

ИЗВѢСТІЯ
Томскаго Технологическаго Института
Императора Николая II.
т. 14. 1909. № 2.

IV.

С. Ю. Доборжинскій.

НѢКОТОРЫЯ ОБЩІЯ ПРАВИЛА ВЕДЕНІЯ РАЗВѢДОЧНЫХЪ РАБОТЪ.

Съ таблицей чертежей.

1—59.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Литературныя данныя, касающіяся развѣдочныхъ работъ, довольно скудны, не смотря на то, что почти всегда печатаются отчеты о произведенныхъ, мало мальски крупныхъ развѣдкахъ. Въ этихъ отчетахъ описывается способъ веденія работъ съ технической и хозяйственной точекъ зрѣнія, приводятся разрѣзы буровыхъ скважинъ, шурфовъ, геологическіе разрѣзы, а равно геодезическіе и геологическіе планы мѣстности, и окончательные выводы о благонадежности мѣсторожденій.

Къ сожалѣнію, большинство этихъ работъ отличается шаблонностью, которую можно объяснить, пожалуй, тѣмъ, что развѣдки поручаются обыкновенно лицамъ молодымъ, далеко не специалистамъ въ данной отрасли, которые поэтому принуждены почти слѣпо придерживаться отдѣльныхъ указаній, имѣющихся въ руководствахъ горнаго искусства и въ справочныхъ книжкахъ. Спеціальная литература, болѣе обширные учебники развѣдокъ, дающіе общія правила веденія этихъ работъ, а не только описаніе ихъ съ ремесленнической точки зрѣнія, почти отсутствуютъ не только на русскомъ, но и на другихъ языкахъ.

Причина, почему западные европейцы не занимаются теоріей развѣдокъ, понятна: въ странахъ со старой культурой всё мѣсторожденія уже развѣданы тѣмъ или другимъ путемъ, главнымъ образомъ благодаря разработкамъ ископаемыхъ въ этихъ мѣсторожденіяхъ. Что же касается англичанъ и американцевъ, работающихъ въ новыхъ, дѣвственныхъ странахъ, то, конечно, отъ нихъ слѣдовало бы ожидать больше, чѣмъ ими дано до настоящаго времени. То же самое можно сказать о русскихъ горныхъ техникахъ.

До настоящаго времени намъ приходится пользоваться или личнымъ опытомъ, или указаніями, имѣющимися въ сочиненіяхъ С. Войслава: „Развѣдки полезныхъ ископаемыхъ“ и „Исслѣдованіе грунта и развѣдки полезныхъ ископаемыхъ посредствомъ ручного бура“. Я далекъ отъ кри-

тики трудовъ преждевременно почившаго профессора, но тѣмъ не менѣе нахожу, что они требуютъ нѣкоторыхъ пополненій.

Цѣль настоящей моей работы состоитъ именно въ болѣе общей и болѣе строгой формулировкѣ правилъ и принциповъ, руководящихъ развѣдочными работами. Я не могу предполагать, что всѣ вопросы, указываемые жизнью, разобраны и рѣшены мною; нѣтъ! мой посильный трудъ — это только первые шаги на пути къ тому, къ чему слѣдуетъ стремиться!

Считаю необходимымъ отмѣтить, что такъ какъ моя работа въ нѣкоторомъ отношеніи пополненіе работы Войслава, то я избѣгалъ повтореній всего того, что можно найти въ указанныхъ выше трудахъ этого автора; кромѣ того, считаю необходимымъ сказать, что почти всѣ техническія указанія, которыя можно найти въ предложенномъ трудѣ и которыя не вытекаютъ непосредственно изъ теоретическихъ разсужденій, взяты мною изъ практики развѣдочнаго дѣла моей личной или же другихъ лицъ въ томъ случаѣ, когда у меня являлась возможность слѣдить за работами и ихъ окончательными результатами. Журнальной развѣдочной литературой я непосредственно не пользовался, то есть, не заимствовалъ изъ нея ни фактовъ, ни воззрѣній, хотя я и не могу утверждать, что та или другая изъ высказываемыхъ мною идей не зародилась подъ вліяніемъ прочитанной статьи.

Элементарное математическое изслѣдованіе развѣдочныхъ данныхъ и методовъ работъ, а равно и выводы, сдѣланные на основаніи этихъ изслѣдованій, принадлежатъ автору настоящаго труда. Числовыхъ данныхъ я привожу крайне мало, главнымъ образомъ потому, что въ большинствѣ случаевъ ихъ вообще нѣтъ, такъ напр. вполнѣ отсутствуютъ числовыя данныя, касающіяся точности опредѣленія мощности пробуриваемыхъ породъ въ зависимости отъ системы буренія: въ тѣхъ же случаяхъ, когда требуемыя числовыя данныя можно найти въ справочныхъ книжкахъ, я счелъ излишнимъ повторять ихъ, въ виду указаннаго выше характера настоящаго труда, являющагося лишь нѣкоторымъ пополненіемъ существующей литературы, но ни въ какомъ случаѣ не курсомъ развѣдочнаго дѣла, развѣ пособіемъ, матеріаломъ для такового.

ВВЕДЕНІЕ.

Общія правила производства развѣдочныхъ работъ вытекаютъ непосредственно изъ законовъ геологіи; однако, въ виду крайне разнообразнаго геологическаго строенія районовъ, заключающихъ полезныя ископаемыя, а также въ виду многочисленности типовъ рудныхъ мѣсторожденій, къ каждому отдѣльному случаю надо соотвѣтственно примѣнять способы развѣдокъ и видоизмѣнять ихъ; такъ что руководитель работъ имѣетъ почти всегда широкое поле для личнаго почина, для примѣненія своей наблюдательности, находчивости и научныхъ знаній.

Цѣлью развѣдокъ является опредѣленіе запаса полезнаго ископаемаго въ данной мѣстности, полѣ, а также благонадежности его въ смыслѣ предполагаемой прибыльности будущаго горнаго предпріятія, основаннаго на развѣдуемой площади. Мы будемъ разсматривать только первый вопросъ, такъ какъ второй связанъ не только съ горнымъ искусствомъ, но и съ экономическими и финансовыми условіями въ данный моментъ.

Итакъ, опредѣленіе запаса даннаго ископаемаго на данной площади сводится къ двумъ задачамъ: къ опредѣленію 1) объема залежи, пласта, жилы и пр. и 2) процентнаго содержанія въ немъ полезнаго ископаемаго.

Опредѣленіе объема—это не что иное, какъ опредѣленіе геометрической формы залежи при помощи достаточнаго количества измѣреній. Процентный выходъ—это опредѣленіе состава по пробамъ, взятымъ изъ различныхъ мѣстъ залежи, разумѣется—по возможности соотвѣтственно и систематически въ ней распределенныхъ.

Для той и другой цѣли служатъ, какъ это общеизвѣстно, буровыя скважины, шурфы, развѣдочныя шахты, штреки и штольни, отъ цѣлесообразнаго распределенія которыхъ, равно какъ и отъ ихъ количества зависитъ болѣе или менѣе точный, окончательный результатъ работъ.

Развѣдчикъ стѣсненъ всегда въ одномъ отношеніи: въ денежныхъ средствахъ; почти нѣтъ развѣдокъ, которыми владѣлецъ мѣсторожденія или вообще лицо, въ пользу котораго онѣ производятся, остался бы въ концѣ концовъ доволенъ. Если развѣдки дали отрицательный результатъ, то, конечно, деньги потрачены даромъ, и поэтому оказывается, что ихъ расходовали зря и, конечно, виноватъ инженеръ; но даже въ случаѣ самаго блестящаго исхода обыкновенно остается нѣкоторое неудовольствие слишкомъ высокими затратами, такъ какъ является вполне естественный рефлексъ, что еслибъ и безъ этихъ затратъ завести разработку, то результатъ предпріятія былъ бы благопріятенъ.

Въ виду этого вопросъ объ экономическомъ веденіи работъ является вопросомъ первостатейнымъ, и поэтому крайне важно, чтобъ не только производитель работъ былъ въ состояніи ясно давать себѣ отчетъ, на сколько всякая изъ предпринятыхъ работъ въ отдѣльности вліяетъ на точность окончательнаго вывода, но былъ бы въ состояніи оправдать свои дѣйствія и передъ другимъ, менѣе свѣдущимъ лицомъ.

Къ сожалѣнію, далеко не всегда имѣются геологическія свѣдѣнія, на основаніи которыхъ можно непосредственно оправдать свои предположенія; это возможно только въ томъ случаѣ, когда развѣдывается довольно правильное мѣсторожденіе и то въ такой мѣстности, по соседству съ которой разрабатываются тѣ же залежи; въ случаѣ же развѣдокъ мѣсторожденій, геологическій характеръ которыхъ еще не изученъ въ точности, а также въ случаяхъ гнѣздовыхъ или штокверковыхъ мѣсторожденій, приходится очень часто дѣйствовать ощупью, для этихъ случаевъ не лишне пользоваться математической теоріей вѣроятностей.

Глава первая.

Развѣдки пластовыхъ мѣсторожденій.

О развѣдкахъ пластовыхъ мѣсторожденій вообще.

Развѣдки пластовыхъ, а слѣдовательно, главнымъ образомъ угольныхъ мѣсторожденій отличаются тѣмъ, что методы выполненія ихъ болѣе выработаны, въ виду, во первыхъ, наглядной правильности этихъ мѣсторожденій, а во вторыхъ, потому, что вслѣдствіе громаднаго развитія современнаго каменноугольнаго дѣла сказанныя развѣдки случаются чаще другихъ. Отличимъ слѣдующіе случаи: 1) наклонные пласты полезнаго ископаемаго имѣютъ выходы на дневную поверхность или покрыты лишь тонкимъ слоемъ наносовъ, который находится въ развѣдываемомъ участкѣ не вездѣ, 2) пологопадающіе пласты покрыты толстымъ слоемъ болѣе новыхъ образованій, 3) крутопадающіе пласты находятся подъ толстымъ слоемъ пустыхъ породъ.

Такъ какъ первый изъ этихъ случаевъ разобранъ довольно подробно въ сочиненіи Войслава: „Развѣдки полезныхъ ископаемыхъ“, а второй — отчасти; то это даетъ мнѣ возможность не останавливаться на многихъ подробностяхъ.

Кромѣ указаннаго подраздѣленія, развѣдки можно подраздѣлить еще на 1) развѣдки частей мѣсторожденій мало или вовсе не изслѣдованныхъ и 2) на развѣдки мѣсторожденій, изученныхъ детально, то есть, такихъ, для которыхъ имѣются генеральныя пластовыя карты и подробныя геологическія описанія.

Имѣются выходы на дневную поверхность.

Въ этомъ случаѣ развѣдки какъ бы сдѣланы самой природой, и ихъ слѣдуетъ только провѣрить при помощи развѣдочныхъ рвовъ, сличая шагъ за шагомъ получаемый искусственный разрѣзъ съ пластовой картой, конечно если таковая существуетъ, при помощи измѣреній разстоянія всякаго встрѣченнаго пласта отъ ориентировочнаго, который вполнѣ отчетливо наблюдается на мѣстѣ и нанесенъ на пластовой кар-

тѣ. Такимъ ориентировочнымъ пластомъ бываетъ или пластъ полезнаго ископаемаго, выдающійся по своей мощности или по характернымъ свойствамъ подошвы и кровли, или иногда пластъ пустой породы, рѣзко отличающійся отъ окружающихъ, и пр. пласты известняковъ въ каменноугольной формации на югѣ Россіи.

Разногласіе опредѣленій по картѣ и непосредственнымъ измѣреніемъ провѣряется въ другихъ развѣдочныхъ рвахъ. Если верхніе слои породъ сильно разрушены, такъ что являются сомнѣнія въ томъ, какъ опредѣлить размѣры и уголь паденія пласта, а иногда и для того чтобъ не портить поверхности земли, прибѣгаютъ къ шурфованію или къ ручному буренію, не смотря на отсутствіе наносовъ. Въ этомъ случаѣ, какъ извѣстно, основнымъ принципомъ является правило, чтобъ каждый пластъ пробивался два раза двумя смѣжными развѣдочными выработками: разъ—у выхода, второй разъ—глубже.

На основаніи полученныхъ такимъ путемъ данныхъ вычерчиваются разрѣзы мѣсторожденія по развѣдочнымъ линіямъ, а по разрѣзамъ наносятся горизонталы пластовъ на ситуационномъ планѣ.

Въ случаѣ если генеральная пластовая карта отсутствуетъ, то до начала правильныхъ развѣдокъ слѣдуетъ обозначить выходы пластовъ на ситуационномъ планѣ, пользуясь при этомъ небольшими раскопками въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ выходы видны, но не ясно. При такихъ первоначальныхъ изысканіяхъ существенную пользу иногда оказываютъ слѣды старыхъ крестьянскихъ разработокъ. Послѣ того какъ опредѣлены въ нѣсколькихъ мѣстахъ паденіе и простираніе, приступаютъ къ выбору развѣдочныхъ линій, а затѣмъ ходъ работъ почти такой же, какъ и описанный выше.

Исчисленіе запаса пластового мѣсторожденія.

Развѣдки приводятъ насъ окончательно къ тому, что у насъ имѣется горизонтальное протяженіе каждаго пласта, измѣряемое по пластовому плану, наклонная длина, горизонтальная проекція которой помѣщается на данномъ планѣ, и мощность пласта. По этимъ даннымъ очень просто вычисляется объемъ пласта, а слѣдовательно и вѣсовое его содержаніе путемъ умноженія объема на производительность куб. единицы ¹⁾.

Совокупность такихъ подсчетовъ даетъ намъ общій запасъ ископаемаго, заключеннаго нѣдрами земли въ развѣдуемой площади.

Неточности въ общемъ итогѣ исчисленія могутъ произойти отъ

¹⁾ Часто для простоты подсчетовъ опредѣляютъ содержаніе минерала въ кв. единицѣ площади плана.

трехъ причинъ: отъ ошибокъ измѣреній при геодезической части работы, отражающихся окончательно на длинѣ и формѣ горизонтальной кривой линіи протяженія пластовъ, и отъ неточности опредѣленія угловъ паденія пласта и его мощности, получаемыхъ или непосредственнымъ измѣреніемъ въ развѣдочныхъ рвахъ и шурфахъ на обнаженныхъ плоскостяхъ наслоенія, или же вычисляемымъ по глубинамъ пересѣченія пласта буровыми скважинами, и наконецъ отъ непринятія во вниманіе несогласія въ напластованіи. Итакъ, если горизонтальная длина линіи протяженія ошибочно опредѣлена $S + \Delta S$ вмѣсто S , наклонная $L + \Delta L$ вмѣсто L , а мощность $d + \Delta d$ вмѣсто d , гдѣ ΔS , ΔL и Δd могутъ имѣть какъ положительныя, такъ и отрицательныя значенія, ошибка вычисленія запаса будетъ

$$\Delta 0 = (S + \Delta S)(L + \Delta L)(d + \Delta d) - S L d.$$

Относительная же ошибка $\frac{\Delta 0}{0}$, если пренебрежемъ сравнительно малыми величинами

$$\frac{\Delta S \Delta d}{S d}, \quad \frac{\Delta L \Delta d}{L d}, \quad \frac{\Delta L \Delta S \Delta d}{L S d},$$

будетъ равна

$$\frac{\Delta 0}{0} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta d}{d}, \quad (1)$$

то есть алгебраической суммѣ ошибокъ трехъ измѣреній.

Ошибка $\frac{\Delta S}{S}$ опредѣляется главнымъ образомъ точностью плана, $\frac{\Delta d}{d}$ — точностью буровыхъ или непосредственныхъ измѣреній. Въ настоящей главѣ мы займемся только $\frac{\Delta L}{L}$, такъ какъ о точности буровыхъ опредѣленій придется еще говорить впоследствии, равно какъ и объ ошибкахъ въ опредѣленіи простиранія.

Если уголъ паденія пласта— η , $\Delta \eta$ —ошибка въ его опредѣленіи, то величина ошибки въ наклонной его длинѣ можетъ быть опредѣлена въ зависимости отъ того, производимъ ли мы подсчетъ запаса ископаемаго только до нѣкоторой глубины h или, не ограничиваясь глубиною, только на нѣкоторомъ горизонтальномъ пространствѣ. Первое ограниченіе является довольно искусственнымъ и имѣетъ значеніе единственно при опредѣленіи запаса ископаемаго для добычи шахтами на предполагаемой глубинѣ.

Итакъ, если h — глубина, до которой предполагается вести раз-

работку, то наклонная длина будетъ: $L = \frac{h}{\sin\eta}$; неточность въ опредѣленіи угла паденія отразится на ней такъ:

$$L + \Delta L = \frac{h}{\sin(\eta + \Delta\eta)},$$

ошибка же

$$\Delta L = h \left[\frac{1}{\sin(\eta + \Delta\eta)} - \frac{1}{\sin\eta} \right].$$

Относительная ошибка

$$\frac{\Delta L}{L} = - \frac{\Delta\eta}{\operatorname{tg}\eta + \Delta\eta}, \quad (2)$$

если примемъ $\cos\Delta\eta = 1$, а $\sin\Delta\eta = \Delta\eta$.

Формула (2) показываетъ, что ошибка отъ неправильнаго измѣренія угла паденія въ случаѣ пластовъ крутопадающихъ вліяетъ незначительно на опредѣленія нак. дл. L , ибо при $\eta = 90^\circ$, $\operatorname{tg}\eta = \infty$ и $\frac{\Delta L}{L} = 0$; наоборотъ для пластовъ пологопадающихъ ошибка этого рода можетъ очень сильно повліять на результатъ подсчетовъ, такъ какъ предѣль выраженія $\frac{\Delta L}{L}$ при $\eta = 0$ приближается къ 1.

Выводъ нашъ пояснимъ чертежами: I и II.

На черт. II-омъ ясно видно, что часть пласта CD , введенная въ подсчетъ запаса до горизонта XU , можетъ или уменьшиться до размѣровъ въ $C'D$, или увеличиться до $C''D$.

Въ виду сказаннаго, въ случаѣ пологопадающихъ пластовъ, желательно узнать точно ихъ углы паденія, и поэтому слѣдуетъ не ограничиваться изслѣдованіемъ головъ пластовъ, но пробурить еще нѣсколько болѣе глубокихъ скважинъ, расположенныхъ на значительномъ разстояніи одна отъ другой, что, въ виду неглубокаго залеганія пластовъ, не влечетъ за собой крупныхъ расходовъ. Впрочемъ необходимо отмѣтить, что ошибка въ опредѣленіи запаса угля, происшедшая отъ неточнаго измѣренія угла паденія пласта, въ выше разобранномъ случаѣ практически имѣетъ только то послѣдствіе, что шахту приходится углубить нѣсколько болѣе, чѣмъ предполагалось, или остановить углубленіе ея на немного высшемъ горизонтѣ; ни то, ни другое существенно вреднаго вліянія на ходъ предпріятія имѣть не можетъ.

Если вычисляется весь запасъ даннаго участка, согласно его горизонтальной площади, то границей пласта приходится считать вертикальную поверхность, проходящую черезъ границу участка.

Итакъ, если разстояніе выходовъ пласта до межи участка по направленію паденія пласта— e , то

$$L = \frac{e}{\cos\eta}, \quad L + \Delta L = \frac{e}{\cos(\eta + \Delta\eta)},$$

а слѣдовательно (черт. III)

$$\frac{\Delta L}{L} = \left(\frac{1}{\cos(\eta + \Delta\eta)} - \frac{1}{\cos\eta} \right) : \frac{1}{\cos\eta} = \frac{\Delta\eta}{\cot\eta - \Delta\eta} \quad (3)$$

при предположеніи, что $\Delta\eta$ настолько мало, что $\cos\Delta\eta=1$, а $\sin\Delta\eta=\Delta\eta$.

Выраженіе (3) показываетъ, что ошибка η при его значеніяхъ, близкихъ къ 0, мало вліяетъ на окончательный результатъ.

При значеніяхъ $\eta=90^\circ$

$$\frac{\Delta L}{L} = -1,$$

то есть достигаетъ максимальной своей величинѣ, что конечно понятно, такъ какъ въ этомъ случаѣ значительная часть пласта можетъ быть ложно принятой къ подсчету или невѣрно изъ него исключенной.

Для среднихъ величинъ η около 45° ошибка будетъ подходить близко къ

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta\eta}{1 - \Delta\eta} = \Delta\eta,$$

изъ чего мы заключаемъ, что точность измѣренія угла паденія пластовъ въ разсматриваемомъ случаѣ имѣетъ самое существенное значеніе при очень большихъ значеніяхъ η .

Самое собою понятно, что въ случаѣ нѣсколькихъ пластовъ сумма ошибокъ опредѣленія запаса каждаго изъ нихъ дастъ намъ общую ошибку подсчета всего запаса. Что касается относительной ошибки подсчета запаса даннаго поля, то ее можно принять какъ средне-арифметическую ошибку изъ всѣхъ пластовъ, или точнѣе рассчитать по

$$\frac{\Delta o}{o} = \frac{\sum \Delta o_i}{\sum o_i}$$

гдѣ o, o_1, \dots —объемы каждаго пласта въ отдѣльности, а $\Delta o, \dots$ —ошибки въ опредѣленіи ихъ.

Все сказанное до сихъ поръ относится къ пластамъ, правильно наклоннымъ, хотя бы и прерываемымъ сдвигами. Для складчатыхъ мѣсторожденій опредѣленіе вліянія ошибокъ на подсчетъ запаса дѣлается болѣе сложнымъ. Итакъ, при развѣдкахъ вкрестъ простиранія, по головамъ пластовъ складчататаго строенія, опредѣляются только верхніе

элементы пластовъ, по которымъ вычерчивается весь разрѣзъ на основаніи параллельности пластовъ и—значить постоянства ихъ разстояній другъ отъ друга. Разрѣзы вычерчиваются отъ руки, при чемъ нѣкоторымъ пособіемъ могутъ служить центры, получаемые пересѣченіемъ перпендикуляровъ, возстановливаемыхъ отъ сосѣднихъ элементовъ головъ пластовъ.

Изъ чертежа IV легко усматривается слѣдующее: напр. пластъ 4-й вычерченъ такимъ образомъ, что головная часть AB опредѣлена со своей собственной ошибкой $\Delta\eta_4$; слѣдующая часть BC , принятая параллельной пласту 3-му, съ ошибкой этого пласта $\Delta\eta_3$; часть CD — $\Delta\eta_2$; DE — $\Delta\eta_1$, вообще каждый послѣдующій пластъ вычерчивается со всѣми ошибками вышележащихъ + своя собственная. Въ виду этого слѣдуетъ не ограничиваться исключительно развѣдками по головамъ пластовъ, а углубить еще нѣсколько скважинъ, по возможности въ пологопадающей части складки, для болѣе надежнаго выясненія расположенія пластовъ.

Для опредѣленія вліянія ошибокъ $\Delta\eta_1, \Delta\eta_2, \dots$ на наклонную длину какого нибудь n , того пласта, вычислимъ ошибки длины каждаго изъ соотвѣтствующихъ участковъ этого пласта по фор. (3). Если обозначить $AB=l_4^n, BC=l_3^n$ и т. д., то

$$\Delta l_4^n = l_4^n \cdot \frac{\Delta\eta_4}{\cot\eta_4 - \Delta\eta_4}, \quad \Delta l_3^n = l_3^n \frac{\Delta\eta_3}{\cot\eta_3 - \Delta\eta_3};$$

а—значить—вообще

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{L} \sum_1^n l_1^n \frac{\Delta\eta_1}{\cot\eta_1 - \Delta\eta_1}. \quad (4)$$

Фор. (4) относится къ случаю опредѣленія запаса въ полѣ данной площади. Въ случаѣ же опредѣленной глубины можно воспользоваться:

$$\frac{\Delta L}{L} = - \sum_1^n l_1^n \frac{\Delta\eta_1}{\operatorname{tg}\eta_1 + \Delta\eta_1}.$$

Иногда приходится опредѣлять запасъ ископаемаго на данномъ полѣ и до данной глубины; и тогда для выясненія себѣ ошибокъ расчета слѣдуетъ примѣнять форм. (3) и (2) соотвѣтственно тому, какая изъ ограничивающихъ плоскостей пересѣкаетъ данный пластъ.

Несогласіе напластованія.

Основнымъ принципомъ при составленіи разрѣзовъ пластовыхъ мѣсторожденій является ихъ параллельность, однако, строго говоря, параллельность интересующихъ насъ главнымъ образомъ каменноугольныхъ пластовъ есть фикція.

Очередное появленіе пластовъ угля, глинистыхъ сланцевъ и песчаниковъ есть результатъ ритмическаго (относительно конечно) подъема и опусканія земной коры. Угольный пластъ соотвѣтствуетъ *minimum* у движенія въ моментъ конца подъема и начала опусканія. Между двумя смежными угольными пластами, гдѣ то по серединѣ между ними, должны существовать образованія, соотвѣтствующія противоположному отрицательному нулевому моменту движенія. Это главные ритмы, но могутъ быть и второстепенные. Такъ какъ амплитуды такихъ колебаній не могутъ быть равны, ибо вѣроятность такого случая очень близка къ нулю, и такъ какъ въ періодъ образованія угольныхъ пластовъ должно было существовать и общее пониженіе материка, ибо на немъ образовались новыя толщи, и, наконецъ, такъ какъ ни это общее движеніе, ни частныя колебанія въ горизонтальномъ протяженіи не могутъ быть вполнѣ равномерны, ибо вѣроятность этого опять таки нуль, то горизонтальная плоскость новыхъ наслоеній должна всегда пересѣкаться подъ нѣкоторымъ угломъ со старыми. Углы эти вообще малы. Несогласіе напластованія можетъ взаимно компенсироваться. Между двумя отдѣльными свитами пластовъ несогласіе можетъ быть довольно крупнымъ, въ нѣсколько градусовъ.

Если пренебрежемъ второстепенными колебаніями и станемъ разсматривать только волнообразныя движенія, слѣды которыхъ остались въ видѣ угольныхъ пластовъ, то найдемъ, что нижняя нейтральная ось, пролегающая въ пустой породѣ, равно какъ и верхнія нейтральныя оси въ углѣ нѣсколько наклонны къ плоскости соприкасанія кровли и почвы съ пластомъ.

Пусть XU —нейтральная ось (см. черт. V) между двумя пластами; D_1 и D_2 —два сѣченія, проведенныя на разстояніи L перпендикулярно оси; $\Delta\alpha_1$, $\Delta\alpha_2$ —углы наклоненія оси къ пластамъ угля; тогда

$$d_1 = L \operatorname{tg} \Delta\alpha, \quad d_2 = L \operatorname{tg} \Delta\alpha_2;$$

а такъ какъ $d_1 + d_2 = D_2 - D_1$, то значить

$$D_2 - D_1 = L(\operatorname{tg} \Delta\alpha_1 + \operatorname{tg} \Delta\alpha_2).$$

Если же замѣнимъ сумму tg выраженіемъ ея въ функціи \sin и \cos , то получимъ

$$\frac{D_2 - D_1}{L} = \frac{\sin(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2)}{\cos\Delta\alpha_1 \cos\Delta\alpha_2}.$$

Но $\cos\Delta\alpha_1$, равно какъ $\cos\Delta\alpha_2$, по малости этихъ угловъ, мы можемъ принять равными 1; если, кромѣ того, обозначимъ $\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2 = \Delta\alpha$, то окончательно

$$\sin \Delta \alpha = \frac{D_2 - D_1}{L}, \quad (5)$$

а въ случаѣ полнаго выклиниванія, когда $D_1 = 0$,

$$\sin \Delta \alpha = \frac{D}{L}.$$

Конечно, наша формула, выведенная для пустой породы между двумя угольными пластами, справедлива и для самых пластовъ. Указать числовыя значенія $\Delta \alpha$ довольно затруднительно: уголь этотъ различенъ для различныхъ бассейновъ. Однако каждая группа, каждая свита пластовъ можетъ быть характеризована своимъ довольно постояннымъ угломъ выклиниванія. Для Реденовской группы пластовъ Силезско - Домбровскаго бассейна (Sattelflötze) этотъ уголь около 5' для сланцеватыхъ пропластовъ между пластами угля этой свиты. Если желательно провѣрить подсчетъ запаса угля сообразно съ несогласіемъ напластованія, то для полученія цифровыхъ данныхъ надо навести справки въ разрабатываемой части мѣсторожденія.

Такъ какъ вообще шах. ошибки отъ непріянія во вниманіе несогласія напластованія будутъ тогда, когда всѣ пласты суживаются въ одномъ направленіи (явленіе наб. дов. часто), то, задавшись $\Delta \alpha$, соответствующемъ данному мѣсторожденію, свитѣ, вычерчиваемъ отклонившіеся пласты при помощи фор. 5). Понятно, что отклоненіе каждаго послѣдующаго пласта отъ его первоначальнаго положенія увеличивается (черт. VI). Если направленіе выклиниванія въ точности извѣстно, то вышеуказанную поправку слѣдуетъ вести при самомъ вычерчиваніи разрѣза; если же не имѣется данныхъ для того, чтобъ указать, въ какомъ направленіи имѣетъ мѣсто выклиниваніе, то въ такомъ случаѣ самымъ вѣроятнымъ разрѣзомъ будетъ разрѣзъ, составленный на основаніи принципа параллельности (Чер. IV-й).

Во всякомъ случаѣ какъ бы ни малы были ошибки, вызванныя непріяніемъ во вниманіе несогласія напластованія, однако слѣдуетъ ихъ избѣгать, если имѣется возможность, или во всякомъ случаѣ, опредѣливъ возможную ихъ величину, отнестись сознательно къ пренебреженію ея.

Пологопадающіе пласты покрыты мощнымъ слоемъ болѣе новыхъ образованій.

Развѣдки типа, къ которымъ мы теперь переходимъ, являются обыкновенно слѣдствіемъ стремленія расширить область, занятую подъ разработку горнопромышленныхъ районовъ, въ которыхъ добыча началась

по выходамъ пластовъ непосредственно на дневную поверхность, такъ что общія свѣдѣнія, характеризующія мѣсторожденіе, обыкновенно имѣются; а именно—извѣстно общее направленіе простиранія, паденіе и его величина, а также, какія свиты изъ разрабатываемыхъ пластовъ предполагается встрѣтить. Случаи развѣдокъ вполнѣ самостоятельныхъ каменноугольныхъ бассейновъ, открытыхъ подъ болѣе новыми образованіями при помощи буреній, предпринятыхъ или съ какой нибудь промышленной цѣлью, или для геологическихъ изысканій, мнѣ не извѣстны, хотя имѣются факты открытія каменноугольныхъ пластовъ подъ мощнымъ слоемъ наносовъ, которыхъ пока не возможно связать съ уже извѣстными. Въ этомъ случаѣ приходится вести развѣдки, не пользуясь никакими *à priori*-стическими данными.

Основнымъ способомъ производства такихъ развѣдокъ является буреніе глубокихъ скважинъ, пробивающихъ возможно большее число пластовъ. Само собой понятно, что такихъ скважинъ закладывать можно только немного вслѣдствіе большей ихъ стоимости.

На ситуационномъ планѣ развѣдываемаго участка наносятся карандашемъ горизонтали предполагаемыхъ главныхъ пластовъ и линіи сдвиговъ, какъ продолженіе уже извѣстныхъ. Скважины располагаются такъ, чтобъ онѣ провѣрили не только наши предположенія по отношенію къ пластамъ, но и направленіе сдвиговъ; однако скважины закладывать слѣдуетъ на такомъ разстояніи отъ сдвиговъ, чтобъ онѣ не попадали въ нихъ. Во время буренія и когда скважина окончательно уже пройдена, стараются установить отношеніе пройденныхъ породъ къ извѣстнымъ по профилямъ шахтъ въ разрабатываемой части бассейна, для чего не только ведется буровой журналъ, но кромѣ того, вычерчивается еще каждая буровая скважина въ отдѣльности. Иногда для наглядности помѣщаютъ буровую муку въ стекляныя трубочки, заполняя ихъ по масштабу, такъ что получается какъ бы натуральная профиль.

Въ большинствѣ случаевъ удается опредѣлить пройденные пласты по литологическимъ свойствамъ ихъ самихъ, а также и породъ, которымъ онѣ подчинены, а равнымъ образомъ по нѣкоторымъ характеристическимъ признакамъ данной группы или свиты вообще. Въ исключительныхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ палеонтологическимъ изслѣдованіямъ. Послѣ окончанія первыхъ буровыхъ скважинъ закладываются новыя въ точкахъ, опредѣляемыхъ уже отчасти ходомъ работъ, для выясненія неясныхъ стратиграфическихъ отношеній. Затѣмъ по полученнымъ даннымъ стараются вычертить поперечные разрѣзы (въ крестъ простиранія) развѣдуемой мѣстности, что однако часто оказывается невыполнимымъ; тогда закладываютъ дополнительныя скважины, послѣ чего только вычерчиваютъ разрѣзы.

Плоскость разрѣза можетъ и не пересѣкать ни одной изъ пробуренныхъ скважинъ, которыя тогда на нее проектируются. Разрѣзы, о которыхъ идетъ рѣчь, играютъ роль черновыхъ, иначе ихъ назвать можно бы пожалуй разрѣзами первой приближенной точности; они вычерчиваются только карандашемъ. Затѣмъ, пользуясь сказанными разрѣзами, намѣчаемъ на планѣ въ одной какой нибудь плоскости, направленіе горизонталей, которыя играютъ роль въ такомъ случаѣ перваго приближенія. При такой предварительной обработкѣ полученнаго развѣдками матеріала иногда выясняется необходимость заложить еще скважину, другую; если же всѣ стратиграфическія отношенія вполнѣ ясны, то приступаютъ къ окончательному вычерчиванію разрѣзовъ по линиямъ, которыя могутъ и не совпадать съ первоначальными, а проведены по возможности перпендикулярно къ горизонталямъ пластовъ. При этомъ буровыя скважины проектируются по линиямъ, параллельнымъ горизонталямъ. Приѣмъ этотъ даетъ однако не вполнѣ точные результаты, и поэтому часто пользуются вспомогательными разрѣзами между двумя сосѣдними скважинами. Итакъ, если XU линия разрѣза, проходящая между скважинами $ABCD$ (см. черт. VI), вспомогательные разрѣзы по AB , CD , DE ,... даютъ намъ возможность довольно точно опредѣлить послѣдовательность напластованія въ точкахъ ихъ пересѣченія съ линіей XU , а именно въ a , b , c , которыя служатъ основаніемъ для нанесенія всего разрѣза. Затѣмъ мы наносимъ горизонтали въ окончательной формѣ.

Если во время вычерчиванія поперечныхъ разрѣзовъ или горизонталей и при сличеніи двухъ сосѣднихъ скважинъ окажется, что нельзя установить постепеннаго перехода между ними съ нормальнымъ или почти нормальнымъ паденіемъ пластовъ, то между такими двумя скважинами надо предполагать присутствіе сдвига, вертикальная величина котораго опредѣляется положеніемъ въ обоихъ скважинахъ одного и того же пласта. Уклоны разорванныхъ сдвигами частей слѣдуетъ опредѣлять по возможности особо для каждой части. Но такъ какъ это бываетъ подчасъ затруднительно, то обыкновенно принимаются одинаковые уклоны для этихъ частей, паденіе принимается переменнымъ только тогда, когда для такого предположенія имѣются данныя.

Итакъ, напр., если, въ участкѣ AB положеніе пласта— ab , опредѣленное скважинами I, II; въ участкѣ же ED оно— ed , то въ промежуточномъ участкѣ, для котораго у насъ нѣтъ достаточныхъ непосредственныхъ опредѣленій, мы принимаемъ средній уклонъ (черт. VII).

Вычисленіе запаса производится по составленной указанными способами пластовой картѣ и разрѣзамъ, при чемъ пространства, разграниченныя линіями сдвиговъ, разсматриваются отдѣльно. Само собой понятно, что часть угля, непосредственно соприкасающуюся со сдвига-

ми, надо считать негодной. Обыкновенно при большихъ сдвигахъ и въ особенности при перебросахъ эта часть больше, чѣмъ при маленькихъ, такъ что мы можемъ сказать такъ: ширина смятой части возлѣ линіи сдвига 10 мет. для сдвиговъ до 25 м. по вертикальному направленію. Для болѣе крупныхъ сдвиговъ это смятое пространство увеличивается до 100 мет., а иногда при перебросахъ замѣчаются полосы, лишенныя угля, годнаго для разработки, и въ 500 м. шириною.

Неточность опредѣленія запаса угля въ разсматриваемомъ нами случаѣ зависитъ точно также, какъ и въ предыдущемъ, отъ неточности опредѣленія паденія и простиранія пластовъ и, кромѣ того, отъ недостаточнаго изученія характера сдвиговъ и ихъ направленій. Такъ какъ относительно сдвиговъ нельзя сказать ничего строго опредѣленнаго, то мы оставимъ этотъ вопросъ въ сторонѣ, обративъ вниманіе читателя на то, что иногда бывають случаи, когда для опредѣленія протяженія сдвига приходится бурить особыя скважины.

Относительная ошибка вычисленія запаса дается формулой (1), въ которой однако размѣръ горизонталей S зависитъ не только отъ точности плана, то есть, отъ болѣе или менѣе точнаго опредѣленія границъ поля, пранятаго къ подсчету, но также и отъ точности тѣхъ данныхъ, на основаніи которыхъ мы опредѣлили ихъ положеніе.

Поэтому, не останавливаясь на ошибкахъ, могущихъ произойти отъ неточности самаго плана, — отъ геодезическихъ ошибокъ мы перейдемъ непосредственно къ разсмотрѣнію неточностей отъ буровыхъ опредѣленій

Простираніе и паденіе, опредѣляемое по буровымъ даннымъ.

Простираніе и паденіе можетъ быть разсматриваемо какъ функція трехъ глубинъ, опредѣляющихъ положеніе пласта въ данномъ мѣстѣ, безразлично—опредѣлены ли эти глубины непосредственно или получены при помощи вычисленія отъ сосѣднихъ точекъ способомъ вспомогательныхъ разрѣзовъ.

Если ξ — азимуть паденія пласта, η — его уголъ паденія, α и β — азимуты линій, соединяющихъ болѣе глубокія скважины съ менѣе глубокими, разстояніе этихъ скважинъ l_1 и l_2 , а разности ихъ глубинъ $h_1 - h_0$ и $h_2 - h_0$, то ¹⁾

$$\operatorname{tg}(\xi - \beta) = \cot(\beta - \alpha) - \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{1}{\sin(\beta - \alpha)}, \quad (6)$$

¹⁾ См. Войславъ «Ислѣдованіе грунта и развѣдки полезныхъ ископаемыхъ посредствомъ ручнаго бура» и дополненіе.

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{h_2 - h_0}{l_2} \cdot \frac{1}{\cos(\xi - \beta)}. \quad (7)$$

Такъ какъ ни кровля, ни почва пласта не представляютъ изъ себя плоскостей, а нѣкоторыя волнообразныя поверхности, то простирание, опредѣленное по тремъ скважинамъ, точно также, какъ и паденіе, не есть, строго говоря, простирание пласта въ данномъ пространствѣ, а есть лишь простирание плоскости, проходящей черезъ точки пересѣченія скважинъ съ пластомъ. Въ виду этого теоретически слѣдовало бы для опредѣленія простирания пласта въ данной точкѣ приблизить скважины къ этой точкѣ такъ, чтобъ горизонтальныя разстоянія между ними были очень малы; тогда ф-ра (6) при l_1 и l_2 очень маломъ дастъ намъ направленіе горизонтальной касательной къ плоскости пласта въ данной точкѣ, а слѣдовательно и строго, математически понятое его простирание.

Конечно, на практикѣ есть предѣлъ сдвиганію скважинъ, опредѣляемый тѣмъ соображеніемъ, что при малыхъ отличіяхъ глубинъ, благодаря неточности буровыхъ данныхъ, могутъ получиться вполне невѣрные результаты вычисленія, къ тому же мы отъ скважинъ требуемъ и отвѣтовъ на другіе вопросы, а не только опредѣленія простирания строго въ данной точкѣ. Однако вышеприведенное разсужденіе показываетъ намъ, что въ случаѣ складчататаго строенія надо считаться съ этимъ условіемъ и закладывать скважины, имѣющія цѣлью опредѣленіе простирания и паденія, на такихъ разстояніяхъ одна отъ другой, чтобъ въ пространствѣ, занятомъ ими, кровлю или почву пласта можно было бы считать плоскостью.

Итакъ, для того чтобы разобратся въ точности опредѣленнаго буровыми работами простирания и паденія, разобьемъ все поле на небольшіе участки, въ которыхъ горизонтали пласта могутъ считаться прямыми линіями (черт. VIII).

Ошибки въ опредѣленія паденія пласта отражаются на разстояніи горизонталей; величина ихъ дается формулами (3) и (4).

Что касается ошибки отъ неточнаго опредѣленія простирания $\xi - 90^\circ$ то, назвавъ ее $\Delta\xi$, изъ треугольника ABC (черт. IX), въ которомъ AB настоящая длина S , AC —ошибочно опредѣленная $S + \Delta S$ и, наконецъ, уголъ $\angle BCA = \delta$, получимъ

$$\frac{AB}{\sin(\delta + \Delta\eta)} = \frac{AC}{\sin(\delta + \Delta\xi)}$$

или иначе

$$S = (S + \Delta S) \frac{\sin\delta}{\sin(\delta + \Delta\xi)}.$$

Если замѣнимъ $\cos \Delta \xi = 1$, а $\sin \Delta \xi = \Delta \xi$, что вполне допустимо въ виду малости угла $\Delta \xi$, равенство

$$\frac{\Delta S}{S} = \left[1 - \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \Delta \xi)} \right] : \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \Delta \xi)}$$

окончательно перейдетъ въ

$$\frac{\Delta S}{S} = \cot \delta \cdot \Delta \xi. \quad (8)$$

Итакъ необходимо найти значеніе $\Delta \xi$, выраженное въ функціи трехъ глубинъ и ихъ разстояній. Обратимся къ ур. (6); такъ какъ

$$\operatorname{tg} \Delta \xi = \operatorname{tg}[(\xi + \Delta \xi - \beta) - (\xi - \beta)] = \frac{\operatorname{tg}(\xi + \Delta \xi - \beta) - \operatorname{tg}(\xi - \beta)}{1 + \operatorname{tg}(\xi + \Delta \xi - \beta) \operatorname{tg}(\xi - \beta)}$$

и кромѣ того

$$\operatorname{tg}(\xi + \Delta \xi - \beta) = \cos(\beta - \alpha) - \frac{h_1 + \Delta h_1 - h_0 - \Delta h_0}{h_2 + \Delta h_2 - h_0 - \Delta h_0} \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{1}{\sin(\beta - \alpha)},$$

то, назвавъ для краткости $\beta - \alpha = \gamma$, $h_2 - h_0 = q$, $h_1 - h_0 = x$,

$$\begin{aligned} \Delta y &= (h_2 + \Delta h_2) - (h_0 + \Delta h_0) - (h_2 - h_0), \\ \Delta x &= (h_1 + \Delta h_1) - (h_0 + \Delta h_0) - (h_1 - h_0), \end{aligned}$$

для $\operatorname{tg} \Delta \xi$ получимъ выраженіе:

$$\operatorname{tg} \Delta \xi = \frac{\left(\frac{x + \Delta x}{y + \Delta y} - \frac{x}{y} \right) \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{1}{\sin \gamma}}{1 + \left(\cot \gamma - \frac{x + \Delta x}{y + \Delta y} \frac{l_2}{l_1} \frac{1}{\sin \gamma} \right) \left(\cot \gamma - \frac{x}{y} \frac{l_2}{l_1} \frac{1}{\sin \gamma} \right)}$$

А если отбросимъ Δx и Δy въ знаменателѣ, какъ мало вліяющія на значеніе дроби послѣ произведенія дѣйствій, то найдемъ:

$$\operatorname{tg} \Delta \xi = \frac{\frac{l_2}{l_1} \Delta \frac{x}{y} \sin \gamma}{1 - 2 \frac{x}{y} \frac{l_2}{l_1} \cos \gamma + \frac{x^2}{y^2} \frac{l_2^2}{l_1^2}} = \Delta \xi, \quad (9)$$

такъ какъ въ виду малости $\Delta \xi$ мы вправѣ принять приближенное равенство $\operatorname{tg} \Delta \xi = \Delta \xi$.

Если теперь подставимъ въ выраженіе для $\frac{\Delta S}{S}$ найденное значеніе $\Delta \xi$ и введемъ обратно прежнія обозначенія, то

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\frac{l_2}{l_1} \Delta \left(\frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} \right) \sin(\beta - \alpha)}{1 - 2 \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} \cdot \frac{l_2}{l_1} \cos(\beta - \alpha) + \left(\frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} \right)^2 \frac{l_2^2}{l_1^2}} \cot \delta. \quad (10)$$

Выраженіе это показываетъ, что постоянныя ошибки, напр. происходяція отъ измѣренія штангъ бурового инструмента неточной рулеткой, не играютъ значительной роли въ точности опредѣленія простирания пласта по тремъ скважинамъ. На самомъ дѣлѣ, если ошибка пропорціональна глубинѣ, такъ что $\Delta h_2 = h_2 \Delta h$, $\Delta h_1 = h_1 \Delta h$, $\Delta h_0 = h_0 \Delta h$, то

$$\Delta \left(\frac{h_2 - h_0}{h_1 - h_0} \right) = \Delta h \frac{(h_1 - h_0)(h_2 - h_0) - (h_2 - h_0)(h_1 - h_0)}{(h_1 - h_0)^2} = 0.$$

Изъ этого мы заключаемъ, что способъ измѣренія глубины скважинъ долженъ быть, не взирая на прочія условія, строго одинаковъ во всѣхъ развѣдочныхъ работахъ, и измѣреніе и запасъ должны, по возможности, производиться однимъ лицомъ.

Для опредѣленія вліянія соотношенія величинъ, входящихъ въ ур. (10), на величину относительной ошибки изслѣдуемъ это уравненіе, для краткости обозначивъ $\frac{l_2}{l_1} = n$, $\frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} = v$ и, наконецъ, $\text{tg} \delta \frac{\Delta S}{S} = Z$, такъ что

$$Z = \frac{n \Delta v \sin \gamma}{1 - 2nv \cos \gamma + n^2 v^2}.$$

Продифференцируемъ выраженіе для Z по γ , тогда

$$\frac{dZ}{d\gamma} = \frac{n \Delta v \cos \gamma (1 - 2nv \cos \gamma + n^2 v^2) - n \Delta v \cdot 2nv \sin^2 \gamma}{(1 - 2nv \cos \gamma + n^2 v^2)^2}.$$

Такъ какъ вторая производная отрицательна, то Z имѣетъ max.; итакъ, если $\frac{dZ}{d\gamma} = 0$, то

$$\cos \gamma (1 - 2nv \cos \gamma + n^2 v^2) - 2nv \sin^2 \gamma = 0;$$

отсюда же получаемъ, что для max. Z требуется, чтобъ $\cos \gamma = \frac{2nv}{1 + n^2 v^2}$;

но такъ какъ для насъ важно, чтобъ Z было по возможности мало, то на основаніи приведеннаго мы заключаемъ, что слѣдуетъ стараться, чтобы

$$\cos \gamma \leq \frac{2nv}{1 + n^2 v^2}.$$

Продифференцируемъ теперь выраженіе Z по u :

$$\frac{dZ}{du} = \frac{\Delta v \sin \gamma (1 - n^2 v^2)}{(1 - 2nv \cos \gamma + n^2 v^2)^2};$$

опять, такъ какъ вторая производная отрицательна, то max. Z соотвѣтствуетъ

$$1 - n^2 v^2 = 0.$$

А отсюда: $nv=1$, такъ какъ, по смыслу рѣшенія задачи трехъ скважинъ, ни n , ни v не могутъ имѣть отрицательныхъ значеній.

На основаніи такого же, какъ выше, соображенія:

$$nv \leq 1.$$

Итакъ, если мы для опредѣленія простиранія пользуемся равно-стороннимъ треугольникомъ скважинъ, то желательно, чтобы обѣ болѣе глубокия скважины не попали на одну горизонталь пласта, и обратно, если обѣ болѣе глубокия скважины приблизительно одинаковой глубины, то желательно, чтобы линіи, соединяющія ихъ съ менѣе глубокой, были различной длины.

Если принять $nv=1$, то тогда $\cos \gamma=1$ и $\beta-\alpha=0$, а $\frac{\Delta S}{S} = \frac{0}{0}$, что вполнѣ понятно, такъ какъ въ этомъ случаѣ всѣ три буровыя скважины должны лежать на одной прямой линіи, а слѣдовательно—должна существовать пропорція

$$\frac{h_2-h_1}{h_1-h_0} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Вообще изслѣдованіе ур. (10) дало намъ главнымъ образомъ отрицательныя указанія: мы узнали, какого расположенія слѣдуетъ избѣгать. Съ практической точки зрѣнія этого достаточно, такъ какъ при закладываніи глубокихъ скважинъ мы обыкновенно такъ стѣснены числомъ ихъ, что не приходится обращать вниманія на второстепенныя выгоды того или другого распредѣленія.

Иногда, когда имѣется достаточное количество скважинъ, пользуются ими такимъ образомъ, что, группируя ихъ по три, опредѣляютъ для промежутка между ними простираніе, которое относится къ ближайшей точкѣ горизонтали, и такимъ образомъ вычерчивается вся горизонталь. Если въ промежуткѣ между двумя точками, въ которыхъ простираніе извѣстно, нѣтъ непосредственныхъ данныхъ для его опредѣленія, то простираніе принимается среднее.

Наконецъ, считаю необходимымъ замѣтить, что фор. (10) указываетъ на то, что небольшія погрѣшности опредѣленія глубины пласта скважинами мало отражаются на длинѣ горизонталей.

Перейдемъ теперь къ опредѣленію вліянія погрѣшностей измѣренія глубины скважинъ на точность вычисляемаго угла паденія

$$\operatorname{tg} \Delta \eta = \operatorname{tg}[(\eta + \Delta \eta) - \eta] = \frac{\operatorname{tg}(\eta + \Delta \eta) - \operatorname{tg} \eta}{1 + \operatorname{tg}(\eta + \Delta \eta) \cdot \operatorname{tg} \eta};$$

но изъ ур. (7)

$$\operatorname{tg}(\eta + \Delta \eta) = \frac{y + \Delta y}{l_2} \cdot \frac{1}{\cos(\xi + \Delta \xi - \beta)},$$

а значитъ

$$\operatorname{tg}\Delta\eta = l_2 \frac{(y + \Delta y)\cos(\xi - \beta) - y[\cos(\xi - \beta)\cos\Delta\xi - \sin(\xi - \beta)\sin\Delta\xi]}{l_2^2[\cos(\xi - \beta)\cos\Delta\xi - \sin(\xi - \beta)\sin\Delta\xi]\cos(\xi - \beta) + y^2 + y\Delta y}.$$

Но можно положить $\sin\Delta\xi = \Delta\xi$, $\cos\Delta\xi = 1$, и въ виду этого

$$\operatorname{tg}\Delta\eta = l_2 \frac{\cos(\xi - \beta)\Delta y - \sin(\xi - \beta)\Delta\xi}{l_2^2[\cos^2(\xi - \beta) - \sin(\xi - \beta)\cos(\xi - \beta)\Delta\xi] + y^2 + y\Delta y}$$

и наконецъ, отбросивъ въ знаменателѣ $\Delta\xi$ и $\Delta\eta$, какъ мало вліяющія на окончательный результатъ, и принявъ къ тому же $\operatorname{tg}\Delta\eta = \Delta\eta$, получимъ

$$\Delta\eta = l_2 \cos(\xi - \beta) \frac{\Delta y - \operatorname{tg}(\xi - \beta)\Delta\xi}{l_2^2 \cos^2(\xi - \beta) + y^2}$$

или

$$\Delta\eta = l_2 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\xi - \beta)} \cdot \frac{\Delta y - \operatorname{tg}(\xi - \beta)\Delta\xi}{y^2 + l^2 + l^2 \operatorname{tg}^2(\xi - \beta)}. \quad (11)$$

Для дальнѣйшаго развитія этого выраженія слѣдовало бы подставить въ него значенія для $\operatorname{tg}(\xi - \beta)$ и $\Delta\xi$, опредѣленные раньше, но тогда получаются очень сложныя формулы, плохо поддающіяся упрощеніямъ; поэтому ф-р. (11) удобнѣе оставить въ теперешнемъ видѣ.

Соединивъ ф-р. (11) съ ф-р. (3), мы получимъ возможность опредѣлить $\frac{\Delta L}{L}$.

Третій элементъ запаса ископаемаго — толщина пласта — опредѣляется по вертикальному его сѣченію буровой скважиной. Итакъ, если толщина пласта — d , а въ буровой скважинѣ пройдено d_0 угля, уголь паденія — η , то

$$d = d_0 \cos\eta.$$

Но d_0 опредѣлено съ нѣкоторой погрѣшностью Δd_0 , уголь η собственно $\eta + \Delta\eta$, итакъ

$$d + \Delta d = (d_0 + \Delta d_0) \cos(\eta + \Delta\eta);$$

отсюда

$$\frac{\Delta d}{d} = -1 + \left(1 + \frac{\Delta d_0}{d_0}\right) (\cos\Delta\eta - \operatorname{tg}\eta \sin\Delta\eta).$$

Подставивъ вмѣсто $\cos\Delta\eta$ и $\sin\Delta\eta$ ихъ приближенныя значенія 1 и $\Delta\eta$ и отбросивъ — $\frac{\Delta d_0}{d_1} \Delta\eta \operatorname{tg}\eta$, получимъ

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta d_0}{d_0} - \Delta\eta \operatorname{tg}\eta. \quad (12)$$

Величина $\frac{\Delta d_0}{d_0}$ зависитъ не только отъ строгости измѣреній и наблюдений за ходомъ работъ, но также и отъ системы буренія. Такъ напр., при алмазномъ буреніи, когда получаютъ колонки пройденныхъ породъ, погрѣшности измѣренія при нѣкоторомъ стараніи и тщательности можно довести почти до нуля; наоборотъ, при буреніи съ промывкой, въ особенности—при машинной работѣ, когда буреніе подвигается очень быстро впередъ, ошибка $\frac{\Delta d_1}{d_0}$ достигаетъ иногда поразительныхъ размѣровъ. При буреніи системами Раки или Ралидъ случается, при оплошности со стороны производителей работъ, пропускать цѣлыя рабочіе пласты. Вообще для каждой системы буренія слѣдуетъ установить величины вѣроятныхъ и возможныхъ погрѣшностей. Пока еще въ нашемъ распоряженіи такихъ числовыхъ данныхъ не имѣется.

Итакъ мы разобрали случай опредѣленія простирания и паденія по тремъ скважинамъ, а также погрѣшности этого метода было указано равнымъ образомъ, что часто паденіе и простирание принимается какъ среднее изъ сосѣднихъ точекъ, иначе говоря—величины эти приходится опредѣлять по довольно удаленнымъ скважинамъ. Вообще надо сказать, что данныя для опредѣленія запаса ископаемаго въ различныхъ частяхъ изслѣдуемаго пространства отличаются далеко не одинаковой полнотой и точностью. Въ виду этого надо сознаться, что вопросъ о степени точности развѣдокъ пластовыхъ мѣсторождений мало разработанъ, но одновременно видно, и до какой степени этотъ вопросъ является сложнымъ и запутаннымъ.

Указанные мною способы вычисленія погрѣшностей даютъ возможность опредѣлить относительныя ошибки исчисленія запаса въ участкахъ, непосредственно развѣданныхъ, о другихъ же участкахъ мы можемъ судить только на основаніи аналогіи. Итакъ, если мы, исходя изъ общегеологическихъ указаній, предполагаемъ, что (см. черт. IX) участокъ *B*, лежащій между участками *A* и *C*, есть нѣчто среднее по своему геологическому строенію между *A* и *C*, и на основаніи такого соображенія вычисляемъ запасъ ископаемаго въ этомъ участкѣ, то, конечно, полученные цифровыя данныя носятъ характеръ только вѣроятнаго запаса. Что касается степени этой вѣроятности, то она можетъ быть очень разнообразна, и въ большинствѣ случаевъ затруднительно найти для нея математическое, числовое значеніе.

Для пластовыхъ, въ особенности угольныхъ мѣсторождений, вѣроятность, что участокъ, находящійся между двумя развѣданными, по своему строенію будетъ переходнымъ звеномъ между ними, очень близко подходит къ единицѣ, такъ что мы вправѣ дѣлать обобщенія, о которыхъ

говорилось раньше. Итакъ, если мы опредѣлили точность исчисления для нѣкоторыхъ хорошо развѣданныхъ участковъ, то предполагая, что способъ производства развѣдокъ примѣняется вездѣ одинъ и тотъ же, мы вправѣ со значительной, близкой къ единицѣ вѣроятностью предполагать, что и весь запасъ угля вычисленъ съ той же степенью точности.

Развѣдки крутопадающихъ пластовъ, покрытыхъ толстымъ слоемъ болѣе новыхъ образований.

Если для развѣдокъ наклонныхъ пластовъ, выходы которыхъ подходятъ близко къ дневной поверхности, основнымъ способомъ является рядъ скважинъ, заложенныхъ въ небольшихъ разстояніяхъ одна отъ другой вкрестъ простирания мѣсторожденія, если для пологопадающихъ пластовъ, въ особенности—если они покрыты, требуется бурить ограниченное число, но глубокихъ скважинъ, то въ разсматриваемомъ нами теперь случаѣ требуется и то, и другое, то есть, много и глубокихъ скважинъ.

Развѣдочныя линіи направляются, какъ обыкновенно, вкрестъ простирания. Если толщина новыхъ образований будетъ h_0 , уголъ паденія пластовъ— η , то горизонтальное пространство, развѣданное скважиной, проникнувшей на глубину h_1 въ содержація полезное ископаемое образование, будетъ ¹⁾

$$e = h_1 \cot \eta,$$

а значитъ, для того, чтобы развѣдать поле шириною E , надо заложить столько скважинъ и такой глубины, чтобы существовало неравенство

$$\cot \eta \sum_1^n h_1 \geq E,$$

ибо, если скважинами должны быть пробурены всѣ пласты, такъ чтобы ни одинъ изъ нихъ не былъ пропущенъ, то необходимо, чтобы всякая скважина заходила нѣсколько глубже h_1 на какую нибудь глубину h_2 . Тогда глубина каждой скважины равна

$$H = h_0 + h_1 + h_2.$$

Если E разобьемъ на n равныхъ разстояній, то глубина скважинъ опредѣлится:

$$H = h_0 + \frac{1}{n} E \operatorname{tg} \eta + h_2. \quad (13)$$

Итакъ, мы видимъ, что, увеличивая глубину отдѣльныхъ скважинъ,

¹⁾ Эта задача разсмотрѣна Войславомъ, но довольно узко.

мы можемъ уменьшить ихъ число, и обратно, увеличивая число, уменьшать глубину. Методъ большого числа скважинъ примѣняется, какъ мы это уже видѣли раньше, при незначительной толщинѣ наносовъ или ихъ отсутствіи; но при болѣе толстомъ покровѣ всякая скважина обременяется стоимостью пробуриванія этого покрова, скажемъ—нѣкоторой непроизводительной затратой C , и, кромѣ того, затратами, сопряженными съ заложениемъ новой скважины; назовемъ эти затраты c . Итакъ, при n скважинахъ совокупность указанныхъ затратъ будетъ $n(C+c)$, а это наводитъ насъ на мысль, что число скважинъ слѣдуетъ ограничивать.

Но съ другой стороны, если обратимъ вниманіе на то, что стоимость буровой скважины возрастаетъ не пропорціонально ея глубинѣ, а гораздо быстрѣе, то мы придемъ къ обратному выводу, что слѣдуетъ довольствоваться нѣкоторой, довольно ограниченной глубиной буренія.

Указанные противорѣчивые выводы даютъ намъ возможность сдѣлать одно вполне справедливое заключеніе: при развѣдкахъ крутопадающихъ пластовъ, покрытыхъ толстымъ слоемъ новѣйшихъ отложеній, надо примѣнять механическое буреніе, которое даетъ намъ возможность проникать, при сравнительно болѣе равномерной цѣнѣ буренія, въ болѣе глубокіе горизонты.

Для рѣшенія вопроса, какимъ числомъ скважинъ и какой глубины слѣдуетъ пользоваться при развѣдкахъ разсматриваемаго нами теперь типа, рассмотримъ болѣе подробно условія стоимости ихъ. Итакъ, расцѣнка буровыхъ работъ бываетъ вообще довольно разнообразна, чаще всего цѣна погонной единицы глубины возрастаетъ періодически, напр. черезъ каждые 50 мет.

Если основная цѣна первыхъ r мет. a руб., то вторыхъ r она будетъ $a+b$, третьихъ $a+2b$ и т. д., такъ что цѣна всей скважины опредѣляется суммой арифметической прогрессіи

$$ar + (a+b)r + (a+2b)r + \dots + (a+mb)r + [a+(m+1)b]r_1;$$

въ приведенномъ выраженіи $r_1 < r$, такъ какъ обыкновенно глубина скважины не кратное r .

Суммируя, найдемъ k , стоимость скважины глубиною $H=mr+r_1$:

$$k=mar + \frac{m(m+1)}{2}br + ar_1 + (m+1)br_1,$$

а такъ какъ $m = \frac{H-r_1}{r}$, то

$$k=aH + \frac{1}{2} \left(\frac{H-r_1}{r} + 1 \right) bH + \frac{1}{2} \left(\frac{H-r_1}{r} + 1 \right) br_1. \quad (14)$$

Если развѣдочная линія раздѣлена на n равныхъ частей, то, смотря по тому, будемъ ли мы бурить скважины у обѣихъ границъ развѣдываемого участка или только у одной, а именно—къ которой падаютъ пласты, то стоимость всей работы на этой развѣдочной линіи будетъ $K=(n+1)k$ или nk , конечно, при предположеніи, что глубина всѣхъ скважинъ одинакова. Обозначимъ для краткости $h_1 + h_2 = h$ и рассмотримъ сначала второй случай (n скважинъ), какъ болѣе простой. На основаніи фор. (13) имѣемъ

$$n = \frac{Etg\eta}{H-h},$$

а слѣдовательно

$$K = \frac{Etg\eta}{H-h} \left[aH + \frac{1}{2} \left(\frac{H-r_1}{r} + 1 \right) bH + \frac{1}{2} \left(\frac{H-r_1}{r} + 1 \right) br_1 \right]. \quad (15)$$

Выраженіе это показываетъ, что стоимость работъ прямо пропорціональна tg угла паденія пластовъ, а слѣдовательно, при углахъ паденія близкихъ къ 90° , затраты на развѣдки дѣлаются несоразмѣрно великими, такъ что буровыя скважины въ этомъ случаѣ едва ли примѣнимы; въ этомъ случаѣ развѣдываютъ пологими квершлагами изъ соседнихъ шахтъ. Способъ этотъ довольно распространенъ на западѣ. Для простоты дальнѣйшаго разсужденія примемъ, что $\frac{H}{r}$ — число цѣлое, такъ что $r_1 = 0$, и тогда

$$K = \frac{Etg\eta}{H-h} \left[aH + \frac{1}{2} \left(\frac{H}{r} + 1 \right) bH \right].$$

Опредѣлимъ, при какомъ H стоимость K дѣлается самой малой; для этого

$$\frac{dK}{dH} = \frac{Etg\eta}{(H-h)^2} \left[\frac{bH^2}{2r} - \frac{bhH}{r} - h \left(a + \frac{b}{2} \right) \right] = 0.$$

Отсюда

$$H^2 - 2hH - hr \left(2 \frac{a}{b} + 1 \right) = 0,$$

$$H = h \pm \sqrt{h^2 + hr \left(2 \frac{a}{b} + 1 \right)};$$

а такъ какъ отрицательное значеніе H не имѣетъ смысла въ данномъ случаѣ, то въ концѣ концовъ

$$H = (h_1 + h_2) \left[\sqrt{1 + \frac{r}{h_1 + h_2} \left(2 \frac{a}{b} + 1 \right)} + 1 \right].$$

Такъ какъ $\frac{d^2K}{dH^2} > 0$, то данное выраженіе отвѣчаетъ $\min.K$. Оно показываетъ, что, еслибъ возможно было бурить до безпредѣльной глубины съ одинаковыми затратами на каждую погонную единицу, такъ что $b=0$, то самыми рациональными явились бы очень глубокія скважины.

Выведенная нами фор. (15) относится къ случаю, когда у одной межи скважина не закладывается, но ею можно пользоваться какъ приближенной формулой и при полномъ числѣ скважинъ (чер. X); въ случаѣ же, когда развѣдочная линія очень длинна, и наносы не толсты, тогда число скважинъ n большое, и мы вправѣ принять n вмѣсто $n+1$. При короткихъ линіяхъ и толстыхъ наносахъ такое упрощеніе недопустимо. Вообще скважины слѣдуетъ бурить у обѣихъ границъ (черт. X).

Если бы мы ограничились скважиной 4, то всѣ пласты, выходы которыхъ имѣются по правой сторонѣ межи B , останутся неразвѣданными. Итакъ, собственно стоимость буренія дается формулой:

$$K = \left[\frac{Etg\eta}{H-h} + 1 \right] \left[aH + \frac{1}{2} \left(\frac{H-r_1}{r} + 1 \right) bH + \frac{1}{2} \left(\frac{H-r_1}{r} + 1 \right) r_1 b \right]. \quad (16)$$

Строго говоря, стоимость работы увеличивается непрерывно и постепенно, по мѣрѣ углубленія скважины, ибо всякій послѣдующій метръ требуетъ затраты большаго количества энергіи, чѣмъ предыдущій. На практикѣ избѣгаютъ такого рода расцѣнокъ только изъ за сложности вычисленій. Для того чтобъ рѣшить вопросъ принципиально относительно глубины скважинъ, изслѣдуемъ ур. (16), положивъ $r_1=0$; тогда

$$K = \frac{b}{2r} \left(1 + \frac{Etg\eta}{H-h} \right) \left(r \frac{2a+b\eta}{3} H + \frac{bH^2}{4} \right);$$

а если для краткости обозначимъ $Etg\eta=N$, и $r \frac{2a+b}{b} = M$, то

$$K = \frac{b}{2r} \left(1 + \frac{N}{H-h} \right) (MH + H^2);$$

приравнявъ первую производную нулю

$$\frac{dK}{dH} = \frac{b}{2r} \cdot \frac{2H^3 + (N+M-4h)H^2 + 2(h^2 - Nh - Mh)H + Mh^2 - NMh}{(H-h)^2} = 0,$$

получимъ

$$H^3 + \left(\frac{M+N}{2} - 2h \right) H^2 + (h^2 - Nh - Mh)H + \frac{Mh^2 - NMh}{2} = 0.$$

Такъ какъ вторая производная положительна при $H > h$, то выведенное уравненіе соотвѣтствуетъ $\min.K$. Положивъ

$$H = x - \frac{1}{3} \left(\frac{M+N}{2} - 2h \right),$$

получимъ уравненіе

$$x^3 + px + q = 0,$$

въ которомъ

$$p = -\frac{1}{3} \left(\frac{M+N}{2} - 2h \right)^2 + (h^2 - Mh - Nh),$$

$$q = \frac{2}{27} \left(\frac{M+N}{2} - 2h \right)^3 - \frac{1}{3} \left(\frac{M+N}{2} - 2h \right) (h^2 - Mh - Nh) + \frac{Mh^2 - MNh}{2}.$$

Такъ какъ N гораздо больше M и h , то $p < 0$; на томъ же основаніи $q > 0$; а также легко усмотрѣть, что $\frac{1}{2}q + \frac{1}{3}p < 0$, а слѣдовательно и

$$\left(\frac{1}{2} q \right)^2 + \left(\frac{1}{3} p \right)^3 < 0.$$

Въ виду этого всѣ корни уравненія—мнимые, и намъ остается для рѣшенія нашего кубическаго уравненія примѣнить тригонометрическій способъ, который даетъ

$$x_1 = \sqrt{-\frac{4}{3}p} \cdot \sin \varepsilon, \quad x_2 = \sqrt{-\frac{4}{3}p} \cdot \sin(60 - \varepsilon), \quad x_3 = -\sqrt{-\frac{4}{3}p} \cdot \sin(60 + E); \quad (17)$$

для опредѣленія ε имѣемъ

$$\sin 3\varepsilon = \sqrt{-\frac{72}{4} \frac{q^2}{p^3}}; \quad (18)$$

x_3 , какъ отрицательное, не соотвѣтствуетъ заданію; что касается x_1 и

x_2 , то легко видѣть, что при $3E = 90^\circ$ или $E = 30^\circ$; $x_1 = x_2 = \sqrt{-\frac{p}{3}}$.

Случай этотъ имѣетъ мѣсто, когда h сравнительно съ другими величинами—см. (16)—настолько мало, что имъ можно пренебречь, то есть, когда новѣйшія отложенія почти отсутствуютъ. Положимъ, напр., что

$\frac{h}{E \operatorname{ctg} \eta}$ настолько мало, что мы можемъ пренебречь] не только этой, но

и $\left(1 + \frac{M}{N}\right) \frac{h}{N}$, а также $M \frac{h^2}{N^2}$ и $M \frac{h}{N}$, тогда: $\frac{x_1}{N} = \frac{x_2}{N} = \frac{1}{3}$, а слѣ-

довательно $\frac{H}{E \operatorname{ctg} \eta} = 0$.

Это ни что иное, какъ принципъ неглубокихъ скважинъ, о которыхъ мы говорили раньше. Для большей ясности подставимъ въ выраженія для p и q вмѣсто M и N ихъ значенія.

$$\left. \begin{aligned}
 p &= -\frac{1}{3} \left(r \frac{2a+b}{2b} + \frac{E \operatorname{tg} \eta}{2} - 2h \right)^2 + \left(h^2 - r \frac{2a+b}{b} h - E \operatorname{tg} \eta \cdot h \right), \\
 q &= \frac{2}{27} \left(r \frac{2a+b}{2b} + \frac{E \operatorname{tg} \eta}{2} - 2h \right)^3 + \left(r \frac{2a+b}{2b} h^2 - r \frac{2a+b}{2b} E \operatorname{tg} \eta \cdot h \right) \\
 &\quad - \frac{1}{3} \left(r \frac{2a+b}{2b} + \frac{E \operatorname{tg} \eta}{2} - 2h \right) \left(h^2 - r \frac{2a+b}{b} h - E \operatorname{tg} \eta \cdot h \right), \\
 H &= x - \frac{1}{3} \left(r \frac{2a+a}{2b} + \frac{E \operatorname{tg} \eta}{2} - 2h \right),
 \end{aligned} \right\} 19)$$

Изъ двухъ значеній H_1 и H_2 , $H_1 < H_2$, ибо тах. ϵ , какъ мы видѣли есть 30° ; H_1 соотвѣтствуетъ большому числу скважинъ, H_2 меньшему, но болѣе глубокихъ. Выборъ того или другого способа зависитъ отъ второстепенныхъ техническихъ условій, или же можетъ быть сдѣланъ на основаніи величины K , получаемой—если въ фор. (15) подставимъ H_1 или H_2 .

Для полноты изложенія рассмотримъ еще нѣсколько частныхъ случаевъ, относящихся къ данному типу развѣдокъ.

Итакъ, при совершенныхъ способахъ механическаго буренія мы можемъ въ довольно крупныхъ предѣлахъ считать цѣну погонной единицы за постоянную; поэтому стоимость скважины выразится

$$k = C + BH,$$

гдѣ A —разовые затраты, а B —цѣна погонной единицы; тогда

$$K = \left(\frac{E \operatorname{tg} \eta}{H-h} + \right) (C + BH),$$

$$\frac{dK}{dH} = \frac{-E \operatorname{tg} \eta \cdot \frac{C}{B} - E \operatorname{tg} \eta \cdot h + (H-h)^2}{(H-h)^2}. \quad B=0.$$

Отсюда

$$H = \sqrt{E \operatorname{tg} \eta \left(\frac{C}{B} + h \right)} + h$$

—значеніе H , отвѣчающее $\min. K$.

Если глубина H приблизительно извѣстна, то очень часто разовые расходы разбиваютъ на единицу глубины буренія, и тогда

$$k = BH.$$

$\min. K$ будетъ при

$$H = \sqrt{E \operatorname{tg} \eta h} + h.$$

Въ выраженіе это вовсе не вошла цѣна буренія. Изъ этого мы заключаемъ, что въ случаѣ, если подрядчикъ согласенъ на равномерную и нечрезмѣрную расцѣнку, то для подрядодателя выгодны глубокія скважины. Что касается вообще приемовъ развѣдокъ крутопадающихъ пластовъ, а равно и способовъ вычисленія запаса ископаемаго, то о нихъ можно сказать только то, что они тождественны съ описанными раньше, такъ что нѣтъ цѣли повторять это описаніе.

Глава вторая.

Развѣдки жильныхъ и гнѣздовыхъ мѣсторожденій.

Развѣдки жильныхъ мѣсторожденій при помощи буровыхъ скважинъ.

Жильныя мѣсторожденія развѣдываются очень рѣдко при помощи буровыхъ скважинъ въ виду того, что для опредѣленія запаса ископаемаго въ такихъ мѣсторожденіяхъ необходимо точно установить содержаніе ископаемаго въ единицѣ объема жильной породы, а буровыя работы въ этомъ отношеніи почти не приводятъ къ цѣли. Правда, при помощи алмазнаго буренія можно получать колонки, взятые изъ жильной породы, и такимъ образомъ прослѣдить ея содержаніе по вертикальной линіи въ данной точкѣ, но этотъ способъ примѣнимъ, во первыхъ, только для кристаллическихъ и вообще твердыхъ породъ, а во вторыхъ, онъ можетъ дать результаты, благопріятные въ экономическомъ отношеніи, если развѣдывается жильное мѣсторожденіе детально, только тогда, когда жилу развѣдываютъ у выходовъ, то есть, когда скважины очень не глубоки.

Въ случаѣ глубокаго буренія стоимость его является несоразмѣрно высокой съ получаемымъ результатомъ. Но если жилы выходятъ на поверхность или покрыты тонкимъ слоемъ наносовъ, то развѣдку удобно производить шурфованіемъ и системой квершлаговъ съ развѣдочными штреками по простиранію и паденію (возстанью).

Тѣмъ не менѣе бываютъ случаи, когда буровыя работы являются единственно возможными при развѣдкѣ жильнаго мѣсторожденія. Напр., если требуется отыскать продолженіе жилы или свиты жилъ, отдѣленныхъ отъ разрабатываемой части рядомъ сбросовъ, и поиски квершлагами являются безцѣльными, если на горизонтѣ разработокъ квершлагами встрѣчены болѣе новыя отложенія.

Само собой разумѣется, что отъ такихъ развѣдокъ нельзя требовать точныхъ данныхъ въ процентномъ составѣ жилы: онѣ могутъ дать только общія указанія на ея характеръ, такъ что окончательный резуль-

татъ развѣдокъ—это болѣе или менѣе ясная картина строенія мѣсторожденія и очень грубое представленіе о его запасѣ. Въ общемъ система веденія развѣдочныхъ работъ, конечно, такая же, какъ при развѣдкѣ крутопадающаго пластового мѣсторожденія; только въ виду отсутствія параллельности жилъ между собою и переменнаго угла паденія какъ въ отдѣльныхъ жилахъ, такъ и въ свитахъ ихъ, при составленіи проекта развѣдокъ принципы, которыми мы руководились для угольныхъ мѣсторожденій, теряются абсолютно. Итакъ, если уголь паденія для данной свиты жилъ мѣняется отъ γ_1 до γ_2 , то понятно, что, для того чтобъ не пропустить ни одной жилы въ развѣдуемомъ участкѣ, приходится число скважинъ и ихъ глубину рассчитывать такъ, какъ и въ пластовомъ мѣсторожденіи для шах. угла паденія γ_2 . При этомъ, конечно, головы жилъ окажутся пробуренными min. двумя, а то и тремя скважинами.

Кромѣ того, такъ какъ паденіе жилъ можетъ принимать всѣ возможныя направленія, то одной развѣдочной линіей трудно достигнуть полной картины разрѣза по направленію этой линіи. Въ виду этого, въ случаѣ если γ_1 и γ_2 достаточно не извѣстны, а равно ихъ направленія, слѣдуетъ группировать развѣдочныя линіи по двѣ, въ небольшихъ разстояніяхъ одна отъ другой.

При мало мальски значительной толщинѣ, покрывающихъ жилы болѣе новыхъ отложеній, систематическія развѣдки ихъ буровыми скважинами дѣлаются черезчуръ дорогостоящими, — и потому обыкновенно предпочитаютъ, сдѣлавъ лишь общіе развѣдки, которые обнаружили присутствіе жилъ требуемыхъ качествъ, не развѣдывать ихъ детально буреніемъ, а прямо приступить къ углубленію шахтъ и разработкѣ, которой, конечно, предшествуютъ частныя развѣдки при помощи рудничныхъ выработокъ. Конечно, такой способъ сопряженъ съ большимъ рискомъ: мѣсторожденіе можетъ оказаться негоднымъ и затраты явятся вполнѣ непроизводительными. Но такъ какъ буровыя работы стоили бы тоже громадныхъ денегъ, а утилитарное ихъ значеніе для разработки, въ случаѣ даже благопріятнаго исхода развѣдокъ,—нуль, то предпочитаютъ прямо закладывать шахты. Если алмазное буреніе въ твердыхъ породахъ даетъ результаты, въ виду значительной стоимости его, не вполнѣ удовлетворительные для выясненія состава жилы, то тѣмъ болѣе ударное буреніе въ породахъ средней твердости и мягкихъ приводитъ вообще къ результатамъ крайне шаткимъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ оно вовсе не примѣнимо, напр., при развѣдкахъ штокверковыхъ мѣсторожденій галмея въ доломитахъ. Вообще можно сказать, что, если развѣдываемое ископаемое мало отличается по своему внѣшнему виду отъ окружающихъ породъ или мелко расчѣяно въ породахъ, мало отличающихся отъ окружающихъ пустыхъ, то буровыя

работы не могутъ дать не только точныхъ указаній о свойствахъ и благонадежности сказанныхъ мѣсторожденій, но часто при помощи ихъ затруднительно опредѣлить присутствіе ископаемаго минерала. Для этихъ случаевъ рекомендуются шурфованіе или шахты съ развѣдочными штреками, о которыхъ мы будемъ еще говорить впоследствии.

Если по необходимости въ разсматриваемомъ случаѣ, не смотря на все, приходится прибѣгнуть къ буренію, то буровыя пробы надо подвергать тщательному химическому и микроскопическому анализу, при неуспѣшной бдительности за ходомъ работъ, такъ чтобъ даже самая незначительная прослойка породъ не ускользнула отъ нашего вниманія, и была опредѣлена съ научной точностью.

Развѣдки гнѣздовыхъ мѣсторожденій и штоковъ.

Замѣчаніе, сдѣланное въ предыдущей главѣ о труднопримѣнимости для развѣдокъ нѣкоторыхъ рудныхъ мѣсторожденій буренія, относится, конечно, и къ гнѣздовымъ мѣсторожденіямъ. Но такъ какъ шурфованіе примѣнимо только въ томъ случаѣ, если рудныя гнѣзда лежатъ вблизи поверхности, то можно сказать, что вообще развѣдка глубоко залегающихъ гнѣздовыхъ мѣсторожденій легкоисполнима только тогда, когда выполняющая ихъ порода довольно рѣзко отличается отъ окружающей.

Отличительная особенность гнѣздовыхъ мѣсторожденій отъ пластовыхъ и жильныхъ состоитъ въ томъ, что гнѣзда разсѣяны по всему пространству мѣсторожденія и занимаютъ только часть его, и что обнаруженіе ископаемаго въ одной какой нибудь точкѣ не дастъ права предполагать его присутствія въ другой, сосѣдней. Согласно вышесказанному развѣдки мѣсторожденій этого типа являются до нѣкоторой степени игрой, въ которой случай занимаетъ видную роль.

Цѣлью такихъ развѣдокъ является, во первыхъ, отысканіе гнѣздъ, затѣмъ—опредѣленіе ихъ формы и объема, и наконецъ—процентнаго содержанія ископаемаго.

Предположимъ, что характеръ мѣсторожденія извѣстенъ, а посему извѣстенъ и геологическій горизонтъ залеганія гнѣздъ, который прерѣшаетъ до нѣкоторой степени глубину буровыхъ скважинъ или шурфовъ. Если на данномъ пространствѣ, площадь котораго— F , имѣется гнѣздо, занимающее въ горизонтальной проекціи пл. f , то вѣроятность, что скважина, заложенная наугадъ въ развѣдуемой площади, попадетъ на гнѣздо, равна

$$p_1 = \frac{f}{F}; \quad (20)$$

при $n_1 + m$ скважинах вѣроятность, что будетъ сдѣлано m находокъ, опредѣляется уравненіемъ

$$p = \frac{1.2.3\dots(n_1 + m)}{1.2.3\dots n_1 1.2.3\dots m} \left(\frac{f}{F}\right)^m \left(1 - \frac{f}{F}\right)^{n_1}. \quad (21)$$

Такъ какъ намъ желательно опредѣлить вѣроятность одной находки, то, предположивъ $m=1$, а $n_1 + 1 = n$, получимъ

$$p = n \frac{f}{F} \left(1 - \frac{f}{F}\right)^{n-1}. \quad (22)$$

Выраженіе это легко приводится къ слѣдующему виду:

$$1 - p = \left(1 - n \frac{f}{F}\right)^n,$$

а именно: если обѣ стороны первоначальнаго уравненія вычестъ изъ единицы и произвести разложеніе $\left(1 - \frac{f}{F}\right)^{n-1}$, то окажется, что правая сторона не что иное, какъ разложеніе бинома $\left(1 - n \frac{f}{F}\right)^n$.

Ставимъ вопросъ, каково должно быть n , чтобъ вѣроятность находки гнѣзда превратилась въ достовѣрность $p=1$; тогда, конечно,

$$\left(1 - n \frac{f}{F}\right)^n = 0,$$

а слѣдовательно

$$n \frac{f}{F} = 1. \quad (23)$$

Геометрическій смыслъ этого выраженія таковъ, что, если все поле покрыто равномѣрно буровыми скважинами;—ибо только въ этомъ случаѣ вѣроятность находки руды въ каждой изъ нихъ одинакова, и каждое буреніе можетъ считаться независимымъ испытаніемъ; а участокъ вокругъ каждой скважины равенъ $f = \frac{F}{n}$,—то нѣтъ возможности не наткнуться на гнѣздо.

Пояснимъ сказанное еще нижеслѣдующимъ разсужденіемъ. Каждой скважиной развѣдывается нѣкоторый участокъ: $\Delta F_1, \Delta F_2, \dots$; участки эти могутъ быть неравновелики. Послѣ $(n-1)$ буреній окажется развѣдан-

ной часть поля $\sum_1^{n-1} \Delta F$, а слѣдовательно, если эти $(n-1)$ буреній дали неблагоприятный результатъ, то вѣроятность того, что при n буреній будетъ найдено гнѣздо f , находящееся на развѣдуемомъ полѣ, выразится:

$$p = \frac{f}{F - \sum_1^{n-1} \Delta F};$$

при достаточной величинѣ $\sum \Delta F$ отношеніе, равное p , приближается къ единицѣ, такъ что при нѣкоторомъ $\sum_1^{n-1} \Delta L$:

$$f = F - \sum_1^{n-1} \Delta F = \sum_1^n \Delta F - \sum_{i=1}^{n-1} \Delta F,$$

и находка гнѣзда становится обязательной. Конечно, нѣтъ никакой необходимости полагать, что только послѣдняя n -тая скважина дастъ благоприятный результатъ; порядокъ буренія здѣсь не играетъ никакой роли: мы доказали только то, что, если развѣдано все поле n скважинами вполне достаточно, то одна изъ этихъ скважинъ должна обнаружить гнѣздо.

Такъ какъ вообще нѣтъ раціональныхъ причинъ принимать, что одной скважиной развѣдывается участокъ больше или меньше, чѣмъ другой, развѣ только около границъ развѣдуемаго поля могутъ быть участки меньше нормальныхъ, и такъ какъ мы предположили $\Delta F_1 \geq \Delta F_2, \dots$ только для обобщенія, то примемъ теперь

$$\Delta F_1 = \Delta F_2 \dots \dots = \Delta F_n = \frac{F}{n},$$

а слѣдовательно

$$f = \Delta F = \frac{F}{n}$$

—выраженіе, выведенное выше.

Въ нашихъ разсужденіяхъ мы принимаемъ, что отыскиваемое гнѣздо на развѣдуемой площади находится фактически. Это предположеніе сдѣлано для простоты разсужденія, но оно не является необходимымъ, такъ какъ въ дѣйствительности намъ обыкновенно извѣстно только то, что гнѣздо вѣроятно находится на развѣдуемомъ полѣ, и при томъ мы не въ состояніи выразить этой вѣроятности числовой величиной. Если назовемъ эту неопредѣленную вѣроятность p_0 , то тогда вѣроятность находки гнѣзда одной скважиной будетъ

$$p_1 = \frac{f}{F} p_0, \tag{24}$$

а вѣроятность находки n скважинами

$$p = n \frac{f}{F} p_0 \left(1 - \frac{f}{F} p_0 \right)^{n-1}, \tag{25}$$

и мы должны стремиться къ тому, чтобъ результатъ развѣдокъ былъ равно вѣроятенъ присутствію гнѣзда, то есть, другими словами, чтобъ гнѣздо f было отыскано, если оно находится на развѣдуемомъ участкѣ. Формула (25) послѣ такого же преобразованія, какое мы описали при (22), приметъ видъ

$$p_0 - p = \left(p_0 - n \frac{f}{F} p_0 \right)^n;$$

слѣдовательно, при $p = p_0$, получается

$$1 - n \frac{f}{F} = 0.$$

Въ дальнѣйшихъ нашихъ разсужденіяхъ мы для простоты будемъ принимать въ большинствѣ случаевъ $p_0 = 1$. Если вообще площадь, фактически занятую гнѣздами, обозначимъ Σf , то вѣроятность отыскать гнѣздо одной скважиной будетъ

$$p = \frac{\Sigma f}{F}. \quad (26)$$

Если $\Sigma f = F$, то очевидно, всякая скважина попадетъ на руду.

Такъ какъ форма гнѣзда ничѣмъ не опредѣлена, то въ большинствѣ случаевъ намъ приходится принимать, что горизонтальная его проекція — кругъ (черт. XI а) на томъ основаніи, что нѣтъ или, по крайней мѣрѣ, мы не имѣемъ рациональныхъ основаній предполагать, что горизонтальные размѣры гнѣзда развились по какому нибудь направленію больше, чѣмъ по другому; итакъ

$$f = \pi \frac{d^2}{4}.$$

Съ другой стороны, всякія три скважины образуютъ треугольникъ такъ, что площадь F , покрытая сѣтью буровыхъ работъ, естественно распадается на нѣкоторое число треугольниковъ; соединяя же буровыя скважины по четыре, мы можемъ разбить поле на прямоугольники, квадраты, ромбы и т. д. Чаше всего примѣняется квадратная разбивка. Въ квадратной сѣти каждая скважина соотвѣтствуетъ квадрату, въ центрѣ котораго она находится. При разбивкѣ на равносторонніе треугольники всякой скважинѣ соотвѣтствуетъ нѣкоторый правильный шестиугольникъ.

Если крайнія скважины закладываются у границъ участка, такъ что мы можемъ принять

$$na^2 = F,$$

въ которомъ a — взаимное разстояніе скважинъ, то соединивъ это выраженіе съ (23), найдемъ, что, для того чтобъ не пропустить ни одного гнѣзда, должно существовать равенство:

$$n\pi \frac{d^2}{4} = na^2,$$

откуда

$$a = \frac{d}{2} \sqrt{\pi} = 0,88d. \quad (27)$$

Войславомъ для этого случая дается правило: бурить скважины на разстояніи другъ отъ друга не большемъ діаметра самаго малаго гнѣзда, годнаго для разработки. Легко видѣть однако, что при $a=d$ возможно пропустить гнѣздо, такъ какъ скважины могутъ очутиться по вершинамъ квадрата, описаннаго около круга—гнѣзда, не задѣвая его.

Вполнѣ равномерная разбивка поля скважинами достигается, если всѣ сосѣднія скважины находятся въ одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, то есть, если поле разбито на равносторонніе треугольники. Если l —разстояніе двухъ скважинъ, то площадь правильнаго шестиугольника, въ центрѣ котораго находится скважина (черт. XII), равна $\frac{l^2\sqrt{3}}{2}$, и для того, чтобъ развѣдкой не было пропущено ни одно гнѣздо, необходимо существованіе равенства:

$$n\pi \frac{d^2}{4} = n \frac{l^2\sqrt{3}}{2},$$

откуда

$$l = d \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}}} = 0,95d. \quad (28)$$

Итакъ—вполнѣ раціональное правило: буровыя скважины слѣдуетъ располагать въ шахматномъ порядкѣ, по взаимно параллельнымъ развѣдочнымъ линіямъ. Разстояніе скважинъ одна отъ другой— l , разстояніе развѣдочныхъ линій $\frac{l\sqrt{3}}{2} = 0,86l$; длина l опредѣляется характеромъ мѣсторожденія и требованіями, поставленными развѣдками.

Такъ какъ фигура развѣдываемой площади обыкновенно несоразмѣрна съ площадью квадратовъ или шестиугольниковъ, на которые мы разбиваемъ ее, то, конечно, равенства, на основаніи которыхъ мы сдѣлали наши выводы, имѣютъ только приближенное значеніе, вполнѣ достаточное для практическихъ цѣлей. Мы можемъ сказать развѣ только то, что нами развѣдана вполнѣ точно не площадь F , а нѣкоторая другая F_1 и притомъ $F_1 \leq F$, смотря по расположенію крайнихъ скважинъ. Конечно, при составленіи проекта развѣдокъ надо стараться, чтобъ разница между F и F_1 была по возможности мала.

Если площадь разбита на квадраты, то

$$p_1 = \sum \frac{f}{a^2},$$

въ случаѣ правильныхъ шестиугольниковъ

$$p_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sum \frac{f}{l^2};$$

при одинаковомъ числѣ скважинъ и $a=l$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15,$$

и слѣдовательно, рекомендуемый способъ выгоднѣе разбивки на квадраты, такъ какъ онъ является до нѣкоторой степени естественнымъ способомъ самаго равномернаго и полнаго раздѣленія площади, а главное потому, что правильный шестиугольникъ ближе подходит къ кругу—гнѣзду, чѣмъ квадратъ.

При данныхъ размѣрахъ сѣти скважинъ будутъ непременно отысканы всѣ гнѣзда, размѣры которыхъ соответствуютъ ур. (27), (28) или больше ихъ. Вѣроятность, что, кромѣ этихъ, будутъ отысканы еще гнѣзда, діаметръ которыхъ

$$d < \frac{a}{0,88} \quad \text{или} \quad d < \frac{l}{0,95}$$

даются ур. (22).

Легко увидѣть, что съ уменьшеніемъ діаметра гнѣздъ уменьшается очень быстро вѣроятность ихъ находки. Пусть будетъ у насъ гнѣздо діаметра d_1 и d_2 , вѣроятность находки ихъ:

$$p_1 = \frac{\pi N}{4} \frac{d_1^2}{L^2}; \quad p_2 = \frac{\pi N}{4} \frac{d_2^2}{L^2},$$

гдѣ N зависитъ отъ способа разбивки: для квадратной 1, для шестиугольной $\frac{2}{\sqrt{3}}$; отсюда

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}.$$

Итакъ, вѣроятности находки гнѣздъ прямо пропорціональны квадратамъ ихъ діаметровъ. Вѣроятный результатъ развѣдокъ вообще можетъ быть рассчитанъ на основаніи фор. (21), которая выражаетъ вѣроятность, что въ $n + m$ независимыхъ испытаніяхъ событіе E появится ровно m разъ, если для каждаго испытанія въ отдѣльности вѣроятность эта равна p_1 . Для нашего случая событіе это есть находка гнѣзда. Итакъ, вѣроятность находки m гнѣздъ, точнѣе m буровыхъ скважинъ, т. е. вѣроятность обнаружить руду дается указанной выше формулой. Если скважинъ много, то, примѣнивъ для упрощенія формулу Стирлинга, получимъ

$$p = \frac{(n+m)^{(n+m)+\frac{1}{2}}}{n^{n+\frac{1}{2}} \cdot m^{m+\frac{1}{2}}} \frac{p^m q^n}{\sqrt{2\pi}}, \quad (29)$$

$$p = \frac{f}{F}, \quad q = 1 - \frac{f}{F}.$$

Наивѣроятнѣйшее число $m = \mu$, то есть, такое, при которомъ p достигаетъ наибольшей величины, опредѣляется неравенствами

$$(m+n)p + p > \mu > (m+n)p - q,$$

гдѣ μ число цѣлое.

Формулами (21), (29) можно пользоваться, когда характеръ мѣсторожденія, благодаря сосѣднимъ разработкамъ, вполне извѣстенъ, такъ что площадь гнѣздъ на единицѣ поверхности земли приблизительно извѣстна. Въ этомъ случаѣ онѣ даютъ намъ возможность подобрать такъ число $n+m$ скважинъ и ихъ взаимное разстояніе, что наивѣроятнѣйшее число находокъ μ , а равно вѣроятности, что именно будетъ опредѣлено это число гнѣздъ, являются для насъ достаточными. Однако мы очень рѣдко располагаемъ такими данными; въ большинствѣ случаевъ намъ отчасти извѣстны размѣры гнѣздъ и то „отъ—до“, вообще довольно шатко. Трудно бываетъ также предсказать, какой горизонтальный поперечный размѣръ гнѣзда обуславливаетъ его пригодность или негодность для разработки, такъ какъ тутъ въ роль входятъ не только горизонтальные размѣры, но и вертикальные, а также и процентный составъ.

Итакъ, если у насъ имѣются только данныя о размѣрахъ гнѣздъ, то вѣроятность отысканія гнѣзда діаметромъ d на развѣдуемой площади F выразится — (24), если p_0 вѣроятность существованія гнѣзда въ этомъ участкѣ,

$$p = \frac{\pi d^2}{4F} p_0;$$

p въ большинствѣ случаевъ мало, такъ какъ мало отношеніе $\frac{\pi d^2}{4F}$ и p_0 ; въ виду этого намъ пришлось бы произвести массу развѣдочныхъ буреній или шурфованій, чтобъ довести $p = p_0$, а $n \frac{\pi d^2}{4F} = 1$. Въ этомъ случаѣ предпочитаютъ обыкновенно сначала тщательно развѣдать, какую нибудь часть DF всего поля въ одномъ или нѣсколькихъ мѣстахъ и, согласно полученнымъ даннымъ, развѣдываютъ участокъ дальше или не развѣдываютъ.

Предполагая, что условія залеганія гнѣздъ не мѣняются на всемъ развѣдываемомъ пространствѣ, мы можемъ дальнѣйшія развѣдки уподо-

бить известной въ теоріи вѣроятностей задачѣ о дальнѣйшемъ производствѣ опытовъ. Для этого случая имѣемъ:

Пусть E событие, вѣроятность котораго $p = \frac{\pi d^2}{4F} p_0$ намъ совершенно неизвѣстна (p_0). Пусть опытъ, которому свойственно явленіе E , былъ воспроизведенъ s разъ, при чемъ событие (находка руды) состоялась m разъ. Вообразимъ затѣмъ, что опытъ (буреніе, шурфованіе), которому свойственно событие E , предполагается воспроизвести въ будущемъ еще σ разъ. Вѣроятность того, что при этихъ σ опытахъ событие E состоится μ разъ, будетъ: ¹⁾

$$p = \frac{\sigma!(1+s)!(m+\mu)!(s+\sigma-m-\mu)!}{\mu!(\sigma-\mu)!m!(s-m)!(s+\sigma+1)!}. \quad (30)$$

Само собой разумѣется, что способъ и распланировка развѣдочныхъ работъ должны быть одинаковы въ обоихъ случаяхъ.

Иногда развѣдки ведутся такимъ образомъ, что все развѣдуемое поле покрывается рѣдкой сѣтью скважинъ съ расчетомъ, въ случаѣ довольно благопріятнаго результата, бурить промежуточные скважины. Для опредѣленія вѣроятности находки новыхъ гнѣздъ можно пользоваться фор. (30). Если скважинъ много, то для упрощенія этой формулы можно воспользоваться формулой Стирлинга

$$1.2.3\dots n = \sqrt{2\pi} e^{-n} n^{n+\frac{1}{2}} + Q, \quad \text{гдѣ } Q < \frac{1}{12n}.$$

Если отбросимъ Q и подставимъ указанное равенство вмѣсто $n!$, $m!$, $\mu!$ и т. д., то послѣ простыхъ сокращеній найдемъ, что

$$p = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \frac{\sigma^{\sigma+\frac{1}{2}}(s+1)^{s+1+\frac{1}{2}}(m+\mu)^{m+\mu+\frac{1}{2}}(s+\sigma-m-\mu)^{s+\sigma-m-\mu+\frac{1}{2}}}{\mu^{\mu+\frac{1}{2}}(\sigma-\mu)^{\sigma-\mu+\frac{1}{2}}m^{m+\frac{1}{2}}(\sigma-m)^{\sigma-m+\frac{1}{2}}(s+\sigma+1)^{s+\mu+\frac{3}{2}}} \quad (31)$$

Эта формула тоже еще чрезчуръ сложна для обыкновенныхъ практическихъ вычисленій; но такъ какъ дальнѣйшее развитіе развѣдокъ въ участкѣ, который оказался довольно благонадежнымъ, состоитъ въ томъ, что между скважинами на половинномъ ихъ разстояніи закладываются новыя, то въ общемъ число скважинъ или шурфовъ увеличивается четырекратно, и $\sigma = 3s$. Ставимъ вопросъ, какова вѣроятность, что въ этомъ случаѣ $\mu = 3m$, то есть, это число скважинъ съ рудою увеличится пропорціонально?

¹⁾ Некрасовъ. Теорія вѣроятностей, стр. 101.

$$p = \frac{4s^{3s+\frac{1}{2}}(s-1)^{s+\frac{3}{2}}}{\sqrt{6\pi} \cdot \sqrt{m(s-m)} \cdot (4s+1)^{4s+\frac{3}{2}}}. \quad (32)$$

Заканчивая главу о поискахъ гнѣздъ при помощи буренія или шурфованія, считаю необходимымъ замѣтить, что, если гнѣзда имѣютъ удлиненную форму и ориентированы въ одномъ какомъ-нибудь направленіи, то размѣры сѣти развѣдочныхъ работъ надо согласовать съ этимъ обстоятельствомъ, то есть, разбить площадь F на такія фигуры, которыя ближе всего подходили бы къ горизонтальной проекціи гнѣздъ. Если напр. гнѣзда имѣютъ овальную форму, отношеніе осей ихъ можетъ быть выражено $a:b$, гдѣ a —короткая, а b —длинная ось, то въ такомъ случаѣ развѣдочныя скважины слѣдуетъ располагать такъ, чтобы онѣ образовали прямоугольники ab .

Опредѣленіе запаса руды въ гнѣздовомъ мѣсторожденіи.

Здѣсь мы займемся только способомъ опредѣленія объема изслѣдуемыхъ гнѣздъ, оставивъ факторъ процентнаго состава до слѣдующей главы.

Если въ нѣкоторой части развѣдуемаго поля работы закончены, то приступаютъ къ болѣе детальному опредѣленію размѣровъ и формъ гнѣздъ или штоковъ, присутствіе которыхъ обнаружено. Для этого приходится между скважинами, показавшими присутствіе руды, бурить новыя или закладывать шурфы. Въ исключительныхъ случаяхъ, при очень густой сравнительно съ величиною гнѣздъ сѣти, можно довольствоваться имѣющимися данными; впрочемъ общаго правила, которое вполнѣ предрѣшало бы указанный вопросъ, дать нельзя. Одновременно съ буреніемъ дополнительныхъ скважинъ слѣдуетъ вычерчивать вертикальные разрѣзы гнѣздъ по нѣсколькимъ направленіямъ, ибо только совокупность плана и разрѣзовъ даетъ намъ возможность получить наглядное представленіе о формѣ гнѣзда; это замѣчаніе относится прежде всего къ штокамъ.

Поперечные разрѣзы даютъ намъ возможность выяснитъ себѣ законъ выелиниванія даннаго типа гнѣздъ и тѣмъ самымъ болѣе удачно опредѣлять ихъ поперечные размѣры, которыхъ вполнѣ точно развѣдочныя работы указать не могутъ. До тѣхъ поръ, пока общая форма гнѣздъ еще не вполнѣ извѣстна, намъ приходится вычерчивать границы гнѣзда между двумя скважинами, изъ которыхъ одна показала присутствіе руды, а другія ея отсутствіе по серединѣ между ними, исходя изъ того соображенія, что равныя разстоянія отъ обѣихъ скважинъ равно вѣроятны (черт. XIV).

Конечно, „законъ выклиниванія“ обусловленъ геологическимъ характеромъ гнѣздъ, ихъ генезисомъ главнымъ образомъ, и потому, когда они вообще уже изслѣдованы, задача облегчается, въ противномъ случаѣ этотъ законъ выясняется послѣ вычерчиванія ряда разрѣзовъ, и тогда мы можемъ ввести желательныя поправки на планѣ. Поперечные разрѣзы штоковъ и т. п. залежей, а равно ихъ горизонтальныя проекціи слѣдуетъ вычерчивать въ довольно крупномъ масштабѣ, такъ 1:1000, а при болѣе цѣнныхъ минералахъ и въ 1:500. Въ случаѣ пластообразныхъ гнѣздъ залежей вполне достаточно масштабъ въ 1:1000 или даже 1:5000 для горизонтальныхъ размѣровъ, вертикальные же въ этомъ случаѣ часто увеличиваются 10-тикратно.

Объемъ штоковъ и вообще мощныхъ небольшихъ гнѣздъ слѣдуетъ вычислять такъ: горизонтальная проекція гнѣзда разбивается при помощи наложенія на несоотвѣтственно разграфленной колонкѣ или просто разбивается карандашной сѣткою на отдѣльные квадратики; соотвѣтственно этимъ квадратикамъ и треугольникамъ на границахъ гнѣздъ при помощи разрѣзовъ опредѣляются высоты элементарныхъ призмъ, на которыя мысленно разбивается весь штокъ. Сумма объемовъ этихъ призмъ понятно, равна, объему штока.

Предлагаемый мною способъ подсчета, при которомъ главную роль играютъ размѣры, взятые изъ чертежа, а не непосредственно полученные скважинами или шурфами, то есть, результаты индивидуальной разработки данныхъ, получаемыхъ развѣдками, можетъ на первый взглядъ показаться несоотвѣтственнымъ; но наоборотъ—всякіе другіе болѣе механическіе подсчеты даютъ грубые невѣрные, чтобъ не сказать просто—ложные результаты, такъ какъ не возможно формулировать ихъ такъ, чтобъ они сообразовались съ формой штока, залежи, которой нельзя обыкновенно подвести подъ типы геометрически правильныхъ тѣлъ.

Плоскія, чечевицеобразныя залежи—гнѣзда расчитываются на среднюю мѣстность, которая получается какъ средне-арифметическое изъ опредѣленій развѣдками, при чемъ части, лежащія у границъ гнѣзда шириной, принимаемой сообразно съ закономъ выклиниванія, непригодныя для разработки по своей малой мощности, отбрасываются.

Иногда предпочитаютъ высчитывать объемы отдѣльныхъ участковъ, принимая, что всякая скважина, шурфъ опредѣляетъ мощность залежи, по квадратамъ—въ случаѣ квадратной сѣти, или по правильнымъ шестиугольникамъ—въ случаѣ разбивки на правильные треугольники. Легко видѣть, что въ части поля, состоящей изъ указанныхъ правильныхъ фигуръ, та или другая система подсчета даютъ вполне одинаковые результаты:

$$V = na^2 \sum_1^n \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \sum_1^n a^2 h_i.$$

Разница, дающая нѣкоторый перевѣсъ точности расчета по участкамъ основывается на томъ, что въ первомъ случаѣ скважины у границъ вводятся въ подсчетъ на такихъ же основаніяхъ, какъ и лежація въ серединѣ залежи, хотя онѣ и не соотвѣтствуютъ полнымъ квадратамъ. Итакъ, по первому способу—

$$V_1 = \frac{1}{n} f \sum_1^n h_i$$

и по второму—

$$V_2 = a^2 \sum_1^n h_i + \sum_{n_i}^{n-n_1} Da^2 h_i.$$

Вообще разница получается довольно небольшая, маскируемая другими неточностями развѣдочныхъ опредѣленій. Неточность вычисления объема пластообразной залежи зависитъ главнымъ образомъ отъ неточности опредѣленія ея горизонтальныхъ и вертикальных размѣровъ. Индивидуальная ошибка въ горизонтальныхъ размѣрахъ гнѣзда Δf , получающаяся при вычерчиваніи границъ гнѣзда, зависитъ отъ личности руководителя работъ, отъ состоянія свѣдѣній о характерѣ гнѣздъ и, наконецъ, отъ размѣровъ самихъ развѣдокъ; вообще Δf представляетъ нѣчто довольно туманное. Если Δh —ошибка развѣдочныхъ опредѣленій, то, принявъ, что подсчетъ производился по способу средне-арифметической мощности, получимъ:

$$\Delta V = (f + \Delta f) \sum_1^n \frac{h_i + \Delta h_i}{n} - f \sum_1^n \frac{h_i}{n} = f \sum_1^n \frac{\Delta h_i}{n} + \Delta f \sum_1^n \frac{h_i}{n} + \Delta f \sum_1^n \frac{\Delta h_i}{n};$$

наконецъ относительная ошибка, если пренебрежемъ $\frac{\Delta f \sum \Delta h_i}{f \sum h_i}$, будетъ

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta f}{f} + \frac{\sum_1^n \Delta h_i}{\sum_1^n h_i}. \quad (33)$$

По отношенію Δh относительно точности буровыхъ опредѣленій остается въ силѣ все сказанное раньше.

Что касается ошибокъ въ опредѣленіи объема штоковъ, то о нихъ можно сказать только то, что въ виду индивидуальной разработки непосредственныхъ данныхъ, какъ горизонтальные, такъ и вертикальные размѣры, принятые къ подсчету, носятъ тотъ же индивидуальный отпе-

чатокъ руководителя работъ. Погрѣшность $\frac{\Delta V}{V}$ можетъ быть выражена той же формулой (33) съ тою только разницей, что $\Sigma \Delta h$ не есть погрѣшность измѣреній, а только нѣкоторое слѣдствіе этихъ погрѣшностей и графической разработки буровыхъ данныхъ. Практическаго примѣненія формула (33) для этого случая не можетъ имѣть.

Благонадежность мѣсторожденій въ смыслѣ процентнаго состава.

Въ этой главѣ мы будемъ разсматривать жилы, штоки и гнѣзда, штокверки, а равнымъ образомъ тѣ пласты, которые, не смотря на свой ясно пластовый характеръ, приближаются по типу къ жиламъ, именно въ томъ случаѣ, когда пластъ состоитъ изъ пустой породы, въ массѣ которой неправильно разбросано полезное ископаемое.

Общій принципъ равномернаго распредѣленія пробъ, взятыхъ для опредѣленія состава залежи, можно обосновать на слѣдующемъ разсужденіи:

Если у насъ имѣется неоднородное тѣло объема V , въ составъ котораго входитъ среднимъ числомъ G вѣсовыхъ единицъ полезнаго минерала на единицу объема, нами же взята проба объемомъ v , то вѣроятность, что содержаніе g на единицу объема пробы равно G , если проба взята вполне наугадъ, откуда нибудь, выразится:

$$p_1 = \frac{v_1}{V} i;$$

рядъ такихъ пробъ даетъ намъ

$$p_1 = \frac{\sum v}{V} i,$$

гдѣ i вѣроятность того, что объемныя отношенія соотвѣтствуютъ вѣсовымъ, $i < 1$ по составу вѣроятность того, что существуетъ равенство:

$$g = \frac{\sum g v_1}{\sum v} = G.$$

Вообразимъ себѣ теперь, что разсматриваемое тѣло разбито на n равновеликихъ частей DV , такъ что $\frac{V}{DV} = n$ и нами изъ каждой такой части берется проба $v^{(1)}, v^{(2)}, v^{(3)} \dots$

Вѣроятность, что составъ каждой такой пробы $g^{(1)}, g^{(2)}, \dots$ отвѣчаетъ составу $G^{(1)}, G^{(2)}, \dots$ частей DV , то есть, что существуютъ равенства $g^{(1)} = G^{(1)}, g^{(2)} = G^{(2)}, \dots$, выразится соотвѣтственно

$$p^{(1)} = \frac{v^{(1)}}{DV} i_1, \quad p^{(2)} = \frac{v^{(2)}}{DV} i_1, \dots$$

Суммируя вѣроятности, найдемъ:

$$p_0^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^n v^{(1)}}{DV} i_1,$$

гдѣ $i_1 > i$ есть вѣроятность того, что существуетъ одно изъ указанныхъ равенствъ; вѣроятность же существованія равенства

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G^1 = g_0 = G,$$

средне-арифметическаго нашихъ равенствъ,

$$p^{(1)} > p_0^{(1)}.$$

Примемъ теперь, такъ какъ мы вправѣ это сдѣлать, что всѣ пробы какъ въ первомъ, такъ и во второмъ случаѣ равновелики, то есть, что

$$v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v^{(1)} = v^{(2)} = v^{(3)} \dots$$

Какъ первое, такъ и второе выраженіе вѣроятности опредѣляетъ намъ вѣроятность того, что средне-арифметическая состава пробъ равна составу всего изслѣдуемаго тѣла.

Отношеніе этихъ вѣроятностей:

$$\frac{p^{(1)}}{p_1} > \frac{V}{DV} \cdot \frac{i_1}{i} \quad \text{или} \quad \frac{p^{(1)}}{p_1} > n \omega.$$

Выводъ на первый взглядъ довольно поразительный, но онъ дѣлается понятнымъ, если обратимъ вниманіе на то, что, при пробахъ безъ всякаго порядка, наугадъ, взятая проба могутъ быть крайне разнообразны, но могутъ и очень мало отличаться другъ отъ друга, такъ что съ увеличеніемъ числа пробъ вѣроятность опредѣленія по нимъ точнаго состава всего тѣла увеличивается незначительно, согласно лишь отношенію объемовъ, взятыхъ для пробъ.

Въ химическихъ лабораторіяхъ истираютъ и перемѣшиваютъ предназначенное къ анализу вещество,—тогда навѣска, взятая для опредѣленій, соотвѣтствуетъ вполнѣ точно составу полной пробы, то есть, она состоитъ изъ мелкихъ частицъ, принадлежащихъ къ различнымъ частямъ пробы. Въ болѣе крупномъ масштабѣ, но и, конечно, болѣе грубо, тоже самое достигается равномерностью распредѣленія пробъ въ штокѣ, жилѣ и т. п.

Выраженіе вѣроятности, если замѣнимъ $DV = \frac{V}{n}$, можемъ написать еще такъ:

$$p' = n^2 \frac{v}{V} i + Q, \quad (34)$$

гдѣ n —число пробъ, а $Q = P' - P'_0$. Такъ какъ отношеніе $\frac{v}{V}$ величина вообще небольшая, примѣрно $\frac{1}{100000m}$ или даже $\frac{1}{1000000m}$, гдѣ m число цѣлое, то даже при довольно большомъ числѣ пробъ вѣроятность исполнѣя правильнаго опредѣленія состава жилы, гнѣзда—не велика и можетъ быть доведена до 1 только въ исключительныхъ случаяхъ. Если пренебрежемъ Q и положимъ $P' = 1$, то

$$V = n^2 v i. \quad (35)$$

Выраженіе это показываетъ, что число пробъ имѣетъ рѣшающее значеніе для достовѣрности опредѣленія процентнаго состава залежи.

При развѣдкахъ штокверевыхъ мѣсторожденій шурфованіемъ, принципъ равномернаго распредѣленія пробъ достигается самъ собою въ виду правильнаго распредѣленія шурфовъ. Тоже самое можно сказать о развѣдкѣ большихъ пластообразныхъ залежей шурфованіемъ. Иначе дѣло обстоитъ при развѣдкахъ буреніемъ: буровыя пробы вообще часто не даютъ точнаго матеріала для сужденія о процентномъ составѣ пробуренныхъ породъ, хотя онѣ и доставляютъ возможность судить съ нѣкоторой степенью точности о характерѣ залежи.

Если обозначимъ p'_0 вѣроятность того, что проба, взятая изъ скважины, въ точности отвѣчаетъ пробуренной колонкѣ, то вѣроятность, что результатъ лабораторнаго изслѣдованія соотвѣтствуетъ составу залежи въ участкѣ, центромъ котораго является скважина, выразится:

$$p^1 = \frac{\pi r^2 h_0}{DV} i p_0^1, \quad (36)$$

что составляетъ вѣроятность равенства

$$g^1 = G^1.$$

При n скважинахъ, рассуждая, какъ выше, мы получимъ

$$P_0 = n^2 \frac{\pi r^2}{F} i p_0^1 + Q_0, \quad (37)$$

а это и есть вѣроятность равенства

$$\frac{1}{n} \sum_1^n g' = \frac{1}{n} \sum_1^n G',$$

при предположеніи постоянства h . Легко усмотрѣть, что въ виду ничтожной величины $\frac{\pi d^2}{4}$ сравнительно съ площадью залежи и, кромѣ того, такъ какъ $p'_0 < 1$, и часто можетъ быть выражено маленькой дробью, то P_0 —величина небольшая даже при значительномъ количествѣ скважинъ. Итакъ, буровыя скважины не даютъ намъ обыкновенно возможности опредѣлить составъ залежи.

Сравнивая отдѣльные результаты лабораторныхъ анализовъ, иногда удается разбить ихъ на такія группы, что приблизительно

$$g^1 = g^2 = g^3 = \dots = g^n; \quad g^{n+1} = g^{n+2} = \dots = g^m; \quad g^{m+1} = g^{m+2} = \dots = g^1.$$

Если приблизительно равные результаты анализовъ отвѣчаютъ нѣкоторымъ частямъ залежи, то мы изъ этого заключаемъ, что части эти вообще однородны, такъ какъ p'_0 предполагается одинаковымъ для всякой скважины. Если мы на основаніи такого соображенія разобьемъ мысленно (на планѣ) всю залежь на однородные участки и въ каждомъ участкѣ углубимъ шурфъ или развѣдочную шахту, то пробы, добытыя этими развѣдками, дадутъ намъ составъ каждаго участка (при предположеніи его однородности), такъ какъ всякая часть однороднаго тѣла одинакова по составу съ цѣлымъ. Если участки наши $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3, \dots$ а соответствующія мощности руднаго пласта h_1, h_2, \dots , то процентный составъ залежи будетъ:

$$G = \sum_1^n \Delta F_j h_j G_j : \sum_1^n \Delta F_j h_j.$$

Вѣроятность этого равенства вообще не можетъ быть выражена числовой величиною: она тѣмъ меньше, чѣмъ больше участки ΔF . Къ указанному способу можно прибѣгать только тогда, когда, кромѣ указаній по буровымъ скважинамъ, есть еще общегеологическія или добытыя разработкой, что характеръ и составъ жилы—пласта довольно постоянный. Если эти указанія отсутствуютъ, то слѣдуетъ залежь раздѣлить на равные и притомъ небольшіе участки, сообразуясь однако съ указаніями скважинъ на характеръ и составъ руды, такъ какъ благодаря имъ получается все же нѣкоторое увеличеніе точности опредѣленія, и въ каждомъ такомъ участкѣ углубить шурфъ. Средне-арифметическая проба даетъ намъ искомый процентный составъ, если h вездѣ одинаково; въ противномъ случаѣ $G = \sum \Delta V_j G_j : V$.

Что касается точности опредѣленій состава залежи, то мы должны сдѣлать такое замѣчаніе: всѣ наши разсужденія основаны на той или другой вѣроятности, что данное опредѣленіе отвѣчаетъ дѣйствительности; обратно же $Q=1-P$ даетъ намъ вѣроятность того, что оно ложно, по-

чему разбираться въ тонкостяхъ измѣреній и исчисленій, кажется, не имѣетъ смысла, такъ какъ все сказанное, всѣ выводы достаточно указываютъ характеръ этихъ опредѣленій. Въ случаяхъ, когда вѣроятность доведена почти до 1, а тѣмъ самымъ $Q=0$, значеніе погрѣшностей измѣреній и исчисленій увеличивается; но такъ какъ эти случаи встрѣчаются крайне рѣдко, то намъ нечего на нихъ останавливаться.

Развѣдки жильныхъ мѣсторожденій при помощи горныхъ выработокъ.

Названный способъ развѣдокъ, носящій одновременно характеръ подготовительныхъ работъ, примѣняется не только къ жиламъ, но и къ руднымъ пластамъ и залежамъ, въ которыхъ ископаемый минералъ находится въ неравномѣрно разбросанномъ видѣ. Способъ состоитъ въ проводѣ системы горизонтальныхъ по простиранию штрековъ и наклонныхъ по паденію (возстанію), которыми все развѣдуемое поле разбивается на прямоугольники. Измѣренія мощности жилы, производимыя въ этихъ штрекахъ, а также пробы, взятые изъ различныхъ мѣстъ ихъ, позволяютъ намъ довольно точно опредѣлить полный запасъ ископаемаго.

а) Вычисленіе объема.

Объемъ части жилы на развѣдуемомъ пространствѣ можно вычислять различно. Самый простой приемъ это

$$V = LEh, \quad (40)$$

гдѣ L —горизонтальная измѣряемая по штрекамъ, E —наклонная длина поля, h —средне-арифметическая изъ всѣхъ измѣреній мощности.

Вычисляя отдѣльные прямоугольники $ABCD$ (черт. XVI) и суммируя ихъ, найдемъ

$$V = \sum_1^s le \frac{h_0 + h'_0}{2},$$

гдѣ h_0 — средне-арифметическая измѣреній по горизонтальному штреку, пересекающему участокъ $ABCD$ по серединѣ, а h'_0 — измѣреній по наклонному штреку. Если разстоянія штрековъ одинаковы, то (s число участковъ)

$$V = le \sum_1^s \frac{h_0 + h'_0}{2}.$$

Выраженіе это нѣсколько раціональнѣе прежняго. Для полученія его мы принимаемъ, что мощность жилы опредѣляется измѣреніями по горизонтальному штреку вверхъ и внизъ на разстояніи $\frac{e}{2}$, а отъ наклоннаго штрека на разстояніи $\frac{l}{2}$. Второе вычисленіе основано на

предположеніи, что между двумя точками, въ которыхъ мощность жилы различна, существуетъ постепенный и равномерный переходъ. Конечно, такое предположеніе не вѣрно: законъ измѣненія мощности другой, но онъ намъ вообще не извѣстенъ, а поэтому такое предположеніе является естественнымъ. Однако рассуждая болѣе строго, на основаніи указаннаго предположенія мы придемъ къ нѣсколькимъ другимъ выводамъ. Вообразимъ себѣ, что въ точкахъ a и b произведено измѣреніе мощности жилы; спрашивается, какія мощности надо принять въ промежуточныхъ точкахъ полосы ab ?

Согласно предположенію о равномерномъ переходѣ отъ точки a къ b , на основаніи пропорціональности сторонъ (черт. XVII) подобныхъ треугольниковъ:

$$h_y = (h_{l_2} - h_{l_1}) \frac{y}{e} + h_{l_1} = h_{l_2} \frac{y}{e} + h_{l_1} \frac{e-y}{e}. \quad (38)$$

Пусть выраженіе это относится къ промежуточнымъ точкамъ между двумя горизонтальными штреками. Мощность жилы между двумя наклонными штреками опредѣляется:

$$h_x = (h_{e_2} - h_{e_1}) \frac{x}{l_1} + h_{e_1} = h_{e_2} \frac{x}{l_1} + h_{e_1} \frac{l-x}{l}, \quad (39)$$

гдѣ h'_{l_1} , h''_{l_1} , ..., h'_{l_2} , ..., h_{e_1} , h'_{e_1} , ..., h'_{e_2} , ... — высоты горизонтальныхъ и вертикальныхъ штрековъ въ точкахъ a , a_1 , a_2 , ..., b , b_1 , ..., c , ..., d .

Высота призмы, получаемой отъ пересѣченія обѣихъ полосъ, ширина которыхъ Δx и Δy (накл. Δx , гор. Δy),

$$h_{xy} = \frac{1}{2} (h_y + h_x).$$

Мы принуждены принять средне-арифметическую изъ высотъ, опредѣляемыхъ по обѣимъ формуламъ, такъ какъ намъ не извѣстно, какою изъ нихъ слѣдуетъ предпочесть, и вообще мы не знаемъ, какъ составить зависимость

$$h_{xy} = f(h_x, h_y);$$

мы знаемъ только одно, что

$$h_x \geq h_{xy} \geq h_y,$$

смотря по тому, существуетъ ли $h_x > h_y$ или обратно $h_x < h_y$, то есть, что h_{xy} лежитъ между h_x и h_y .

Такъ какъ призма, о которой мы упомянули, имѣетъ очень небольшое основаніе, то мы вправѣ принять, что кровля жилы параллельна почвѣ въ точкѣ xy и что въ виду этого высота этой призмы вездѣ оди-

накова и равна h_{xy} . На основаніи сказаннаго элементарный объемъ призмы, о которой идетъ рѣчь, выразится

$$\Delta^2 v_{xy} = \Delta x \Delta y h_{xy} = \Delta x \Delta y \frac{h_x + h_y}{2};$$

а слѣдовательно, объемъ, соотвѣтствующій прямоугольнику $EFGH$

$$V_1 = \frac{1}{2} \sum \sum h_x \Delta x \Delta y + \frac{1}{2} \sum \sum h_y \Delta x \Delta y,$$

при чемъ суммировать надо всѣ элементарныя призмы въ предѣлахъ отъ 0 до l и отъ 0 до e . Если въ выраженіе для V_1 подставимъ раньше опредѣленные значенія h_x и h_y и произведемъ дѣйствія, помня, что h_e не зависитъ отъ x , а h_l отъ y , а также что

$$\sum_1^n x \Delta x = \frac{l^2}{2} \left(1 + \frac{1}{n}\right), \quad \sum_1^m y \Delta y = \frac{e^2}{2} \left(1 + \frac{1}{m}\right),$$

такъ какъ $\Delta x = \frac{l}{n}$ и $\Delta y = \frac{e}{m}$, то окончательно:

$$V_1 = \frac{1}{4} l e \left[\frac{1}{m} \left\{ \left(1 + \frac{1}{n}\right) \sum_1^m h_{e_2} + \left(1 - \frac{1}{n}\right) \sum_1^m h_{e_1} \right\} + \frac{1}{n} \left\{ \left(1 + \frac{1}{m}\right) \sum_1^n h_{l_2} + \left(1 - \frac{1}{m}\right) \sum_1^n h_{l_1} \right\} \right].$$

Но $\sum_1^m h_{e_2} \Delta y$ и $\sum_1^m h_{e_1} \Delta y$ представляютъ не что иное, какъ площади продольныхъ сѣченій по наклоннымъ штрекамъ: назовемъ ихъ F_{e_2} и F_{e_1} , точно также F_{l_2} и F_{l_1} — сѣченія горизонтальныхъ штрековъ; въ виду этого

$$\sum_1^n h_{e_2} \Delta y = \frac{e}{m} \sum_1^m h_{e_2} = F_{e_2}, \quad \sum_1^n h_{l_2} \Delta x = \frac{l}{n} \sum_1^n h_{l_2} = F_{l_2},$$

и т. д., и выраженіе наше приметъ видъ

$$V_1 = \frac{1}{4} l \left[\left(1 + \frac{1}{n}\right) F_{e_2} + \left(1 - \frac{1}{n}\right) F_{e_1} \right] + \frac{1}{4} e \left[\left(1 + \frac{1}{m}\right) F_{l_2} + \left(1 - \frac{1}{m}\right) F_{l_1} \right];$$

а такъ какъ величины $\frac{l}{4n} (F_{e_2} - F_{e_1})$ и $\frac{e}{4m} (F_{l_2} - F_{l_1})$ сравнительно малы, то, отбросивъ ихъ, получимъ

$$V_1 = \frac{l}{2} \left(\frac{F_{e_2} + F_{e_1}}{2} \right) + \frac{e}{2} \left(\frac{F_{l_2} + F_{l_1}}{2} \right).$$

Но $l \cdot \frac{F_{e_2} + F_{e_1}}{2} = V_e$, то есть, объемъ, вычисленный по средне-арифметической съ F_{e_1} и F_{e_2} , точно также $e \cdot \frac{Fl_2 + Fl_1}{2} = V_l$, то слѣдовательно

$$V_1 = \frac{V_e + V_l}{2}$$

или еще

$$V_1 = \frac{1}{4} (V_{e_1} + V_{e_2} + V_{l_1} + V_{l_2}), \quad (41)$$

то есть, средне-арифметическому изъ объемовъ вычисленныхъ такъ, какъ будто жила въ данномъ прямоугольникѣ образовалась: 1) движеніемъ профили нижняго горизонтальнаго штрека вверхъ по уклону на разстояніе e , 2) верхняго—внизъ на такое же разстояніе, 3) лѣваго наклоннаго—вправо на разстояніе l , и праваго—влѣво на то же разстояніе.

Для вычисленій можно пользоваться формулой

$$V_1 = \frac{l_e}{4} \left[\frac{1}{m} \left(\sum_1^m h_{e_1} + \sum_1^m h_{e_2} \right) + \frac{1}{n} \left(\sum_1^n h_{l_1} + \sum_1^n h_{l_2} \right) \right], \quad (42)$$

гдѣ $\frac{1}{m} \sum_1^m h_{e_1}$, $\frac{1}{n} \sum_1^n h_{l_1}$, ... — средне-арифметическія высоты по четыремъ

штрекамъ, ограничивающимъ прямоугольникъ. Сумма же такихъ объемовъ дастъ намъ объемъ жилы въ развѣдуемомъ полѣ. Въ выраженіи V_1 входитъ средне-арифметическая изъ четырехъ средне-арифметическихъ, такъ что мы можемъ написать

$$V_1 = l_e \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} = l_e h_0.$$

Если поле разбить на равные прямоугольники, то

$$V = l_e \sum_1^s h_j,$$

гдѣ s обозначаетъ число этихъ прямоугольниковъ. Назовемъ $\frac{1}{s} \sum_1^s h_j = h$

— средне-арифметическое изъ среднихъ мощностей по всѣмъ прямоугольникамъ, и такъ какъ $sl_e = LE$, то, наконецъ,

$$V = LEh,$$

гдѣ однако h имѣетъ нѣсколько другое значеніе, чѣмъ въ ур. (40).

Приведенное вычисление основано на предположении о постепенномъ и равномерномъ измѣненіи мощности жилы, а значитъ оно настолько справедливо, насколько предположеніе наше согласно съ дѣйствительностью. Строго говоря, мы вычислили только объемъ, занятый штреками, и по этому объему судимъ о соприкасающемся. Къ квадрату $EFHG$ прикасаются два горизонтальныхъ и два наклонныхъ штрека. Объемъ вынутой изъ нихъ породы вычисляется по формулѣ

$$u = b \frac{e}{n} \left(\sum_1^n h_{e_1} + \sum_1^n h_{e_2} \right) + a \frac{l}{m} \left(\sum_1^m h_{l_1} + \sum_1^m h_{l_2} \right) + \gamma,$$

такъ какъ измѣренія мы производимъ черезъ $\frac{e}{n}$ и $\frac{l}{m}$ метр., γ —объемъ четырехъ призмъ по угламъ

$$\gamma = ab(h_{l_1 e_1} + h_{l_2 e_2} + h_{l_1 e_1} + h_{l_2 e_2}).$$

Отношеніе $\frac{n + \gamma}{v_1}$ можетъ служить нѣкоторой мѣрой точности исчисления, а также вѣроятностью его въ томъ случаѣ, если законъ измѣняемости мощности жилы намъ вполне неизвѣстенъ. Такъ какъ, строго говоря, объемъ V , намъ неизвѣстенъ, то вмѣсто отношенія $\frac{n + \gamma}{v_1}$ рационально принять отношеніе площадей прямоугольника къ площадямъ штрековъ. Итакъ

$$p = \frac{2be + 2al}{le} \omega + \frac{4ab}{le} \omega^2.$$

Если мы для простоты обозначимъ отношенія $\frac{a}{e}$ и $\frac{b}{l}$ соответственно α и β , то выраженіе вѣроятности приметъ видъ

$$p = 2(\alpha + \beta)\omega + 4\alpha\beta\omega^2. \quad (43)$$

Конечно, по мѣрѣ практической возможности, слѣдуетъ стараться сдѣлать p по возможности близкимъ къ 1, чего впрочемъ на самомъ дѣлѣ достигнуть нельзя. Итакъ, если поле раздѣлено на квадраты и при томъ $a=b$, то $\alpha=\beta$, при $p=1$ и $\omega=1$ наше уравненіе приметъ видъ

$$4\alpha^2 + 4\alpha - 1 = 0,$$

откуда

$$\alpha = \frac{a}{l} = -\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{2};$$

а такъ какъ отрицательное значеніе для α не имѣетъ смысла въ данномъ случаѣ, то

¹⁾ Здѣсь ω —вѣроятность того, что отношеніе площадей соответствуетъ отношенію объемовъ.

Число равенствъ $T_{(l, h)}$ соотвѣтствуетъ числу измѣреній высотъ по горизонтальному штреку, $T_{(l, h)}$ —по наклонному. Чѣмъ равномерность ближе къ строго математической, тѣмъ всякое $T_{(l, h)} - T_{(e, h)}$ ближе къ единицѣ. Если средне-арифметическія этихъ опредѣленій:

$$T_{(l, h)} = \frac{1}{s} \sum_1^s T_{(l_1, h)}, \quad T_{(e, h)} = \frac{1}{r} \sum_1^r T_{(e_2, h)},$$

которыя, равно какъ и всякое $T < 1$, дадутъ величины, разнящіяся довольно крупно отъ 1, то слѣдуетъ провести новые промежуточные штреки и вычислить объемъ вторично.

б) Содержаніе полезнаго минерала.

Одновременно съ проходкой штрековъ и измѣреніями мощности берутся пробы жильной породы для опредѣленія по нимъ лабораторнымъ путемъ содержанія минерала; независимо отъ этого добытая руда можетъ поступать на обогатительныя фабрики для валовой пробы.

Предположимъ, во первыхъ, что пробы изъ штрека берутся правильно, то есть, что всякая проба дѣйствительно соотвѣтствуетъ нѣкоторой части штрека, а значить и жилы,—это выполнимо, если добытая порода, скажемъ на Δx или Δy мет., складывается въ штабель, и изъ нея берется проба на уменьшеніе. Итакъ, вѣроятность p_0 , что Δu , взятое для пробы, отвѣчаетъ ΔV , равно 1. Кромѣ того, будемъ полагать, что мощность жилы въ мѣстѣ, въ которомъ берется проба, извѣстна, такъ какъ измѣрялась. Для того чтобъ имѣть возможность распространять результаты пробъ на всю жилу, намъ необходимо еще сдѣлать такое же гипотетическое предположеніе, какъ и при опредѣленіи объема, то есть, что составъ жилы мѣняется постепенно и равномерно. Въ виду сказаннаго, если въ точкахъ a и b горизонтальнаго штрека пробы дали опредѣленія g_{l_2} и g_{e_2} , а по наклоннымъ g_{e_2} и g_{e_1} , то, рассуждая такимъ же точно образомъ, какъ раньше, найдемъ:

$$\left. \begin{aligned} g_x &= g_{e_2} \frac{x}{l} + g_{e_1} \frac{l-x}{l}, \\ g_y &= g_{l_2} \frac{y}{e} + g_{l_1} \frac{e-y}{e}. \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

Содержаніе элементарной призмы $\Delta x \Delta y$, находящейся въ разстояніи x отъ штрека e , опредѣлится:

$$\Delta^2 G_{ex} = (g_x \cdot h_x) \Delta x \Delta y;$$

а такой же на разстояніи y отъ штрека l ,

$$\Delta^2 G_{ly} = (g_y \cdot h_y) \Delta x \Delta y;$$

и, наконецъ, призмы, образованной пересѣченіемъ двухъ мысленныхъ полосъ, горизонтальной шириною Δx и наклонной шириною Δy , какъ средне-арифметическое этихъ опредѣленій:

$$\Delta^2 G_{xy} = \frac{1}{2}(\Delta^2 G_{ex} + \Delta^2 G_{ly}) = \frac{1}{2} (g_x h_x + g_y h_y) \Delta x \Delta y.$$

Суммируя $\Delta^2 G_{xy}$ отъ 0 до l по x и отъ 0 до e по y , мы придемъ окончательно къ выраженію

$$G_{le} = \frac{1}{2} (G_l + G_e),$$

показывающему, что запасъ, соответствующій данному прямоугольнику, равенъ средне-арифметическому запасовъ, вычисляемыхъ на основаніи измѣреній и пробъ по двумъ сосѣднимъ горизонтальнымъ штрекамъ и по двумъ сосѣднимъ наклоннымъ, окаймляющимъ данный прямоугольникъ.

Произведемъ теперь вычисленіе G_l и G_e отдѣльно для каждаго изъ нихъ:

$$\begin{aligned} G_l &= \sum \sum \Delta^2 G_{ly} = \sum \sum \left(g_{l_2} \frac{y}{e} + g_{l_1} \frac{e-y}{e} \right) \left(h_{l_2} \frac{y}{e} + h_{l_1} \frac{e-y}{e} \right) \Delta x \Delta y \\ &= \sum_1^n g_{l_2} h_{l_2} \Delta x \cdot \sum_1^m \frac{y^2}{e^2} \Delta y + \sum_1^n \left(g_{l_1} h_{l_2} + g_{l_2} h_{l_1} \right) \Delta x \sum_1^m \frac{y(e-y)}{e^2} \Delta y + \\ &\quad + \sum_1^n g_{l_1} h_{l_1} \Delta x \sum_1^m \frac{(e-y)^2}{e^2} \Delta y. \end{aligned}$$

Но такъ какъ

$$\sum_1^m \frac{y^2}{e^2} \Delta y = \frac{1}{3} \left(1 + \frac{1}{m} \right) \left(1 + \frac{1}{2m} \right) e = \frac{1}{3} \left(1 + \frac{3}{2m} + \frac{1}{2m^2} \right) e,$$

$$\sum_1^m \frac{y(e-y)}{e^2} \Delta y = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{m} \right) e - \frac{1}{3} \left(1 + \frac{1}{m} \right) \left(1 + \frac{1}{2m} \right) e = \frac{1}{6} \left(1 - \frac{1}{m^2} \right) e,$$

$$\sum_1^m \frac{(e-y)^2}{e^2} \Delta y = e - \left(1 + \frac{1}{m} \right) e + \frac{1}{3} \left(1 + \frac{1}{m} \right) \left(1 + \frac{1}{2m} \right) e = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{3}{2m} + \frac{1}{2m^2} \right) e,$$

и, кромѣ этого, такъ какъ степень точности производимаго исчисленія позволяетъ намъ отбросить $\frac{1}{m^2}$, а также $+\frac{3}{2m}$ и $-\frac{3}{2m}$, ибо множители при этихъ величинахъ мало разнятся другъ отъ друга, то тогда

$$G_l = \frac{2e}{3} \left[\sum_1^n \frac{g_{l_2} + g_{l_1}}{2} \cdot \frac{h_{l_2} + h_{l_1}}{2} \Delta x + \frac{1}{2} \left(\sum_1^n g_{l_2} h_{l_2} \Delta x + \sum_1^n g_{l_1} h_{l_1} \Delta x \right) \right]$$

или

$$G_l = \frac{2}{3} \left[G \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right) + \frac{1}{2} (G_{l_1} + G_{l_2}) \right].$$

Поступая вполне аналогично, можно найти для G_e :

$$G_e = \frac{2l}{3} \left[\sum_1^m \frac{g_{e_2} + g_{e_1}}{2} \cdot \frac{h_{e_2} + h_{e_1}}{2} \Delta y + \frac{1}{2} \left(\sum_1^m g_{e_2} h_{e_2} \Delta y + \sum_1^m g_{e_1} h_{e_1} \Delta y \right) \right]$$

или

$$G_e = \frac{2}{3} \left[G \left(\frac{e_1 + e_2}{2} \right) + \frac{1}{2} (G_{e_1} + G_{e_2}) \right].$$

Итакъ, геометрическое выраженіе запаса, соответствующаго одному квадрату, будетъ:

$$G = \frac{1}{3} \left[G \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right) + G \left(\frac{e_1 + e_2}{2} \right) + \frac{1}{4} (G_{l_1} + G_{l_2} + G_{e_1} + G_{e_2}) \right], \quad (46)$$

а соответствующее ему арифметическое

$$G = \frac{el}{3} \left[\frac{1}{n} \sum_1^n \frac{g_{l_2} + g_{l_1}}{2} \cdot \frac{h_{l_2} + h_{l_1}}{2} + \frac{1}{4} \sum_1^n (g_{l_2} h_{l_2} + g_{l_1} h_{l_1}) + \frac{1}{m} \sum_1^m \frac{g_{e_2} + g_{e_1}}{2} \cdot \frac{h_{e_2} + h_{e_1}}{2} + \frac{1}{4} \sum_1^m (g_{e_2} h_{e_2} + g_{e_1} h_{e_1}) \right], \quad (47)$$

гдѣ G_{l_2}, \dots, G_{e_2} — содержаніе (запасъ), вычисленное по даннымъ на одномъ изъ штрековъ съ распространеніемъ ихъ на весь прямоугольникъ, $G \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right)$ и $G \left(\frac{e_1 + e_2}{2} \right)$ — запасы, вычисляемые по средне-арифметическимъ даннымъ двухъ сосѣднихъ параллельныхъ штрековъ.

Если мы сдѣлаемъ предположеніе, что не процентное содержаніе, а запасъ квадратной единицы наклонной плоскости жилы измѣняется равномерно и постепенно, такъ что отъ $g_{e_1} h_{e_1}$ до $g_{e_2} h_{e_2}$ имѣется постепенный и равномерный переходъ, то

$$g_{e_x} h_{e_x} = g_{e_2} h_{e_2} \frac{x}{l} + g_{e_1} h_{e_1} \frac{l-x}{l},$$

$$g_{l_y} h_{l_y} = g_{l_2} h_{l_2} \frac{y}{e} + g_{l_1} h_{l_1} \frac{e-y}{e}.$$

Запасъ, соответствующій прямоугольнику, ограниченному четырьмя штреками,

$$T_{(e_g h_g)} = \frac{N-2}{\frac{g'_{e_1} h'_{e_1} + g'_{e_3} h'_{e_3}}{g'_{e_2} h'_{e_2}} + \frac{g'_{e_2} h'_{e_2} + g'_{e_4} h'_{e_4}}{g'_{e_3} h'_{e_3}} + \dots + \frac{h'_{e(N-2)} + g'_{e(N)}}{g'_{e(N-1)}}}.$$

Дополненіе.

Для поясненія формуль (6) и (7) предлагаю чисто геометрическій выводъ ихъ. Устья скважинъ будемъ считать приведенными къ одному горизонту (черт. XVIII).

Черезъ точку пересѣченія A самой мелкой скважины h_0 съ пластомъ проводимъ горизонтальную плоскость, которая пересѣкаетъ скважины h_1 и h_2 въ точкахъ B_1 и C_1 . Линія пересѣченія этой горизонтальной плоскости съ плоскостью пласта (ABC) даетъ намъ направленіе простиранія пласта QR , перпендикулярная къ ней AS —направленіе паденія.

Если черезъ скважины h_1 и h_2 проведемъ плоскости перпендикулярныя къ QR , то углы B_1QB и C_1PC дадутъ намъ величину паденія пласта η .

Изъ подобныхъ прямоугольныхъ треугольниковъ BB_1Q и PC_1C имѣемъ:

$$\frac{QB_1}{PC_1} = \frac{BB_1}{CC_1}.$$

Прямоугольные же треугольники AB_1Q и PC_1A даютъ намъ зависимость:

$$\begin{aligned} QB_1 &= l_1 \sin[180^\circ - (\alpha - \xi + 90^\circ)] = l_1 \cos(\xi - \alpha), \\ PC_1 &= l_2 \sin[\beta - \xi + 90^\circ] = l_2 \cos(\xi - \beta); \end{aligned}$$

а такъ какъ кромѣ того $BB_1 = h_1 - h_0$ и $CC_1 = h_2 - h_0$, то можно написать

$$\frac{l_1 \cos(\xi - \alpha)}{l_2 \cos(\xi - \beta)} = \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0}.$$

Назовемъ $\xi - \beta = \varepsilon$, а слѣдовательно $\xi - \alpha = \varepsilon + \beta - \alpha$, и наше уравненіе въ развернутомъ видѣ можно написать такъ:

$$\frac{\cos \varepsilon \cos(\beta - \alpha) - \sin \varepsilon \sin(\beta - \alpha)}{\cos \varepsilon} = \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} = \mu$$

или же

$$\cos(\beta - \alpha) - \operatorname{tg} \varepsilon \sin(\beta - \alpha) = \mu,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\cos(\beta - \alpha) - \mu}{\sin(\beta - \alpha)}.$$

Если подставимъ прежнія обозначенія, то

$$\operatorname{tg}(\xi - \beta) = \cot(\beta - \alpha) - \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} \cdot \frac{1}{\sin(\alpha - \beta)}. \quad (6)$$

Паденіе пласта получимъ изъ тѣхъ же треугольниковъ BB_1Q и CC_1P , а именно

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{BB_1}{B_1Q} = \frac{CC_1}{C_1P},$$

а слѣдовательно

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{h_1 - h_0}{l_1} \frac{1}{\cos(\xi - \alpha)} = \frac{h_2 - h_0}{l_2 \cos(\xi - \beta)}. \quad (7)$$



