

Семериков И. С., д-р техн. наук, проф.,
Гаврилюк М. Н., ст. преп.,
Устьянцев В. М., канд. физ.-мат. наук

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГОРНБЛЕНДИТА, ГРАНОДИОРИТА И ФЕЛЬЗИТА, КАК ЛЕГКОПЛАВКИХ ГОРНЫХ ПОРОД СРЕДНЕГО УРАЛА С ИЗВЕЩЬЮ

dmik@pochta.ru

В данной работе изучено взаимодействие горнблендита, гранодиорита и фельзита с известью. Рассчитан минералогический и молекулярный состав горных пород. Автоклавная обработка горной породы с известью дает высокую прочность 10,05–15,09 МПа. Составы горных пород с известью показали большую прочность, чем аналогичные составы с песком. При взаимодействии горных пород с известью обнаружены следующие соединения: $C_2SH(A)$ и C_3AH_6 . Доказано что горнблендит, гранодиорит и фельзит могут быть использованы в качестве активных минеральных добавок при производстве сухих строительных смесей.

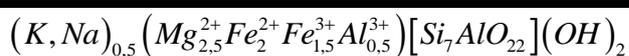
Ключевые слова: горнблендит, гранодиорит, фельзит, известь, активная минеральная добавка.

На Среднем Урале имеется ряд мощных месторождений малоизученных горных пород, которые могут быть использованы в производстве строительных материалов.

Цель настоящей работы исследовать малоизученные горные породы Среднего Урала, такие как горнблендит, гранодиорит и фельзит в качестве активных минеральных добавок в цементы и строительные растворы.

Горнблендит [1] является техногенным отходом при переработке титано-магниевого руд Перворуральского месторождения, расположенного в 40 км от Екатеринбурга. Твердость горнблендита 5-5,5, $\sigma_{сж}$ =30 МПа, ρ =3,18 г/см³. Основная масса отходов горнблендита складывается в отвалах. По минералогическому составу горнблендит содержит 5-7% кварца, 70-75% роговой обманки железисто-магнезиального состава и плагиоклаз.

Теоретический состав роговой обманки может быть записан в виде формулы:



Гранодиорит это глубинная магматическая полнокристаллическая горная порода, промежуточная по составу между гранитом и кварцевым диоритом. Цвет гранодиорита от светлого до темно-серого, плотность 2,9 г/см³, прочность на сжатие более 180 МПа. Гранодиорит содержит 10-15% кварца, 50-80% плагиоклаза (анортита), до 10% роговой обманки.

Фельзит – аналог гранита, месторождение фельзита разрабатывается около города Реж Алапаевского района Свердловской области. Цвет фельзита может изменяться от белого до светло-серого.

Фельзит содержит 35-40% кварца, 30-33% калиево-натриевого полевого шпата и 10-15% плагиоклаза.

Химический состав горных пород по формуле Зегера приведен в таблице 1. Сумма молекулярных долей $R_2O+RO=1$.

Таблица 1

Молекулярный состав горных пород

| Горная порода | K_2O Na_2O | CaO MgO FeO | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | SiO_2 | TiO_2 | ρ , г/см ³ |
|---------------|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|---------|---------|----------------------------|
| Горнблендит | 0,010 0,046 | 0,329 0,438 0,170 | 0,248 | 0,067 | 1,292 | 0,027 | 3,1-3,3 |
| Гранодиорит | 0,081 0,273 | 0,311 0,196 0,139 | 0,573 | 0,033 | 5,782 | 0,028 | 2,8-2,9 |
| Фельзит | 0,364 0,299 | 0,192 0,033 0,111 | 0,986 | 0,029 | 13,039 | 0,028 | 2,6-2,8 |

Значения основного (m), кремнеземистого (n), и глиноземного (p) модулей (смотри формулы 1, 2, 3) исследуемых горных пород приведены в таблице 2.

$$m = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3} \quad (1)$$

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3} \quad (2)$$

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (3)$$

Горнблендит относится к группе ультраосновных горных пород с повышенным содержанием $CaO+MgO>25\%$, содержание SiO_2 менее 40%, $FeO+Fe_2O_3>17\%$.

Гранодиорит и фельзит относятся к группе кислых горных пород с содержанием SiO_2 более 68 и 77% соответственно.

В связи с повышенным содержанием щелочных, щелочно-земельных и железистых ок-

сидов, исследуемые горные породы имеют низкую температуру размягчения 1100-1200°C и используются в производстве кислотоупоров и керамических плиток [2]. Применение горнблендита в керамической промышленности обеспечило снижение температуры обжига на 25-30°C при скоростном обжиге (1120-1150°C), повысило цекоустойчивость плиток, ликвидировало косоугольность и деформацию. Исследуемые горные породы имеют высокую механическую прочность (более 120 МПа) и поэтому используются в основном для изготовления щебня для дорожного строительства, а также применяются в качестве крупного заполнителя в бетонах. По данным геологических служб предприятий, занимающихся добычей строительного щебня, запасов гранодиорита, горнблендита, а также фельзита хватит на 26-28 лет работы горнодобывающих предприятий.

Таблица 2

Значение модулей горных пород

| Горная порода | m | n | p |
|---------------|-------|------|------|
| Горнблендит | 0,33 | 1,22 | 1,08 |
| Гранодиорит | 0,075 | 3,46 | 2,66 |
| Фельзит | 0,017 | 5,28 | 3,79 |

Из тонкомолотых смесей горных пород (размер зерна 20-60 мкм) с добавкой 8-25% $Ca(OH)_2$ и 8-10% H_2O были спрессованы образцы при давлении 15 МПа. Образцы были подвергнуты автоклавной обработке при температуре 170-180°C, и давлении 9-10 атм по режиму 1-2-1 час и испытаны на прочность. В результате автоклавной обработки за счет повышения растворимости кварца содержащегося в горной породе, достигалась значительная степень силикатизации, что способствовало образованию гидросиликатов кальция. Образцы, содержащие $Ca(OH)_2$ более 8% разрушились при твердении в автоклаве, поэтому для дальнейших испытаний брались образцы содержащие 8% $Ca(OH)_2$.

Для установления фазового состава после автоклавной обработки образцов проводили рентгенофазовый анализ на дифрактометре ДРОН-УМ 1. Съёмку рентгенограмм вели на $CuK\alpha$ -излучении, скорость съёмки рентгенограмм 2 град/мин по 2θ , результаты расшифровки рентгенограмм приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что при автоклавной обработке прошло усвоение извести материалом горных пород. Наличие свободной $Ca(OH)_2$ оценивалось по наиболее сильной ли-

нии $\lambda=2,63$ нм, $J=100\%$. В смеси с фельзитом, свободной $Ca(OH)_2$ не обнаружено свободная $Ca(OH)_2$ присутствует в смеси с горнблендитом и гранодиоритом. Обнаружено образование гидросиликата кальция гиллебрандита $C_2SH(A)$, и гидроалюмината кальция C_3AH_6 .

Результаты испытаний на прочность при сжатии после автоклавной обработки в сравнении с подобными образцами из кварцевого песка представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что испытанные горные породы при взаимодействии с известью более активны, чем кварцевый песок. По взаимодействию с известью образование гидратных соединений и прочность затвердевших образцов горных пород можно расположить в следующий ряд: фельзит>горнблендит>гранодиорит.

Таким образом, на основании результатов проведенных исследований, легкоплавкие горные породы Среднего Урала, такие как фельзит, горнблендит и гранодиорит могут быть рекомендованы в качестве активных минеральных добавок в строительные растворы, а также сухие строительные смеси и бетоны.

Таблица 3

Рентгенограммы горнблендита (ГБ), гранодиорита (ГД) и фельзита (Ф) с добавкой 8% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ после автоклавной обработки

| Экспериментальные зависимости | | | | | | Табличные значения | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|---|-----|--------------------|-----|-----------------|-----|----------------------------|-----|--|----|--------------------------|-----|---------------------------------|-----|-------------------------|-----|
| Горнблендит +8% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | | Гранодиорит +8% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | | Фельзит +8% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | | Кварц | | Роговая обманка | | KAlSi_3O_8 | | $\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ | | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | | $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ | | C_3AH_6 | |
| d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J | d, Å | J |
| | | 4,24 | 20 | 4,24 | 25 | 4,25 | 35 | | | | | | | | | | | | |
| 4,21 | 10 | | | | | | | 4,21 | 8 | 4,21 | 60 | | | | | 4,21 | 7 | | |
| 4,03 | 5 | 4,02 | 15 | 4,02 | 10 | | | | | | | 4,04 | 60 | | | | | | |
| | | 3,86 | 7 | 3,84 | 3 | | | | | 3,83 | 50 | | | | | | | | |
| | | 3,75 | 12 | 3,76 | 15 | | | | | | | 3,76 | 20 | | | | | | |
| | | 3,70 | 7 | | | | | | | 3,70 | 40 | | | | | | | | |
| | | 3,65 | 10 | 3,66 | 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,54 | 90 | 3,53 | 4 | | | | | | | | | | | | | 3,53 | 7 | | |
| | | 3,47 | 4 | 3,47 | 8 | | | | | 3,48 | 50 | | | | | | | | |
| 3,38 | 15 | | | | | | | 3,38 | 12 | | | | | | | | | 3,36 | 10 |
| | | 3,34 | 100 | 3,34 | 100 | 3,34 | 100 | | | | | | | | | | | | |
| 3,27 | 80 | 3,28 | 4 | | | | | 3,27 | 40 | 3,27 | 40 | | | | | 3,26 | 100 | | |
| | | 3,23 | 7 | 3,23 | 15 | | | | | 3,24 | 100 | | | | | | | | |
| 3,19 | 7 | 3,17 | 100 | 3,19 | 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3,14 | 7 | 3,15 | 7 | | | | | | | | | | | | | 3,14 | 10 |
| 3,12 | 100 | | | | | | | 3,12 | 100 | | | | | 3,11 | 23 | | | | |
| 3,04 | 5 | 3,03 | 15 | 3,03 | 7 | | | | | 3,03 | 40 | | | | | | | | |
| 2,93 | 15 | 2,93 | 10 | 2,93 | 5 | | | 2,94 | 20 | | | | | | | | | | |
| 2,83 | 5 | 2,85 | 6 | 2,84 | 3 | | | | | | | | | | | 2,80 | 6 | | |
| 2,80 | 90 | | | | | | | 2,80 | 35 | | | | | | | | | 2,80 | 50 |
| 2,74 | 10 | | | 2,76 | 6 | | | 2,73 | 8 | | | | | | | | | | |
| 2,70 | 20 | 2,71 | 4 | | | | | 2,70 | 16 | | | | | | | 2,70 | 4 | | |
| 2,63 | 5 | 2,62 | 3 | | | | | | | | | | | 2,63 | 100 | 2,65 | 5 | | |
| 2,59 | 10 | | | 2,60 | 3 | | | 2,59 | 8 | | | | | | | 2,60 | 5 | | |
| 2,55 | 10 | 2,54 | 5 | 2,55 | 3 | | | 2,54 | 12 | | | | | | | | | 2,56 | 5 |
| 2,53 | 10 | 2,52 | 2 | | | | | | | | | | | | | 2,52 | 5 | | |
| 2,44 | 7 | 2,45 | 10 | 2,45 | 10 | 2,44 | 12 | | | | | | | 2,45 | 3 | 2,42 | 50 | 2,45 | 6 |
| 2,38 | 15 | 2,35 | 4 | | | | | 2,38 | 10 | | | | | | | | | | |
| 2,29 | 10 | 2,28 | 12 | 2,28 | 10 | 2,28 | 12 | 2,29 | 6 | | | | | | | | | 2,29 | 100 |

Таблица 4

Прочность образцов из горных пород с добавкой 8% извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$

| Материал | σ , МПа |
|-----------------|----------------|
| Кварцевый песок | 9,55 |
| Фельзит | 15,09 |
| Горнблендит | 11,81 |
| Гранодиорит | 10,05 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минералы. Справочник, т. III: Наука, 1981, 398 с.

2. Патент РФ №210624 публикация. 20.11.2007 бюл. №32.