

К.Н. Алексеев, А.С. Курилко

# ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРОЙ

**Аннотация.** Приведены некоторые результаты исследований по определению влияния базальтовой фибры длиной 6 мм и диаметром 23 мкм на прочность мелкозернистого бетона (цементно-песчаной матрицы) при изгибе и сжатии, в том числе после знакопеременных температурных воздействий. Установлено, что наибольшее увеличение прочности мелкозернистого бетона при изгибе на 31÷36% наблюдается при содержании фибры в количестве 4÷6% от массы сухих компонентов смеси (цемент + песок). Существенного прироста предела прочности при сжатии — не наблюдается, кроме того, при содержании фибры в количестве 6% происходит снижение прочности на 16% от образцов исходной (неармированной) серии. Воздействие 5 циклов замораживания-оттаивания по третьему ускоренному методу (температура замораживания минус 50±5 °С, ГОСТ 10060.2-95) привело к снижению прочности при изгибе образцов неармированной серии на 73% от исходной, в то время как прочность образцов содержащих фибру в количестве 2 и 4% снизилась на 40 и 35% соответственно. При испытаниях на сжатие воздействие 5 циклов замораживания-оттаивания привело к снижению прочности образцов контрольной неармированной серии на 47%, в то время как, снижение прочности у образцов содержащих фибру в количестве 2% составило 5% от контрольной, что в соответствии с ГОСТ 10060.0-95 соответствует марке морозостойкости F200. Полученные результаты свидетельствуют, что дисперсное армирование мелкозернистого бетона базальтовой фиброй способно увеличить его морозостойкость, сопротивляемость нагрузкам при изгибе и сжатии и тем самым расширить область его применения.

**Ключевые слова:** фибра, базальтовое волокно, мелкозернистый бетон, фибробетон, композит, предел прочности при изгибе и сжатии, морозостойкость.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-56-62

## Введение

Одним из перспективных способов повышения удельной прочности строительных материалов на цементном вяжущем является введение в их состав различных армирующих волокнистых наполнителей (фибры) и получения на этой основе дисперсно-армированного композиционного материала обладающего повышенными физико-механическими характеристиками, такими как

прочность при изгибе и растяжении, истираемость и др. [1–10].

Номенклатура применяемых волокон весьма обширна [8–10], однако стоимость армирующих материалов и объемы их производства также имеют немаловажное значение. Сравнительно доступными для применения в массовом строительстве являются такие типы волокон как стальное, базальтовое, полипропиленовое и др. [1–4]. Использоу-

мые волокна должны отвечать ряду требований: обладать высокой прочностью, химической стойкостью к воздействиям агрессивной среды, способностью равномерно распределяться в объеме цементного теста или бетона. В этой связи, заслуживает внимание базальтовая фибра в качестве наполнителя (армирующей фазы) бетонных конструкций.

Практика эксплуатации различных бетонных конструкций в условиях климата Севера свидетельствует, что они испытывают многократное воздействие циклов замораживания-оттаивания, что приводит к снижению их прочности вплоть до саморазрушения [11].

Проведенными в ИГДС СО РАН исследованиями установлено, что применение базальтовой фибры в качестве дисперсной армирующей фазы мелкозернистого бетона способно повысить его сопротивляемость динамическим (ударным) нагрузкам до 2÷2,2 раз. Кроме того, в некоторых случаях энергоёмкость разрушения фибро-армированных образцов бетона после воздействия знакопеременных температур превосходит энергозатраты на разрушение образцов контрольной неармированной серии не подвергавшейся циклам замораживания-оттаивания [12].

В статье приведены исследования влияния циклов замораживания-оттаивания на пределы прочности мелкозернистого бетона в зависимости от содержания базальтового волокна.

Таблица 1

**Расход компонентов смеси «Цемент/Песок» = 1/1 (по объему)**  
**Consumption of components of the mixture «Cement / Sand» = 1/1 (by volume)**

Содержание базальтового волокна, %	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>			
	цемент	песок	вода	БВ
0	792,1	940,3	396	0
1				17,3
2				34,6
4				69,3
6				103,9

## Описание используемых материалов

Для изготовления образцов были использованы следующие материалы:

- цемент М400 производства ОАО ПО «Якутцемент», насыпная плотность 1194 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность 3121 кг/м<sup>3</sup>;
- песок речной, карьер «Пригородный» (г. Якутск), сод. ГИП = 0,39%, насыпная плотность 1417,9 кг/м<sup>3</sup>,  $M_k = 1,2$ ;
- фибра базальтовая марки ВС23-6-61 (длина 6 мм, Ø23 мкм) производства ООО «ТД «Русский базальт».

## Методика проведения испытаний, проведение опытов

Изготовление образцов и исследование их прочностных характеристик при изгибе и сжатии проводилось в соответствии с нормативными документами ГОСТ 10180-90, ГОСТ 310.4-81, ГОСТ 53231-2008.

Предел прочности при изгибе определялся на образцах балочках размерами 40×40×160 мм, на половинках образцов балочек определялся предел прочности при сжатии.

Содержание базальтового волокна в смеси варьировалось от 1 до 6% от массы сухих компонентов смеси (табл. 1), водоцементное отношение составляло 0,5.

Смешивание компонентов смеси производилось при помощи миксера.

Готовая смесь укладывалась в формы ЗФБ-40 и уплотнялась на виброплощад-

Таблица 2

**Влияние базальтовой фибры на физико-технические характеристики мелкозернистого бетона**

*Influence of basalt fiber on the physical and technical characteristics of fine-grained concrete*

Содержание базальтового волокна, %	Плотность		G <sub>изг</sub>			G <sub>сж</sub>		
	кг/м <sup>3</sup>	%	МПа	%	V <sub>м</sub> <sup>*</sup> , %	МПа	%	V <sub>м</sub> <sup>*</sup> , %
0	2131	100	6,7	100	6,5	33,8	100	8,0
1	2124	100	7,3	109	10,4	35,4	105	14,0
2	2148	101	6,7	100	3,6	33,2	98	10,9
4	2172	102	8,8	131	6,7	37,5	111	8,7
6	2177	102	9,1	136	3,2	28,5	84	5,2

V<sub>м</sub><sup>\*</sup> – коэффициент вариации ГОСТ 53231-2008.

ке СМЖ–539. Образцы выстаивались в условиях 100% влажности,  $t = 20 \pm 1$  °C и испытывались на установке «UTS-250» в возрасте 28 суток, при комнатной температуре. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 2 и на рис. 1, 2.

Как видно из данных табл. 2 и диаграмм представленных на рис. 1 наибольшее увеличение прочности мелкозернистого бетона при изгибе на 31÷36% наблюдается при содержании фибры в количестве 4÷6%. Необходимо отметить, что содержание фибры в матрице исследуемых образцов бетона практически не оказывает влияние на их плотность (табл. 2).

Предел прочности при сжатии образцов с содержанием фибры 4% возрос на 11% (табл. 2). При содержании фибры в количестве 6% происходит снижение прочности исследуемых образцов бетона на 16% от исходной неармированной, что свидетельствует по нашему мнению, о достижении предельной концентрации фибры в матрице мелкозернистого бетона для применяемого метода смешения компонентов.

В связи с вышеописанным, испытаниям на морозостойкость подвергались образцы мелкозернистого бетона содержащего фибру в количестве 0, 2 и 4%. По достижении 28 суток твердения, основные и контрольные образцы

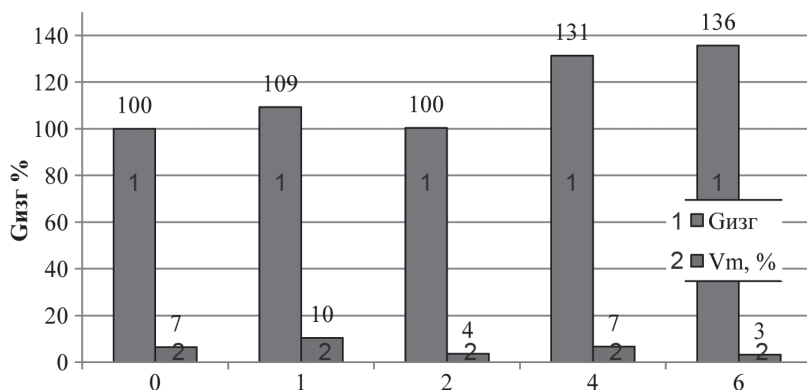


Рис. 1. Относительные изменения предела прочности при изгибе мелкозернистого бетона в зависимости от содержания базальтового волокна

Fig. 1. Relative changes in the ultimate strength in the bending of fine-grained concrete, depending on the content of basalt fiber

Таблица 3

**Влияние циклического замораживания-оттаивания на пределы прочности мелкозернистого бетона в зависимости от содержания базальтового волокна**  
**Effect of cyclic freeze-thawing on the strength limits of fine-grained concrete depending on the content of basalt fiber**

Количество циклов замораживания-оттаивания	Содержание базальтового волокна, %	G <sub>изг</sub>			G <sub>сж</sub>		
		МПа	%	V <sub>m</sub> , %	МПа	%	V <sub>m</sub> , %
0	0	8,4	100	6,3	31,7	100,0	19,9
	2	8,9	106	12,8	36,7	115,6	15,1
	4	9,2	110	4,1	30,8	97,1	20,4
5	0	2,2	27	8,4	16,7	52,8	18,8
	2	5,0	60	13,3	30,1	95,0	9,9
	4	5,4	65	19,9	24,3	76,5	24,5
12	0	0,3	4	33,8	6,4	20,2	35,3
	2	2,5	29	13,3	16,4	51,6	13,1
	4	2,1	25	14,8	17,6	55,4	22,7

насыщались 5% раствором хлористого натрия в течение 2 суток, а затем подвергались 0, 5 и 12 циклам замораживания-оттаивания в соответствии с ГОСТ 10060.0-95 и 10060.2-95, по третьему ускоренному методу (температура замораживания минус 50±5 °С). Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3 и на рис. 2, 3.

Как видно из диаграмм представленных на рис. 2 образцы дисперсно-

армированных серий обладают более высокой сопротивляемостью изгибающим нагрузкам, в том числе после воздействия знакопеременных температур. Воздействие 5 циклов замораживания-оттаивания привело к снижению прочности при изгибе образцов неармированной серии на 73% от исходной, в то время как прочность образцов содержащих фибру в количестве 2 и 4% снизилась на 40 и 35% соответственно. Воздействие

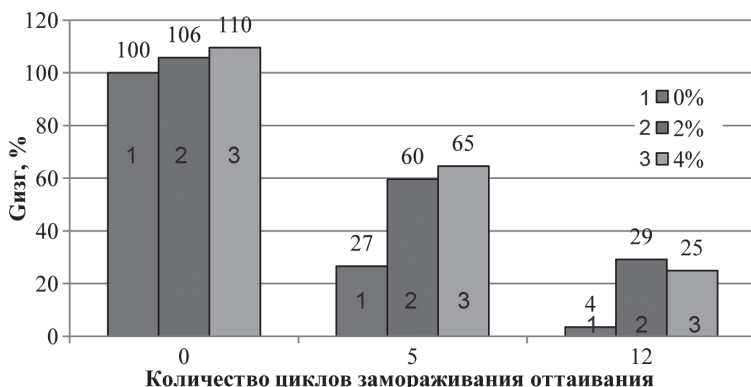


Рис. 2. Влияния циклов замораживания-оттаивания на предел прочности при изгибе мелкозернистого бетона, в зависимости от содержания базальтового волокна

Fig. 2. Effects of freeze-thaw cycles on the ultimate strength of bending fine-grained concrete, depending on the content of basalt fiber

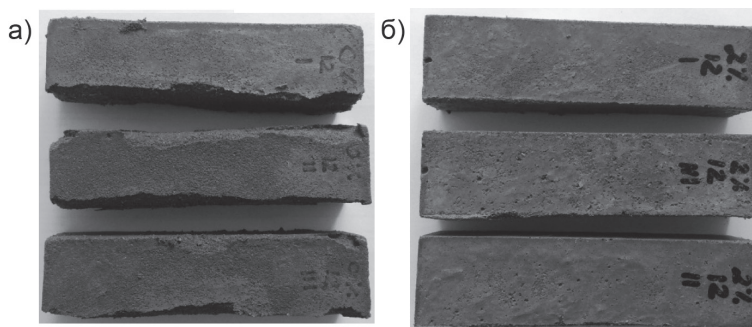


Рис. 3. Состояние образцов мелкозернистого бетона после 12 циклов замораживания-оттаивания: 0% – неармированная серия (а); 2% – дисперсно-армированная серия (б)

Fig. 3. State of samples of fine-grained concrete after 12 freeze-thaw cycles: 0% – unreinforced series (a); 2% – reinforced series (b)

12 циклов привело к появлению отколов, а также снижению прочности образцов неармированной серии на 96% (рис. 3).

Из данных табл. 4 и рис. 3 видно, что воздействие 5 циклов замораживания-оттаивания приводит к снижению прочности на сжатие образцов контрольной неармированной серии в 2 раза. В то же время, воздействие 5 циклов на образцы содержащие фибру в количестве 2% приводит к снижению их прочности только на 5% от контрольной (неармированной) серии, что в соответствии с ГОСТ 10060.0-95 соответствует марке морозостойкости F200.

### Заключение

Результаты исследований свидетельствуют, что дисперсное армирование мелкозернистого бетона базальтовой фиброй способно увеличить его сопротивляемость нагрузкам при изгибе и сжатии, в том числе после знакопеременных температурный воздействием и тем самым расширить область его применения. По нашему мнению, базальтовая фибра может быть рекомендована в качестве дисперсной армирующей добавки в мелкозернистый бетон при строительстве различных сооружений и бетонных конструкций в условиях Севера и рудников криолитозоны.

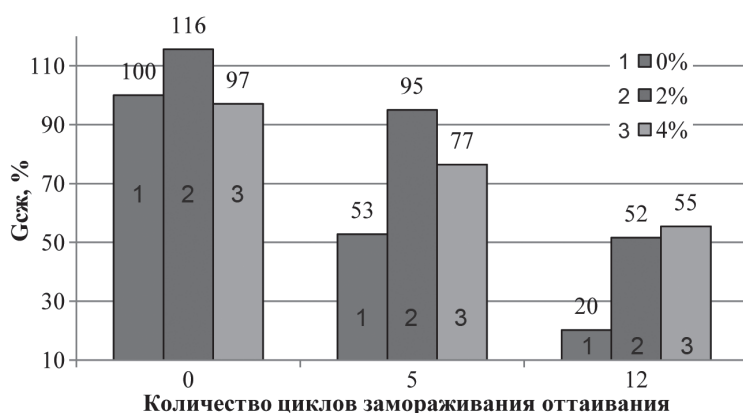


Рис. 4. Влияния циклов замораживания-оттаивания на предел прочности при сжатии мелкозернистого бетона, в зависимости от содержания базальтового волокна

Fig. 4. Effects of freeze-thaw cycles on the compressive strength of fine-grained concrete, depending on the content of basalt fiber

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев К. Н., Курилко А. С. Перспективы применения легкого теплозащитного фиброармированного токрет-бетона // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — Св 24. — С. 254–263.
2. Боровских И. В., Морозов Н. М., Галеев А. Ф. Влияние базальтовой фибры на долговечность бетона / Инновационное развитие современной науки. Материалы международной научно-практической конференции. — Уфа: Изд-во ООО «Омега Сайнс», 2015. — С. 25–27.
3. Afroughsabet V., Ozbakkaloglu T. Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers / Construction and Building Materials, 2015, Vol. 94, pp. 73–82.
4. Boulekbache B., Hamrat M., Chemrouk M., Amziane S. Flexural behaviour of steel fibre-reinforced concrete under cyclic loading / Construction and Building Materials, 2016, Vol. 126, pp. 253–262.
5. Алексеев К. Н., Курилко А. С., Захаров Е. В. Влияние базальтового волокна (фибры) на вязкость и энергоемкость разрушения мелкозернистого бетона // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 12. — С. 56–63.
6. Cory H., Hatem M. Seliem, Adel El-Safty, Sami H. Rizkalla Use of basalt fibers for concrete structures / Construction and Building Materials, 2015, Vol. 96, pp. 37–46.
7. Соловьев В. Г., Бамматов А. А., Кухарь И. Д., Нуртдинов М. Р. Эффективность взаимодействия различных видов фибры с бетонной матрицей // Наука и бизнес: пути развития. — 2018. — № 5. — С. 57–61.
8. Saber F., Mahdi N. Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume / Construction and Building Materials, 2017, Vol. 132, pp. 170–187.
9. Ахмед А. А. А., Лесовик Р. В., Солин Д. М. Фибробетон с углеродным волокном на сырьевых ресурсах республики Ирак // Вестник ОН РААСН. — 2014. — № 13. — С. 63–66.
10. Козлов С. Д., Матюхина М. А., Абрамов Н. М., Захарченко О. В. Стеклофибробетон / Инновационные подходы в современной науке. Материалы I международной научно-практической конференции. — М.: Изд-во ООО «Интернаука», 2017. С. 9–13.
11. Добшиц Л. М. Физико-математическая модель разрушения бетонов при попеременном замораживании и оттаивании // Жилищное строительство. — 2017. — № 12. — С. 30–36.
12. Курилко А. С., Алексеев К. Н., Захаров Е. В., Свинобоев А. К. Исследование удельной энергоемкости разрушения и ударной вязкости армированного базальтовой фиброй бетона при отрицательных температурах и после воздействия циклов замораживания-оттаивания: отчет о НИР по проекту РФФИ №15-45-05101 «р\_восток\_a» (закл. отчет). ФГБУН Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. — Якутск, 2018. — 31 с. **ГЛАЗ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Алексеев Константин Николаевич<sup>1</sup> — младший научный сотрудник,  
e-mail: const1711@mail.ru,

Курилко Александр Сардокович<sup>1</sup> — доктор технических наук,

зав. лабораторией, заместитель директора ИГДС СО РАН, e-mail: a.s.kurilko@igds.ysn.ru,

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 11, pp. 56–62.

## Effect of freezing–thawing cycles on strength characteristics of fine-grained dispersely reinforced concrete with basalt fiber

Alekseev K.N.<sup>1</sup>, Junior Researcher, e-mail: const1711@mail.ru,

Kurilko A.S.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory,

Deputy Director, e-mail: a.s.kurilko@igds.ysn.ru,

<sup>1</sup> Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677980, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

**Abstract.** The article presents some research findings on the effect of basalt fiber 6 mm in length with a diameter of 23  $\mu\text{m}$  on strength of fine-grained concrete (cement-and-sand matrix) under bending, compression and alternating thermal forces. It is found that the maximum increase in the bending strength of concrete by 31–36% is reached at the fiber content of 4–6% of dry mixture weight (cement+sand). There is no considerable increment in the compressive strength; moreover, at the fiber content of 6%, the compressive strength decreases by 16% as compared with the initial (non-reinforced) specimens. Exposure to 5 accelerated freezing–thawing cycles (freezing temperature  $50\pm 5^\circ\text{C}$ , State Standard GOST 10060.2-95) resulted in the reduction in the bending strength of non-reinforced specimens by 73% as against the untreated specimens whereas the strength of the specimens with the fiber content of 2 and 4% lowered by 40 and 35%, respectively. In the compression testing, 5 freezing–thawing cycles decreased the strength of the check non-reinforced specimens by 47% while the decrease in the strength of the reinforced specimens with the fiber content of 2% made 5% as against the check specimens, which corresponded to the freeze resistance grade F200 in compliance with GOST 10060.2-95. The obtained results prove that disperse reinforcement of fine-grained concrete with basalt fiber can increase freezing resistance of concrete and its resilience under bending and compression, which expands application field of concrete.

**Key words:** fiber, basalt fiber, fine-grained concrete, fiber-reinforced concrete, composite, bending and compression strength, freeze resistance.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-56-62

## REFERENCES

1. Alekseev K.N., Kurilko A.S. Perspektivy primeneniya legkogo teplozashchitnogo fibroarmirovannogo tokret-betona [Application prospects for light heat-protective fiber-reinforced shotcrete]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017. Special edition 24, pp. 254–263. [In Russ].
2. Borovskikh I.V., Morozov N.M., Galeev A.F. Vliyaniye bazal'tovoy fibry na dolgovechnost' betona [Effect of basalt fiber on endurance of concrete]. *Innovatsionnoye razvitiye sovremennoy nauki. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa, Izd-vo OOO «Omega Sayns», 2015, pp. 25–27. [In Russ].
3. Afroughsabet V., Ozbakkaloglu T. Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 2015, Vol. 94, pp. 73–82.
4. Boulekbache B., Hamrat M., Chemrouk M., Amziane S. Flexural behaviour of steel fibre-reinforced concrete under cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 2016, Vol. 126, pp. 253–262.
5. Alekseev K.N., Kurilko A.S., Zakharov E.V. Vliyaniye bazal'tovogo volokna (fibry) na vyazkost' i energoemkost' razrusheniya melkozernistogo betona [Influence of basalt fiber on viscosity and energy input of fine-grained concrete destruction]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 12, pp. 56–63. [In Russ].
6. Cory H., Hatem M. Seliem, Adel El-Safty, Sami H. Rizkalla Use of basalt fibers for concrete structures. *Construction and Building Materials*, 2015, Vol. 96, pp. 37–46.
7. Solov'ev V.G., Bammатов A.A., Kukhar' I.D., Nurtidinov M.R. Effektivnost' vzaimodeystviya razlichnykh vidov fibry s betonnoy matritsey [Efficiency of interaction between different fibers and concrete matrix]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2018, no 5, pp. 57–61. [In Russ].
8. Saber F., Mahdi N. Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macropolymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume. *Construction and Building Materials*, 2017, Vol. 132, pp. 170–187.
9. Akhmed A.A.A., Lesovik R.V., Sopin D.M. Fibrobeton s uglerodnym voloknom na syr'evykh resursakh respubliky Irak [Carbon fiber-reinforced concrete made of Iraqi raw materials]. *Vestnik OSN RAASN*. 2014, no 13, pp. 63–66. [In Russ].
10. Kozlov S.D., Matyukhina M.A., Abramov N.M., Zakharchenko O.V. Steklofibrobeton [Glass fiber-reinforced concrete]. *Innovatsionnoye podkhody v sovremennoy nauke. Materialy I mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Moscow, Izd-vo OOO «Internauka», 2017, pp. 9–13.
11. Dobshits L.M. Fiziko-matematicheskaya model' razrusheniya betonov pri poperemennom zamorazhivani i ottaivani [Physical-and-mathematical model of concrete failure under alternate freezing and thawing]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017, no 12, pp. 30–36. [In Russ].
12. Kurilko A.S., Alekseev K.N., Zakharov E.V., Svinoboev A.K. Issledovanie udel'noy energoemkosti razrusheniya i udarnoy vyazkosti armirovannogo bazal'tovoy fibroy betona pri otritsatel'nykh temperaturakh i posle vozdeystviya tsiklov zamorazhivaniya-ottaivaniya [Analysis of specific destruction energy input and impact viscosity of basalt fiber-reinforced concrete under negative temperatures and after exposure to freezing–thawing cycles], Research report. Yakutsk, IGDS SO RAN, 2018, 31 p. [In Russ].