

## Исследование свойств заполнителей из горных пород для производства декоративного бетона

*К.А. Еличев, И.Н. Петровнина, В.С. Козицын, Е.О. Андрюхина*  
*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

**Аннотация:** Проводилось исследование заполнителей, используемых для производства декоративных бетонов. Так как плиты из этих бетонов планируется применять для устройства полов и площадок, испытывающих большие механические воздействия, заполнители должны обладать необходимыми свойствами. Исследовались сопротивление щебня удару на копре, истираемость в полочном барабане и морозостойкость. Для песков, используемых в качестве заполнителей, определялись такие характеристики, как гранулометрический состав, модуль крупности и др. По полученным результатам определены образцы заполнителей наиболее приемлемых для производства декоративных бетонов, предназначенных для устройства полов и площадок.

**Ключевые слова:** износостойкие материалы, декоративность, модуль крупности, дробленный песок, щебень.

В строительстве отделочные работы составляют до 20÷25% общего объема работ. Значительная часть отделки приходится на устройство полов и площадок. Особо важное место в строительной индустрии занимает покрытие полов новыми износостойкими материалами из декоративного бетона [1-3].

Основными породами для этих целей служат цветные мраморные распиловочные плиты и мраморовидные известняки высокой твердости [4-6].

Используемые горные породы в основном применяются в качестве крупного и мелкого заполнителей бетонных смесей, и от объема бетонной смеси нового поколения составляют 80-85%. Бетоны нового поколения характеризуются высокой прочностью и атмосферостойкостью. Соотношение вяжущего к заполнителям, как 15÷20: 80÷85 позволяет получать бетоны с различной цветовой гаммой, что обеспечивает художественную выразительность полов и других декоративных изделий из цветных бетонов нового поколения.

В традиционных бетонах соотношение заполнителей от общего бетона составляет 70-75% и поэтому они менее привлекательны для использования в декоративных бетонных изделиях.

Целью проведенных исследований является оценка горных пород по физико-механическим свойствам пригодных для получения декоративных бетонов нового поколения. Перед испытаниями горные породы измельчаются в лабораторной щековой дробилке с простым качанием щеки и отсеиваются на фракции, как щебень и песок [7-9]. Дополнительно песчаную фракцию измельчали в лабораторной фарфоровой шаровой мельнице до удельной поверхности  $S_{уд} = 3200 \text{ см}^2/\text{г}$ .

В исследованиях были использованы преимущественно заполнители из карбонатных пород – мраморов и мраморовидных известняков [10,11]. Горные породы распиливались на пластины алмазными пилами, а затем дробились.

Физико-механические свойства горных пород оценивались в соответствии с ГОСТ 8269.0-97. Для определения прочности на сжатие и водопоглощение изготавливались кубики размером 50×50×50 мм, прочность на изгиб оценивалась по испытанию балочек 40×40×160 мм, для изучения истираемости изготавливали кубики 70×70×70 мм и диски диаметром 25,3 мм и толщиной 12 мм. Ударная вязкость определялась на призмах 70×20×12 мм.

Выбор горных пород для исследования определялся в соответствии со следующими подходами и требованиями:

1. декоративно – художественные (эстетические), цвет, рисунок;
  2. технологические (учитывая особенности резания бетонов):
    - абразивность не более 10 мГ;
    - твердость по шкале Мооса до 5;
  3. эксплуатационные:
-

- плотность 2,5-2,6 г/см<sup>3</sup>;
- предел прочности при сжатии 600-1000 кг/см<sup>2</sup>;
- истираемость 3-3,5 г/см<sup>2</sup>;
- ударная вязкость 5-6 кг×см/см<sup>2</sup>;
- водопоглощение (по весу) 5-6%;
- морозостойкость не менее 25 циклов;
- долговечность не менее 20 лет.

Исходные материалы и их свойства представлены в таблице 1

Таблица 1

Декоративно-облицовочные породы

Месторождение	Цвет	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Потери при истирании и г/см <sup>2</sup>
Газган-мрамор (Узбекистан)	Серый и желтоватопрозрачный	2,72	1,83	970	2,39
Лондоковское - мраморовидный известняк (Россия)	Серый до темно-серого	2,69	1,15	893	-
Коелга - мрамор (Узбекистан)	Белый	2,74	1,24	1000	0,061
Салиэти мраморовидный известняк (Грузия)	Буровато-красный	2,69	0,32	849	0,91
Бодракский - известняк (Армения)	Светло-розовый с коричневыми прожилками	2,61	1,10	150	1,26
Бирокан - мрамор (Россия)	Розовато-сиреневый с фиолетовыми прожилками	2,88	0,35	580-1040	2,77

Важными свойствами, определяющими применение горных пород в качестве заполнителей в декоративных бетонах, являются форма зерен, слоистость структуры, цвет, блеск, отражающая способность [12-13].

В таблице 2 представлены результаты исследований физико-механических свойств горных пород.

Таблица 2

Основные свойства исследованных горных пород

Материал и его месторождение	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Водопоглощение по весу, %	Истираемость, к/см <sup>2</sup>
Мрамор Газганский (серый)	2,72	970	0,157	2,39
Мраморовидный известняк Лондоковский	2,69	893	0,27	2,17
Мрамор Коелгинский	2,72	1000	0,187	2,85
Мраморовидный известняк Салиэтский	2,77	815	0,206	2,08
Известняк Бодракский	2,6	149	15	
Мрамор Бираканский	2,88	580-1040	0,34	2,77

Установлено, что абразивность исследуемых пород находится в пределах от 0,05 до 3,1 мГ.

Испытания показали хорошую морозостойкость пород: Бираканского – МРЗ-25 (при коэффициенте морозостойкости 0,8) и Лондоковского МРЗ-25 (при коэффициенте морозостойкости 0,89). Прочностные, декоративные свойства исследуемых пород соответствуют всем требованиям, предъявляемым к заполнителям декоративных бетонов [14,15].

Полученный материал после дробления в щековой дробилке с простым качанием щеки подвергался рассеву на ситах. Результаты классификации исследуемых пород представлены в таблице 3.

Зерновой состав щебня исследуемых пород (табл. 3) после дробления соответствуют требованиям ГОСТ 8269-64.

В соответствии с ГОСТ 8269-64 определяли содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц на щебне фракции 10-20 мм. Процент отмучивания у щебня из Коелгинского мрамора составил 1,5%, у всех остальных пород он варьируется от 0,8 до 1,2%

Таблица 3

## Гранулометрический состав смесей заполнителей из дробленых пород

Размер отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по весу					
	Мраморы			Мраморовидные известняки		Известняк Бодракский
	Коелингский	Бираканский	Газганский	Лондоковский	Салиэтский	
20	0	0	0	0	0	0
10	69,9	22,2	28	45,3	46,9	29,8
5	85,8	62,5	56,5	67	72,9	45,8
3	89,4	73,6	64,2	74,2	81,4	53,2
0,14	98	93,3	94,9	95,4	97,7	94,3
Насыпной объемный вес смеси, кг/л	1,42	1,5	1,48	1,4	1,36	1,12
Объемный вес отвибрированной смеси, кг/л	1,7	1,94	1,88	1,84	1,75	1,54
Пустотность отвибрированной смеси, %	37,3	30,9	29,7	30,7	34,3	20,6
% песка в объеме смеси	14,2	37,5	43,5	33	27,1	54,2

Сопrotивление щебня удару оценивалось на фракции 20÷40 мм на копpe свободно падающим грузом весом 5 кг с высоты падения 500 мм (40 кратный удар). Показатель сопротивления щебня удару ( $Y$ ) вычислялся по формуле:

$$Y = \frac{25}{4-A}, \quad (1)$$

где  $A$  – показатель крупности пробы после испытаний, вычисляемого по формуле:

$$A = \frac{B_1+B_2+B_3+B_4}{B}, \quad (2)$$

где  $B_1, B_2, B_3, B_4$  – полные остатки на ситах с отверстиями размерами 3 и 5 мм с сетками №№ 1 и 0,5 в г;

$B$  – первоначальная масса пробы, г.

Сопротивление щебня удару определялось как среднее арифметическое результатов испытаний двух проб. Полученные результаты испытаний представлены на рис. 1.

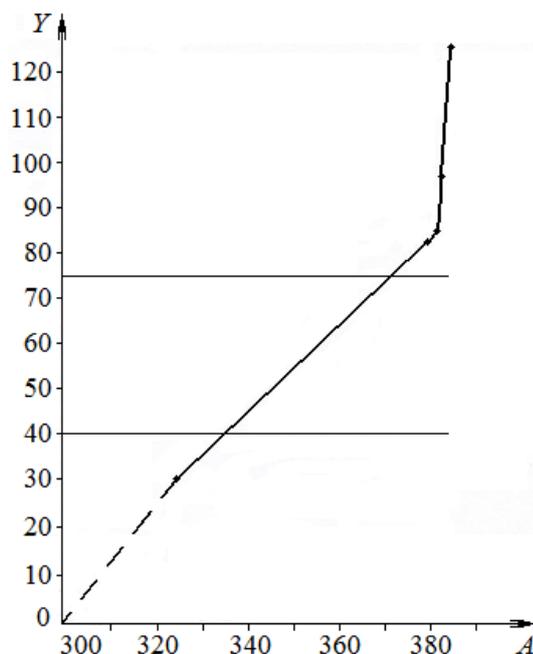


Рис. 1. Зависимость показателей сопротивления щебня удару от крупности пробы после отсева (мраморы и мраморовидные известняки)

Наименьшую прочность удару показали пробы щебня Коелгинского мрамора ( $Y = 30$ ), у остальных пород этот показатель варьируется от 75 до 125. Наибольшее сопротивление удару на копре соответствует Салиэтскому мраморовидному известняку ( $Y = 125$ ). Полученные результаты дают основание считать, что исследуемые горные породы рекомендуется использовать в декоративных бетонах для полов, а также для плиточного материала используемых для мощения полов и площадок.

Износостойкость щебня определяет долговечность полов, изготовленных из декоративных бетонов. Истираемость щебня тестировалась в полочном барабане на фракции 10-20 мм по потере массы исследуемых зерен. Результаты исследований на истираемости щебня горных пород в полочном барабане представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты испытания щебня в полочном барабане

Наименование породы и ее месторождение	Истираемость в %	Фракция песка, прошедшая через сито 0,14 (после испытаний), % по массе
Мрамор Коелгинский	45,7	22,7
Мрамор Бараканский	22,3	6,0
Мраморный известняк: Лондоковский	8,2	4,2
Салиэтский	5,6	2,8

Низкие показатели физико-механических свойств определили высокую истираемость Коелгинского мрамора (45%). Наименьшей истираемостью характеризуется мраморный известняк Салиэтского месторождения (5,6%).

Исследования морозостойкости (50 циклов) проводили на щебне фракции 10-20 мм по режиму 4 цикла в сутки. Цикл состоит из замораживания пробы при температуре  $-16^{\circ}\text{C}$  в течение 4 часов; разморозка при температуре  $+20\div 25^{\circ}\text{C}$  до полного оттаивания. Потеря веса 5% и более от первоначального веса характеризует породу, как не прошедшую испытания на заданное число циклов (ГОСТ 8269.0-97).

Мраморный щебень из Коелгинского месторождения потерял 2,63% после 50 циклов замораживания – оттаивания, у остальных пород потеря веса не превышает 2,0%. В результате этого можно сделать вывод, что исследуемые горные породы можно использовать для наружных отделочных работ.

Пески, полученные от дробления горных пород, должны соответствовать требованиям ГОСТ 8736 – 2014. В исследованиях определяли гран-состав и модуль крупности. Пески подвергались рассеву на лабораторных ситах, помещенных в вертикальную колонну. Установлено, что в дробленном песке зерна менее 0,14 мм составляют 10,3 - 19,5%, пустотность песка – 33 %. Таким образом, щебень и песок, дробленный из

горных пород, можно применять для производства декоративных бетонов, как для внутренних, так и наружных работ.

### **Выводы.**

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Из отобранных заполнителей – мраморов, мраморовидных известняков наиболее высоким показателем по сопротивляемости удару, является Салиэтский мраморовидный известняк. По указанному показателю все исследуемые образцы можно рекомендовать в качестве заполнителей при производстве плит для покрытия полов и площадок.

2. Низкую истираемость показали практически все образцы за исключением мрамора Коелгинского месторождения. Поэтому его можно рекомендовать только для изготовления облицовочных плит.

3. Морозостойкость у всех образцов в пределах нормы.

### **Литература**

1. Грушко И.С., Яценко Е.А. Разработка технологии стеклокристаллических материалов на основе шлака Несветай ГРЭС // Инженерный вестник Дона, 2009, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/150](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/150).

2. Бутакова М.Д., Зырянов Ф.А. Исследование свойств бетонных смесей и бетонов на основе мелкозернистых минеральных отходов горного производства // Инженерный вестник Дона, 2012, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/983](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/983).

3. Калашников В.И., Суздальцев О. В., Дрянин Р.А., Сехпосян Г.П. Роль дисперсных и тонкозернистых наполнителей в бетонах нового поколения // Известия высших учебных заведений, 2014, № 7 (667), С. 11-21.

4. Калашников В.И., Суздальцев О.В., Мороз М.Н., Пауск В.В. Морозостойкость окрашенных архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов // Строительные материалы, 2015, № 3, С. 16-19.
5. Тимохин Д.К., Геранина Ю.С. Дробленые отходы стекла как заполнитель для декоративных цементных бетонов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона, 2015, № 6, С.173-176.
6. Cetin A., Carrasquillo R.L. High Performance Concrete. Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties // ACI Materials Journal, 1998, vol. 95, no. 3, pp. 25-27.
7. Щеткова Е.А., Кашеварова Г.Г. Исследование свойств модифицированного мелкозернистого декоративного бетона // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика, 2017, № 3 (27), С. 143-151.
8. Rana A., Kalla P., Csetenyi L.J. Sustainable use of marble slurry in concrete // Journal of Cleaner Production, 2015, vol. 94, pp. 304-311.
9. Урханова Л.А., Розина В.Е. Высокопрочный бетон с использованием золы-уноса и микрокремнезема // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2011, № 10 (57), С. 97-100.
10. Бердов Г.И., Никоненко Н.И., Ильина Л.В. Влияние высокодисперсных минеральных добавок на механическую прочность цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2011, № 12 (636), С. 25-30.
11. Баженов Ю.М., Королев Е.В., Лукутцова Н.П., Завалишин С.И., Чудакова О.А. Высококачественные декоративные мелкозернистые бетоны,

модифицированные наночастицами диоксида титана // Вестник МГСУ, 2012, № 6, С.73-78.

12. Щипцов В.В. Природные строительные материалы Республики Карелия // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов. Петрозаводск, 2005, С. 198-201.

13. Гурова О.С., Парамонова О.Н., Лысова Е.П. Обработка результатов экспериментальных исследований пылеподавления пеной на конвейерных линиях предприятий строительной индустрии // Научное обозрение, 2016, № 5, 73 с. URL: [doi.org/10.1051/mateconf/20167303008](https://doi.org/10.1051/mateconf/20167303008).

14. Guziy S., Terenchuk S. Research of rheological and physical-mechanical properties of decorative concrete // Science rise Kharkiv, 2016, vol. 9, no. 2 (26), pp. 9-29.

15. Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Исследование свойств синтетических пигментов для декоративного бетона // Вестник Южно-Уральского государственного университета, 2010, №15 (191), С. 36-38.

### References

1. Grushko I.S., YAcenko E.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2009, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/150](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2009/150).

2. Butakova M.D., Ziryaynov F.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/983](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/983).

3. Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V., Dryanin R.A., G.P. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy, 2014, № 7 (667), pp. 11-21.

4. Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V., Moroz M.N., Pausk V.V. Stroitel'nyye materialy, 2015, № 3, pp. 16-19.

5. Timohin D.K., Geranina YU.S. Resursoenergoeffektivnyye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona, 2015, № 6, pp. 173-176.



6. Cetin, A. and Carrasquillo, R.L. ACI Materials Journal, 1998, vol. 95, no. 3, pp. 25-27.
7. SH'etkova E.A., Kashevarova G.G. Vestnik permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika, 2017, № 3 (27), pp. 143-151.
8. Rana A., Kalla P., Csetenyi L.J. Journal of Cleaner Production, 2015, vol. 94, pp. 304-311.
9. Urhanova L.A., Rozina V.E. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2011, № 10 (57), pp. 97-100.
10. Berdov G.I., Nikonenko N.I., Ilina L.V. Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo, 2011, № 12 (636), pp. 25-30.
11. Bazhenov YU.M., Korolev E.V., Lukutcova N.P., Zavalishin S.I., CHudakova O.A. Vestnik MGSU, 2012, № 6, pp.73-78.
12. SH'ipcov V.V. Problemi racionalnogo ispolzovaniya prirodnogo i tehnogen'nogo sirya Barenceva regiona v tehnologii stroitel'nykh materialov. Petrozavodsk, 2005, pp. 198-201.
13. Gurova O.S., Paramonova O.N., Lisova E.P. Nauchnoe obozrenie, 2016, № 5, 73 p. URL: [doi.org/10.1051/mateconf/20167303008](https://doi.org/10.1051/mateconf/20167303008).
14. Guziy S., Terenchuk S. Science rise Kharkiv, 2016, vol. 9, no. 2 (26), pp. 9-29.
15. Trofimov B.YA., Kramar L.YA. Vestnik YUzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta, 2010, № 15 (191), pp. 36-38.