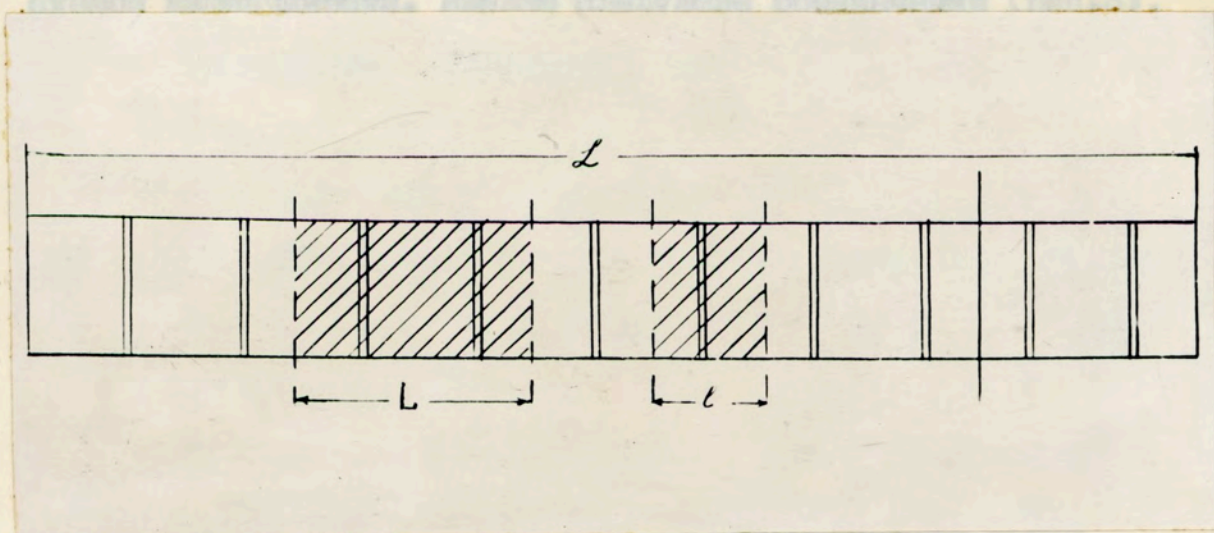
где $\sigma_0^2(\ln \bar{z})$ — амплитуда эффекта самородков (дисперсия случайной компоненты изменчивости);

C — амплитуда перехода (асимптотическое значение дисперсии закономерной составляющей изменчивости);

α — носитель перехода (расстояние, на котором дисперсия закономерной составляющей достигает своего асимптотического значения).

Теоретическая вариограмма, построенная по этим параметрам, показана на рис.7 сплошной линией. Для того, чтобы убедиться в применимости принятой теоретической модели изменчивости, произведен по параметрам теоретической модели расчет ошибок оценки запасов в пределах горизонта и сопоставлен их с результатами, полученными методом разрезания руды.

Таким же вариограммы получены по данным пересечением рудной зоны, для расчета ошибок запасов при одномерной изменчивости. Вывод сделан следующий (рис.8).



Дисперсия σ_e^2 представляет собой сумму двух компонент:

$$\sigma_e^2 = \sigma_{e'}^2 + \sigma_o^2,$$

где $\sigma_{e'}$ — компонента, связанная с закономерной изменчивостью сплошной транзитивной вариограммы);

σ_o^2 — компонента случайной изменчивости линейного запаса от пересечений и нерасчетная.

Компонента σ_o^2 рассчитывается по формулам вариограммы

Рис.2.8. Одномерная схема изменчивости оруденения.
 L — общая длина продуктивной зоны; l — длина зоны влияния одного пересечения

Теоретическая вариограмма, построенная по этим параметрам, показана на рис.7 сплошной линией. Для того, чтобы убедиться в применимости принятой теоретической модели изменчивости, произведем по параметрам теоретической модели расчет ошибок оценки запасов в пределах горизонта и составим их с результатами, полученными методом разрезания сети.

Так как вариограмма получена по полным пересечениям рудной зоны, для расчета ошибок воспользуемся одномерной схемой изменчивости. Введем следующие обозначения (рис.8).

L - общая длина продуктивной зоны;

l - длина зоны влияния одного пересечения (равная расстоянию между соседними пересечениями);

σ_e^2 - дисперсия ошибки распространения значения признака, определенного по пересечению, на зону влияния пересечения;

σ_e^2 - дисперсия ошибки, с которой оценивается среднее значения линейного запаса в пределах всей зоны.

Дисперсия σ_e^2 представляет собой сумму двух компонент:

$$\sigma_e^2 = \sigma_{e'}^2 + \sigma_o^2,$$

где $\sigma_{e'}^2$ - компонента, связанная с закономерной изменчивостью описываемой транзитивной вариограммой);

σ_o^2 - компонента случайной изменчивости линейного запаса от пересечения к пересечению.

Компонента $\sigma_{e'}^2$ рассчитывается по параметрам вариограммы с помощью выражения ~~XXX~~ (Матерон, 1968)

$$\sigma_{e'}^2 = 2\lambda\left(\frac{l}{2}\right) - F(l)$$

Таблица 5

Оценки погрешностей в определении запасов
по всей рудной зоне, полученные методом разрезания
сети

Шаг сети	Число вариантов	Средняя квадра- тическая ошибка 100 σ , %	Границы доверитель- ного интервала для σ : $P=80\%$	
			нижняя	верхняя
12,5	1	-	-	-
24	2	5,4	3,2	42,5
50	4	8,2	5,7	18,6
100	8	18,2	13,9	28,6
200	16	28	23,0	37,1

Рис. 2.9. График зависимости функции $\chi(\ell)$ и $F(\ell)$
от параметра ℓ/a

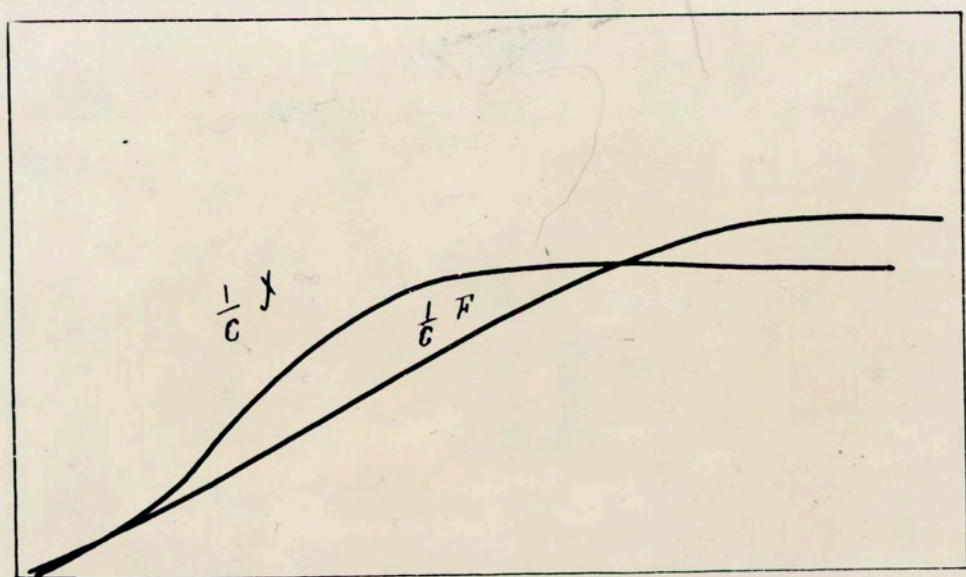
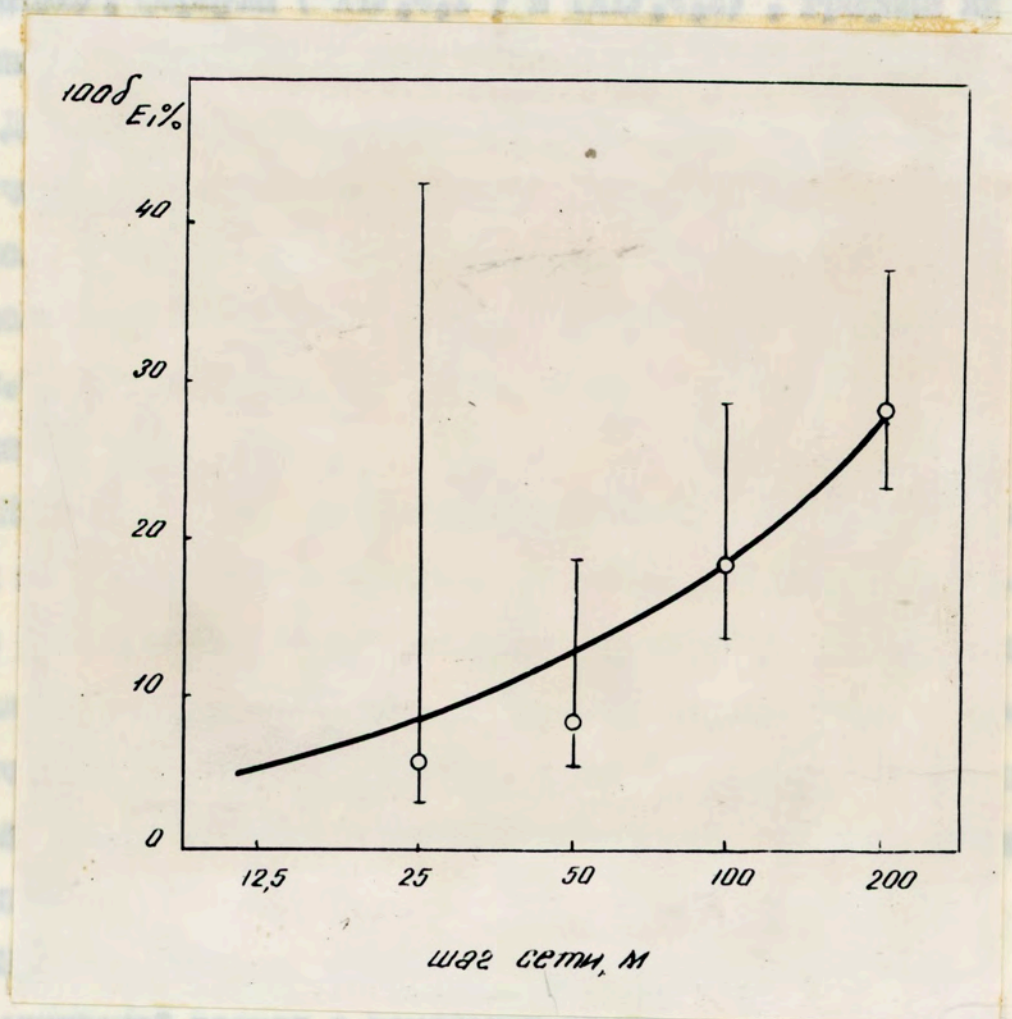


Рис.2.9. График зависимости функций $\chi(l)$ и F/l от параметра l/a



2.10. Относительные погрешности в оценках запаса, полученные методом разрежения сети и рассчитанных по параметрам теоретической вариограммы (сплошная линия)

где $\chi(\frac{\rho}{2})$ - ковариация признака на отрезке $\rho/2$ с одним из концов этого отрезка;

$F(\rho)$ - дисперсия признака на отрезке ρ .

Аналитическое выражение функций $\chi(\rho)$ и $F(\rho)$ для сферической схемы изменчивости дано в книге Матерона (1968) ~~XXXXXXXXXX~~, формулы (XIV,4,1) и (XIV,4,2), графики их в зависимости от параметра ρ/a представлены на рис.9.

Дисперсия ошибки в пределах всего горизонта, σ_E^2 , получается делением величины σ_e^2 на число зон влияния (число пересечений) на горизонте. Порядок проведения вычислений и все промежуточные результаты показаны в табл.6. Длина рудной зоны в пределах горизонта, L , равна 875 м.

На рис.10 дано сопоставление относительных погрешностей в оценках запаса, полученных методом разрежения сети и рассчитанных по параметрам теоретической вариограммы (сплошная линия). Хорошее согласие теоретических и эмпирических оценок погрешностей подсчета запасов свидетельствует о приемлемости принятой теоретической схемы изменчивости.

Заметим, что, в отличие от метода разрежения сети, теоретический расчет с помощью параметров вариограммы позволяет получить оценки погрешностей подсчета запасов для имеющейся (и даже более плотной) разведочной сети.

Используем теперь параметры вариограммы для оценки детальности изучения продуктивной зоны при различных расстояниях между разведочными пересечениями. Для этого рассчитаем ошибки, с которыми оцениваются запасы в блоках

Таблица 6

Расчет точности оценки линейного запаса в пределах продуктивной зоны при различной плотности разведочной сети

Длина зоны, l м	Расчет дисперсии распространения на зону влияния l				Число зон влия- ния m	σ_E^2	σ_E	* $100\sigma_E, \%$
	$\frac{l}{a}$	$\frac{1}{l} \chi\left(\frac{l}{2a}\right)$	$\frac{1}{l} F(l)$	$\frac{1}{l} \sigma_{e'}^2$				
12,5	0,05	0,0184	0,0125	0,0243	0,0073	0,2573	0,061	6,1
25	0,1	0,0374	0,0249	0,0499	0,0150	0,2650	0,087	8,7
50	0,2	0,0748	0,0499	0,0997	0,0299	0,2799	0,126	12,6
100	0,4	0,1489	0,0995	0,1983	0,0595	0,3095	0,188	18,8
200	0,8	0,2919	0,1967	0,3871	0,1161	0,3661	0,289	28,9

Примечание. σ_E — относительная средняя квадратическая погрешность

оценки запаса: $\sigma_E = (\exp \sigma_{e'}^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \approx \sigma_{e'}$

различных размеров (от 12,5 до 200 м длины) при различной плотности разведочной сети. Рассмотрим для примера методику расчета ошибки определения запасов в блоке длиной $L = 200$ м при расстоянии между пересечениями $l = 25$ м. Дисперсия распространения, характеризующая точность оценки 25-метровой зоны влияния одним пересечением равна (см. табл. 6).

$$\sigma_e^2 = 0,2650$$

Так как в 200-метровом блоке содержится 8 таких зон, дисперсию распространения для блока получим, разделив σ_e^2 на число зон, т.е.

$$\sigma_{E'}^2 = \sigma_e^2 / 8 = 0,0331,$$

что соответствует средней квадратической относительной погрешности

$$100 \delta_{E'} = 100 \sigma_{E'} = 18,2\%.$$

Результаты аналогичных расчетов для остальных вариантов представлены в табл. 7. Как видно (см. столбец 7), при данном характере изменчивости оруденения сгущение сети не приводит к существенному улучшению оценки запаса в зоне влияния единичного пересечения. Подобные факты неоднократно отмечались в литературе и для других месторождений. Увеличение детальности разведки, связанное со сгущением сети, сказывается на улучшении точности оценки запасов в блоках заданных размеров. Так например, сгущение разведочной сети со 100 до 12,5 м приводит к уменьшению погрешности оценки запасов в 100-метровых блоках от 60 до 20%.

Отметим одно обстоятельство. При данной детальности разведки (то есть при данной плотности разведочной сети)

ошибка оценки запаса в блоке уменьшается с увеличением размера блока. С другой стороны, естественная контрастность блоков в пределах месторождения (измеряемая дисперсией запасов по отдельным блокам в пределах месторождения) с увеличением размера блока уменьшается. Так как эти два фактора (увеличение точности оценки и уменьшение естественной контрастности) влияют на эффективность сортировки противоположным образом, то при данной плотности разведочной сети может существовать оптимальный размер блока (элемента селекции), соответствующий максимальной фактической контрастности и эффективности сортировки. Из общих соображений следует, что оптимальный размер будет увеличиваться с возрастанием вклада короткопериодных составляющих изменчивости оруденения в суммарную дисперсию.

Оценим эффективность сортировки по блокам различной длины для рассматриваемого примера. Для оценки контрастности блоков в пределах горизонта воспользуемся принципом суперпозиции дисперсий, который в общем случае формулируется соотношением (см./8/, формула У1.4.4)

$$\sigma^2(v/V) = F(V) - F(v)$$

где $\sigma^2(v/V)$ — дисперсия средних значений переменной по объемам v в пределах поля V .

$F(V)$ — дисперсия значений точечной переменной в объеме поля V .

$F(v)$ — дисперсия значений точечной переменной в объеме поля v .

Таблица 7

Точность оценки запасов в блоках длины L при разном числе опробования и значения показателей $\rho \ln x \ln \xi$, $\sigma(\ln \xi)$

длина блока L м	числ. сет. ρ м	σ_e^2	число пересечений в блоке, n	$\sigma_{\xi'}^2$	$\sigma_{\xi'}$	$100 \sigma_{\xi'}$	$\sigma^2(\ln x)$	$\rho \ln x \ln \xi$	$\sigma(\ln \xi)$
200	12,5	0,2573	16	0,0161	0,127	13	0,145	0,89	0,341
	25	0,2650	8	0,0331	0,182	18	0,162	0,80	0,321
	50	0,2799	4	0,0700	0,264	26	0,199	0,65	0,289
	100	0,3095	2	0,1547	0,394	41	0,284	0,45	0,242
	200	0,3661	1	0,3661	0,605	67	0,495	0,26	0,183
100	12,5	0,2573	8	0,0322	0,179	18	0,213	0,85	0,392
	25	0,2650	4	0,0662	0,257	26	0,247	0,73	0,365
	50	0,2799	2	0,1399	0,374	39	0,321	0,56	0,319
	100	0,3095	1	0,3095	0,556	61	0,490	0,37	0,259
50	12,5	0,2573	4	0,0643	0,253	25	0,274	0,77	0,401
	25	0,2650	2	0,1325	0,364	37	0,342	0,62	0,345
	50	0,2799	1	0,2799	0,529	58	0,490	0,43	0,300
25	12,5	0,2573	2	0,1286	0,358	36	0,354	0,64	0,378
	25	0,2650	1	0,2650	0,515	56	0,490	0,46	0,326
12,5	12,5	0,2573	1	0,2573	0,507	54	0,489	0,47	0,332

Для рассматриваемого нами линейного случая дисперсия запасов в блоках L в пределах всей зоны L определится выражением

$$\sigma^2(L/L) = F(L) - F(L)$$

где $F(L)$ — функция, представленная на графике рис.9.

Для $L = 875$ м и $a = 250$ м находим $\frac{L}{a} = 3,5$

и по графику на рис. 9 определяем

$$\frac{1}{c} F\left(\frac{L}{a}\right) = 0,80$$

Аналогичным образом определяем значения $\frac{1}{c} F\left(\frac{L}{a}\right)$

и рассчитываем дисперсии $\sigma^2(L/L)$, характеризующие естественную контрастность блоков длиной L (табл.8).

Зная дисперсию истинных запасов в элементах сортировки (блоках L), $\sigma^2(\ln \bar{x}) = \sigma^2(L/L)$, и дисперсии погрешностей, с которыми определяются эти запасы по разведочным данным (см. σ_E^2 в табл.7), рассчитываем дисперсии оценок, $\sigma^2(\ln \bar{x})$,

$$\sigma^2(\ln x) = \sigma^2(\ln \bar{x}) + \sigma_E^2,$$

и, в соответствии с формулой (29), значения $\rho \ln x \lg \bar{x}^{\sigma(\ln \bar{x})}$ определяющие эффективность фактической сортировки. Результаты этих расчетов представлены в табл.7 (столбцы 8-II). Наибольшая эффективность сортировки для сети 12,5 м ($\rho \sigma(\ln \bar{x}) = 0,401$) достигается при размере блока $L = 50$ м.

Таблица 8

Расчет дисперсии содержаний по блокам L
в пределах всей зоны L

Длина бруса, L' м	$\frac{1}{c} F(\frac{L}{Q})$	$\frac{1}{c} \sigma^2(L/L)$	$\sigma^2(L/L)$	$\frac{L}{a}$
12,5	0,05	0,025	0,775	0,232
25	0,10	0,050	0,750	0,225
50	0,20	0,100	0,700	0,210
100	0,40	0,195	0,605	0,181
200	0,80	0,370	0,430	0,129

Литература к главе 2

1. Allais, M. (1956)
Methode d'evaluation des perspectives economiques de la recherche miniere sur grands espaces.
Rev Indust. Minez No special IR 329-381.
2. Blondel F (1955)
Le lois statistiques de la repartition geographique de productions minieres
Comm Cong. Cent Ind Min, 1955.
3. Formery, P., Ziegler V. (1958)
Application des methodes mathematiques a l'etude des gisements d'uranium, Nations Unies, Geneve, A Conf 15 I246,2 545-550.
4. КАРЛЕ Э.
Методы количественной оценки месторождений урана.
М. Атомиздат, 1966.
5. Матерон, Ж (1968)
Основы прикладной геостатистики.
М., "Мир".
6. Slichter, L.B. (1960)
Mining Engineering, v. 12, N 6, pp. 570-577.
7. Дралок Л.Б. (1964)
Методика и техника разведки
Сб. Б 44, ОНТИ ВИТР, Ленинград, стр.7-60.