

УДК 622.235.38:622.235.4

К.Н. Лабинский, канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «ДонНТУ»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЕРЕДАЧИ
ДЕТОНАЦИИ МЕЖДУ ПАТРОНАМИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В
РАССРЕДОТОЧЕННОМ ЗАРЯДЕ**

К.М. Лабінський, канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «ДонНТУ»)

**ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТИЧНИХ УМОВ ПЕРЕДАЧІ ДЕТОНАЦІЇ МІЖ
ПАТРОНАМИ ВИБУХОВІХ РЕЧОВИН У РОЗСЕРЕДЖЕНОМУ ЗАРЯДІ**

K.N. Labinskiy, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEE «DonNTU»)

**RESEARCHING OF CRITICAL CONDITIONS OF DETONATION
TRANSMITTING BETWEEN CARTRIDGES OF EXPLOSIVE IN A
DIVIDED CHARGE**

Аннотация. В статье исследован механизм передачи детонации между патронами ВВ в рассредоточенном заряде. Рассмотрено влияние диаметра канала на скорость истечения продуктов детонации. Установлены критические условия передачи детонации между рассредоточенными зарядами. Предложены конструкции шпуровых зарядов, обеспечивающие передачу детонации между рассредоточенными патронами ВВ.

Ключевые слова: заряд ВВ, передача детонации, продукты взрыва, отказ детонации.

Актуальность работы. При взрывном разрушении горных пород при проведении горных выработок в подавляющем большинстве используются патронированные составные шпуровые заряды ВВ. Известны рассредоточенные конструкции шпуровых зарядов, позволяющие управлять разрушающим действием взрыва за счет создания воздушных промежутков между соседними патронами. Однако искусственное создание воздушного промежутка между патронами ВВ может привести к нарушению устойчивости детонации составного рассредоточенного шпурового заряда ВВ. Поэтому исследование критических условий передачи детонации между патронами ВВ является актуальной задачей, решение которой позволит обосновать оптимальные параметры конструкции рассредоточенных шпуровых зарядов ВВ, обеспечивающие полноту и устойчивость детонации.

Анализ последних исследований и публикаций, посвященных этому вопросу, показал, что механизм передачи энергии взрыва активного заряда ВВ пассивному может осуществляться тремя путями: ударной волной, распространяющейся в среде, разделяющей заряды, газодинамическим потоком продуктов детонации ВВ и твердыми быстро летящими частицами, метаемыми взрывом.

Однако передача детонации между патронами определяется не только тем или иным механизмом передачи энергии взрыва ВВ, но и многообразием условий взрывания зарядов. В работах [1,2] показано, что основными причинами нарушения передачи детонации между патронами ВВ в шпуровых зарядах являются переуплотнение ВВ и его недостаточная детонационная способность, связанные с канальным эффектом, динамическим прессованием ВВ и откольными явлениями в шпурах. При замедленном взрывании раздвижка патронов в заряде с образованием между патронами ВВ инертной среды также приводит к их неполной детонации. Комплексная оценка устойчивости детонации шпурового заряда, учитывающая механизм передачи детонации между патронами и условия взрывания ВВ, пока не дана, и эта задача требует решения.

Целью настоящей работы являются экспериментальные и теоретические исследования передачи детонации между рассредоточенными в заряде патронами ВВ для разработки конструкции шпурового заряда, устойчиво детонирующего в условиях замедленного взрывания.

Материалы и результаты исследований. Опытами и экспериментами было установлено [3], что передача детонации и возбуждение ее в пассивном заряде ВВ происходит в зоне, где параметры ударной волны и потока продуктов детонации от активного заряда настолько велики, что давление во фронте волны отражения удовлетворяет неравенству: $\Delta P \geq 3 \cdot 10^7$ Па, в противном случае возбуждению детонации всегда предшествует период горения ВВ.

Определение начальных параметров ударных волн в газообразной среде при передаче детонации от одного заряда ВВ к другому представляет собой достаточно сложную задачу. В работах Л.Д. Ландау, К.П. Станюковича и Ф.А. Баума [3,4] дается решение, которое позволяет определять параметры ударной волны вблизи поверхности заряда ВВ в зависимости от давления детонации ВВ – P_n , скорости его детонации – D_{BB} и скорости истечения продуктов детонации в воздух W_D . Тогда отношение давления во фронте ударной волны P_x к давлению детонации ВВ на границе раздела «ВВ – газообразная среда» можно определить по формуле:

$$\frac{P_x}{P_n} = \frac{\rho_v (\gamma_a + 1)(n + 1) \left(\frac{W_D}{D_{BB}} \right)^2}{2 \rho_{BB}} \quad (1)$$

где ρ_v, ρ_{BB} – плотность воздуха и ВВ соответственно; n – показатель политропы продуктов детонации ВВ; γ_a – показатель адиабаты воздуха с учетом его ионизации, $\gamma_a \approx 1,2$.

В работе [2] римановское решение доводится до конца, рассматривая отдельно обе части уравнения, описывающего расширение продуктов детонации и взрыва ВВ, и связывая решения в точке их сопряжения. Таким образом, имеем решение, позволяющее оценить в характерном для этого случая интервале расширения скорость истечения продуктов детонации ВВ в газообразную среду:

$$\frac{3n-1}{n^2-1} D_{BB} \leq W_D \leq \frac{3n-1}{n^2-1} D_{BB} + \frac{2C_k}{k-1} \quad (2)$$

где C_k – скорость звука в точке сопряжения продуктов взрыва и продуктов детонации (ПД) ВВ; k – показатель адиабаты продуктов взрыва ВВ.

Уравнение (2) позволяет приблизительно определить значение скорости истечения продуктов детонации ВВ в этом интервале. Тогда значение скорости истечения можно найти из уравнения:

$$W_{D_{cp}} = \frac{3n-1}{n^2-1} D_{BB} + \frac{2C_k}{k-1}, \text{ м/с.} \quad (3)$$

В соответствии с работой [2], значение скорости звука в продуктах взрыва ВВ равно:

$$C_k = \frac{D_{BB}}{n+1} \left(\frac{P_k}{P_H} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \quad (4)$$

где P_k – давление продуктов взрыва ВВ в точке сопряжении ударных адиабат.

При подходе ударной волны к заряду, если поверхность его торца плоская и расположена нормально к направлению движения волны, происходит ее отражение, при этом давление резко возрастает:

$$\Delta P_{отр} = 2\Delta P_n + \frac{6\Delta P_n^2}{\Delta P_n + 7} \quad (5)$$

а плотность воздуха в отраженной волне равна:

$$\rho_{отр} = \rho_v \frac{6P_{отр} + P_n}{P_{отр} + 6P_n} \quad (6)$$

где ΔP_n и P_n – избыточное давление и давление во фронте падающей волны соответственно; $\Delta P_{отр}$ и $P_{отр}$ – избыточное давление и давление во фронте отраженной волны соответственно; ρ_v и $\rho_{отр}$ – плотность воздуха за фронтом падающей и отраженной волны.

Уравнения (5) и (6) получены для показателя адиабаты воздуха $k_g \approx 1,4$.
Скорость отраженной ударной волны – $U_{отр}$ находится из уравнения:

$$U_{отр} \frac{k_g + 1}{2} \rho_{отр} = \Delta P_{отр} - \Delta P_n \quad (7)$$

Одновременно с отражением начинается движение волн разряжения от границы к центру торца заряда. Время действия давления в отраженной волне до установления режима обтекания равно:

$$\tau_{отр} = \frac{l}{C_p},$$

где l – поперечный размер поверхности заряда, на который действует ударная волна; C_p – скорость волны разряжения.

Для времени действия на пассивный заряд потока воздуха и продуктов взрыва активного заряда $t > \tau_{отр}$ можно определить среднюю критическую скорость потока – $W_{кр}$, необходимую для возбуждения детонации ВВ в пассивном заряде по теории Гарансона [5] через импедансы среды и вещества ВВ:

$$W_{кр} = \frac{D(\rho_{отр}U_{отр} + \rho_{ВВ}D_{ВВ})}{2\rho_{отр}U_{отр}}. \quad (8)$$

Полученные уравнения (1)-(8) позволяют моделировать условия передачи детонации между зарядами ВВ, задаваясь параметрами ударных волн в зазоре, образованных взрывом активного заряда, и значением критической скорости детонации ВВ в пассивном заряде. Их критические величины и можно установить из эксперимента по передаче детонации.

Экспериментальная часть работы включала измерение скорости детонации ВВ в активном и пассивном зарядах, а также скорости ударной волны и продуктов взрыва в воздушном зазоре, разделяющем заряды. Были проведены три серии экспериментов: для открытых зарядов на воздухе, для разделенных воздушным зазором зарядов в трубе и зарядов, соединенных между собой полыми трубками. Схемы этих опытов показаны на рис 1.

Исследованиями установили, что для активных и пассивных зарядов аммонита № 6ЖВ с плотностью патронирования ВВ 0,95..1,05 г/см³ и диаметром 24..32 мм передача детонации для открытых зарядов на воздухе составила 4 см, на расстоянии 5 см происходили отказы. В трубе из ПВХ с толщиной стенки 1,7 мм расстояние передачи детонации между зарядами ВВ составляло 10 см, на 12 см происходили отказы. У открытых зарядов, соединенных стеклянными трубками диаметром 6..10 см, передача детонации составила 10 см, отказ 12 см. Развитие процесса детонации ВВ в пассивном заряде контролировали, измеряя скорость детонации по длине патрона, начиная от торца, обращенного к активному заряду.

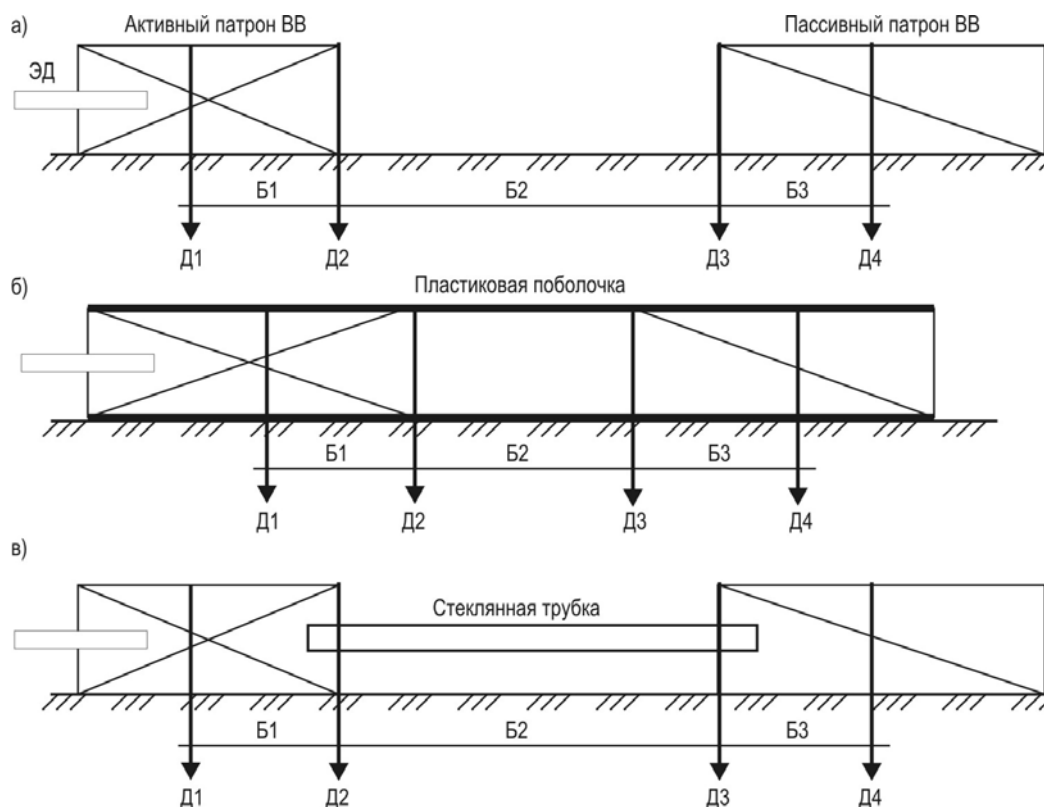


Рисунок 1 – Схемы измерения скорости ударной волны и расширения продуктов детонации
 а) – открытые заряды, б) – заряды в трубе из ПХВ,
 в) – заряды, соединенных полыми стеклянными трубками

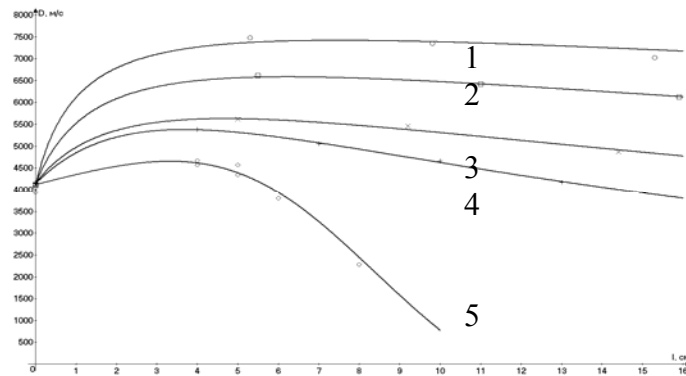
На рис. 2 показаны графики зависимости скорости ударных волн и потока продуктов детонации ВВ в воздушном зазоре от расстояния между активными и пассивными зарядами.

Данные по скорости детонации ВВ в пассивном патроне при передаче детонации приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Скорость детонации ВВ, измеряемая по длине пассивного заряда, начиная с торца патрона

Воздушный зазор, см	W_D в зазоре, м/с	Скорость детонации ВВ, м/с			
		по длине заряда 0-15 мм	по длине заряда 15-30 мм	по длине заряда 30-45 мм	по длине заряда 45-60 мм
3,6	4690,2	3027	3582,1	3809,5	3809,5
4,0	4671,5	2474,2	3030,1	3231,7	3871
4,0	4961,2	1395,3	3157,9	3809,5	3809,5
5,0	4571,4	509,6	-	-	-

Таким образом, исследования позволили установить расстояние передачи детонации через воздушный зазор между зарядами аммонита №6ЖВ, а также



1 – в стеклянной трубке диаметром 6,0 мм; 2 – в стеклянной трубке диаметром 7,2 мм;

3 – в стеклянной трубке диаметром 10.1 мм; 4 – в трубе из ПВХ; 5 – открытыми

Рисунок 2 – Графики зависимости скорости ударных волн и потока продуктов детонации ВВ в воздушном зазоре от расстояния между активными и пассивными зарядами

критические значения скорости детонации ВВ в пассивном патроне и скорости ударной волны в зазоре. Зная расстояние передачи детонации между зарядами, можно аналитически определить значение скорости газодинамического потока и ударной волны в зазоре. Принимаем $l_{кр} \approx 4,5$ см за критическое расстояние передачи детонации между открытыми зарядами. Следовательно, $W_{кр} \approx 4530$ м/с. Исследования скорости детонации аммонита № 6ЖВ и начальных параметров ударных волн на границе раздела «ВВ-воздух» позволяют установить параметры «падающей» на торец пассивного заряда ударной волны по уравнению:

$$\frac{\Delta P_n}{P_x} = \left(\frac{W_{кр}}{W_x} \right)^2,$$

$$\Delta P = 9.0544 * 10^7 \left(\frac{4530}{8197.2} \right)^2 \approx 2.8 * 10^7 \text{ Па},$$

где P_x и W_x – начальное давление и начальная скорость истечения продуктов детонации ВВ.

При таком давлении газ за фронтом ударной волны ионизирован, поэтому для него принимаем $k_g \approx 1,2$. Тогда максимальная степень сжатия газа при отраженной от торца патрона ударной волне составит:

$$\frac{P_{отр}}{\Delta P_n} = \frac{3k_g - 1}{k_g - 1} \approx 13,$$

а давление в отраженной волне будет равно:

$$P_{отр} = 13 * 2.8 * 10^7 = 3.64 * 10^8 \text{ Па}.$$

Плотность воздуха за ударной волной составит:

$$\rho_6 = 1.224 \frac{2.8 * 10^7 * 1.2 + 1.02 * 10^5 * 0.2}{2.8 * 10^7 * 0.2 + 1.02 * 10^5 * 1.2} \approx 7.2 \text{ кг/м}^3;$$

а в отраженной волне будет равна:

$$\rho_{отр} = 7.2 \frac{3.64 * 10^8 * 1.2 + 2.8 * 10^7 * 0.2}{3.64 * 10^8 * 0.2 + 2.8 * 10^7 * 1.2} \approx 30.0 \text{ кг/м}^3.$$

Находим скорость отраженной ударной волны:

$$U_{отр} = \left[\frac{2(P_{отр} - \Delta P_n)}{\rho_n(k+1)} \right]^{0.5} \approx 6513.4 \text{ м/с.}$$

Согласно уравнению (8), найдем критическую скорость детонационной волны ВВ в пассивном заряде, решая квадратное уравнение:

$$D_{кр}^2 \rho_{ВВ} + \rho_{ВВ} U_{отр} D_{кр} - 2 \rho_{отр} U_{отр} W_{кр} = 0.$$

Для $\rho_{ВВ} = 950 \text{ кг/м}^3$ и $W_{кр} = 4530 \text{ м/с}$ $D_{кр} = 1270 \text{ м/с}$.

Прямые измерения скорости детонационной волны по длине пассивного заряда ВВ 0-15 мм дают минимальное значение $D_{кр} = 1330 \text{ м/с}$, что указывает на достаточно хорошее совпадение результатов аналитических расчетов и эксперимента.

Таким образом, удалось установить критические параметры передачи детонации между открытыми зарядами ВВ на воздухе. Это позволяет обосновать конструкцию заряда, устойчиво детонирующего в условиях раздвижки патронов в зависимости от параметров «падающих» ударных волн и критической скорости детонации ВВ, а также обосновывать конструкции рассредоточенных шпуровых зарядов, обеспечивающих передачу детонации между отдельными патронами.

Выводы. Проведены экспериментальные исследования передачи детонации между патронами ВВ на воздухе и в трубе. Установлены основные факторы, определяющие параметры передачи детонации ВВ между рассредоточенными патронами. Экспериментальные исследования позволили установить критические значения скорости газодинамического потока продуктов взрыва ВВ и ударной волны в зазоре между активными и пассивными зарядами, а также критическую скорость детонации аммонита № 6ЖВ в пассивном патроне. Проведенные исследования позволяют обосновать конструкцию рассредоточенного шпурового заряда, устойчиво детонирующего в условиях короткозамедленного и замедленного взрывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевцов, Н.Р. Исследование процесса раздвижки патронов в шпурах при взрывных работах в вертикальных шахтных стволах // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Вип. 45 / Н.Р. Шевцов, И.В. Купенко, К.Н. Лабинский [и др.]. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – с. 118-123.

2. Шевцов, Н.Р. Исследование полноты и устойчивости детонации зарядов с инертными промежутками между патронами ВВ // Разработка рудных месторождений. Вып. №1 (90) / Н.Р. Шевцов, С.А. Калякин, О.И. Рублева.– Кривой Рог: КТУ, 2006.– с. 75-79.
3. Баум, Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер.– М.: Физматгиз, 1959.– 799 с.
4. Ландау, Л.Д. Определение скорости истечения продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ // Сб.тр. Л.Д. Ландау. Т1 / Ландау Л.Д., Станюкович К.П.– М.: Наука, 1969.– С. 499-503.
5. Кук, М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / Кук М.А.– М.: Недра, 1980.– 452 с.

REFERENCES

1. Shevtsov, N.R., Kuppenko, I.V. and Labinskiy, K.N. (2002), "Researching of the extendable process of blast-hole cartridges during explosive works in vertical shafts", *Naukovi pratsi DonNTU: seriya girnichogeologichna*, no. 45, pp 118-123.
2. Shevtsov, N.R., Kalyakin, S.A. and Rublyova, O.I. (2006), "Researching of fullness and stability of detonation with the inert gaps between blast-hole cartridges", *Razrobotka rudnykh mestorozhdeniy*, no. 1 (90), pp. 75-79.
3. Baum, F.A., Stanyukovich, K.P. and Shekhter, B.I. (1959), *Fizika vzryva* [Physics of explosion], Fizmatgiz, Moscow, SU.
4. Landau, L.D. and Stanyukovich, K.P. (1969), *Opredeleniye skorosti istecheniya produktov detonatsii kondensirovannikh veshchestv* [Determining of outflow speed of products of detonation of condensed explosives], proceedings of Landau L.D., Nauka, Moscow, SU.
5. Kuk, M.A. (1980), *Nauka o promyshlennykh vzryvchatykh beshchestvakh* [Science about industrial explosives], Nedra, Moscow, SU

Об авторе

Лабинский Константин Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент Государственного высшего учебного заведения «Донецкий Национальный технический университет» (ГВНЗ «ДонНТУ») Министерства образования и науки (МОН), Донецк, Украина, bootor@gmail.com.

About the author

Labinskiy Konstantin Nikolayevich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor State higher educational establishment «National technical university» of Donetsk (SHEE «DonNTU») of Ministry of Education and Science of Ukraine (NMU), Ukraine, bootor@gmail.com.

Анотація. У статті досліджений механізм передачі детонації між патронами ВР у розсередженому заряді. Розглянутий вплив діаметру каналу на швидкість продуктів детонації. Встановлені критичні умови передачі детонації між розсередженими зарядами. Запропоновані конструкції шпурових зарядів, що забезпечують передачу детонації між розсередженими патронами ВР.

Ключові слова: заряд ВР, передача детонації, продукти вибуху, відмова детонації.

Abstract. A mechanism of detonation transmission between explosive cartridges in a divided charge is analyzed in this article. Influence of a channel diameter on outflow speed of detonation products is considered. Critical conditions of detonation transmission between divided cartridges are determined. Different constructions of the blast-hole charges providing detonation transmission between the explosive cartridges in a divided charge are proposed.

Keywords: explosive, transmission of detonation, products of explosion, breaking of detonation.

Статья потупила в редакцию 3.01.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским

В.А. Баранов, д-р геол. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН України)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА ИХ СВОЙСТВА

В.А. Баранов, д-р геол. наук, ст. науч. співр.
(ИГТМ НАН України)

ВПЛИВ СКЛАДУ І УМОВ ФОРМУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

V.A. Baranov, D. Sc (Geol.), Senior Researcher,
(IGTM NAS of Ukraine)

IMPACT OF THE ROCK COMPOSITION AND CONDITIONS OF THEIR FORMATION ON THEIR PROPERTIES

Аннотация. Предметом исследований являются горные породы разного состава и условий формирования. Приведенные результаты получены автором в процессе лабораторных исследований и путем анализа литературных источников. Целью исследований является разработка классификации свойств и состояния горных пород разного генезиса. Полученные результаты показывают отсутствие единых закономерностей изменения свойств пород по площади и с глубиной. Это касается пород разного генезиса. Соотношение горизонтальных и вертикальных напряжений могут меняться в разных направлениях, на разных глубинах и в разных породах, по локальным закономерностям, которые в настоящее время нельзя применять для всех районов. Данный вывод является следствием региональных исследований тектоники плит, геофизических исследований, в соответствии с которыми конвекционные явления перемещения вещества являются ответственными за тектонические напряжения в земной коре, на разных глубинах. Полученные данные на разных территориях хорошо иллюстрируют разнообразность свойств разных пород и руд. На основе лабораторных исследований и анализа результатов по литературным данным, разработана петрологическая классификация свойств комплексов горных пород, формирующихся в различных горно-геологических условиях. В указанный перечень вошли: - седиментационно - диагенетический комплекс рыхлых осадочных отложений; - диагенетический комплекс рыхлых и слабо сцементированных осадочных пород; - породы раннего катагенеза – слабо- и среднеуплотненные осадочные породы; - породы среднего катагенеза – от слабо- до сильноуплотненных осадочных пород; - породы позднего катагенеза – сильноуплотненные осадочные породы; - метаморфические породы зеленосланцевой, амфиболитовой и гранулитовой фаций; - магматические породы – граниты, базальты, диориты, диабазы и другие; - метаморфические и магматические породы зоны гипергенеза; - вулканогенно-осадочные породы; - сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород.

Ключевые слова: горные породы, свойства, катагенез, диагенез, метаморфизм, магматизм, классификация.

Горные породы формируются в разных геологических, геохимических, тектонических и термодинамических условиях, что приводит к многообразию их свойств и состояния.