

Материал на основе синтетического волластонита и его влияние на функциональные свойства мелкозернистого бетона

**П. С. Гордиенко, С. Б. Ярусова, А. В. Козин, В. В. Ивин,
В. Е. Силантьев, П. Ю. Лизунова, К. О. Шорников**

Исследовано влияние добавки на основе синтетического волластонита, полученного автоклавным методом из отходов производства борной кислоты (борогипса), на функциональные свойства бетона (прочность, морозостойкость и водопоглощение). Определены фазовый состав и морфология полученного материала. Установлено, что фазовый состав полученного материала после автоклавной обработки и последующего обжига при температуре 1200 °С характеризуется наличием кристаллических фаз псевдovolластонита, волластонита и сульфата кальция. Показано, что введение 3,5 масс. % добавки на основе волластонита приводит к увеличению предела прочности мелкозернистого бетона при сжатии до 26 % и при изгибе до 46 %; величина водопоглощения образцов по массе и по объему уменьшается почти в 2 раза. Установлено, что при введении добавки на основе волластонита 3 – 3,5 масс. %, количество циклов попеременного замораживания и оттаивания бетона без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности возрастает, что свидетельствует о повышении морозостойкости бетона.

Ключевые слова: волластонит, борогипс, бетон, прочность, морозостойкость, водопоглощение.

Введение

Важными технологическими свойствами волластонита $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$ являются высокая химическая стойкость в различных средах, небольшой удельный вес, уникальные диэлектрические свойства и низкая теплопроводность, а также экологическая чистота и безопасность применения. Наибольший объем волластонитосодержащей продукции используется в строительной индустрии при производстве огнеупорного и облицовочного кирпича, керамической плитки и глазурей для нее, строительных растворов, герметиков, сухих отделочных и гидроизоляционных смесей, лакокрасочных составов, декоративных отделочных пленок, неорганических вяжущих веществ, бетона, кровельных покрытий, бетонных межэтажных перекрытий, тепло-, звукоизоляционных и огнестойких панелей и перегородок, пластиковых профилей для дверных

и оконных рам и наливных износостойких полов. Анализируя перспективы применения волластонита в промышленности строительных материалов, необходимо в первую очередь ориентироваться на многообразие ассортимента стройматериалов и изделий на основе цемента, других вяжущих веществ и твердеющих дисперсных систем. [1, 2]. Изучению влияния природного и синтетического волластонита на функциональные свойства таких строительных материалов, как цемент и бетон, посвящен целый ряд отечественных и зарубежных работ [3 – 13]. Указанные научные работы приведены в хронологическом порядке не случайно, их анализ свидетельствует о постоянном интересе ученых из различных стран к вышеуказанной проблеме в течение последних 40 лет.

В работе [5] исследовано влияние волластонита на технологию и свойства виброформованных изделий в процессе изготовления бетонных троту-

арных плит, изготовленных из смесей тяжелого и мелкозернистого бетонов. В опытных смесях переменное количество волластонита устанавливали в процентах от общей массы цемента и песка с замещением последнего (массовая доля крупного заполнителя, содержание воды, цемента, пластификатора оставались постоянными). Показано, что добавки игольчатого волластонита фракции 1000 мкм способствуют уплотнению бетонных смесей обоих типов при виброформовании, повышая одновременно и прочность при сжатии затвердевшего бетона. Основной эффект уплотнения и упрочения исследованных бетонов проявляется в интервале содержания волластонита 10 – 12 %.

В работе [6] показана эффективность модифицирования поргладцемента минеральными и химическими добавками. Среди исследуемых добавок использовали природный волластонит с месторождений Таджикистана и комплексные составы на основе волластонита и модифицированного лигносульфоната технического и на основе волластонита и декстрина. Установлено, что во всех случаях прочность бетона увеличивается. Водонепроницаемость и коэффициент морозостойкости существенно возрастают. Отмечено, что при модифицировании цемента добавки не только придают ему специфические свойства, но и позволяют, не снижая качества получаемого бетона, уменьшить удельный расход цемента в бетоне (в случае использования минеральных добавок — эквивалентно своей массе, вводимой в бетон).

В работе [7] показана эффективность частичной замены цемента и песка в бетонных смесях волластонитом. Введение 10 % волластонита способствовало повышению прочности при сжатии (28 – 35 %) и изгибе (36 – 42 %) на 28 и 56 сутки, соответственно.

В [10] изучена возможность применения волластонита Койташского месторождения (Узбекистан) в качестве заполнителя для бетонов. Исследуемая волластонитовая порода содержала 66,5 % CaSiO_3 . Исходный состав бетонной смеси: цемент : песок : щебень – 1 : 2 : 3,29. В остальных составах 15, 30 и 45 % песка заменяли на волластонитовый заполнитель. Водоцементное отношение В/Ц во всех составах было постоянным и составляло 0,57. Показано, что при введении в состав бетона волокнистой фракции волластонита кубиковая прочность бетона увеличивается на 15 – 32 %, при этом максимальное увеличение прочности характерно для составов с содержанием 30 % волластонита. Призмная прочность бетона увеличивается на 30 – 40 %.

В работах [11, 12] проведен цикл исследований по влиянию комбинированных добавок на основе волластонита и непосредственно волластонита на функциональные свойства бетонов. В [11] показано, что качество бетонов, содержащих комбинацию волластонита с летучей золой (количество волластонита 5 – 15 %), повышается. Замена 45 – 55 % цемента такой комбинированной добавкой способствует улучшению механических свойств и повышению долговечности. Позднее было показано, что частичная замена цемента в бетоне непосредственно волластонитом в количестве 10 – 15 % также приводит к увеличению прочности и повышению долговечности бетона [12].

Цель данной работы — изучение влияния добавки на основе волластонита, полученного из отходов производства борной кислоты (борогипса), на функциональные свойства бетона.

Экспериментальная часть

Для синтеза добавки на основе волластонита использовали борогипс с содержанием основных компонентов, в масс. %: SiO_2 — 26 – 28; CaO — 26 – 28; SO_3 — 31,3; Fe_2O_3 — 1,8 – 2; Al_2O_3 — 0,6 – 0,8; B_2O_3 — 0,7 – 1,2; MnO — 0,2; MgO — 0,1 – 0,2. Проба борогипса была отобрана в шламохранилище № 5 горно-химического комбината “Бор” (Приморский край, г. Дальнегорск).

Для получения волластонита расчет проводили согласно уравнению, приведенному в работе [14], из которого следует, что для получения 1 моль моносиликата кальция необходимо взять 1 моль CaSO_4 (или CaO), 1 моль SiO_2 и 2 моль гидроксида калия. В исследуемых отходах содержание SiO_2 и CaO (в перерасчете на число молей в 100 г борогипса) равно 0,43 – 0,46 и 0,46 – 0,5 масс. %, соответственно, то есть их мольное соотношение близко к 1.

Борогипс смешивали с раствором гидроксида калия квалификации “ч.д.а” в стехиометрическом соотношении. Синтез проводили в автоклаве при давлении 1,7 атм. (температура 118 °С) в течение 3 ч. После окончания заданного интервала времени полученную смесь извлекали из автоклава. Осадок отделяли от раствора фильтрованием через бумажный фильтр “синяя лента”, промывали дистиллированной водой, нагретой до 60 – 70 °С, и сушили при температуре 85 °С в течение 5 ч. Выход целевого продукта (гидросиликата кальция) контролировали по количеству гидроксида калия, прореагировавшего в результате реакции. Затем полученный осадок, содержащий аморфную фазу и некоторое количество сульфата кальция, обжигали при 1200 °С.

Рентгенограммы образцов снимали на автоматическом дифрактометре D8 ADVANCE с вращением образца в Cu K_α -излучении. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Удельную поверхность определяли методом низкотемпературной адсорбции азота с использованием прибора "Сорбтомер-М".

Изучение морфологических особенностей образцов проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с помощью сканирующего электронного микроскопа EV0-50XVP (Carl Zeiss, Германия).

Для изготовления бетонных балочек и кубиков использовали следующие компоненты (по отношению к весовой части цемента, принятой за 1): суперпластификатор С-3 — 0,01; песок — 3; добавка на основе волластонита — 0,02 – 0,04, вода — 0,42. Водоцементное отношение поддерживали во всех составах постоянным ($\text{В/Ц} = 0,42$). К водному раствору суперпластификатора С-3 добавляли материал на основе волластонита в виде порошка и перемешивали миксером в течение 2 мин до получения однородной суспензии. Цемент засыпали в чашу лабораторного смесителя (тип 1.0203.01 компании "Testing"), и к нему приливали воду, затем перемешивали в течение 30 с. В получившуюся массу добавляли приготовленную суспензию и перемешивали в течение 30 с. На следующем этапе в смесь постепенно вводили песок и перемешивали при 140 об/мин в течение 2 мин и при 285 об/мин в течение 30 с. Приготовленную смесь вручную послойно укладывали в форму ЗФК-70 (ЗФБ-40) и на виброплощадке (модель СМЖ-539) утрамбовывали в течение 10 с. Форму с образцами накрывали стеклом, и по истечении 1 суток проводили распалубку. Изготовленные образцы укладывали в камеру нормального твердения (модель КПУ-1М) на подкладки и хранили до 27 суток. Температура в камере составляла 20°C , относительная влажность воздуха — 95 %. По истечении 3, 7 и 28 суток с даты изготовления часть образцов вынимали из камеры. В течение 4 ч образцы находились в естественных условиях помещения, в котором впоследствии их испытывали, то есть при температуре воздуха в пределах $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 55 %. Далее образцы испытывали на изгиб и на сжатие на комбинированной машине (тип 1.0244 компании "Testing").

Испытания образцов на водопоглощение и морозостойкость проводили согласно методикам, описанным в [15] и [16], соответственно.

Результаты и обсуждение

Согласно данным рентгенофазового анализа, в составе образца, полученного после обжига при 1200°C , обнаружены кристаллические фазы псевдоволластонита моноклинной модификации (PDF-2, 01-089-6463: $a = 11,83220$; $b = 6,86240$; $c = 10,52970$; $\alpha = 90,000$; $\beta = 111,245$; $\gamma = 90,000$), волластонита триклинной модификации (PDF-2, 01-084-0654: $a = 7,92580$; $b = 7,32020$; $c = 7,06530$; $\alpha = 90,055$; $\beta = 95,217$; $\gamma = 103,426$) и сульфата кальция (рис. 1). Удельная поверхность полученного и измельченного в шаровой мельнице материала составила $1,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

На рис. 2 приведены СЭМ изображения микрочастиц полученного образца. Из представленного рисунка видно, что большинство частиц имеет компактную нерегулярную структуру без пор. Максимальный размер частиц составляет 100 – 150 мкм. Встречаются более мелкие частицы размером 1 – 10 мкм и частицы, состоящие из вытянутых зерен размером до 10 мкм. Следует отметить, что в составе образца выраженных игольчатых частиц не наблюдается, встречаются столбчатые кристаллические образования.

Полученные результаты (рис. 3) показали, что введение 3,5 масс. % добавки на основе волластонита приводит к увеличению предела прочности мелкозернистого бетона через 28 суток при сжатии до 26 % и при изгибе до 46 %. Аналогичный эффект был получен авторами ранее [17]. При дальнейшем

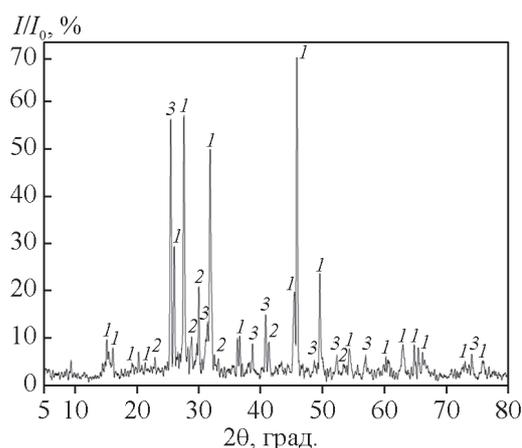


Рис. 1. Дифрактограмма образца, полученного из борогипса, после обжига при 1200°C . 1 — псевдоволластонит CaSiO_3 , 2 — волластонит CaSiO_3 , 3 — сульфат кальция CaSO_4 .

Fig. 1. Diffractogram of the sample obtained from borogypsum after annealing at 1200°C . 1 — pseudowollastonite CaSiO_3 , 2 — wollastonite CaSiO_3 , 3 — calcium sulphate CaSO_4 .

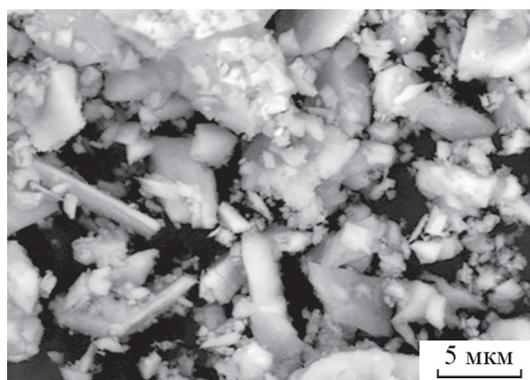
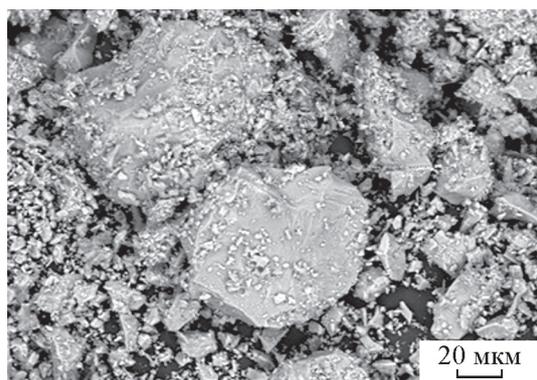


Рис. 2. СЭМ изображения микрочастиц образца, полученного после обжига при 1200 °С

Fig. 2. Scanning electron microscopy images of the sample microparticles after annealing at 1200 °C.

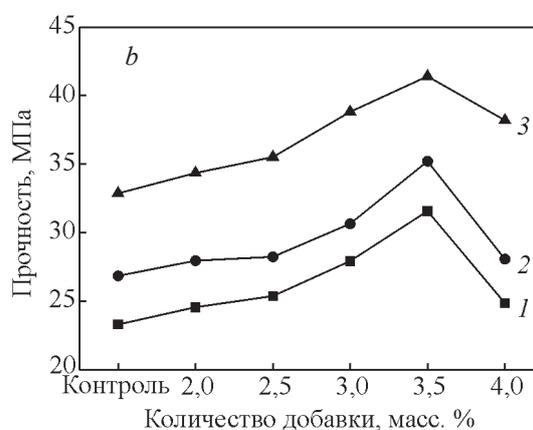
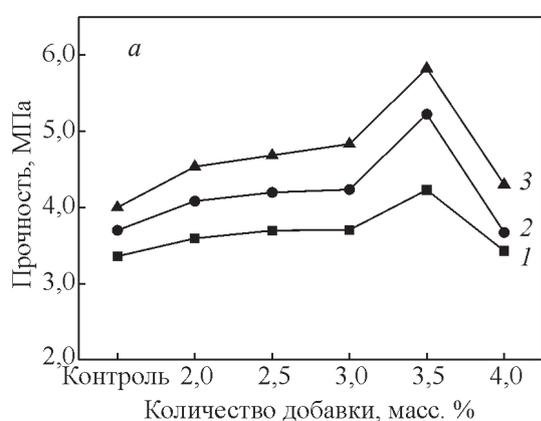


Рис. 3. Влияние добавки на основе волластонита на прочность мелкозернистого бетона: *a* — при изгибе, *b* — при сжатии, после выдержки, сутки: 1 — 3, 2 — 7, 3 — 28.

Fig. 3. The influence of the wollastonite-based additive on the strength of fine-grained concrete: *a* — at flexure, *b* — compression, after exposure, days: 1 — 3, 2 — 7, 3 — 28.

увеличении количества добавки наблюдается снижение прочности испытываемых образцов. Для объяснения данного эффекта необходимы дальнейшие исследования.

В табл. 1 приведены данные по изменению водопоглощения образцов мелкозернистого бетона в зависимости от количества добавки на основе волластонита.

Как следует из анализа результатов, представленных в табл. 1, с увеличением количества волластонита, вводимого в состав бетона, наблюдается уменьшение величины водопоглощения по массе и по объему. Так, при введении 3,5 масс. % добавки на основе волластонита величина водопоглощения образцов по массе и по объему уменьшается по отношению к контрольному образцу (без добавления волластонита) почти в 2 раза. Как известно, введение различных добавок, уменьшающих величину

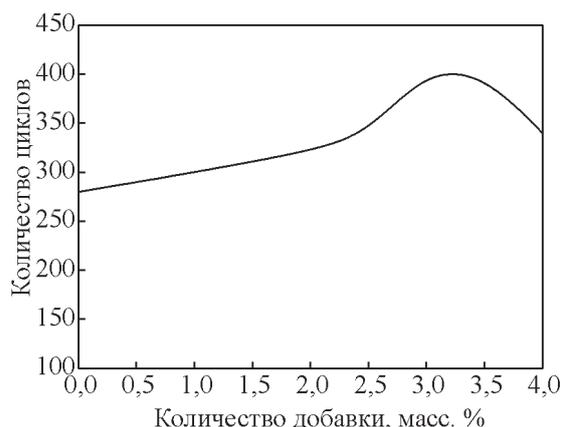


Рис. 4. Зависимость количества циклов попеременного замораживания и оттаивания бетона от количества добавки на основе волластонита.

Fig. 4. Correlation between the number of alternating freezing and thawing cycles of concrete and the amount of the additive based on wollastonite.

Зависимость величины водопоглощения образцов мелкозернистого бетона от количества добавки на основе синтетического волластонита

Table 1

Correlation between the water absorption of fine-grained concrete samples and the amount of the additive based on synthetic wollastonite

№ п/п	Содержание добавки на основе волластонита, масс. %	Масса образца в сухом состоянии, $m_{\text{сух}}$, Г	Масса образца в насыщенном состоянии, $m_{\text{нас}}$, Г	Водопоглощение по массе, W_m , %		Водопоглощение по объёму, W_o , %	
				отдельных образцов	среднее	отдельных образцов	среднее
1	0 (контрольный)	684	737	7,75	7,87	15,00	15,19
2		679	734	8,10		15,56	
3		683	736	7,76		15,00	
4	2,0	679	729	7,36	7,06	14,15	13,68
5		694	747	7,64		15,00	
6		681	723	6,17		11,88	
7	2,5	685	728	6,28	6,35	12,17	12,26
8		678	721	6,34		12,17	
9		683	727	6,44		12,45	
10	3,0	692	731	5,64	5,40	11,04	10,66
11		707	746	5,52		11,04	
12		694	729	5,04		9,90	
13	3,5	696	726	4,31	4,17	8,49	8,21
14		683	712	4,25		8,21	
15		706	734	3,97		7,92	
16	4,0	709	739	4,23	4,22	8,49	8,39
17		699	728	4,15		8,21	
18		702	732	4,27		8,49	

водопоглощения бетона, способствует увеличению долговечности бетонных конструкций [18].

На рис. 4 приведена зависимость количества циклов попеременного замораживания и оттаивания бетона (морозостойкости) без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности от количества волластонита, добавляемого в бетон. Как видно из рис. 4, при введении добавки на основе волластонита в количестве 3 – 3,5 масс. %, количество циклов возрастает до 400, что свидетельствует о повышении морозостойкости бетона.

Выводы

Добавка на основе синтетического волластонита, полученная из отходов борного производства, способствует повышению прочности, уменьшению водопоглощения и увеличению морозостойкости исследуемых образцов, что позволяет рекомендовать ее для использования при производстве бетона.

Авторы продолжают исследования взаимосвязи условий получения волластонита, его структуры, формы и размеров частиц с функциональными

свойствами бетона с различным количеством волластонитсодержащей добавки.

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН “ДАЛЬНИЙ ВОСТОК” на 2018 – 2020 гг. и проекта 4.5913.2017/8.9 в рамках базовой части государственного задания образовательных организаций высшего образования, находящихся в ведении Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Гладун В.Д., Акатьева Л.В., Андреева Н.Н., Холькин А.И. Получение и применение синтетического волластонита из природного и техногенного сырья. *Химическая технология*, 2004, № 9, с. 4 – 11.
2. Тюльнин В.А., Ткач В.Р., Эйрих В.И., Стародубцев Н.П. Волластонит: уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. М.: Издательский дом “Руда и металлы”, 2003, 144 с.
3. Гайдаш Б.И., Деревягин Г.Ф., Деревягина А.А. Экспериментальные исследования возможности получения специальных марок бетона на основе

- волластонитового сырья. Волластонит. Сб. статей под ред. В.П. Петров. М.: Наука, 1982, с. 90 – 91.
4. Low N.M.P., Beaudoin J.J. The effect of wollastonite micro-fibre aspect ratio on reinforcement of Portland cement-based binders. *Cement and Concrete Research*, 1993, v. 23, p. 1467 – 1479.
 5. Эйрих В.И., Березовский С.В., Тарантул Н.П., Иорамашвили И.Н., Конов Г.В. О применении волластонита в производстве композиционных строительных материалов и изделий на основе цемента. *Строительные материалы*, 2002, № 1, с. 14 – 17.
 6. Шарифов А., Акрамов А., Джабборов И.С. Модифицирование портландцемента добавками для его использования в производстве специальных бетонов. Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2006, т. 49, № 5, с. 458 – 463.
 7. Mathur R., Misra A.K., Goel P. Influence of wollastonite on mechanical properties of concrete. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2007, v. 66, p. 1029 – 1034.
 8. Ransinchung G.D., Kumar B., Kumar V. Assessment of water absorption and chloride ion penetration of pavement quality concrete admixed with wollastonite and microsilica. *Construction and Building Materials*, 2009, v. 23, p. 1168 – 1177.
 9. Панина А.А., Самигуллин Р.Р., Цыплаков Д.С., Корнилов А.В., Тухватшина А.И. Волластонит — нетрадиционная минеральная добавка — наполнитель в портландцемент. *Вестник Казанского технологического университета*, 2010, № 8, с. 377 – 378.
 10. Кулдашева А.Х. Экспериментальные исследования прочностных свойств бетонов на основе волластонитового сырья. *Вестник МГСУ*, 2011, № 7, с. 627 – 630.
 11. Kalla P., Misra A., Gupta R.C., Csetenyi L., Gahlot V., Arora A. Mechanical and durability studies on concrete containing wollastonite–fly ash combination. *Construction and Building Materials*, 2013, v. 40, p. 1142 – 1150.
 12. Kalla P., Rana A., Chad Y.B., Misra A., Csetenyi L. Durability studies on concrete containing wollastonite. *Journal of Cleaner Production*, 2015, v. 87, p. 726 – 734.
 13. Bian H., Hannawi K., Takarli M., Molez L., Prince W. Effects of thermal damage on physical properties and cracking behavior of ultrahigh-performance fiber-reinforced concrete. *Journal of Materials Science*, 2016, v. 51, p. 10066 – 10076.
 14. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Козин А.В., Степанова В.А., Шабалин И.А., Гриванова О.В. Способ комплексной переработки борогипса. Патент РФ 2601608, МПК C01B 33/24. № 2015141651/05; заявл. 30.09.2015; опубл. 10.11.16, Бюл. № 31.
 15. Государственный стандарт СССР ГОСТ 12730.3–78. Бетоны. Методы определения водопоглощения. М.: Госстрой СССР, 1978, 3 с.
 16. Межгосударственный стандарт ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. М.: Стандартинформ, 2014, 19 с.
 17. Гордиенко П.С., Козин А.В., Ярусова С.Б., Згиблый И.Г. Комплексная переработка отходов производства борной кислоты с получением материалов для стройиндустрии. *Архитектура и строительство Дальнего Востока: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск)*, 2014, № 12, с. 60 – 66. М.: Изд-во “Горная книга”, 2014.
 18. Пашенко А.А., Воронков М.Г., Михайленко Л.А., Круглицкая В.Я., Ласская Е.А. *Гидрофобизация*. Киев: Наукова думка, 1973, 240 с.

References

1. Gladun V.D., Akat’eva L.V., Andreeva N.N., Kholkin A.I. Polucheniye i primeneniye sinteticheskogo vollastonita iz prirodnogo i tekhnogenogo syr’ya [Preparation and application of synthetic wollastonite from natural and technogenic raw materials]. *Khimicheskaya tekhnologiya — Chemical technology*, 2004, no. 9, pp. 4 – 11.
2. Tyulnin V.A., Tkach V.R., Eyrikh V.I., Starodubtsev N.P. *Vollastonit: unikal’noye mineral’noye syr’ye mnogotslevogo naznacheniya* [Wollastonite: unique multi-purpose mineral raw materials]. Moscow, Publishing House Ore and Metals, 2003, 144 p.
3. Gaydash B.I., Derevyagin G.F., Derevyagina A.A. *Eksperimental’nye issledovaniya vozmozhnosti polucheniya spetsial’nykh marok betona na osnove vollastonitovogo syr’ya* [Experimental studies of the possibility of obtaining special grades of concrete based on wollastonite raw materials]. In book *Wollastonite*, Chief Editor V.P. Petrov, Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 90 – 91.
4. Low N.M.P., Beaudoin J.J. The effect of wollastonite micro-fibre aspect ratio on reinforcement of Portland cement-based binders. *Cement and Concrete Research*, 1993, vol. 23, pp. 1467 – 1479.
5. Eyrikh V.I., Berезovskiy S.V., Tarantul N.P., Ioramashvili I.N., Konov G.V. O primeneniі vollastonita v proizvodstve kompozitsionnykh stroitel’nykh materialov i izdeliy na osnove tsementa [About the application of wollastonite in the production of composite building materials and products based on cement]. *Stroitel’nye materialy — Construction Materials*, 2002, no. 1, pp. 14 – 17.
6. Sharifov A., Akramov A., Dzhaborov I.S. Modifitsirovaniye portlandtsementa dobavkami dlya ego ispol’zovaniya v proizvodstve spetsial’nykh betonov [Modification of portland cement by additives for its use in the production of special concretes]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan — Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*, 2006, vol. 49, no. 5, pp. 458 – 463.
7. Mathur R., Misra A.K., Goel P. Influence of wollastonite on mechanical properties of concrete. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2007, vol. 66, pp. 1029 – 1034.

8. Ransinchung G.D., Kumar B., Kumar V. Assessment of water absorption and chloride ion penetration of pavement quality concrete admixed with wollastonite and microsilica. *Construction and Building Materials*, 2009, vol. 23, pp. 1168 – 1177.
9. Panina A.A., Samigullin R.R., Tsyplakov D.S., Kornilov A.V., Tukhvatshina A.I. Vollastonit — netraditsionnaya mineral'naya dobavka — napolnitel' v portlandsement [Wollastonite — an unconventional mineral additive — a filler in Portland cement]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Bulletin of Kazan Technological University*, 2010, no. 8, pp. 377 – 378.
10. Kuldasheva A.Kh. Eksperimental'nye issledovaniya prochnostnykh svoystv betonov na osnove vollastonitovogo syr'ya [Experimental studies of the strength properties of concretes based on wollastonite raw materials]. *Vestnik MGSU — Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture*, 2011, no. 7, pp. 627 – 630.
11. Kalla P., Misra A., Gupta R.C., Csetenyi L., Gahlot V., Arora A. Mechanical and durability studies on concrete containing wollastonite-fly ash combination. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 40, pp. 1142 – 1150.
12. Kalla P., Rana A., Chad Y.B., Misra A., Csetenyi L. Durability studies on concrete containing wollastonite. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 87, pp. 726 – 734.
13. Bian H., Hannawi K., Takarli M., Molez L., Prince W. Effects of thermal damage on physical properties and cracking behavior of ultrahigh-performance fiber-reinforced concrete. *Journal of Materials Science*, 2016, vol. 51, pp. 10066 – 10076.
14. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Kozin A.V., Stepanova V.A., Shabalin I.A., Grivanova O.V. Patent Russian Federation 2601608, MPK C01B 33/24. *Sposob kompleksnoy pererabotki borogipsa* [Method for borogypsum complex processing] /— № 2015141651/05; zayavl. 30.09.2015 ; opubl. 10.11.16, Byul. № 31. [Pat. 2601608 Russian Federation, No. 2015141651/05; Claimed. 30.09.2015; Publ. 10.11.16, Bul. No. 31.].
15. Standart of USSR, GOST 12730.3–78. *Betony. Metody opredeleniya vodopogloshcheniya* [Concretes. Methods for determination of water absorption]. Moscow, Gosstroy USSR Publ., 1978, 3 p.
16. Standart GOST 10060-2012. *Betony. Metody opredeleniya morozostoykosti* [Standard GOST 10060-2012. Concretes. Methods for determining frost resistance]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 19 p.
17. Gordienko P.S., Kozin A.V., Yarusova S.B., Zgibliy I.G. *Kompleksnaya pererabotka otkhodov proizvodstva bornoy kisloty s polucheniem materialov dlya stroyindustrii* [Complex processing of boric acid production waste with obtaining materials for the construction industry]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Dal'nego Vostoka: Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). Otdel'nie stat'i (Spetsial'niy vypusk)* [Architecture and construction of the Far East: Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). Separate articles (special issue)], 2014, no. 12, Moscow, Publishing house Mining book, 2014, pp. 60 – 66.
18. Pashchenko A.A., Voronkov M.G., Mikhaylenko L.A., Kruglitskaya V.Ya., Lasskaya E.A. *Gidrofobizatsiya* [Hydrophobization]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1973, 240 p.

Статья поступила в редакцию 23.03.2017 г.

Гордиенко Павел Сергеевич — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХДВОРАН, г. Владивосток, 690022, пр. 100-летия Владивостока, 159), доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист в области разработки физико-химических основ формирования защитных покрытий на металлах и сплавах, в области комплексной переработки минерального и техногенного сырья Дальневосточного региона России. E-mail: pavel.gordienko@mail.ru.

Ярусова Софья Борисовна — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН, г. Владивосток, 690022, пр. 100-летия Владивостока, 159); Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Владивостокский государственный университет экономики и сервиса” (ВГУЭС, г. Владивосток, 690014, ул. Гоголя, 41), кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории защитных покрытий и морской коррозии ИХ ДВО РАН, зав. базовой кафедрой, специалист в области проблем комплексной переработки минерального и техногенного сырья, в области получения и практического применения силикатных материалов, в том числе для строительной отрасли и сорбционных технологий. E-mail: yarusova_10@mail.ru.

Козин Андрей Владимирович — Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Дальневосточный федеральный университет” (ДФУ, г. Владивосток, 690091, ул. Суханова, 8), зав. лаб. кафедры, специалист в области исследования функциональных свойств строительных материалов. E-mail: prosek@mail.ru.

Ивин Виталий Викторович — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, 690022, пр. 100-летия Владивостока, 159), кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, специалист в области геологии и экологических проблем комплексной переработки техногенных образований на территории Приморского края. E-mail: ivin_vv@mail.ru.

Силантьев Владимир Евгеньевич — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН, г. Владивосток, 690022, пр. 100-летия Владивостока, 159), младший научный сотрудник, специалист в области коллоидной химии. E-mail: vladimir.silantiev@gmail.com.

Лизунова Полина Юрьевна — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН, г. Владивосток, 690022, пр. 100-летия Владивостока, 159), инженер-технолог, специалист в области сверхкритического синтеза наноматериалов и экологии. E-mail: polina-lizunova@mail.ru.

Шорников Кирилл Олегович — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Владивостокский государственный университет экономики и сервиса” (ВГУЭС, г. Владивосток, 690014, ул. Гоголя, 41), магистрант 2 курса, специалист в области экологии и охраны окружающей среды. E-mail: rebus-1515@inbox.ru.

Synthetic wollastonite-based material and its effect on the functional properties of fine-grained concrete

**P. S. Gordienko, S. B. Yarusova, A. V. Kozin, V. V. Ivin,
V. E. Silantiev, P. Yu. Lizunova, K. O. Shornikov**

In article we present the results of research concerning influence of additive on the basis of synthetic wollastonite obtained by autoclave method from boric acid production waste (borogypsum) on the functional properties of concrete (strength, frost-resistance and water absorption). The phase composition and morphology of the obtained material were studied. It was found that the phase composition of the obtained material after autoclaving and subsequent annealing at 1200 °C is characterized by the presence of crystalline phases of pseudowollastonite, wollastonite and calcium sulfate. It was shown that the 3.5 wt. % wollastonite-based addition leads to increase the strength of fine-grained concrete (compressive strength to 26 % and bending strength to 46 %) and decrease the water absorption of the samples by mass and volume almost twofold. It was found that the 3 – 3,5 wt. % wollastonite-based addition leads to increase the number of alternating freezing and thawing cycles of concrete. It indicates the increasing of its frostresistance.

Key words: wollastonite, borogypsum, concrete, strength, frost-resistance and water absorption.

Gordienko Pavel — Institute of Chemistry of Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, 690022, Prospekt 100-letya Vladivostoka, 159), Dr Sci, professor, head of the Laboratory of protecting coatings and sea corrosion, specialist in the development of physical and chemical foundations of the protective coatings formation on metals and alloys, in the field of complex processing of mineral raw and industrial wastes of Russian Far East region. E-mail: pavel.gordienko@mail.ru.

Yarusova Sofya — Institute of Chemistry, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, 690022, Prospekt 100-letya Vladivostoka, 159); Vladivostok State University of Economics and Service (Vladivostok, 690014, Gogolya street, 41), PhD, senior researcher of laboratory of protecting coatings and sea corrosion, head of Department of ecology and environmental problems of chemical engineering, specialist in mineral and technogenic raw materials complex processing, preparation and practical application of silicate materials, including materials for construction industry and sorption technologies. E-mail: yarusova_10@mail.ru.

Kozin Andrey — Far-Eastern Federal University (Vladivostok, 690091, Sukhanova street, 8), head of laboratory of department of Construction and Real Estate Management, School of Engineering, Far-Eastern Federal University, specialist in structural materials functional properties. E-mail: prosek@mail.ru.

Ivin Vitaly — Far-East Geological Institute, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, 690022, Prospekt 100-letya Vladivostoka, 159), PhD, senior researcher of laboratory of Minerageny of precious metals, specialist in the field of geology and environmental problems of complex processing of technogenic structures in the Primorsky Territory. E-mail: ivin_vv@mail.ru.

Silantiev Vladimir — Institute of Chemistry, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, 690022, Prospekt 100-letya Vladivostoka, 159), research fellow of laboratory of Colloid systems and interfacial processes, specialist in the field of colloid chemistry. E-mail: vladimir.silantiev@gmail.com.

Lizunova Polina — Institute of Chemistry, Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, 690022, Prospekt 100-letya Vladivostoka, 159), process engineer of Promising technologies group, specialist in the field of supercritical synthesis of nanomaterials and ecology. E-mail: polina-lizunova@mail.ru.

Shornikov Kirill — Vladivostok State University of Economics and Service (Vladivostok, 690014, Gogolya street, 41), undergraduate of 2nd year, department of Tourism and Ecology, specialist in the field of ecology and environmental protection. E-mail: rebus-1515@inbox.ru.