

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-78-86

Смородинова Т.Н., \*Котванова М.К.

Югорский государственный университет

\*E-mail: kotvanova@mail.ru

## ПУЦЦОЛАНОВЫЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТОВОГО ТУФА

**Аннотация.** В статье оценена активность цеолитового туфа Люльинского месторождения ХМАО-Югры по отношению к ионам кальция и сульфат-ионам. Компоненты цеолитового туфа связывают эти ионы в малорастворимые продукты. В работе показана динамика фазового состава цементного камня с добавкой цеолитового туфа по мере твердения. Добавка способствует гидролизу алита, при этом увеличивается содержание гидросульфалюмината кальция. Оценена динамика прочности на сжатие цементного камня без добавки и с добавкой цеолитового туфа. Показана возможность и эффективность использования цеолитового туфа в качестве упрочняющей добавки к портландцементу. Установлено, что 5 %-ная добавка цеолитового туфа с размером частиц 5–10 мкм увеличивает прочность на сжатие в возрасте 7 суток на 15 %, а в возрасте 28 суток – на 21 %. Изучение кинетики выщелачивания гидроксида кальция из цементного камня показало, что 5 %-ная добавка цеолитового туфа приводит к значительному снижению скорости выщелачивания свободной извести из цементного камня, что указывает на антикоррозионные свойства добавки.

**Ключевые слова:** цеолит, пуццоланы, щелочная коррозия, цемент, прочность на сжатие, пористость.

**Введение.** Несмотря на многообразие строительных материалов, на сегодняшний день одним из самых востребованных в строительной практике остается бетон. Существует набор определенных эксплуатационных свойств, по которым оценивают качества бетона, это в первую очередь прочность и устойчивость к коррозии. Климатические особенности большинства регионов России таковы, что бетонные конструкции долгое время подвержены действию дождевых вод и вод таяния снега. При действии на бетон мягких вод в первую очередь происходит вымывание гидроксида кальция из цементного камня (так называемая коррозия выщелачивания), после чего начинается разложение основных компонентов, ответственных за прочность цементного камня [1].

Пуццоланами называют синтетическое или природное сырье с высоким содержанием активного кремнезема. В присутствии воды кремнезем взаимодействует с гидроксидом кальция, давая гидроалюминаты и гидросиликаты кальция и создавая при этом цементный камень, стойкий к выщелачиванию и обладающий механической прочностью.

В последние годы в качестве пуццолановых материалов все большее внимание привлекают цеолиты и цеолитовые туфы. В целом, повышенный интерес к природным цеолитам можно объяснить их уникальными свойствами: термо- и кислотоустойчивостью, ионообменными и молекулярноситовыми свойствами, высокой каталитической активностью [2–7]. Эти свойства определяются

кристаллической структурой цеолитов, построенной из кремнекислородных тетраэдров, образующих систему пор и каналов. В полостях содержатся молекулы воды и катионы щелочных и щелочноземельных металлов, различным образом связанные с каркасом. Глинистые минералы, сопутствующие цеолитам в цеолитовых туфах, тоже зачастую проявляют пуццолановые свойства [8].

В последние годы проведены многочисленные исследования по использованию природных цеолитсодержащих минералов в качестве добавок при производстве различных цементов [9–19].

В системе гидроксид кальция – цеолит имеют место различные конкурирующие равновесные и неравновесные реакции. Когда цеолитсодержащий материал участвует в пуццолановой реакции, на его реакционную способность могут влиять различные факторы, а именно: структура цеолита, соотношение Si/Al, удельная поверхность цеолитной фазы [20].

В работе [21] показано, что цеолитовый туф Люльинского месторождения ХМАО-Югры может выступать как упрочняющая добавка к портландцементу. Было оптимизировано содержание добавки (оно составляет 5 % от массы образца), поэтому в настоящей статье вопрос о количественном содержании добавки не обсуждается. Цель работы – описать пуццолановые и антикоррозионные свойства природного цеолитового туфа.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Оценить пуццолановую активность цеолитового туфа месторождения реки Большая Люля ХМАО-Югры.

2. Проследить изменение фазового состава цементного камня в процессе твердения без добавки и с добавкой цеолитового туфа.

3. Оценить динамику прочности на сжатие цементного камня без добавки и с добавкой цеолитового туфа.

4. Изучить кинетику выщелачивания гидроксида кальция из цементного камня в отсутствие добавки цеолитового туфа и в ее присутствии.

5. Оценить механические повреждения цементного камня без добавки и с добавкой цеолитового туфа.

За рамками цели и задач настоящей работы мы оставляем вопрос о влиянии на свойства цементного камня гранулометрического состава добавки. Это будет предметом исследования следующей публикации. Однако в работе приводятся данные для образцов различной степени дисперсности.

Материалы и методы. В работе использовали бездобавочный портландцемент ПЦ-500 Д0 производства ООО «Топкинский цемент». В качестве добавки использовали цеолитовый туф Люльинского месторождения ХМАО-Югры. Фазовый состав портландцемента (в соответствии с паспортом) и добавки по данным [22] приведен в табл. 1.

Таблица 1

Фазовый состав портландцемента и природного цеолитового туфа

Фаза	Формула	Содержание, %
Цемент		
Алит $C_3S$	$Ca_3SiO_5$	65
Белит $C_2S$	$Ca_2SiO_4$	14
Трехкальциевый алюминат $C_3A$	$Ca_3Al_2O_6$	14
Четырехкальциевый алюмоферрит $C_4AF$	$Ca_2(Fe_{1,45}Al_{0,55})_2O_5$	7
Цеолитовый туф		
Кварц	$SiO_2$	45
Клиноптилолит	$KNa_2Ca_2Si_{29}Al_7O_{72} \cdot 24H_2O$	30
Гейландит	$CaSi_7Al_2O_{18} \cdot 6H_2O$	10
Монтмориллонит	$Al_2(OH)_2Si_4O_{10} \cdot nH_2O$	8
Мусковит	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	7

Образцы цеолитового туфа измельчали до фракций 0,05-0,1 мм и 5-10 мкм с использованием мельницы АГО-2. Контроль размера частиц осуществляли на лазерном анализаторе размера частиц Horiba LA-300.

Для приготовления образцов цементного раствора использовали В/Ц 0,4.

Определение ионов кальция и сульфат-ионов проводили с использованием ионного хроматографа Metrohm «882 Compact IC Plus»

Рентгенофазовый анализ проводили с использованием дифрактометра ARLX'TRA (Thermo Scientific, Швейцария) с медным анодом ( $\lambda K\alpha = 1,5418 \text{ \AA}$ ).

Измерение предела прочности на сжатие производили по ГОСТ 310.4-81 на приборе MATESTЕ 160P105.

Определение плотности и пористости материалов проводили в соответствии с ГОСТ 12730.4-78.

Основная часть. Активность добавки (в том числе пуццолановую) изучали по отношению к различным ионам. Готовили смеси с соотношением масс твердой и жидкой фаз 1:100. Использовали следующие составы твердой фазы: портландцемент без добавки; портландцемент с 5 %-ной добавкой цеолитового туфа. Для каждого состава це-

мента с добавкой измерения проводили в двух параллелях: с непрокаленным цеолитовым туфом и прокаленным при 300 °С. Диапазон концентраций исходных растворов подбирался экспериментально. Растворы готовили на деионизированной воде. Измерения проводили в течение 24 часов с регистрацией измеряемых величин каждый час. Значимые результаты были получены в опытах по выделению ионов кальция и сульфат-ионов. Полученные кинетические кривые представлены на рис. 1, 2.

Кинетические кривые показывают, что добавка цеолитового туфа подавляет выделение как ионов кальция, так и сульфат-ионов. Компоненты цеолитового туфа (в первую очередь, богатые кремнием) связывают ионы кальция, поставляемые в раствор цементом, в малорастворимые продукты взаимодействия.

Для описания природы этого взаимодействия нами контролировался фазовый состав цементного камня в процессе твердения без добавки и в присутствии 5 %-ной добавки цеолитового туфа (табл. 2). На рис. 3,4 представлены экспериментально полученные рентгенограммы образцов цементного камня на седьмые сутки твердения. Динамика фазового состава показала, что добавка цеолитового туфа способствует гидролизу алита. При этом

увеличивается содержание малорастворимых кальцийсодержащих фаз, в том числе гидросульфата алюмината кальция, что согласуется с полученными нами данными по пуццолановой активности добавки.

Полученные нами данные по динамике прочности на сжатие цементного камня с добавкой цеолитового туфа однозначно свидетельствуют о том, что добавка является упрочняющей (рис. 5). В возрасте 28 суток упрочнение составляет 21 %.

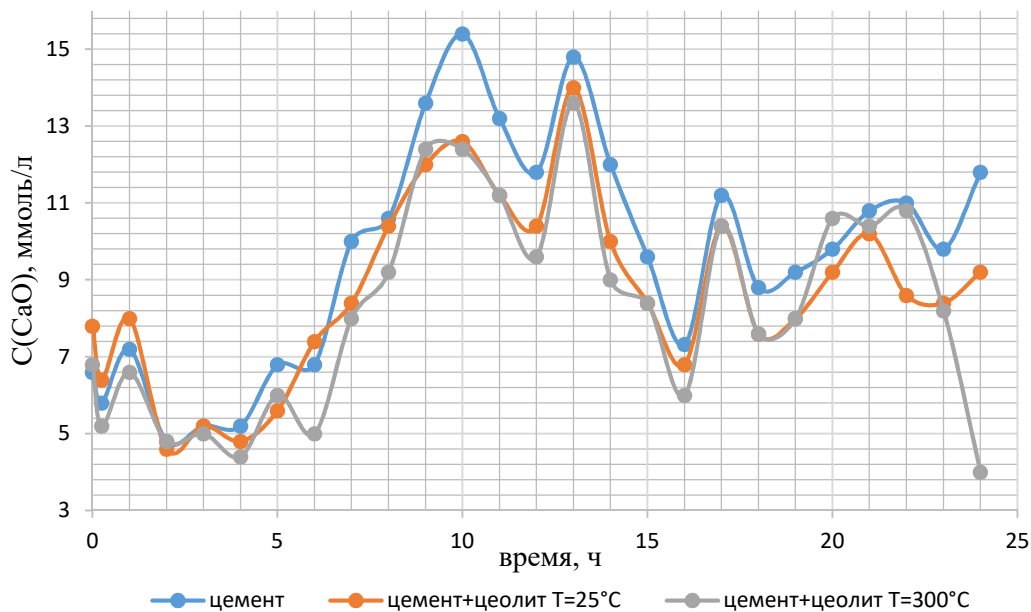


Рис. 1. Кинетическая кривая выделения ионов кальция

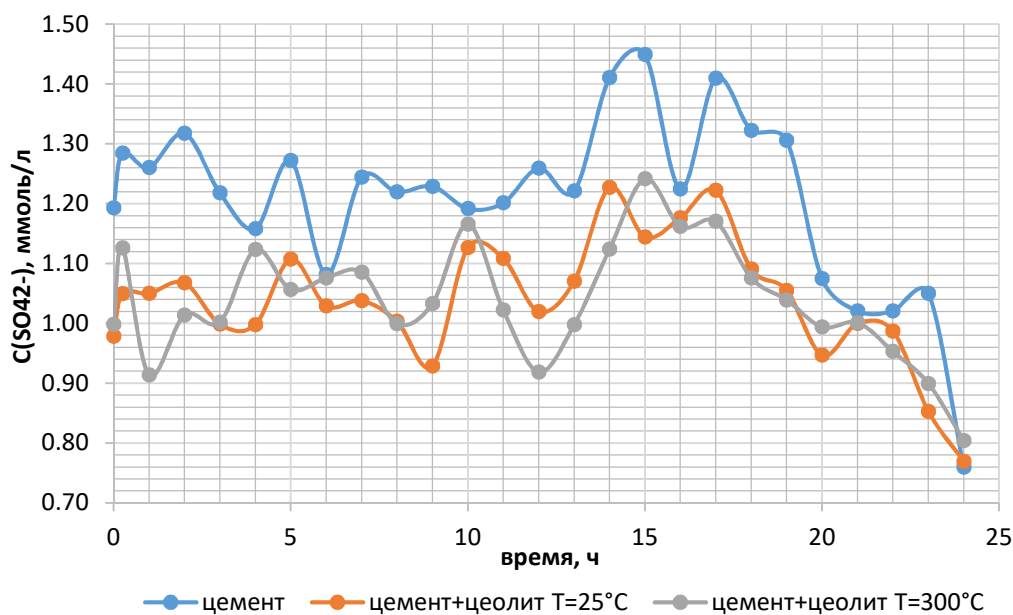


Рис. 2. Кинетическая кривая выделения сульфат-ионов

Оценку скорости выщелачивания гидроксида кальция из цементного камня проводили на образцах размером  $2 \times 2 \times 2$  см, изготовленных из портландцемента бездобавочного и с добавками цеолитового туфа. Количество добавки составляло 5 % от массы цемента. Образцы изготавливались и формовались при комнатной температуре в течение

трех суток, после чего погружались в дистиллированную воду. Контроль содержания гидроксида кальция в растворе проводили титрованием стандартным раствором хлороводородной кислоты. Результаты эксперимента использовали для построения кинетической кривой выщелачивания (рис. 6).

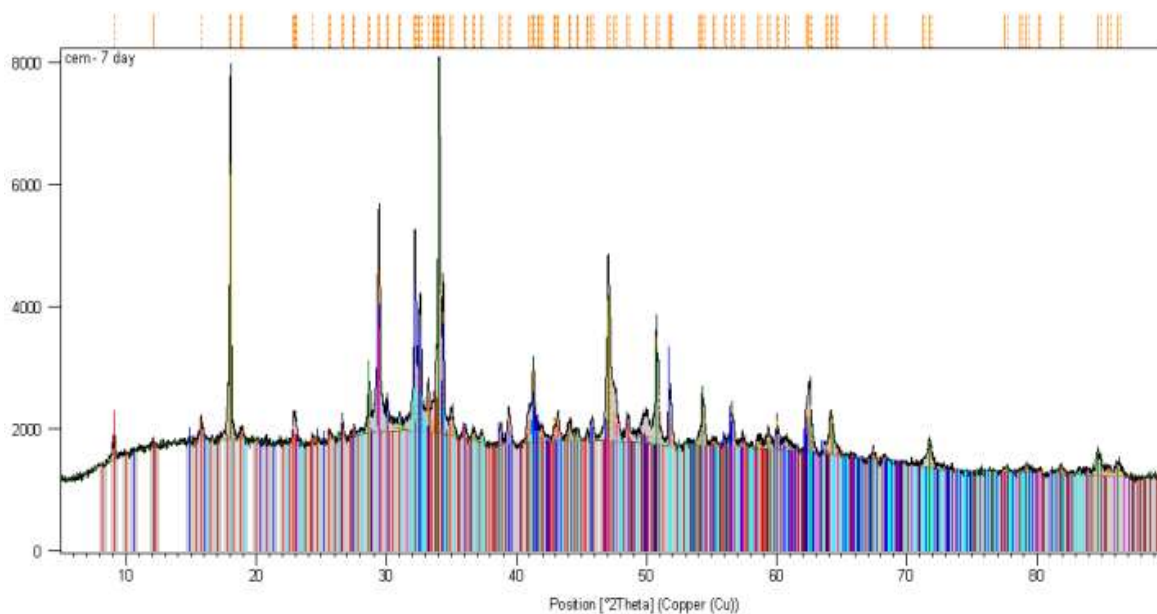


Рис. 3. Рентгенограмма образца цементного камня бездобавочного (7 суток)

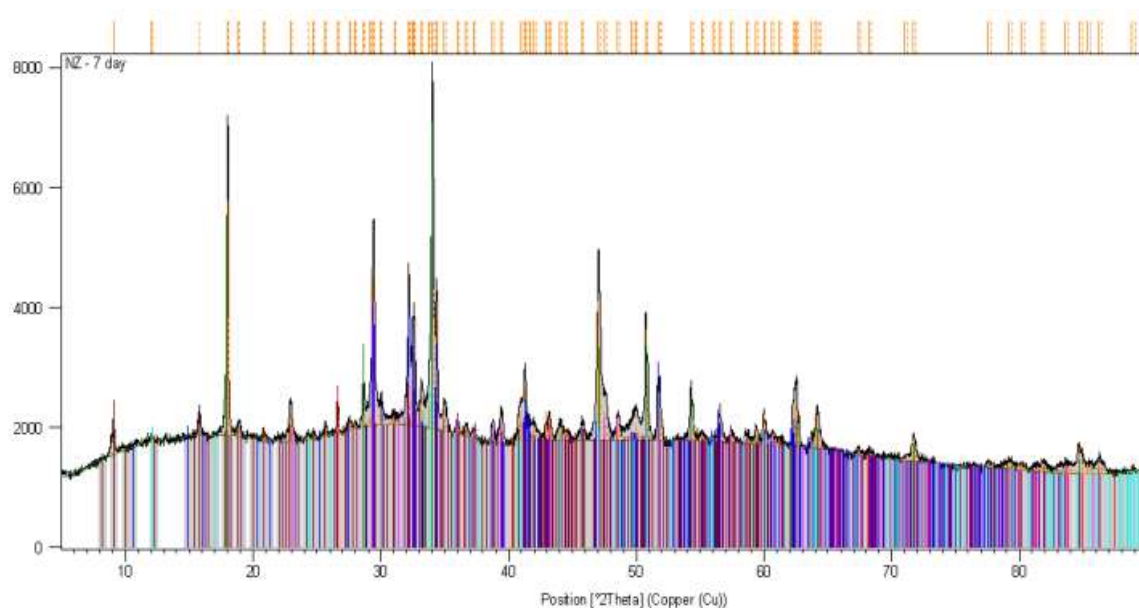


Рис. 4. Рентгенограмма образца цементного камня с 5%-ной добавкой цеолитового туфа (7 суток)

Таблица 2

**Фазовый состав цементного камня**

Формульный состав	Исходный портландцемент, %	Цементный камень без добавки 7 суток, %	Цементный камень с 5 %-ной добавкой 7 суток, %
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{CaO}$	65	50	37
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	14	7	7
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	14	5	7
$\text{Ca}_2((\text{Fe}_{1.45}\text{Al}_{0.55})\text{O}_5)$	7	5	5
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	-	25	18
$\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}(\text{H}_2\text{O})_{26}$	-	4	12
$\text{Ca}_5\text{Si}_3\text{O}_{11} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-	4	7

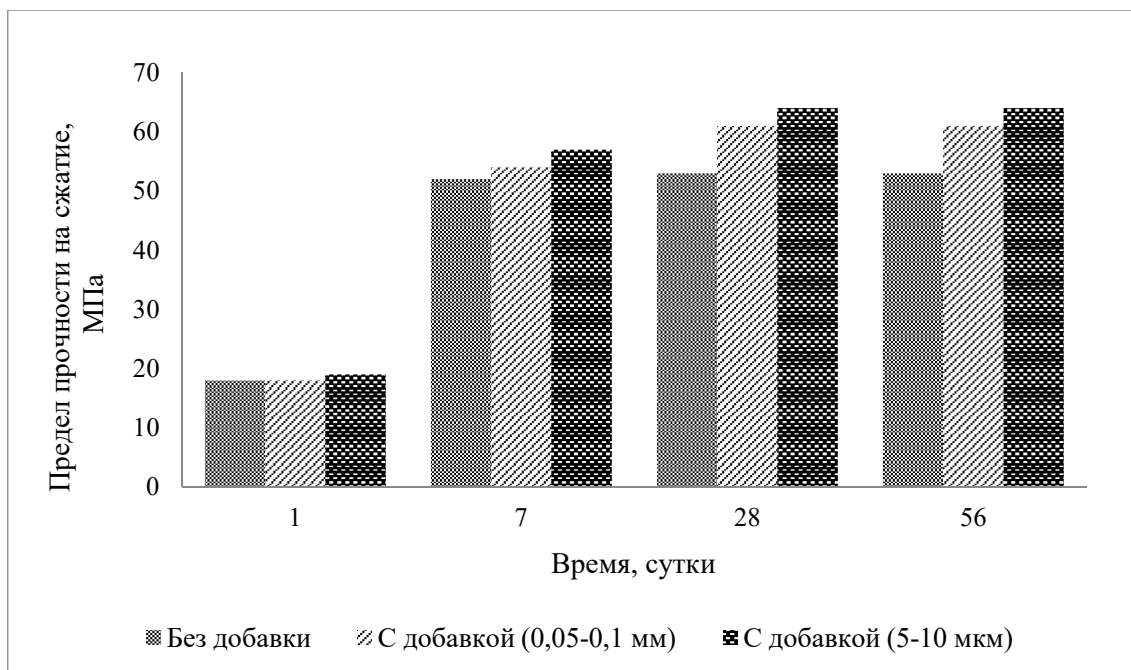


Рис. 5. Кинетика прочности портландцемента

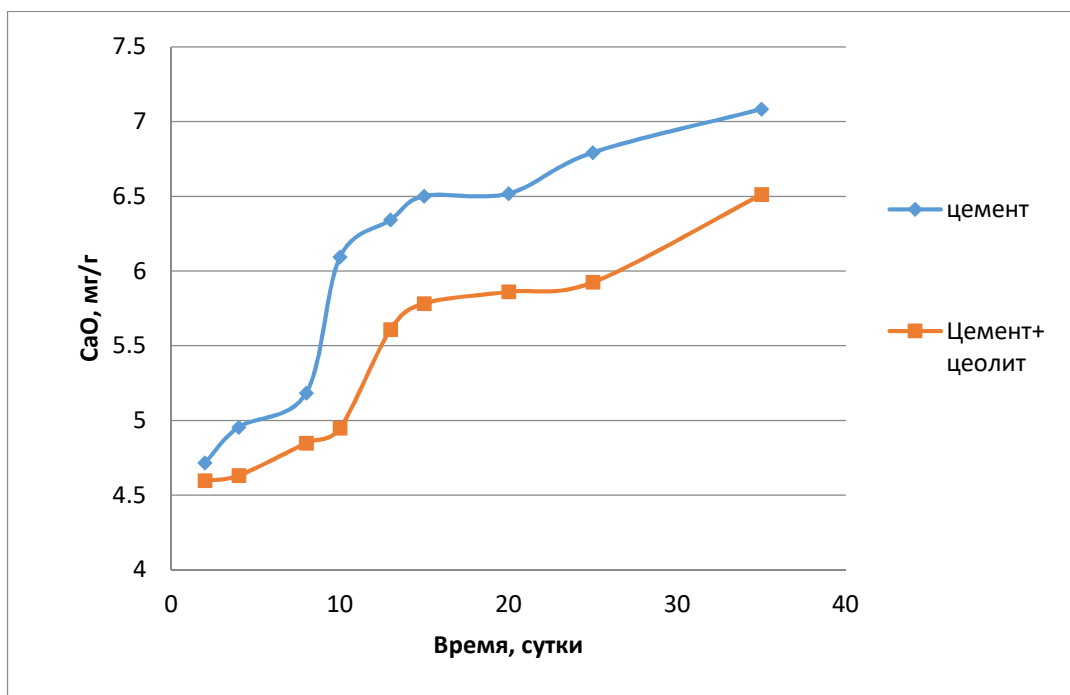


Рис. 6. Кинетика выщелачивания гидроксида кальция

Очевидно, что добавка цеолитового туфа приводит к значительному снижению скорости выщелачивания свободной извести из цементного камня. Природный цеолитовый туф, обладающий пуццолановой активностью, связывает гидроксид кальция в устойчивые низкоосновные гидросиликаты кальция.

Нами проведены визуальные наблюдения образцов цементного камня после 7, 14 и 28 суток твердения в условиях их погружения в дистиллированную воду. Фактически, таким образом мы

визуально оценивали влияние коррозии выщелачивания на внешний вид образцов. На рис. 7 приведены фотографии образцов бездобавочного цементного камня и с 5 %-ной добавкой цеолитового туфа (после твердения и выдерживания в воде в течение 28 суток).

Для образцов, содержащих добавку цеолитового туфа, характерна более ровная и гладкая поверхность кубиков цементного камня. На поверхности кубика без добавки видны белые пятна, свидетельствующие о процессах карбонизации.

Другими словами, визуальный анализ поверхности образцов подтверждает, что добавка цеолитового туфа подавляет коррозию выщелачивания.

Полученные нами данные по плотности и пористости цементного камня при введении 5 %-ной добавки цеолитового туфа (табл. 3) показали,

что, по-видимому, цеолитовый туф выступает в роли наполнителя пор, что приводит к уплотнению цементного камня, уменьшению пористости и, как следствие, способствует набору прочности на сжатие

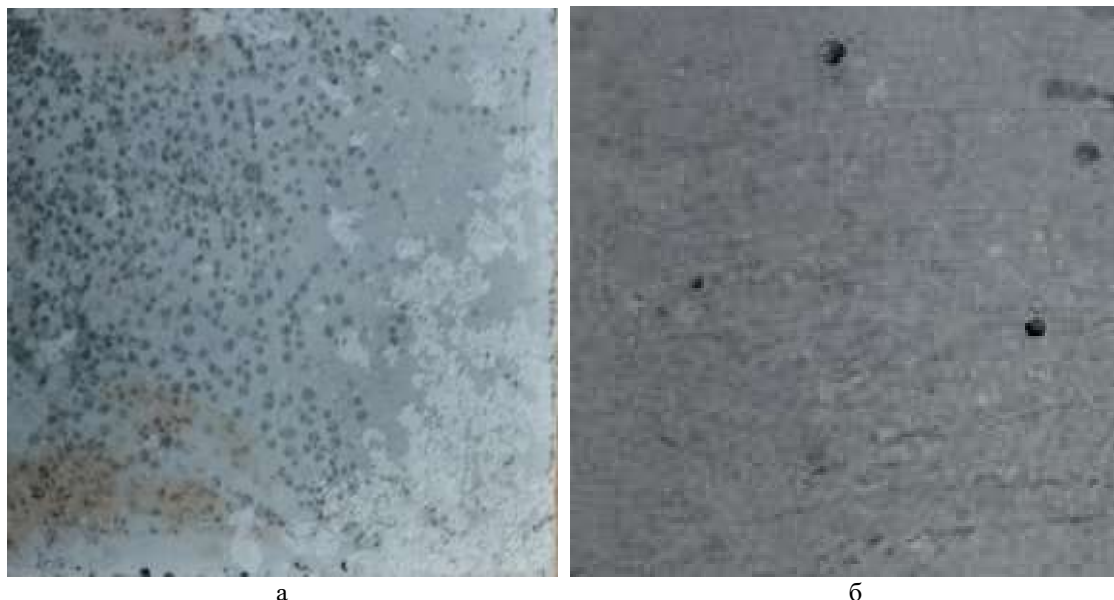


Рис. 7. Образцы цементного камня в возрасте 28 суток а) без добавки, б) с добавкой цеолитового туфа

Таблица 3

#### Пористость цементного камня

Характеристика	Портландцемент	Портландцемент с добавкой цеолитового туфа
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,46	2,32
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,11	2,14
Полный объем пор, %	14,56	7,89
Объем открытых капиллярных пор, %	11,76	4,87
Объем межзерновых пустот, %	1,19	0,56
Объем условно-закрытых пор, %	1,61	2,46

#### Выводы:

1. Оценена активность цеолитового туфа Люльинского месторождения ХМАО-Югры по отношению к ионам кальция и сульфат-ионам. Компоненты цеолитового туфа (цеолиты клиноптилолит и гейландит, а также глинистые минералы монтмориллонит и мусковит) связывают эти ионы в малорастворимые продукты, отличающиеся повышенной прочностью и химической устойчивостью.

2. Установлен фазовый состав цементного камня без добавки и с добавкой цеолитового туфа. Динамика фазового состава показала, что добавка цеолитового туфа способствует гидролизу алита. При этом увеличивается содержание гидрокосульфатоалюмината кальция.

3. Оценена динамика прочности на сжатие цементного камня без добавки и с добавкой цеолитового туфа. В возрасте 28 суток упрочнение за счет использования добавки составляет 21 %.

4. Изучена кинетика выщелачивания гидроксида кальция из цементного камня без добавки и в присутствии добавки цеолитового туфа. Добавка цеолитового туфа приводит к значительному снижению скорости выщелачивания свободной извести из цементного камня, что указывает на антикоррозионные свойства добавки.

5. Визуально оценено влияние коррозии выщелачивания на внешний вид образцов. Наличие характерных белых пятен, образовавшихся в результате коррозии выщелачивания на поверхности образцов, и их отсутствие на поверхности образцов с добавкой однозначно указывает на антикоррозионные свойства добавки цеолитового туфа.

6. Прокаливание цеолитового туфа практически не оказывает влияния на его свойства как добавки к портландцементу.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимбаев Ш.М., Толпыгина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей // Белгород: Изд-во БГТУ. 2015. 321 с.
2. Aprea P., Caputo D., Gargiulo N., de Gennaro B., Iucolano F., Liguori B., Colella C. Ion exchange kinetics and thermodynamics of hydrosodalite, a narrow pore zeolite // *Journal of Porous Materials*. 2014. Vol. 21. Pp. 643–651. doi: 10.1007/s10934-014-9810-y.
3. Liguori B., Cassese A., Colella C. Safe immobilization of Cr(III) in heat-treated zeolite tuff compacts // *Journal of Hazardous Materials*. 2006. Vol. 137. Iss. 2. Pp. 1206–1210. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.004
4. Liguori B., Ferone C., Anaclerio S., Colella C. Monoclinic Sr-celsian by thermal treatment of Sr-exchanged zeolite A, LTA-type framework // *Solid State Ionics*. 2008. Vol. 179. Iss. 40. Pp. 2358–2364. doi: 10.1016/j.ssi.2008.09.006.
5. Liguori B., Caputo D., Iucolano F. Fiber-reinforced lime-based mortars: Effect of zeolite addition // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 77. Pp. 455–460. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.067.
6. Ahmadi B., Shekarchi M. Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material // *Cement and Concrete Composites*. 2010. Vol. 32. Iss. 2. Pp. 134–141. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.10.006.
7. Смородинова Т.Н., Котванова М.К. Состав и молекулярно-сорбционные свойства цеолитового туфа месторождения реки Большая Люля // *Вестник Югорского государственного университета*. 2017. № 3(46). С. 21–25.
8. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р., Стоянов О.В. Влияние добавки в портландцемент прокаленной и молотой полиминеральной каолинитсодержащей глины на прочность цементного камня // *Вестник технологического университета*. 2015. Том 18. №5. С. 80–83.
9. Rodriguez-Camacho R.E., Uribe-Afif R. Importance of using the natural pozzolana on concrete durability // *Cement and concrete research*. 2002. Vol. 32. Iss. 12. Pp. 1851–1858.
10. Małolepszy J., Grabowska E. Sulphate attack resistance of cement with zeolite additive // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 108. Pp. 170–176.
11. Ramezani-pour A.A., Kazemian A., Sarvari M., Ahmadi B. Use of natural zeolite to produce self-consolidating concrete with low portland cement content and high durability // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2013. Vol. 25. Iss. 5. Pp. 589–596. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000621.
12. Yilmaz B., Uçar A., Öteyaka B., Uz V. Properties of zeolitic tuff (clinoptilolite) blended portland cement // *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Iss. 11. Pp. 3808–3815. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.11.006.
13. Özen S., Göncüoğlu M.C., Liguori B., De Gennaro B., Cappelletti P., Gatta G.D., Iucolano F., Colella C. A comprehensive evaluation of sedimentary zeolites from Turkey as pozzolanic addition of cement-and lime-based binders // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105. Pp. 46–61. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.055.
14. Liguori B., Iucolano F., De Gennaro B., Marroccoli M., Caputo D. Zeolitized tuff in environmental friendly production of cementitious material: Chemical and mechanical characterization // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 99. Pp. 272–278. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.09.035.
15. Caputo D., Liguori B., Colella C. Some advances in understanding the pozzolanic activity of zeolites: The effect of zeolite structure // *Cement and Concrete Composites*. 2008. Vol. 30. Iss. 5. Pp. 455–462. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.08.004.
16. Liguori B., Iucolano F., Caputo D., Colella C. LTA zeolite as pozzolanic addition for hydraulic mortars: An effective, promising use // *Advanced Porous Materials*. 2013. Vol. 1. №1. Pp. 129–135. doi: 10.1166/apm.2013.1007.
17. Chen J.J., Ng P.L., Li L.G., Kwan A.K.H. Use of superfine zeolite in conjunction with silica fume—Effects on rheology and strength of cementitious paste // *Powder Technology*. 2018. Vol. 328. Pp. 75–83. doi: 10.1016/j.powtec.2018.01.008.
18. Coppola L., Bellezze T., Belli A., Bignozzi M.C., Bolzoni F., Brenna A., Cabrini M., Candamano S., Cappai M., Caputo D., et al. Binders alternative to Portland cement and waste management for sustainable construction—Part 2 // *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*. 2018. Vol. 16. Pp. 207–221. doi: 10.1177/2280800018782852.
19. Coppola L., Bellezze T., Belli A., Bignozzi M.C., Bolzoni F., Brenna A., Cabrini M., Candamano S., Cappai M., Caputo D., et al. Binders alternative to Portland cement and waste management for sustainable construction—Part 1 // *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*. 2018. Vol. 16. Pp. 186–202. doi: 10.1177/2280800018782845.
20. Liguori B., Aprea P., Gennaro B., Iucolano F., Colella A., Caputo D. Pozzolanic Activity of Zeolites: The Role of Si/Al Ratio // *Materials*. 2019. №12. Pp. 1–16. doi: 10.3390/ma12244231.
21. Смородинова Т.Н., Котванова М.К. Упрочняющие минеральные добавки на основе цеолитовых туфов // *Мир современной науки*. 2018. №6(52). С. 26–32.
22. Смородинова Т.Н., Котванова М.К. Региональные цеолитовые туфы как эффективные добавки к цементам // *Вестник Югорского государственного университета*. 2016. № 3(42). С. 20–25.

## Информация об авторах

**Смородинова Татьяна Николаевна**, старший преподаватель института нефти и газа.  
E-mail: tata86nv@rambler.ru. Югорский государственный университет. Россия, 628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16.

**Котванова Маргарита Кондратьевна**, кандидат химических наук, доцент института нефти и газа.  
E-mail: kotvanova@mail.ru. Югорский государственный университет. Россия, 628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16.

Поступила 10.07.2020 г.

© Смородинова Т.Н., Котванова М.К., 2020

**Smorodinova T.N., \*Kotvanova M.K.**

Yugra State University

\*E-mail: kotvanova@mail.ru

## POZZOLANE AND CORROSION-INHIBITING PROPERTIES OF THE NATURAL ZEOLITE TUFF

**Abstract.** In this article the activity of the zeolite tuff of the Lulinsky deposit of Khanty-Mansiysk autonomous okrug –Yugra to calcium and sulfate ions has been evaluated. The components of zeolite tuff bind these ions to sparingly soluble products. The experimental results obtained show that tuff can be used as a natural pozzolan. Concerning the reaction products, the dynamics of the phase composition of cement paste with the zeolite tuff additives during hardening is shown. Supplementation promotes hydrolysis of alite, while the content of calcium hydrosulfoaluminate increases. The dynamics of strength and the compression of cement paste without an additive and with the zeolite tuff additive are estimated. The possibility and efficiency of using of zeolite tuff as a reinforcing additive to Portland cement is shown. It was found that a 5 % zeolite tuff additive with a particle size of 5-10  $\mu\text{m}$  at 7 days increases the compressive strength by 15 %, and at 28 days by 21 %. The study of the calcium hydroxide leaching kinetics from cement stone is showed that a 5 % zeolite tuff additive leads to suppression of the leaching process and indicates anticorrosion properties of additives.

**Keywords:** zeolite, pozzolans, alkaline corrosion, cement, compressive strength, porosity

### REFERENCES

- Rahimbaev S.M., Tolykina N.M. Improving the corrosion resistance of concrete by rational selection of binder and aggregates [Povysheniye korroziynoy stoykosti betonov putem ratsionalnogo vybora vyazhushchego i zapolniteley]. Belgorod: BGTU. 2015, 321 p. (rus)
- Apra P., Caputo D., Gargiulo N., de Genaro B., Iucolano F., Liguori B., Colella C. Ion exchange kinetics and thermodynamics of hydrosodalite, a narrow pore zeolite. Journal of Porous Materials. 2014. Vol. 21. Pp. 643–651. doi: 10.1007/s10934-014-9810-y.
- Liguori B., Cassese A., Colella C. Safe immobilization of Cr(III) in heat-treated zeolite tuff compacts. Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 137. Iss. 2. Pp. 1206–1210. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.004
- Liguori B., Ferone C., Anaclerio S., Colella C. Monoclinic Sr-celsian by thermal treatment of Sr-exchanged zeolite A, LTA-type framework. Solid State Ionics. 2008. Vol. 179. Iss. 40. Pp. 2358–2364. doi: 10.1016/j.ssi.2008.09.006.
- Liguori B., Caputo D., Iucolano F. Fiber-reinforced lime-based mortars: Effect of zeolite addition. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 77. Pp. 455–460. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.067.
- Ahmadi B., Shekarchi M. Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material. Cement and Concrete Composites. 2010. Vol. 32. Iss. 2. Pp. 134–141. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.10.006.
- Smorodinova T.N., Kotvanova M.K. Composition and molecular-sorption properties of the zeolite tuff of the deposit near the Great Lulya river [Sostav i molekulyarno-sorbtsionnyye svoystva tseolitovogo tufa mestorozhdeniya reki Bolshaya Lyulia]. Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. No. 3(46). Pp. 21–25. (rus)
- Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gayfullin A.R., Stoyanov O.V. The effect of additives in Portland cement on calcined and ground polymineral kaolinite-containing clay on the strength of cement stone [Vliyaniye dobavki v portlandtsement prokalennoy i molotoy polimineralnoy kaolinitsooderzhashchey gliny na prochnost tsementnogo kamnya]. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2015. Vol. 18. No.5. Pp. 80–83. (rus)
- Rodriguez-Camacho R.E., Uribe-Afif R. Importance of using the natural pozzolana on concrete



durability. Cement and concrete research. 2002. Vol. 32. Iss. 12. Pp. 1851–1858.

10. Małolepszya J., Grabowska E. Sulphate attack resistance of cement with zeolite additive. Procedia Engineering. 2015. Vol. 108. Pp. 170–176.

11. Ramezani-pour A.A., Kazemian A., Sarvari M., Ahmadi B. Use of natural zeolite to produce self-consolidating concrete with low portland cement content and high durability. Journal of Materials in Civil Engineering. 2013. Vol. 25. Iss. 5. Pp. 589–596. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000621.

12. Yilmaz B., Uçar A., Öteyaka B., Uz V. Properties of zeolitic tuff (clinoptilolite) blended portland cement. Building and Environment. 2007. Vol. 42. Iss. 11. Pp. 3808–3815. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.11.006.

13. Özen S., Göncüoğlu M.C., Liguori B., De Gennaro B., Cappelletti P., Gatta G.D., Iucolano F., Colella C. A comprehensive evaluation of sedimentary zeolites from Turkey as pozzolanic addition of cement-and lime-based binders. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 105. Pp. 46–61. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.055.

14. Liguori B., Iucolano F., De Gennaro B., Marroccoli M., Caputo D. Zeolitized tuff in environmental friendly production of cementitious material: Chemical and mechanical characterization. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 99. Pp. 272–278. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.09.035.

15. Caputo D., Liguori B., Colella C. Some advances in understanding the pozzolanic activity of zeolites: The effect of zeolite structure. Cement and Concrete Composites. 2008. Vol. 30. Iss. 5. Pp. 455–462. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.08.004.

16. Liguori B., Iucolano F., Caputo D., Colella C. LTA zeolite as pozzolanic addition for hydraulic

mortars: An effective, promising use. Advanced Porous Materials. 2013. Vol. 1. No. 1. Pp. 129–135. doi: 10.1166/apm.2013.1007.

17. Chen J.J., Ng P.L., Li L.G., Kwan A.K.H. Use of superfine zeolite in conjunction with silica fume—Effects on rheology and strength of cementitious paste. Powder Technology. 2018. Vol. 328. Pp. 75–83. doi: 10.1016/j.powtec.2018.01.008.

18. Coppola L., Bellezze T., Belli A., Bignozzi M.C., Bolzoni F., Brenna A., Cabrini M., Candamano S., Cappai M., Caputo D., et al. Binders alternative to Portland cement and waste management for sustainable construction—Part 2. Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials. 2018. Vol. 16. Pp. 207–221. doi: 10.1177/2280800018782852.

19. Coppola L., Bellezze T., Belli A., Bignozzi M.C., Bolzoni F., Brenna A., Cabrini M., Candamano S., Cappai M., Caputo D., et al. Binders alternative to Portland cement and waste management for sustainable construction—Part 1. Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials. 2018. Vol. 16. Pp. 186–202. doi: 10.1177/2280800018782845.

20. Liguori B., Aprea P., Gennaro B., Iucolano F., Colella A., Caputo D. Pozzolanic Activity of Zeolites: The Role of Si/Al Ratio. Materials. 2019. No.12. Pp. 1–16. doi: 10.3390/ma12244231.

21. Smorodina T.N., Kotvanova M.K. Strengthening mineral additives based on zeolite tuffs [Uprochnyayushchiye mineralnyye dobavki na osnove tseolitovykh tufov]. Mir sovremennoy nauki. 2018. No.6(52). Pp. 26–32. (rus)

22. Smorodina T.N., Kotvanova M.K. Regional zeolitic tuffs as effective additions to cements [Regionalnyye tseolitovyye tuffy kak effektivnyye dobavki k tsementam]. Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2016. No.3 (42). Pp. 20–25. (rus)

#### Information about the authors

**Smorodina, Tatiana N.** Senior lecturer. E-mail: tata86nv@rambler.ru. Yugra State University, Russia, 628012, Khanty-Mansiysk, st. Chekhova, 16.

**Kotvanova, Margarita K.** PhD, Assistant professor. E-mail: kotvanova@mail.ru. Yugra State University, Russia, 628012, Khanty-Mansiysk, st. Chekhova, 16

Received 10.07.2020

#### Для цитирования:

Смородинова Т.Н., Котванова М.К. Пуццолановые свойства природного цеолитового туфа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 8. С. 78–86. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-78-86

#### For citation:

Smorodina T.N., Kotvanova M.K. Pozzolane and corrosion-inhibiting properties of the natural zeolite tuff. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 8. Pp. 78–86. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-78-86