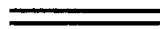


Проф. М. И. Евдокимов-Рокотовский

# СТРЕЛЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД



ТОМСК  
1928

## Стреляние горных пород

### Введение.

При подземных разработках иногда наблюдается интересное явление: неожиданно и совершенно самопроизвольно с грохотом и треском отскакивают слои горной породы в виде плиток то большего, то меньшего размера, по форме своей линзеобразного сечения, по краям тонкие и крошащиеся, а в середине состоящие из толстого слоя неразрушенной горной породы.

Это явление известно уже давно и называется: по-русски «стреляние горной породы», по-немецки «Bergschläge», по-французски «Bendons», по-английски «Bumps».

Я заинтересовался этим явлением. Ознакомившись как с русской, так и с иностранной литературой по данному вопросу, я убедился, что стреляние горных пород есть весьма сложное явление, к сожалению еще мало изученное. Научного объяснения и разгадки сущности стреляния еще не дано. Напротив, разноречивость воззрений различных авторов на природу этого явления говорит за то, что требуется еще собирание данных из практики рудничных разработок и постройки туннелей и научная проработка вопроса о стрелянии.

Стреляние горной породы имеет значение и теоретическое, и практическое. Мне, как специалисту по туннелям, и на практике, и в научных работах неоднократно приходилось иметь дело с вопросом о стрелянии горных пород. Не меньший интерес, чем я, должны иметь и мои коллеги по подземным работам—рудничные и горные инженеры. Цель настоящей статьи—прежде всего заинтересовать наших инженеров «стрелянием горных пород», ознакомить их возможно подробнее с этим явлением, дать им возможность на работах подмечать и изучать стреляние. Этим цель моего настоящего труда будет достигнута. Однако в конце статьи я позволю себе еще и лично от себя высказать свои собственные соображения (гипотезу) по поводу причин и обстоятельств происхождения стреляния горных пород.

### Данные из практики.

Прежде всего необходимо, конечно, начать с данных из практики подземных работ. Таковыми являются рудничные разработки и туннели. Практика рудничных разработок дает довольно богатый материал по вопросу о стрелянии горных пород.

Явление стреляния с полной отчетливостью наблюдалось в одном из разведочных квершлагов Новороссийского рудника близ ст. «Вечерний Кут» Екаторининской, ныне Днепропетровской жел. дор. в Криворожском железорудном районе. Квершлаг этот длиной 228 метр. начат разработкой в 1902 г. Последние работы в нем относятся к 1904 г. Разработка велась в крест простирания слоев типичного железистого кварцита (джеспиллита) по контакту

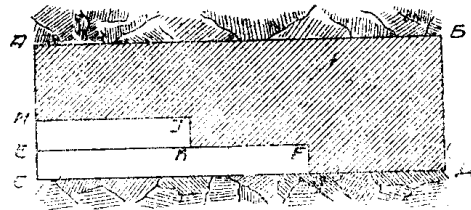
его с диабазовой дейкой, секущей кварцита в направлении приблизительно перпендикулярно простиранию слоев. Угол падения железистого кварцита  $60^{\circ}$ — $65^{\circ}$  к W. Местами слои изогнуты в интенсивные мелкие чрезвычайно сложного вида складки, оси которых (ребра перегибов) имеют падение на север, точнее на NW. Дейка в свою очередь круто под углом  $80^{\circ}$ — $87^{\circ}$  падает к N. Порода диабазовой дейки в местах оруденения кварцита и в местах рудных залежей обычно каолинизирована в большей или меньшей степени. Там, где железистые кварциты не изменены ни процессами оруденения, ни процессами выветривания, диабазы так же более или менее свежи, железистые кварциты разорваны рядом трещин, более или менее близких вертикальным и более или менее параллельных диабазовой дейке. Расстояние между смежными трещинами вблизи дейки колеблется от нескольких см. до 10 и даже до 30 см. и более. Порядок работ при проведении квершлага благодаря значительно меньшей плотности диабаза по сравнению с кварцитами был следующий. Разработка велась по диабазу, обнажалась лишь контактовая плоскость кварцита. Затем, бурились шпур в кварцитах и взрывами обнажалась более или менее свежая джеспиллитовая толща. Иногда забой в диабазе опережал не взорванную джеспиллитовую стену на 10—15 метр., т. е. на срок до одной недели. В таких случаях в местах, где джеспиллиты не обнаруживали признаков изменения и равным образом, диабазы отличались свежестью и следов каолинизации не носили, наблюдалось стреляние горной породы. От обнаженной, но еще невзорванной контактовой плоскости джеспиллита неожиданно и самопроизвольно отрывались плитки джеспиллита. С грохотом и треском они отбрасывались с силой к противоположной стене квершлага на расстояние не менее мтр., а в большинстве случаев на полную ширину квершлага и, ударившись о стенку, разбивались и осыпались. Явление всегда сопровождалось треском и грохотом, первое время очень пугавшим рабочих, которые, пока еще не поправились, поспешно покидали место работ.

Оторванные плитки имели в толщину от 3 до 6 см. Длина плиток была различная, в среднем до 70 см. и даже до 1 мтр., а в ширину до 40 и до 70 см. Бывали случаи, что плитки достигали еще больших размеров. Высота квершлага была 1,7 мтр., а ширина 1,25 мтр. Случаев стреляния, которые пришлось техническому надзору и рабочим наблюдать, было не менее 10. Осмотр квершлагов удостоверял, что и в иное время происходили многочисленные случаи стреляния горной породы. Замечено, что почти во всех случаях джеспиллит обладал мелкой плойчатостью. Во всяком случае явление стреляния можно связать с чрезвычайно плотным, крепким, свежим, но плойчатым джеспиллитом.

Другой случай стреляния горной породы наблюдался в 1913—1916 г.г. в железном руднике «Дубовая Балка». Стреляние было в кварцитах на глубине около 220 мтр. Порода отслаивалась с грохотом и треском кусками линзовидного сечения. Проходя по выработке, можно было слышать легкое потрескивание: порода осыпалась небольшими слоями. Время от времени раздавался треск, равный по силе ружейному выстрелу, и тогда отскакивали плитки размером до 40 и даже до 70 см. по длине. Стреляние породы наблюдалось не всегда тотчас же за разработкой, а спустя срок, иногда до двух недель. Всего было наблюдено до 10 случаев стреляния.

При прохождении шахты «Эльпедифор» Парамонова, ныне шахты «Артем» Власовского рудоуправления Донугля одно время так же наблюдалось стреляние горной породы. К сожалению, в отношении этого места стреляния мне не удалось достать подробных данных. Известно только, что наблюдалось до 6 случаев стреляния твердой горной породы. Явление сопровождалось всякий раз характерным треском подобно выстрелу. Стреляние распространялось вдоль боковых стен квершлага и тотчас вслед за выработкой. Спустя 5—8 дней стреляние уже совершенно не наблюдалось.

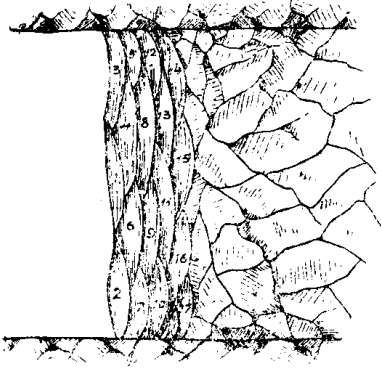
Л. А. Ячевский\*) сообщает следующие данные из своей практики в Домбровском каменноугольном бассейне. Копь «Казимир» достигает своими работами на глубину 320 мтр. Пласт «Реден» имеет мощность 14—16 мтр., с падением до 23°. Когда в нетронутую еще часть пласта проникают новыми работами, то замечается, что уголь довольно легко отламывается в забое в виде более или менее значительных глыб. При этом слышится треск и нередко звуковые эффекты достигают силы ружейных выстрелов. Работа в забое довольно опасна. Если в выемочном целике мощного пласта угля вынуть всего один только его горизонт, то при выемке следующих горизонтов того же целика явление стреляния уже более не наблюдается. Уголь в забоях нового целика обладает уже иными физическими свойствами, чем уголь в оставшихся после выемки первого горизонта частях пласта. Таким образом, во время самой очистной работы происходит перемена физических свойств угля. Эта перемена свойств выражается в том, что уголь в нетронutom еще целике не обнаруживает еще ясно слоистости, после же выемки одного горизонта слоистость явственно выступает в оставшейся части угля. При этом замечательно то, что в то время, когда уголь в свежей части пласта, легко поддается добыче, в частях, разрабатываемых впоследствии, уголь добывается на много труднее и требует затраты в двое больших усилий. Вышеизложенное удобно иллюстрировать чертежом, (чер. 1). ABCD часть мощного пласта каменного угля. Пласт разрабатывается слоями, параллельными его залеганию. Когда в пласте ведут разработку по штреку EFGC, то работа сопровождается резким стрелянием угля, но когда будет выработана часть пласта, соответствующая параллельному штреку, то при прохождении штрека NIKE явления стреляния уже нет.



Чер. 1. Схема каменноугольной разработки в Домбровском бассейне. При выемке EFGC наблюдается сильное «стреляние» горной породы. При выемке пласта NIKE «стреляния» уже нет.

Осмотр забоев, в которых наблюдается стреляние и в которых явление это не замечается, показал следующее: при приближении к забою в свежей части угольного пласта моего слуха, говорит Л. А. Ячевский, стали достигать звуки сухого резкого треска. У самого забоя трещание представляло непрерывающееся явление. От забоя отскакивали более или менее значительные осколки угля. В тот момент, когда я стоял у забоя, раздался сильный выстрел, заставивший меня невольно отскочить назад. Рабочие, работавшие в забое, объяснили мне, что этот выстрел, равный по силе звука ружейному, еще очень слаб и что выстрелы бывают значительно громче. Осмотр забоя показал, что в большой массе угля слоистость замечается без труда и что она обусловлена перемежаемостью тонких, неправильных быстро выклинивающихся пропластков блестящей разновидности угля со слоями угля матового. Глыбы и даже небольшие обломки угля, отвалившиеся от забоя, обладали своеобразной формой. Они были ограничены неправильными кривыми поверхностями и могли быть названы неправильными чечевицами—линзами. Уголь забоя разбит более или менее вертикальными трещинами, но эти трещины только в незначительной степени влияют на линзеобразную форму глыб угля. Точно так же слоистость угля не влияет на форму отлетающих глыб угля. Схематически в за-

\*) Ячевский Л. А. «О явлении стреляния в каменноугольных рудниках Домбровского бассейна». Горн. журн. 1905 г. XII стр. 362—368.



Чер. 2. Схема порядка отслаивания плиток при „стрелянии“ горной породы.

При разработке мощных пластов угля на глубинах, не превышающих 100 м., штреки с двойной колеей стояли устойчиво без всяких креплений. На глубинах 150 мтр. система работ, вполне пригодная на меньших глубинах, оказалась опасной и приводила к катастрофам. На более значительных глубинах, особенно на глубине в 240 м, в угле стало обнаруживаться своеобразное напряжение. В свежесведенных штреках уголь начинает как бы увеличиваться в объеме и угольная масса направляется в штрек. Никакое крепление не выдерживает давления угля, но если из штрека, заваленного как бы выжатым обвалившимся углем, убрать угольную массу, то такой штрек становится устойчивым и может быть оставлен без крепления. Это наблюдение показывает, что процесс проведения штрека является толчком, вызывающим освобождение внутренних напряжений массы угля и едва только эта потенциальная энергия израсходована, пласт угля приходит в состояние равновесия и степень устойчивости выработки зависит исключительно от общих свойств каменного угля, как горной породы.

Не менее интересные данные были получены из наблюдений в золотых рудниках Мизокс в Индии, работающих золото-содержащий кварц. Здесь стреляние горной породы одно время наблюдалось с чрезвычайной интенсивностью и с неопишуемой силой. Замечательно то, что если с обонх боков от места, где идет стреляние, сделать забои вглубь массива, то стреляние прекращалось. Это могло быть истолковано в том смысле, что существуют какие-то особенно трудно уловимые направления сил горного давления.

В руднике Комсток в Калифорнии в роговообманковых андезитах явление стреляния с особенной интенсивностью наблюдалось на глубине около 220—240 метров.

В некоторых шахтах у Верхнего озера в Сев. Америке, заложенных в мелафоре и диабазе, явление стреляния наблюдается на глубине 1450 мтр., причем имеются все данные за то, чтобы утверждать, что в том месте, где наблюдается стреляние горной породы, вертикальное горное давление весьма незначительно.

В Бельгийских каменоломнях Кенаста, в каменоломнях мрамора Динан, расположенных на открытой поверхности в местах дневных разработок породы наблюдалось не однократно стреляние породы со всеми характерными для данного явления особенностями: треском, выстрелами и линзобразными плитками отскочившей породы.

Можно было бы привести еще несколько десятков примеров из практики рудничных разработок, однако, большинство из них, к сожалению, обследованы поверхностно и односторонне. Многие обстоятельства, при которых происходило стреляние, не подмечены и остаются неизвестными.

бое порядок отслаивания плиток угля изображен на чер. 2, представляющем разрез по оси штрека. Кривые линии соответствуют форме плиток, отслаивающихся от забоя. Осмотр забоя в части пласта, находящегося в условиях НКЕ, показал, что работа забоя не сопровождается звуковыми явлениями и что уголь самопроизвольно от забоя не отскакивает. Капротив, в таком забое уголь разрабатывается трудно, не так, как в забое первого типа, где было достаточно легкого удара молота, чтобы уголь стал отваливаться в значительном количестве.

Fr. Bernhardt дает чрезвычайно интересный материал на основании своих личных наблюдений в рудниках Верхней Силезии.

Не менее интересный материал по вопросу о стрелянии горной породы дают туннели. Залегая глубоко в массиве горы, обладая большими размерами по сравнению с рудничными выработками, туннели по целому ряду иных, предвходящих обстоятельств иногда дают даже более яркие примеры стреляния горной породы, нежели рудники.

В Сен-Готардской туннеле в Швейцарии, длиной 14892 мтр., в 1872—82 г.г., в период его постройки наблюдалось стреляние в тальковом граните—протогине. Затем, стреляние, и при том довольно сильное, наблюдалось в гнейсах и в граните. Явление, раз появившись, обычно длилось долгое время, в течение нескольких недель, пока не происходило полное разъединение и отламывание породы на известную ее глубину. Стреляние наблюдалось в подошве штольни, но особенно интенсивно стреляние происходило от боковых стен, где оно в большинстве случаев и начиналось. Отскочившие с грохотом и треском линзеобразные куски породы были по краям тонки, как лезвие ножа, крошащиеся, и с целой прочной породой по середине. Любопытно то, что если взять такую отслоившуюся и потскачившую плитку и приложить ее к тому месту, откуда она только что отскочила, то оказывалось, что она не входит в свое гнездо.

Случаи стреляния горной породы наблюдались и во многих других туннелях Сен-Готардской жел. дор.

В Леггиштейнском туннеле длиной 1095 мтр. и в праффеншпрунгском туннеле длиной 1487 мтр., расположенных у ст. Вазен на знаменитых Вазенских петлях на линии Сен-Готардской жел. дор., явление стреляния горной породы наблюдалось в очень плотных компактных без трещин вязких гнейсо-гранитах, в направляющей штольне тотчас вслед за разработкой породы, на глубине около 400 мтр. Горное давление здесь было незначительно и тип обделки туннеля был применен легкий. Явление стреляния наблюдалось здесь не зависимо от времени года и температуры.

В Ваттингенском туннеле длиной 1090 мтр., проведенном в гнейсо-граните и расположенном на тех же петлях у Вазена, что и два предыдущих туннеля, стреляние наблюдалось не тотчас же вслед за началом разработки породы в направляющей штольне, а спустя два—три месяца после полной разработки туннеля на полный профиль. Горного давления здесь совершенно не наблюдалось, порода была свежая, не выветрелая и не носящая на себе следов метаморфизма, вследствие чего был применен первый тип разработки туннеля, иначе говоря, ввиду крепости породы, туннель был оставлен без обделки. Однако, вследствие начавшегося спустя два—три месяца стреляния горной породы для ограждения жизни рабочих весь туннель пришлось облицевать.

Стреляние горной породы не всегда выражается плитками линзеобразного сечения. О стрелянии горной породы, но без линзеобразного сечения отскочивших плиток сообщает Текленбург<sup>1)</sup> в геологическом описании Крабергского туннеля на линии Оденвальдской жел. дор. Этот туннель длиной 3100 мтр. расположен в пестрых песчаниках.

Стреляние горных пород наблюдалось также при постройке туннелей Караванкенского в известняке, Вохейнского в доломите и Тауэрнского в гнейсо-граните. Стреляние в этих туннелях обычно начиналось в боковых частях уже в направляющей галлерее. Однако в Тауэрнском туннеле иногда стреляние было так же и от подошвы и даже от потолка направляющей штольни. На чер. 3 видно место стреляния в направляющей галлерее Тауэрнского туннеля. В этом туннеле стреляние было особенно сильно на удалении между 3—4 км. от сев. портала на глубине около 1200 мтр. до дневной поверхности. По мере разработки туннелей стреляние горной породы захватывало большие поверхности, но становилось менее интенсивным. В отношении интенсивности стре-

<sup>1)</sup> Tecklenburg. Geognostische Beschreibung des Kräbbergtunnels. Zeitschr. d. Deutsch. geolog. Ges. 1883. S. 424.

ления надо полагать, что причиной уменьшения интенсивности был сравнительно большой промежуток времени, прошедший от начала разработки направляющей галереи до полной разработки туннеля. На фот. 4 представлен вид отскакивающих плиток в момент отслоения от породы. Горное давление в вышеупомянутых трех туннелях в тех местах, где наблюдалось стреляние породы, было незначительное. Это видно из того, что обделка этих туннелей на протяжении, соответствующих местам стреляния, сделана легкого типа.

Из практики туннелей замечено, что только иногда стреляние горной породы бывает при наличии высокого вертикального горного давления. Обычно же эти два явления, т. е. стреляние и вертикальное горное давление как будто взаимно исключают одно другое.

При постройке Симплонского туннеля длиной 19,8 км. на большом протяжении туннеля случаи стреляния горных пород были особенно часты. Стреляние происходило или же вскоре после взрывных работ при пробивке направляющей галереи, или через довольно большие промежутки времени—через 6 и даже 8 месяцев после взрывных работ, когда всякого рода работы по разработке туннеля на полный профиль уже были прекращены.

Рассмотрение отлетевших плиток горной породы Симплона приводит к убеждению, что массив горы в местах стреляния горной породы испытывает очень высокие внутренние напряжения. Напряжения бывали иногда столь велики, что наблюдалась деформация даже на небольших кусках. Однако, вместе с тем, наблюдалось, что на тех протяжениях, о которых идет речь, массив горы не производил никакого ни вертикального, ни бокового горного давления на одежду туннеля. Туннель мог быть оставлен здесь совершенно без облицовки. Таковая делалась в этих местах исключительно только для ограждения рабочих и поездов от отскакивающих с поверхности выломки кусков породы.

Тщательным осмотром мест (фот. 5 и 6), откуда исходило стреляние горной породы, можно было установить, что стреляние обычно ограничивается незначительным наружным слоем обнаженных в туннеле горных пород.

Явление стреляния в Симплонском туннеле <sup>1)</sup> наблюдалось как в туннеле I, (фот. 7) так и в туннеле II (фот. 8). Вот как описывает Инж. Ф. Ротплетц <sup>2)</sup> случай стреляния, который он лично наблюдал в июле 1914 г. Работы по разработке II Симплонского туннеля на полный профиль 1-го июля 1914 года находились на удалении 3,05 до 3,50 км. от южного портала.

«1-го июля 1914 г. в 5 часов 20 мин. вечера в части туннеля II между 3,29—3,32 км. от южного портала раздался грохот, равный по силе звука пушечному выстрелу, сопровождаемый столь сильным сотрясением массива гор, что явление распространилось более, чем на 1 км. и на таком расстоянии чувствовалось весьма ясно».

От сотрясения воздуха воздушным напором были потушены все ацетиленовые лампы во всем туннеле II.

Последствия «выстрела» горной породы, этого замечательнейшего случая стреляния, были таковы: на 3,30 км. низ туннеля поднялся на 24 см., восточная стена сдвинулась на запад на 25 см., а западная стена—на восток на 17 см. Вследствие этого канал туннеля II на 3,30 км. с 60 см. сужился до 30 см. Некоторые крепи в калоте были сдвинуты. Две распорки в нижней

<sup>1)</sup> Симплонский туннель представляет собой два однопутных туннеля, расположенных на расстоянии 17 мтр. друг от друга. Туннель I был построен в 1893—1905 г., а туннель II построен в 1912—1921 г.г. Когда строился I туннель, то одновременно с ним была сделана пробивка галереи для второго туннеля. Впоследствии эта галерея была разработана на полный профиль.

<sup>2)</sup> F. Rothpletz. „Bergschläge in Simplontunnel“. Schweiz. Bauzeit. 1914. Bd. LXVI. № 5 S. 68—70.

направляющей штольне переломились. Были случаи падения камней с боков и с потолка, причем были ранены двое рабочих. Вследствие поднятия низа туннеля рельсы 800 мм. колеи были сдвинуты, несмотря даже на то, что на рельсах стояли груженные вагонетки, причем вагонетки сошли с рельс.

В туннеле I от сотрясения сдвинулась плита, перекрывающая большой водоотводный канал размером 70 см. в ширину и 80 см. в глубину. Плита упала на протяжении 20 мтр.; вследствие этого вода, протекавшая по каналу, запрудилась и залила туннель I. Следует добавить, что расход воды в этом месте колебался по временам года от 800 до 1500 литров в сек. В это время расход как раз был ближе к своему максимуму.

Во время постройки I туннеля на местах, соответствующих вышеуказанным, какого либо особенно повышенного стреляния горной породы не наблюдалось. Это положительно доказано опросом участников постройки I туннеля, а также подтверждается тем, что в туннеле I на протяжении, соответствующем месту сильного стреляния во втором туннеле, была применена обделка тип № 2, т. е. наименьший тип обделки (тип № 1—без обделки).

Стреляние в Симплонском туннеле наблюдалось весьма часто. Это явление здесь легко было задержать, а иногда и совершенно устранить своевременной облицовкой.

На фот. 9 представлено стреляние породы, наблюдавшееся во II Симплонском туннеле на удалении 9,672 км. от северного портала в верхней части разработки, в момент, когда выкладывали свод туннеля.

Весьма любопытный случай стреляния горной породы наблюдался при постройке Вохейнского туннеля.—Туннель этот длиной 6339 мтр. залегает в толстых известняках, в мергелях, в доломитах, в плотных известняках и в глинистых сланцах. При пробивке туннеля в ноябре 1903 г. были встречены оолитовые известняки. На границе триасовой и юрской формаций, приблизительно на середине туннеля на протяжении около 100 мтр. наблюдалось сильное стреляние горной породы. Стреляние всегда начиналось несколько недель спустя после обнажения породы. С грохотом и треском отскакивали более или менее крупные куски. Но наиболее замечательный случай произошел 1 февраля 1904 г. Отскочила глыба объемом около 8 куб. мтр.. При этом грохот, равный по силе пушечному выстрелу, был слышен за несколько километров от туннеля.—Случай этот обошелся вполне благополучно.

В заключение сообщаемых данных из практики нельзя не упомянуть о нескольких интересных и важных в теоретическом отношении фактах, когда те обстоятельства, при которых должно было бы происходить стреляние горных пород, совпадали с наличием трещиноватости и сланцеватости породы. Оказывается, что в таких случаях характер явления резко менялся. Стреляние в принятом нами смысле уже не наблюдалось, а происходило смещение породы. Примеры редки, но характерны. В своем месте было уже сказано, что стреляние горных пород вообще есть явление мало изученное, несмотря даже на то, что это явление сопровождается сильным звуковым эффектом, который, казалось бы, невольно приковывает к себе всеобщее внимание. Тем меньше оснований к тому, чтобы смещения трещиноватой или сланцеватой породы были замечены и зафиксированы.

Не располагая большим количеством данных для иллюстрации явления стреляния в сланцеватых породах, я все же имею возможность привести пример из практики постройки Симплонского туннеля. В штольне II на удалении 7,7 км. от южного портала в известковом сланце наблюдалось смещение породы (фот. 10). По соседству, где порода была плотна, крепка и несланцевата, наблюдалось отслаивание плиток, т. е. явление стреляния в полном смысле этого слова.



### Общие итоги наблюдений.

Как общий итог всех многочисленных случаев наблюдения явлений стреляния горных пород можно сказать следующее:

Явление стреляния нельзя связать с какой-нибудь определенной горной породой. Можно считать доказанным, что это явление наблюдается во всякой горно-каменной породе, но по преимуществу в наиболее крепких, хрупких однородных, сплошных и массивных.

Довольно трудно составить полный перечень всех тех пород, в которых встречалось стреляние. Таковы кварциты, кварцитовые песчаники, гнейсы, плотные известняки, диориты, порфиры, гравиты, доломиты. Затем, хотя и реже, явление стреляния наблюдалось в сланцеватых серых песчаниках и даже в глинистых сланцах. Довольно часто приходилось наблюдать стреляние в роговообманковых андезитах рудника Комсток в Калифорнии, в туннеле № 27 длиной 588 мтр. в Цинцивати, расположенном в обыкновенном песчанике, в свинцовых рудниках Пржибрамма, залегающих в граувакке, в свинцовых рудниках в Дербиссире, залегающих в шиферах и диабазе. Наконец, стреляние довольно часто наблюдалось во многих каменноугольных копях.

Весьма интересно увязать явления стреляния горной породы с горным давлением. Все лица, наблюдавшие стреляние, упорно говорят о том, что явление стреляния и сильное вертикальное горное давление как будто исключают друг друга. Некоторые авторы доходят до полного утверждения, что явление стреляния наблюдается в условиях, «совершенно исключаящих возможность говорить о каком бы то ни было горном давлении».

Стреляние по виду своему протекает совершенно одинаково как в Симпловском туннеле, там, где высота налегающего горного массива достигает 2000 мтр., так равно и в бельгийских каменоломнях Кенаста, где разработки ведутся на дневной поверхности.

Время, когда начинается стреляние, бывает различно. В подавляющем большинстве случаев стреляние начинается тотчас же вслед за выемкой породы. Однако, далеко не единичны случаи, когда стреляние начиналось спустя долгий срок после разработки подземного хода. Протекали недели и даже месяцы без малейших признаков стреляния и вдруг, совершенно неожиданно стреляние породы начиналось с бешеной силой.

Интенсивность стреляния бывает различна. В большинстве случаев оно выражается грохотом и треском. Иногда идет непрерывное легкое потрескивание породы, сопровождаемое мелкой осыпью и отслаиванием ее. Иногда, напротив, грохот, подобно ружейному выстрелу, раздается в штольне. Случай, когда звуковой эффект достиг силы пушечного выстрела, как это было в Симпловском и в Вохейнском туннелях, случаи эти—исключительные.

Весьма любопытно отметить, что хотя стреляние горных пород и встречается в рудниках и в туннелях, находящихся на самых разнообразных глубинах, но почему-то явление стреляния особенно распространено на глубине 230—240 мтр. Так именно наблюдается в рудниках Верхней Силезии, в Вестфальском бассейне, в Рурском бассейне, в Домбровском бассейне, в Донецком бассейне и во многих других местах. Это явление весьма замечательно. Если проследить в означенных районах выработки вышеупомянутой глубины или же ниже ее, то явление стреляния или совсем не наблюдается, или же наблюдается необычайно редко.

Наряду с этим стреляние наблюдается в некоторых шахтах у Верхнего Озера в Сев. Америке, на глубине 1450 мтр., в разработках Мансфельда на глубине 1350 мтр., в руднике Сан-Ингберт в Рейнском Пфальце на глубине 1250 мтр., в руднике Комсток в Америке, на глубине 900 мтр. Наконец, как уже говорилось, стреляние наблюдается в бельгийских каменоломнях Кенаста, расположенных на открытой поверхности, в местах дневных разработок породы.

Таким образом, отмечая замечательную распространенность стреляния на глубине в 240 мтр., все же рассматривать явление стреляния, как функцию глубины, не представляется возможным.

Место, где начинается и происходит стреляние, в большинстве случаев есть боковые части подземных ходов. Здесь вдоль стен стреляние обычно начинается и в большинстве случаев достигает своего максимума и особенной интенсивности. Весьма редко и как исключение стреляние наблюдалось у подошвы подземных выработок. Что касается потолка штольни, то известно кажется, всего только лишь два случая, когда было обнаружено стреляние весьма слабое и едва уловимое. Будет правильнее сказать, что на потолке штольни стреляния не бывает.

Начавшееся стреляние бывает возможно приостановить и даже совершенно прекратить двумя способами: или удачным заложением боковых штреков, или при посредстве облицовки.

К сожалению, приходится только лишь констатировать, что боковые забои справа и слева от мест стреляния решительно отзывались на дальнейшем ходе стреляния породы, но дать какие либо более точные указания в отношении тектоники массива в данном месте возможности нет, за отсутствием строго проверенного материала.

В туннелях неоднократно замечалось, что своевременная облицовка задерживала и даже прекращала стреляние горной породы. К сожалению и здесь лица, производившие наблюдения, не дают каких либо данных о внутреннем строении горного массива. В отношении облицовки туннеля, как средства задержать и даже прекратить стреляние породы, замечу, что инъекции породы цементным раствором в этих местах не производилось. Была произведена кладка сводов с защебенкой и таким образом за боковыми стенами и за сводами оставались мелкие воздушные пространства.

Наконец, вопрос о температуре. Здесь мы имеем только отрывочные данные, а не систематически и планомерно проведенные наблюдения. Все же можно сказать, что повидимому температура горной породы и явление стреляния не имеют никакой связи. В Симплонском туннеле стреляние породы началось при температуре ее  $+23^{\circ}\text{C}$  и при температуре воздуха около  $+20^{\circ}\text{C}$ . Максимальная температура в этом туннеле была для горной породы  $+55,4^{\circ}\text{C}$  и температура воздуха  $+50^{\circ}\text{C}$ . Стреляние горной породы происходило при разных температурах в одном и том же месте. Совершенно не установлено, чтобы изменения температуры или влажности воздуха так или иначе отражались на интенсивности стреляния. В каменоломнях Кенаста стреляние наблюдается в разное время года при самых различных температурах горной породы и окружающего воздуха, при самых разнообразных степенях влажности и высотах атмосферного давления. Тоже самое можно сказать и относительно стреляния горной породы в роговообманковых андезитах рудника Комсток в Калифорнии.

#### Гипотезы о причинах стреляния горных пород.

Анализируя явление стреляния горных пород, мы должны констатировать, что материалов, полученных по наблюдениям из практики туннелей и рудников для полного и всестороннего уяснения причин и обстоятельств стреляния пород, пока недостаточно. Этим объясняется разнообразие, противоречивость и неопределенность существующих в литературе теоретических воззрений на это интересное явление.

Знаменитый Цюрихский профессор геологии Альберт Гейм указывает на явление стреляния, как на одно из доказательств проявления горного давле-

ния на глубине<sup>1)</sup>. Рассуждение его сводится к тому, что на известной глубине горная порода испытывает напряжение, соответствующее напряжению выше-лежащих масс от их тяжести. Гейм полагает, что тело представляется твердым лишь до тех пор, пока оно подвергнуто одностороннему давлению, но оно делается пластичным и даже до известной степени текучим, если подвергается давлению со всех сторон, при чем давление в этом случае превосходит прочность породы. Тогда порода приобретает свойства совершенной пластичности.

Для того, чтобы подробнее рассмотреть те процессы, которым подвергаются горные породы в своих изменениях на глубине, необходимо напомнить те категории, на которые разбивает проф. А. Гейм горные породы соответственно их свойств, обуславливающих размер и характер их изменений. Эти свойства таковы: во-первых, или крепость, или слабость горной породы—свойство, обуславливаемое силой сцепления составных частей, но не зависящее от механических условий, в которых находится порода. Во-вторых, или хрупкость, или пластичность горной породы—свойство, не обуславливаемое силой сцепления, но в противоположность первому свойству, зависящее от окружающих механических условий. Первое и второе свойства не стоят ни в какой зависимости между собой, а потому и существуют в различных комбинациях в одной и той же породе, напр., гранит, кварцит обладают крепостью в соединении с хрупкостью, мергель, песчаники обладают крепостью и пластичностью слюда—слабостью и хрупкостью, а глина слабостью и пластичностью.

Твердые, крепкие и хрупкие породы при давлении, превосходящем прочность породы приобретают свойства пластичности, если порода подвергнется давлению со всех сторон, но если забоем обнажили породу, то она производит стреляние, что и является, по мнению проф. А. Гейма, одним из доказательств проявления горного давления на глубине.

Противники теории Гейма о давлении горных пород, как функции глубины, решительно устраняют явление стреляния из категории доказательств реального существования на глубине горного давления. Они указывают на то, что явление стреляния совершается в аналогичных, чтобы не сказать в тождественных формах как на глубине в 2000 мтр., в Симплонском туннеле, так и на дневной поверхности в каменоломнях Кенаста. Затем, они указывают на то, что стреляние обычно ограничивается сравнительно незначительным слоем обнаженных в штольне горных пород.

Существует гипотеза о том, что причиной стреляния горных пород до некоторой степени является изменение температуры, следующее за пробивкой туннельной штольни. Сторонники этой гипотезы указывают на то, что обычно температура горной породы повышена вследствие внутреннего жара земли. Зная геотермический градиент, условия залегания горных пород и целый ряд иных факторов, мы можем с достаточной степенью точности вычислить, какова температура породы на данной глубине. С проведением туннельных разработок температура меняется, происходит охлаждение, что и играет известную роль в явлении стреляния горной породы.

На это возражают, указывая на Симплон, каменоломни Кенаста и целый ряд туннелей и рудников, где наблюдались самые разнообразные комбинации температур, не отзывавшиеся на явлении стреляния.

Имеется гипотеза, что стреляние является следствием перераспределения напряжений в горных породах, зависимо от пробивки штольни. Согласно этой гипотезы явление стреляния является примером накопления в глубоких недрах земли потенциальной энергии в форме механических сил. В таком объяснении стреляние приобретает значение крупного геологического факта, непосредственно связанного с дислокациями земной коры, учитываемого обычно под разными названиями».

<sup>1)</sup> Об этом подробно смотри: Проф. М. И. Евдокимов-Рокотовский „Давление горных пород...“. Изд. 1927 г. Томск.

К сожалению, эта гипотеза недостаточно проработана и имеет свои возражения. Надо указать на то, что здесь говорится о «глубоких недрах земли», на самом же деле стреляние горных пород наблюдается по преимуществу на глубине 240 мтр. и даже на поверхности земли, напр. в каменоломнях Кенаста.

#### Предположение автора о причинах стреляния горных пород (гипотеза).

Рассматривая явление стреляния в целом независимо от глубины, приходится признать, что действительно при разработках недр земли на различных глубинах наталкиваемся на горные породы в особо напряженном состоянии. Скрытая в них потенциальная энергия при обнажении породы выражается в форме механической силы. Такие аккумуляторы энергии сосредоточены в породах твердых, крепких, свежих и однородных. Мы можем встретить эти очаги потенциальной энергии залегающими на любых глубинах, но особенно на глубине 240 мтр.

Основную причину образования таких очагов потенциальной энергии я склонен относить к современным тектоническим процессам. Стреляние горных пород мы наблюдаем не только в породах массивных, но и в осадочных: в известняках, в песчаниках, в глинистых сланцах, в доломитах, в каменном угле, в гнейсе, в слюдяном и хлоритовом сланцах, в роговообманковом сланце и особенно в кварцитах.

Поэтому приходится самым решительным образом отвергнуть какую бы то ни было возможность допущения образования связанных с отвердеванием расплавленной магмы особых «стяжений» коры и не искать эту причину стреляния горных пород в глубоких недрах земли.

Наличие стреляния в осадочных горных породах может послужить для нас некоторой руководящей нитью.

Стреляние отсутствует в породах пластичных и наблюдается исключительно в породах крепких и хрупких. Это, повидимому, может быть истолковано в том смысле, что возникающие по причинам, до которых мы доискиваемся, очаги потенциальной энергии, так сказать, «рассасываются» и исчезают в силу пластичности пород путем перемещения ее частиц.

Стреляние наблюдается от боковых стен. Это тоже должно служить для нас руководящей нитью. Особенно важным будет для нас то, что если справа и слева от места стреляния сделать боковые врубы породы, то стреляние прекращается.

Все это вместе взятое производит меня к мысли, не является ли причиной стреляния напряжение горного массива при образовании складок (тангенциальные усилия).

Горное давление в массиве горы распределяется по весьма сложным законам с различной интенсивностью и по различным направлениям. В своем труде «Давление горных пород...» я отметил и на примерах показал, что давление бывает вертикальное, боковое, снизу вверх или направленное вдоль нашего подземного хода. При образовании складок, если напр. мы вспомним известные опыты Добре, то можем принять, что горное давление бывает направлено и горизонтально.

Таким образом, мое предположение о силах горного давления, направленных горизонтально при образовании в горном массиве складок, вполне допустимо.

Если принять высказанную мной гипотезу, то все обстоятельства, при которых происходит стреляние горных пород, находят себе полное объяснение.

Для того, чтобы проверить высказанное здесь мое предположение, мной произведен такой опыт: я взял твердую горную породу и стал сжимать ее (черт. 11); тогда в месте А—А будет наблюдаться стреляние горной

породы. Линзеобразного сечения плитки с грохотом и треском станут отлетать, если давление не доведено до степени полного разрушения породы.

Для опыта мной был взят мелкозернистый гранит. Длина куска 39 см. Крайние площадки размером  $12 \times 16$  см. В узком месте, где сделана шейка, сечение равно  $8 \times 7$  см. Зажав в пресс, мы в месте А—А получаем характерное стреляние породы.

Повторим опыт с мрамором. Картина получается та же: пока не наступило полное разрушение куска,—отслоения идут на глубину плитками толщиной в  $1\frac{1}{2}$  или в 1 мм. Крошащиеся у концов, тонкие и прозрачные, они тверды и крепки в середине линзы. Если такую отскочившую плиту приложить к тому месту, откуда она только что отскочила, то оказывается, что она стала немного больше и не входит в свое гнездышко (черт 12).

Рассмотрим теперь, насколько согласуется высказанная мной гипотеза с наблюдениями на практике.

Если посмотреть на черт. (черт. 13), схематически изображающий образование складки, то видим, что место стреляния будет в зоне, где нет явно выраженного вертикального горного давления. Это как нельзя лучше согласуется с наблюдениями из практики. В этом отношении проф. геологии А. Гейм впал в ошибку, пытаясь рассматривать стреляние горных пород, как доказательство проявления сил вертикального горного давления на глубине.

Отскакивающая порода имеет линзеобразный вид. Это вид—обычный при крепких, свежих и однородных породах, что легко проверить на опыте. Если порода разрушенная, выветрелая, не достаточно свежая, то она будет крошиться. Сказанное великолепно согласуется с действительностью. Когда порода свежая, мы действительно имеем линзеобразные плитки. В пестрых песчаниках Крабергского туннеля и в некоторых коях, где порода не достаточно крепкая и свежая, мы плиток не видим, а получается мелкая крошащаяся осыпь.

Если горная порода под действием сил горизонтально направленного горного давления доведена до размеров временного сопротивления на скалывание породы ( $K_s$ ), то при обнажении этой породы наступает ее стреляние, сопровождаемое грохотом и треском. Если напряжение породы до пределов временного сопротивления было доведено до момента обнажения горной породы, то стреляние горной породы начинается тотчас же по обнажении ее. Стреляние может начаться не сразу, а спустя некоторый срок в том случае, если напряжение породы не было доведено до пределов временного сопротивления на скалывание. Стреляние начнется, если временное сопротивление будет достигнуто, а таковое будет в двух случаях: во первых, или при дальнейшей разработке подземного хода на полный профиль, или, во вторых, если где либо произойдет сдвиг породы или вообще такой процесс (чер. 14), когда сила в горизонтальном направлении будет возрастать. Такой повидимому случай имел место в Симплонском туннеле.

Высказанная мной гипотеза о действии тангенциально направленных сил, в связи с образованием складок, как о причине стреляния горных пород, находит себе полное подтверждение между прочим еще и в том, что делая боковые врубы возле места стреляния, мы прекращаем это стреляние горной породы. В самом деле, создав воздушное пространство и изолировав место стреляния от сил горизонтального давления, мы исключаем причину, что в результате дает исчезновение стреляния, как следствия этого давления.

Здесь уместно будет упомянуть о том, что даже легкая обделка туннеля в месте стреляния горной породы может задержать и даже прекратить это стреляние. В случае принятия высказанной мной гипотезы, такое влияние обделки станет для нас понятным. В самом деле, произведем такой подсчет. Если принять временное сопротивление горной породы на скалывание в 100 кг. на

кв. см. <sup>1)</sup>, то сила, необходимая для скалывания породы, будет равна 100 кгр. см<sup>2</sup>. а так как эта сила направлена под углом равным около 5°40', то, разлагая ее по правилу параллелограмма, (чер. 15) находим, что сила, направленная нормально к поверхности, где происходит стреляние горной породы, будет всего толь 10 кгр. на кв. см. Такова должна быть приложена сила, чтобы совершенно погасить напряжение скалывания. Понятно, что туннельная обделка, даже при небольшом противодействии, уже легко может вывести породу по напряжению ее из пределов, близких к временному сопротивлению породы на скалывание и таким образом, уже легкая обделка туннеля сможет прекратить стреляние горных пород.

Все только что сказанное дает нам объяснение еще одного интересного обстоятельства в явлении стреляния горных пород. Я говорю о том, что при стрелянии горная порода находится в видимом ясно различимом напряженном состоянии лишь на небольшую глубину. При принятии моей гипотезы это становится так же понятным и находит следующее объяснение: горизонтально направленные силы горного давления наклонены под незначительным углом к той поверхности, где наблюдается стреляние. Твердая и хрупкая горная порода будет крошиться и отскакивать тонкими плитами только на небольшую глубину, а дальше, глубже в породу, хотя порода и будет испытывать довольно высокие напряжения, скалывания происходить не будет, так как здесь будут образовываться временные сводики и порода в этих временных сводиках будет работать на сжатие (чер. 15). Временное же сопротивление породы на сжатие, как известно, на много выше, нежели те силы, которые могут при известной комбинировке и направлении разрушать породу скалыванием ее наружных слоев.

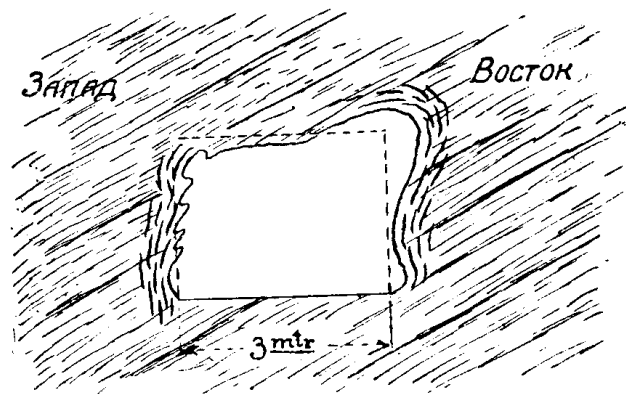
Есть еще один вопрос, который тесно связан с явлением стреляния и на который моя гипотеза также дает ответ. Я говорю о том, что стреляние весьма часто наблюдается на глубине около 240 м. Это загадочная величина и оправдать или проверить ее математическим подсчетом мы не можем. В виду моей гипотезы о причинах стреляния горных пород, возможно, что 240 м. есть та зона, где идет волна сдвигов в земной коре; впрочем, этот вопрос сложный и не может быть сразу решен.

Итак, на ряде обстоятельств, сопровождающих стреляние горных пород, мы убеждаемся, что высказанная мной гипотеза о горизонтально направленных силах горного давления при образовании складок действительно может быть рассматриваема, как причина стреляния горных пород, и хорошо объясняет все обстоятельства, сопровождающие стреляние горных пород.

---

<sup>1)</sup> Временное сопротивление на скалывание породы, по данным К. Баха (Детали машин, их расчет и устройство) может быть принято следующее:

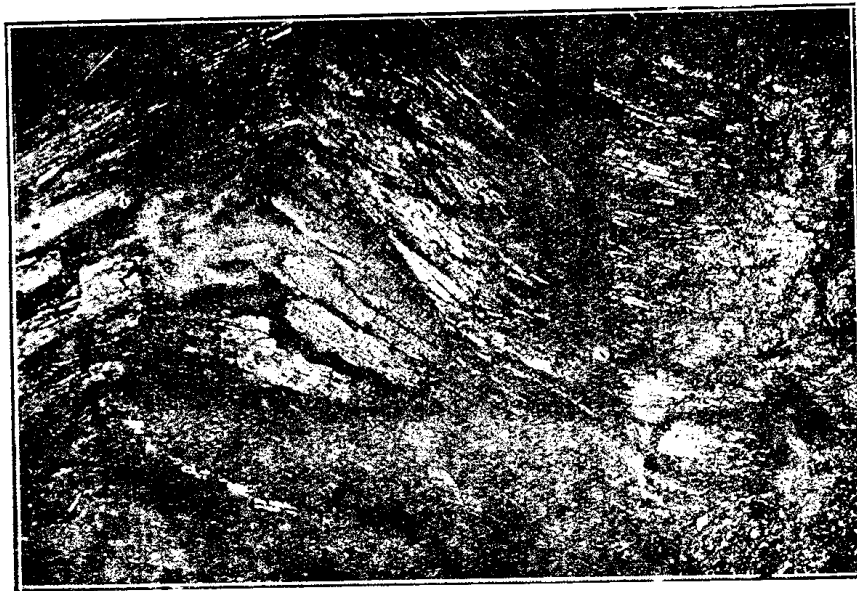
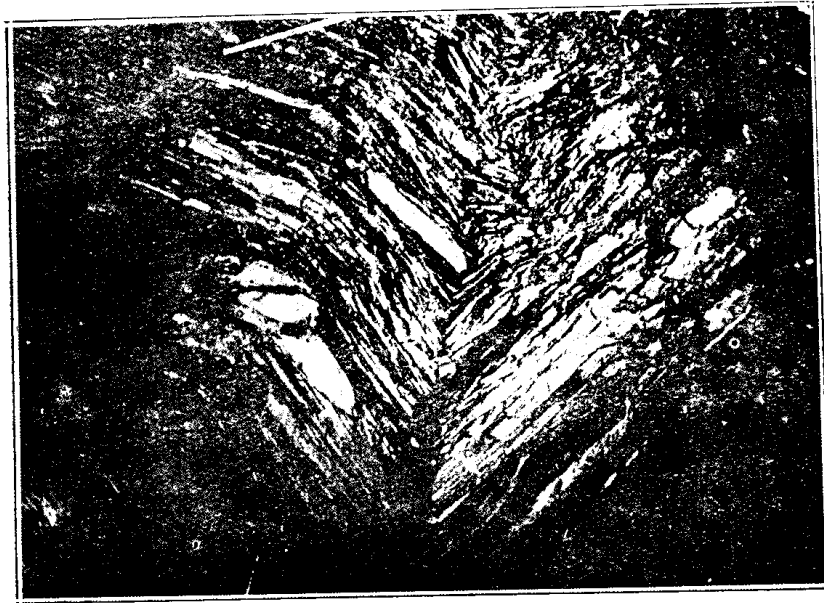
для гранита . . . . .	от 40 до 160 кгр. см <sup>2</sup> .
для известняка . . . . .	от 30 до 120 " "
для песчаника . . . . .	от 15 до 80 " "



Чер. 3. Место стреляния в направляющей галлерее Тауэрнского туннеля.



Фот. 4. Вид отскакивающих плиток в момент стреляния в Тауэрнском туннеле.



Фот. 5 и 6. Места, где произошло стреляние горной породы в Сим-  
лонском туннеле.





Фот. 7. Стреляние породы в Симплонском туннеле I.



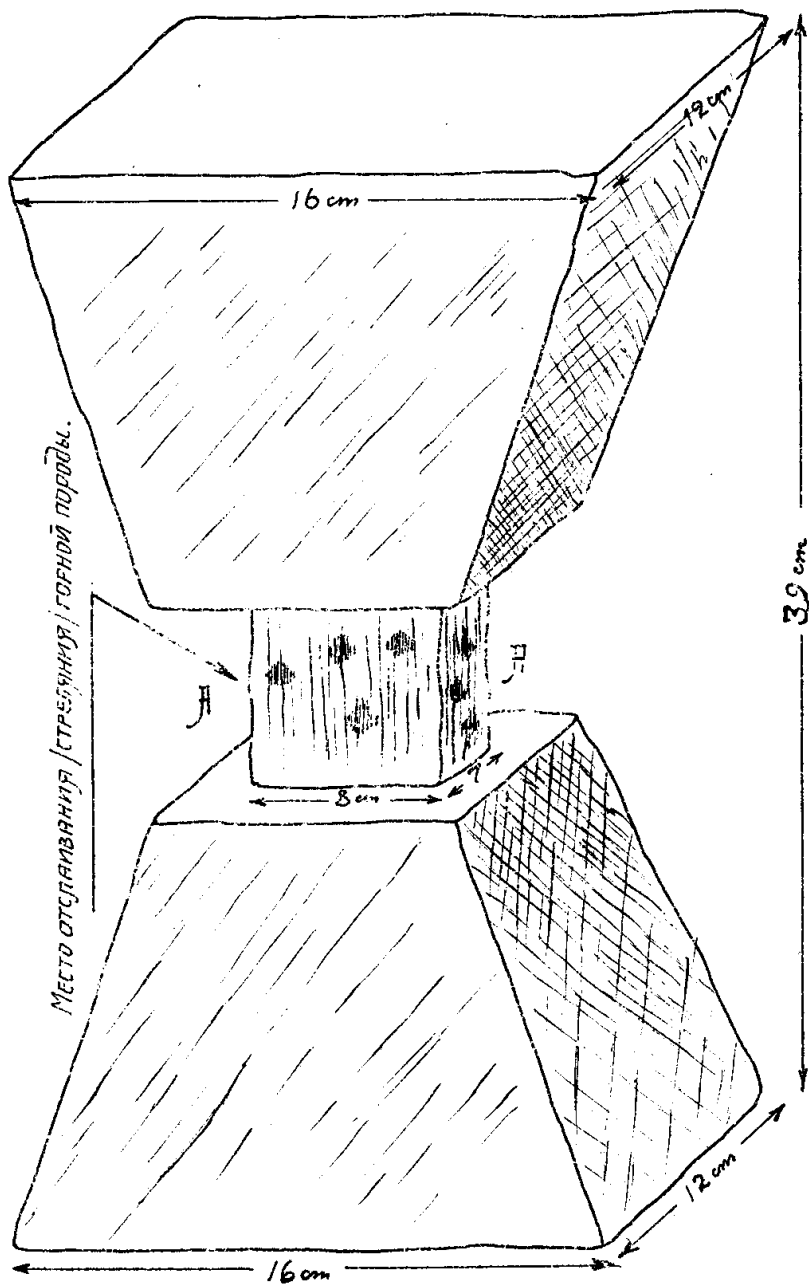
Фот. 8. Стреляние породы в известковых сланцах Симплонского туннеля II.



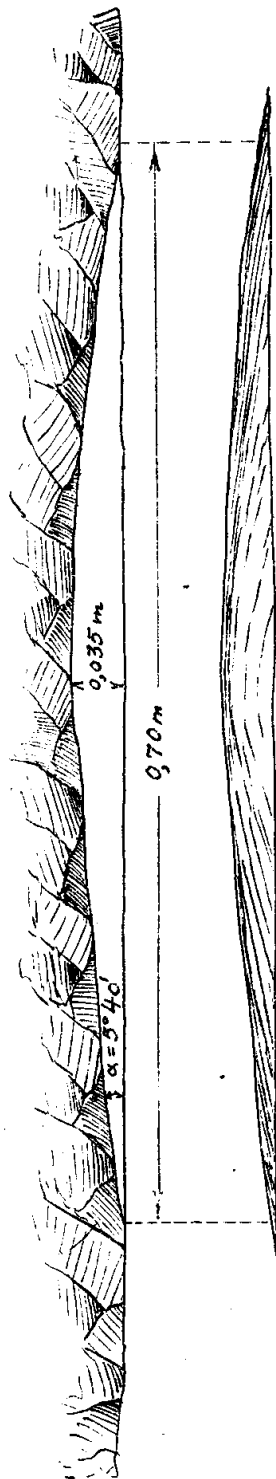
Фот. 9. Стреляние породы в верхней части Симпсонского туннеля во время кладки свода.



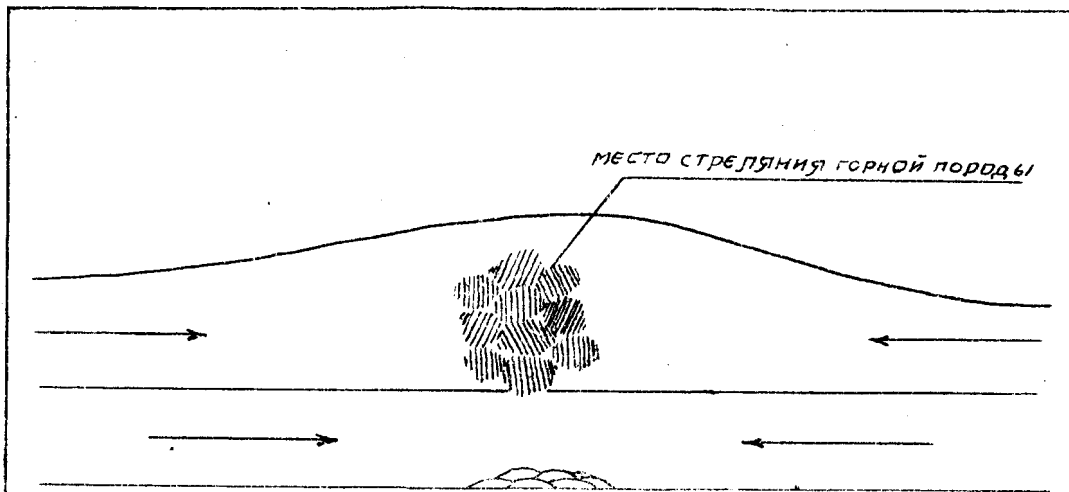
Фот. 10. Вид сланцеватой горной породы в условиях, соответствующих стрелянию породы.



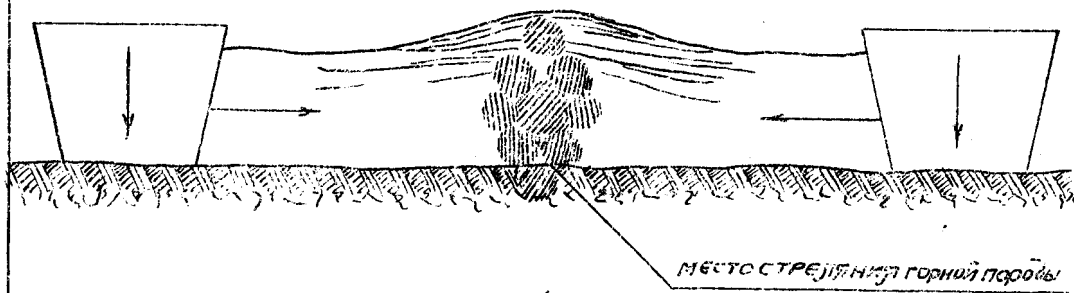
Черт. 11.



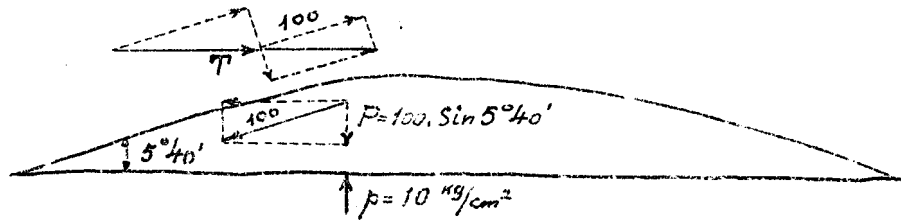
Черт. 12.



Черт. 13.



Черт. 14.



$T$  — ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННАЯ СИЛА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ  
(ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ СИЛА).

Черт. 15.