

## Литература

1. Гельфер А.А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. ОНТИ. Л.: Гл. редакция строит. лит., 1936. 320 с.
2. Карлсон А.А. О качестве высокоточного нивелирования короткими лучами // Геодезия и картография. 1986. № 4. С. 45-49.
3. Иванов В.Г. Геодезические исследования деформаций крупных бетонных плотин в период их эксплуатации (на примере Братской ГЭС): дис. ... канд. техн. наук. Братск, 1987. 200 с.
4. Журавлев Н.П., Шолин В.Н. О некоторых факторах, влияющих на осадку основания Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1966. № 5. С. 6-9.
5. Держатель для нивелирной штанги-рейки: а.с. 408148 СССР. № 1769642; опубл. 22.04.74, бюл. № 47.
6. Иванов В.Г. Держатель для штанги-рейки // Исследования по проблемам геодезии и маркшейдерского дела: сб.ст. Иркутск, 1976. Вып. 1. С. 189-192.
7. Иванов В.Г. Из опыта применения постоянных связующих точек в ходе высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. 1985. № 3. С. 20-22.
8. Иванов В.Г. Упругие деформации основания бетонной плотины Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1984. № 10. С. 25-27.
9. Иванов В.Г. О полной осадке основания Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1986. № 6. С. 57.
10. Иванов В.Г., Кузнецов Г.И., Садовский И.И. Инструкция по геодезическим наблюдениям за деформацией сооружений Братской ГЭС (в эксплуатационный период). Братск, 1973. 188 с.
11. Иванов В.Г. Об использовании фундаментальных штольных реперов // Геодезия и картография. 1985. № 12. С. 22-24.
12. Иванов В.Г., Соловьев З.И., Тимофеев М.А. Исследование устойчивости глубинных реперов в нижнем бьефе плотины Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1988. № 7. С. 59-61.

## References

1. Gel'fer A.A. Sources and forms of waterworks destruction. ONTI. L.: Gl. redaktsiya stroit. lit., 1936. 320 s.
2. Karlson A.A. On the quality of precise leveling by short rays // Geodeziya i kartografiya. 1986. № 4. S. 45-49.
3. Ivanov V.G. The geodesic analysis of large concrete dams during their operating life (by the example of the Bratsk Dam): diss. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 1987. 200 s.
4. Zhuravlev N.P., Sholin V.N. On some factors influencing the Bratsk Dam foundation yielding // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo, 1966. № 5. S. 6-9.
5. The holder for a hub: a.s. 408148 SSSR. № 1769642; opubl. 22.04.74, byul. № 47.
6. Ivanov V.G. The holder for a hub // Issledovaniya po problemam geodezii i marksheyderskogo dela: sb. st. Irkutsk, 1976. Vyp. 1. S. 189-192.
7. Ivanov V.G. Practice of applying fixed change points in the course of precise leveling // Geodeziya i kartografiya. 1985. №3. S. 20-22.
8. Ivanov V.G. Elastic deformations of the Bratsk Dam foundation // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 1984. № 10. S. 25-27.
9. Ivanov V.G. On the ultimate settlement of the Bratsk Dam foundation // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 1986. № 6. S. 57.
10. Ivanov V.G., Kuznetsov G.I., Sadovsky I.I. Directions on the geodesic observation of the Bratsk Dam facilities deformation (during its operating life). Bratsk, 1973. 188 s.
11. Ivanov V.G. On the application of adit benchmarks // Geodeziya i kartografiya. 1985. № 12. S. 22-24.
12. Ivanov V.G., Solov'yov Z.I., Timofeev M.A. The stability analysis of deep-water benchmarks at the Bratsk Dam tail-water // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 1988. № 7. S. 59-61.

УДК 662.998:666.1/28

## Легкий наполнитель на основе модифицированного жидкого стекла и дисперсных отходов металлургии и теплоэнергетики

Н.А. Лохова<sup>1\*</sup> Н.В. Боева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия  
Статья поступила 12.10.2011, принята 15.02.2012

*Показана эффективность применения модифицированного жидкого стекла и дисперсных отходов металлургии (пыль газоочистки ферросплавного производства) и энергетики (зола-унос от сжигания бурых углей) для производства легкого заполнителя бетонов при температуре обжига 300 °С. Высокая топливо- и энергоёмкость производства керамзита, отсутствие хорошо вспучивающихся глинистых пород делает актуальной разработку новых искусственных заполнителей на основе местного техногенного сырья. Энерго- и ресурсосбережение обеспечивает известная технология изготовления стеклопора путем вспучивания масс, содержащих жидкое стекло и минеральные добавки-наполнители, при температуре до 400 °С. В Братском государственном университете ранее установлена возможность изготовления легкого заполнителя из микрокремнезема Братского завода ферросплавов и щелочи с минеральными (зола-унос, глиеж) или органическими добавками (сульфатное мыло). Однако совершенствование металлургических процессов на Братском заводе ферросплавов привело к изменению granulометрического и химического состава микрокремнезема и необходимости существенной корректировки известной технологии. Анализ химического состава отхода показал, что с повышением содержания (CaO+MgO) в микрокремнеземе стало невозможно использовать водный раствор щелочи в качестве жидкости затворения вследствие быстрой схватываемости сырьевой смеси. Для сохранения пластических свойств и вспучивающей способности массы предложено применение в качестве жидкости затворения модифицированного жидкого стекла. Выявлено, что введение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в сырьевую смесь увеличивает ее жизнеспособность. Рациональный расход добавки зола-унос и температура обжига при изготовлении заполнителя установлены с помощью математического моделирования эксперимента. Исходный*

\* E-mail address: nlokhova@yandex.ru

гранулят получен в лабораторных условиях пластическим способом. Полученный материал оптимального состава стоек к силикатному распаду. Разработанные технологические приемы позволили получить легкий искусственный пористый наполнитель с насыпной плотностью 260 кг/м<sup>3</sup>, снизить температуру обжига (с 400 до 300 °С) и увеличить отходоёмкость композиции. Организация выпуска и затаривания гранулированного сырья на основе пыли газоочистки Братского завода ферросплавов позволит осуществлять его транспортировку и вспучивание в любом регионе России и за рубежом.

**Ключевые слова:** легкий наполнитель бетонов, микрокремнезем, натриевое жидкое стекло, ПАВ, высококальциевая зола.

## Lightweight aggregate on the basis of modified alkali silicate and disperse wastes of metallurgy and heat and power engineering

N.A. Lokhova<sup>1\*</sup>, N.V. Boyeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia

Received 12.10.2011; Accepted 15.02.2012

*The application effectiveness of alkali silicate and disperse wastes of metallurgy (gas purification dust of the ferroalloy production) and power engineering (lignite fly ash) to produce lightweight concrete aggregate at the burning temperature of 300 °C has been shown. High fuel- and energy intensity of claydite manufacturing, lack of well-swelling clay rock makes the development of new artificial aggregates on the basis of local technogeneous raw materials urgent. The energy and resource saving is ensured by the known technique of alkali silicate aggregate manufacturing by swelling of the masses containing alkali silicate and mineral aggregate admixtures at the temperature up to 400 °C. The possibility of manufacturing lightweight aggregate out of the Bratsk Ferroalloy Plant microsilica and alkali combined with mineral (fly ash, burnt clay) or organic (sulfate soap) admixtures was realized at Bratsk State University some time ago. However, the development of the metallurgical processes at the Bratsk Ferroalloy Plant has resulted in the granulometric and chemical changes of microsilica's composition and the need for significant correction of the known technique. The analysis of the waste chemical composition demonstrated that increase in the (CaO + MgO) content in microsilica made it impossible to use alkali aqueous solution as mixing liquid because of rapid raw mix setting. To preserve plastic properties and mass bloating ability, it has been proposed to use modified alkali silicate as mixing liquid. It has been revealed that the introduction of surfactant species into raw mix improves its application life. Rational consumption of the fly ash admixture and the burning temperature for aggregate production has been established by means of mathematical simulation of the experiment. The original granulated material has been obtained by soft-mud process in the laboratory conditions. The obtained material of optimal composition is resistant to silicate decay. The developed manufacturing methods enabled to obtain lightweight artificial porous aggregate having apparent density of 260 kg/m<sup>3</sup>, reduce the burning temperature (from 400 to 300°C), and increase the composition waste intensity. The organization of the granulated raw product manufacturing and packaging on the basis of gas purification dust of the Bratsk Ferroalloy Plant will allow implementing its transportation and swelling in any region of Russia and abroad.*

**Key words:** lightweight concrete aggregate, microsilica, sodium liquid glass, surfactant species, ash with high content of calcium.

Высокая топливно- и энергоёмкость производства керамзита, отсутствие хорошо вспучивающихся глинистых пород делают актуальной разработку новых искусственных наполнителей на основе местного техногенного сырья [1].

Энерго- и ресурсосбережение обеспечивает известная технология изготовления стеклопороа путем вспучивания масс, содержащих жидкое стекло и минеральные добавки-наполнители, при температуре до 400 °С. В исследованиях С.В. Патраманской, Н.А. Лоховой, М.Ю. Иванова установлена возможность изготовления легкого наполнителя из микрокремнезема Братского завода ферросплавов и щелочи с минеральными (зола-унос, глиеж) или органическими добавками (сульфатное мыло) [2, 3]. Однако совершенствование металлургических процессов на Братском заводе ферросплавов, а также переход на рукавные фильтры при газоочистке привели к изменению гранулометрического и химического состава микрокремнезема (таблица 1) и необходимости существенной корректировки известной технологии изготовления стеклопороа. Так, в связи с повышенным содержанием (CaO+MgO) в пыли газоочистки производства ферросплавов (ПППФ) стало невозможно использовать водный раствор щелочи в качестве

жидкости затворения вследствие быстрой схватываемости сырьевой смеси.

Таблица 1

*Усредненный химический состав микрокремнезема (2003 г.), ПППФ (2010-2011 гг.)*

Содержание, мас. %	Год		
	2003	2010	2011
SiO <sub>2</sub>	84,10	50,14	70,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,39	1,78	1,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,62	1,42	1,09
CaO	0,48	0,62	0,54
Влага	0,66	0,23	0,37
ППП	9,12	9,82	11,39
Na <sub>2</sub> O	0,43	0,94	1,15
K <sub>2</sub> O	0,54	1,33	3,25
MgO	1,14	1,77	2,44

Таблица 2

Для сохранения пластических свойств и вспучивающей способности массы на основе ППФ и золы-унос предложено применение в качестве жидкости затворения модифицированного жидкого стекла. Последнее готовили путем смешивания натриевого жидкого стекла, раствора щелочи (концентрация 46 %) и водного раствора ПАВ. В качестве ПАВ использовали кислоты жирные талловые омыленные (КЖТО).

КЖТО – побочный продукт, образующийся в результате переработки хвойной древесины на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности, представляет собой жидкость желтого цвета, состоящую из натриевых солей природных растительных жиров фракции С16-С22 (ТУ 13-7308058-15-90).

Основным условием вспучиваемости является совпадение по времени пиропластического состояния и максимального газовыделения. Применение предложенной жидкости затворения масс обеспечивает достаточное количество флюсующей составляющей ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) для накопления расплава и достаточный объем газовыделения при обжиге. Газообразование при низкотемпературном обжиге (до 400 °С) происходит вследствие дегидратации гидросиликатов натрия и выгорания органических компонентов ППФ и золы-унос.

Выявлено, что жизнеспособность сырьевой смеси увеличивается при введении КЖТО в количестве 10 % от массы жидкости затворения. Применение ПАВ тормозит взаимодействие компонентов золы-унос, ППФ и жидкого стекла, препятствуя быстрому схватыванию смеси. Кроме того, введение КЖТО увеличивает вспучиваемость сырцовых гранул при обжиге.

Рациональный расход добавки золы-унос и температура обжига при изготовлении стеклопора (заполнитель более 5 мм) и силипора (заполнитель до 5 мм) установлены с помощью математического моделирования эксперимента.

Уровни и факторы варьирования

Уровень варьирования	Кодированное значение	Содержание золы-унос, мас. %	Температура обжига, °С
Нижний ( $X_{i\min}$ )	-1	5	300
Средний ( $X_{i0}$ )	0	10	350
Верхний ( $X_{i\max}$ )	+1	15	400
Интервал варьирования	–	5	50

Таблица 3

План эксперимента в кодированных и натуральных значениях

№ опыта	Кодированные значения		Натуральные значения	
	$x_1$	$x_2$	$X_1, \%$	$X_2, ^\circ\text{C}$
1	+1	+1	15	400
2	-1	+1	5	400
3	+1	-1	15	300
4	-1	-1	5	300
5	0	+1	10	400
6	0	-1	10	300
7	0	0	10	350
8	-1	0	5	350
9	+1	0	15	350

Таблица 4

Отклики эксперимента

№	Количество золы-унос, %	Температура обжига, °С	Свойства стеклопора при диаметре сырца 10 мм			Свойства стеклопора при диаметре сырца 5 мм		
			$Y_1$ $\rho_m, \text{г/см}^3$	$Y_2$ $K_{\text{всп}}$	$Y_3$ $B_m, \text{мас. \%}$	$Y_4$ $\rho_m, \text{г/см}^3$	$Y_5$ $K_{\text{всп}}$	$Y_6$ $B_m, \text{мас. \%}$
1	15	400	0,49	2,82	61,39	0,88	1,74	10,00
2	5	400	0,54	2,29	35,43	0,97	1,74	18,18
3	15	300	0,39	3,27	87,83	0,85	1,80	20,00
4	5	300	0,43	2,48	17,87	0,58	2,75	10,00
5	10	400	0,43	2,82	77,96	0,88	1,74	20,00
6	10	300	0,46	3,14	82,40	0,65	2,60	13,64
7	10	350	0,50	2,55	83,83	0,88	1,74	25,00
8	5	350	0,48	1,96	30,30	0,56	2,75	30,00
9	15	350	0,47	2,61	78,26	0,88	1,74	20,00

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие адекватные уравнения регрессии свойств стеклопора (при диаметре сырцовых гранул 10 мм) для кодированных значений переменных:

1) средняя плотность ( $\rho_m$ ):

$$Y_1 = 0,481 + 0,0166X_1 + 0,03X_2 + 0,003X_1^2 - 0,026X_2^2 - 0,0025X_1X_2;$$

2) коэффициент вспучивания ( $K_{всп}$ ):

$$Y_2 = 2,55 + 0,33X_1 - 0,16X_2 - 0,27X_1^2 + 0,43X_2^2 - 0,07X_1X_2;$$

3) водопоглощение по массе ( $B_m$ ):

$$Y_3 = 83,83 + 23,98X_1 - 2,22X_2 - 29,55X_1^2 - 3,65X_2^2 - 11,00X_1X_2.$$

Наряду с этим получены уравнения регрессии свойств стеклопора при диаметре сырцовых гранул 5 мм для кодированных значений переменных:

4) средняя плотность ( $\rho_m$ ):

$$Y_4 = 0,784 + 0,083X_1 + 0,1083X_2 - 0,0166X_1^2 + 0,0283X_2^2 - 0,09X_1X_2;$$

5) коэффициент вспучивания ( $K_{всп}$ ):

$$Y_5 = 2,036 - 0,3266X_1 - 0,3216 + 0,06X_1^2 - 0,015X_2^2 + 0,2375X_1X_2;$$

6) водопоглощение по массе ( $B_m$ ):

$$Y_6 = 25,55 - 1,363X_1 - 0,153X_2 + 1,663X_1^2 - 13,786X_2^2 - 4,545X_1X_2.$$

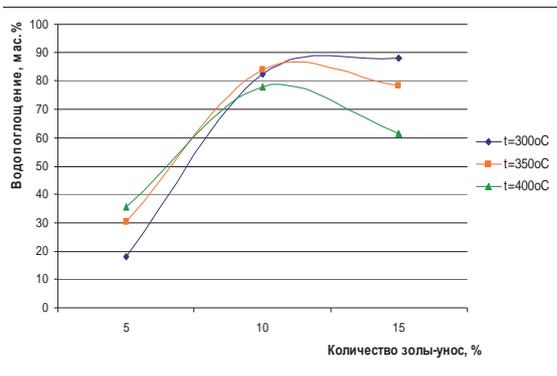


Рис. 1. Зависимость водопоглощения стеклопора от количества золы-уноса при диаметре сырца 10 мм.

В лабораторных условиях исходный гранулят получен пластическим способом, путем накатывания отдельных сырцовых гранул (массой до 0,2 г для получения силипора и до 0,7 г для изготовления стеклопора).

Установлено, что максимальная вспучиваемость достигается при использовании более крупного гранулята. Стеклопор при этом имеет следующие свойства: минимальная средняя плотность вспученного заполнителя 0,39 г/см<sup>3</sup> (насыпная плотность 0,263 г/см<sup>3</sup>), максимальный коэффициент вспучивания (3,27) при расходе золы-уноса 15 % и температуре обжига 300 °С.

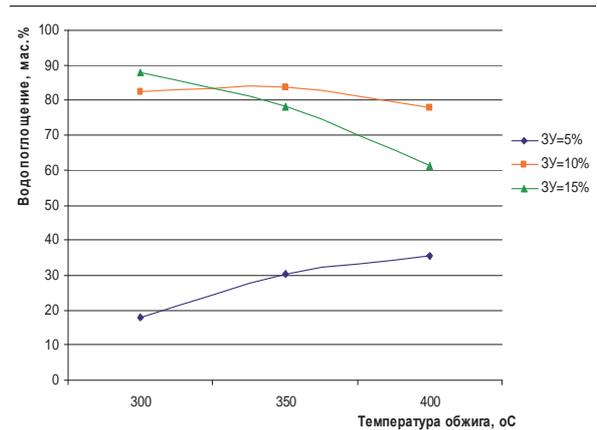


Рис. 2. Зависимость водопоглощения стеклопора от температуры обжига при диаметре сырца 10 мм.

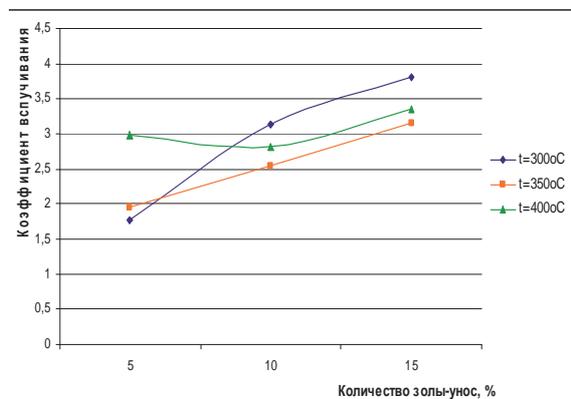


Рис. 3. Зависимость коэффициента вспучивания стеклопора от количества золы-уноса при диаметре сырца 10 мм.

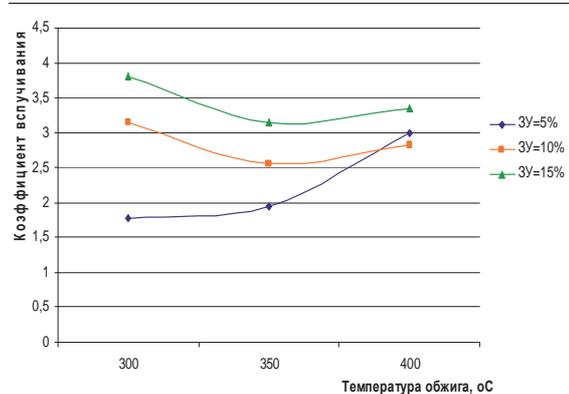


Рис. 4. Зависимость коэффициента вспучивания стеклопора от температуры обжига при диаметре сырца 10 мм.

Полученный стеклопор стоек к силикатному распаду. Таким образом, разработанные технологические приемы позволили получить легкий искусственный заполнитель с насыпной плотностью 260 кг/м<sup>3</sup>, снизить температуру обжига (с 400 до 300 °С) и увеличить отходоёмкость композиции.

Организация выпуска и затаривания гранулированного сырца на основе пыли газоочистки Братского завода ферросплавов позволит осуществлять его транспортировку и вспучивание в любом регионе России и за рубежом.

## Литература

1. Лохова Н. А. Микроармированные стеновые керамические изделия на основе высококальциевой золы-уноса // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 1 (5). С.104-112
2. Кудряков А.И., Свергунова Н.А. Иванов М.Ю. Зернистый теплоизоляционный материал на основе модифицированной жидкостекольной композиции: моногр. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. 204 с.
3. Лохова Н.А. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: моногр. Братск: БрГТУ, 2002. 163 с.

## References

1. Lokhova N.A. Micro-reinforced wall facing ceramic ware on the basis of high-calcium fly ash // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2010. № 1 (5). S. 104-112.
2. Kudyakov A.I., Svergunova N.A., Ivanov M.Yu. Granular heat-insulating material on the basis of modified sodium silicate composition: monogr. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arkhit.-stroit. un-ta, 2010. 204 s.
3. Lokhova N.A. Fired silica materials: monogr. Bratsk: BrGTU, 2002. 163 s.

УДК 691.41

## Особенности пористой структуры стенового керамического материала с органо-кремнеземистой добавкой

Н.А. Лохова<sup>1\*</sup>, Н.С. Стибунова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия  
Статья поступила 12.10. 2011, принята 15.02.2012

*Приведен анализ пористой структуры керамического материала из закарбонизованного суглинка с органо-кремнеземистой добавкой на основе угля Ирша-Бородинского месторождения и отхода металлургии – пыли газоочистки ферросплавного производства. Высокое содержание карбонатов в местном глинистом сырье значительно ухудшает качество керамических материалов вследствие образования «дутика» в процессе эксплуатации изделий. Выявлено, что применение органо-минеральных добавок на основе отходов и побочных продуктов промышленности интенсифицирует связывание вредных карбонатных примесей и микроармирует стенки пор полезными кальцийсодержащими кристаллическими фазами. Исследования поровой структуры показали, что наличие открытой пористости увеличивает поверхность протекания реакций между водой и гидравлически активной составляющей керамической матрицы, следствием чего является упрочнение и повышение морозостойкости изделий. Анализ программ показал отсутствие микропор и преобладание пор диаметром 1-50 мкм в пробах материала с органо-кремнеземистой добавкой «Енисей». В материале с комплексной добавкой возрастает объем благоприятных условно-замкнутых пор в сопоставлении с бездобавочным вариантом, что обуславливает формирование пористой структуры с улучшенными показателями морозостойкости (F50).*

**Ключевые слова:** закарбонизованный суглинок, органо-кремнеземистые добавки, пористость, эффективный диаметр пор.

## Characteristic features of ceramic walling porous structure containing organosiliceous admixture

N.A. Lokhova<sup>1\*</sup>, N.S. Stibunova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia  
Received 12.10.2011; Accepted 15.02.2012

*The analysis of the ceramic material porous structure obtained out of carbonated loam containing organosiliceous admixture on the basis of the Irsha – Borodinskoye deposit coal and metallurgical production wastes - gas purification dust of the ferroalloy production - has been given. High content of carbonates in the local clay raw material impairs considerably the quality of ceramic materials due to blowing formation during the product operating process. It has been revealed that the application of organomineral admixtures on the basis of wastes and minor products intensifies the combining of harmful carbonates impurities and microreinforces pore walls by useful crystalline phases containing calcium. The research into pore structure has demonstrated that the presence of apparent porosity extends the reaction behavior surface between water and hydraulically active component of ceramic matrix which result in product hardening and frost resistance improvement. The analysis of the program has shown the absence of micropores and predominance of the pores from 1 to 50 micrometers in diameter in the tests of the material containing organosiliceous admixture «Yenisey». The volume of conditionally closed pores in the material containing complex admixture increases in comparison with admixtureless alternative that provides for the formation of a porous structure with improved frost resistance characteristics (F50).*

**Keywords:** carbonated loam, organosiliceous admixtures, porosity, effective diameter of pores.

\* E-mail address: nlokhova@yandex.ru