

**Янковский Леонид Вацлавович**  
Yankovsky Leonid Vaslavovich  
ФГБОУ ВПО «Пермский национальный  
исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ).  
Канд. техн. наук, доцент  
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer  
E-mail: yanekperm@yandex.ru

## **Исследование влияния климата на структуру и характер новообразований в элементах цементобетонных конструкций**

Research influence climate on structure and character of new growths in elements of  
concrete designs

**Аннотация:** Представленные результаты петрографического анализа подтверждают, что качество новообразований в бетоне под воздействием климата, не меняется. Меняется структура новообразований и количество их. Бетоны, твердевшие под воздействием климата характерны мелкокристаллической структурой, как бы пронизанной сеткой микротрещин, которые образовались после первого месяца твердения, постольку они не заполнены продуктами гидратации цемента. Следовательно, подтверждается предположение о развитии, появлении новых и накоплении микродефектов в бетонах под воздействием климатической среды.

**The Abstract:** The presented results of the petrographic analysis confirm that quality new growths in concrete under the influence climate, doesn't change. The structure of new growths and quantity them changes. The concrete hardening under the influence climate are characteristic the small crystal structure as though penetrated by a grid microcracks which were formed after the first month a solidification so far as they aren't filled with products hydration cement. Therefore, the assumption about development, emergence new and accumulation micro defects in concrete under the influence of the climatic environment proves to be true.

**Ключевые слова:** Бетон, гидратация, твердение, воздействие климата, пластификатор.

**Keywords:** Concrete, hydration, solidification, climate influence, softener.

\*\*\*

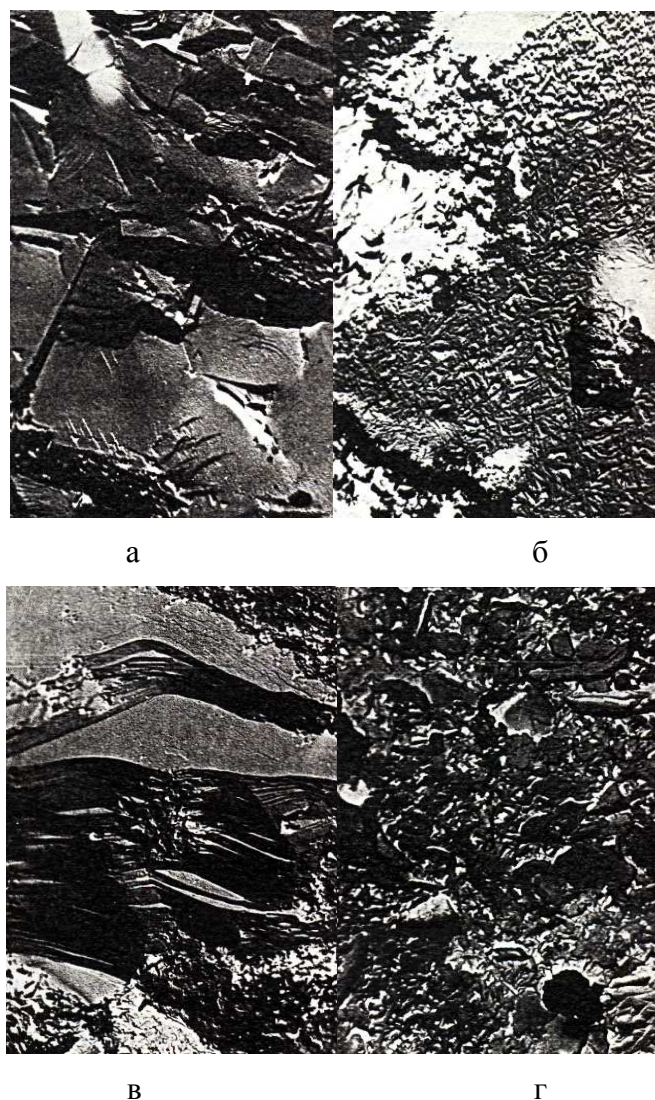
## **Исследование влияния климата на структуру и характер новообразований в элементах цементобетонных конструкций**

В настоящее время скорость разрушения бетонных сооружений выше, чем в прошлом. Разрушаются бетоны как естественного твердения (монолитные) так и пропаренные (конструкций заводского изготовления). Всё чаще фиксируются случаи отсутствия прироста прочности бетона во времени. По оценкам специалистов, в РФ до 75% зданий и сооружений, в том числе мостов и дорог, подвергаются агрессивным природным воздействиям, в том числе и климатическим. Систематическое воздействие изменяющихся параметров реальной климатической среды на бетон конструкции способствует развитию микро- и макро дефектов в бетоне, что приводит к снижению долговечности конструкции или сооружения [1, 2, 3]. Неблагоприятное воздействие климата на бетон должно быть учтено, особенно при проектировании и

эксплуатации конструкций и сооружений, к которым предъявляются повышенные требования с точки зрения эксплуатационной надёжности: транспортные, гидротехнические и другие сооружения, что требует тщательного изучения изменения структуры и свойств цементных бетонов в природных климатических условиях[4, 5].

Результаты петрографического анализа, представленные в таблице, показывают, что реальные климатические воздействия оказывают существенное влияние на структуру бетона.

Как видно на рисунке 1, в пропаренных бетонах под воздействием климата уменьшилось количество новообразований, в 2 раза больше непрогидратированных реликтов, увеличилась пористость и размеры пор, увеличилось количество микротрещин преимущественно полых или частично заполненных новообразованиями.



**Рис. 1.** Микроструктура цементного камня ( $\times 10000$ ) пропаренного бетона твердевшего 34 месяца в нормальных условиях (а) и под воздействием климата (б) и микроструктура цементного камня бетона с добавкой ПЯ-01 твердевшего 34 месяца в нормальных условиях (в) и под воздействием климата (г).

Аналогичный характер имеет влияние климата на структуру бетона пластифицированного добавкой ПЯ-01 (таб. 1), но при этом обращает на себя внимание уменьшение новообразования, увеличение количества непрогидратировавших реликтов, увеличение пористости и размеров пор и для бетона, твердевшего в нормальных условиях.

Таблица 1

**Характеристики структуры бетона в возрасте 2 года 10 месяцев**

Характеристики	Бетон пропаренный		Бетон с добавкой ПЯ-01 пропаренный	
	нормального твердения	твердевший под воздействием климата	нормального твердения	твердевший под воздействием климата
Негидратированные реликты, %	3-5	7-10	12-14	15
Размер реликтов, микрон			10-20	5-25
Новообразования, %	15-20	15	10-15	10
Гидрогель, %	7-8	5	3-5	5
Гидросиликаты и гидроокись, %	7-8	8-10	2-3	1,5-2
Гидросульфалюминат, %	3,5	0,5	3,5-3	1,5
Размер зерен новообразований, микрон	10-15	5-10	10	5-10
Пористость, %	1	5-7	3-5	5-7
Размеры пор, микрон	до 70	80-180	50-300	60-500
Ширина микротрещин, микрон	10-12		10-12	5-10

В отличие от бетонов твердевших под воздействием климата, в бетонах нормального твердения, контакты заполнителя с цементным камнем более плотные, макротрещины полностью или частично заполнены новообразованиями (рис. 1, а). Во всех случаях содержание заполнителя составляло 70-75%, минеральный состав заполнителя одинаков. Структура цементного камня макрозернистая. Текстура относительно пористая, трещиноватая. Реликты представлены сростками-агрегатами высокоосновного и низкоосновного силикатов кальция размерами 5-25 микрон.

Гидратные процессы, прослеживаются относительно равномерно. Из новообразований отмечены гидрогель, гидросиликаты, гидроокись кальция, гидросульфалюминат и в незначительном количестве вторичный карбонат.

Гидрогель представлен мельчайшими частицами слабо бурого цвета.

Гидросиликаты и гидроокись кальция представлены мельчайшими зернами 1-2 мкм, наблюдаемыми в цементном камне, реже на контактах заполнитель - цементный камень.

Гидросульфалюминат представлен зернами нитеобразной, игольчатой формы размерами 1-10 микрон, наблюдается преимущественно на контакте цементный камень - заполнитель в микротрещинах, реже в цементном камне.

Вторичный карбонат наблюдается вокруг мелкого заполнителя и корродирует его.

Микротрещины наблюдаются преимущественно на контактах заполнитель - цементный камень, а в бетонах, подвергшихся воздействию климата, они нередко переходят в цементный, камень, образуя как бы трещиноватую структуру.

Поры в основном круглые, изометричные, реже овальные, закрытые и лишь изредка сообщающиеся. Отдельные поры в бетонах, подвергшихся воздействию реальной климатической среде, соединены микротрещинами.

Наиболее плотная структура характерна для пропаренных образцов с добавкой нормальных условий твердения (рис. 1 а, в). Здесь крупные слоевые кристаллы сочетаются с плотной структурой гидросиликатов. Структура того же бетона, твердевшего под воздействием климатической, среды (рис. 1 б, г) характерна наличием большого количества зародышей кристаллизации. Возможно, это связано с условиями твердения этих образцов, т.е. воздействием климатической среды, которая способствовала возникновению зародышей (интенсификация реакции гидратации цемента в начальный период) и препятствовала их росту (замедление или прекращение гидратации). По-видимому, определенную роль сыграла и добавка ПЯ-01 (рис. 1 в, г). В меньшей степени аналогичная картина наблюдается в образцах из пропаренного бетона, твердевших под воздействием климата (рис. 1 б), в которых крупные кристаллы несут в себе отпечатки зародышей кристаллизации и представлены блоками прерывистой слоистой структуры, состоящей из призматических кристаллов портландита и гидросульфоалюмината. Окружающая кристаллы гидросиликатная масса, представлена чешуйчато глобулярной структурой, характерной для аморфной фазы.

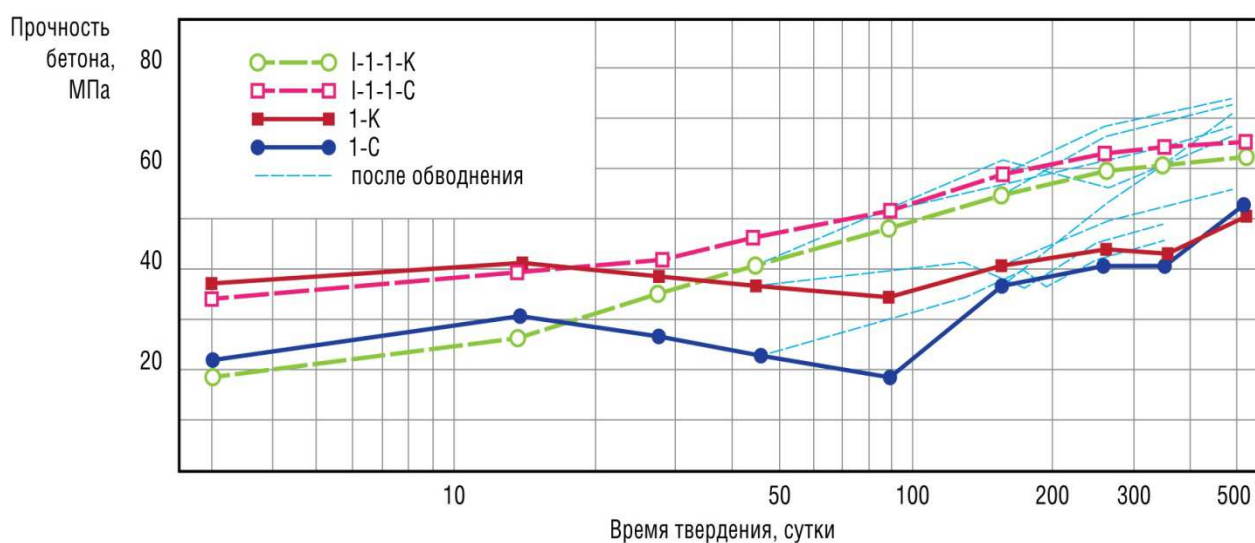
Таким образом, результаты петрографического анализа подтверждают, что качество новообразований под воздействием климата, не меняется. Меняется структура новообразований и количество их. Бетоны, твердевшие под воздействием климата характерны мелкокристаллической структурой, как бы пронизанной сеткой микротрещин, которые образовались после первого месяца твердения, постольку они не заполнены продуктами гидратации цемента.

Следовательно, подтверждается высказанное нами ранее предположение о развитии, появлении новых и накоплении микродефектов в бетонах под воздействием климатической среды.

Пластификация бетонной смеси добавкой ПЯ-01 повлекла за собой увеличение количества непрогидратированных реликтов и пористости зрелого бетона, твердевшего в нормальных условиях, а также бетона, испытывающего воздействие климатической среды.

Рассмотрим теперь влияние обводнения на некоторые свойства цементобетонов.

Результаты эксперимента, представленные на рисунке 2, показывают, что образцы бетона, претерпевшие воздействие климата в течение 46 суток и обводненные, свои прочностные свойства не восстанавливают.

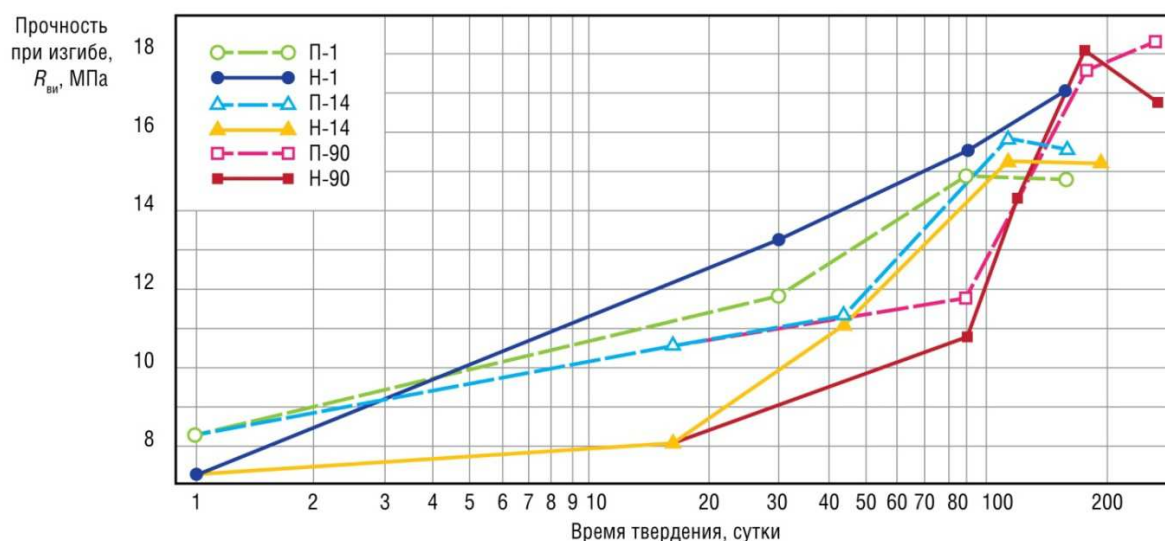


**Рис. 2.** Влияние обводнения бетона в возрасте 46 и 180 суток на его прочность: 1-1-1-к образцы бетона нормального твердения; 1-1-1-с образцы бетона, твердевшие в условиях климата; 1-к образцы бетона пропаренные; 1-с образцы бетона, пропаренные с последующим твердением в условиях климата.

В это же время образцы, претерпевшие негативное воздействие климата в течение 180 суток, а затем обводненные, отличаются значительным приростом прочности.

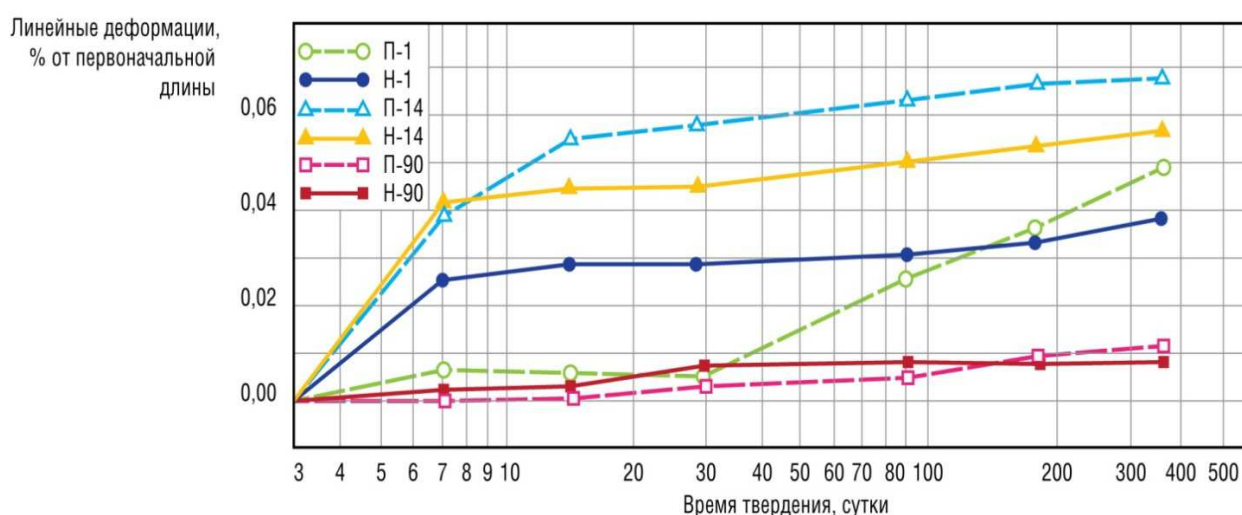
Анализ водопоглощения показывает, что дефектность структуры бетонов, обводненных в возрасте 180 суток, меньше, чем дефектность структуры бетонов, обводненных в возрасте 46 суток. Снижение прочностных характеристик бетона при обводнении в возрасте 46 суток может быть объяснено расклинивающим действием воды в период преобладания в бетоне процессов деструкции. В возрасте же 180 суток, в связи с изменением параметров климата (увеличение влажности и уменьшение температуры воздуха), в бетоне преобладали процессы самозалечивания, которые сопровождалась уменьшением величины и количества дефектов.

Анализ результатов испытания балочек из цементно-песчаного раствора, представленный на рисунке 3, показывает, что наихудшие результаты показывали образцы обводненные в возрасте 14 суток и пропаренные образцы, которые в течении 1 суток испытывали действие климата. Наиболее высокая прочность достигнута образцами, которые 90 суток хранились в реальной климатической среде. Причем, в этом случае пропаренные образцы показали прочность несколько выше, чем не пропаренные.



**Рис. 3.** Кинетика изменения  $R_{вн}$  растворных образцов при выдерживании в реальной климатической среде и последующим обводнением ( $H_2O$ ): П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде.

Пропаренные образцы, подвергнутые обводнению после суток хранения во влажно-воздушных условиях, в возрасте 180 суток имели прочность на 13,36% меньше, чем не пропаренные, что свидетельствует о наличии дефектов структуры приобретенных в процессе пропарки. В процессе выдерживания образцов в реальной климатической среде развиваются дефекты структуры, что доказывается результатами измерения линейных деформаций образцов при выдерживании их в воде (рис. 4).



**Рис. 4.** Линейные деформации растворных образцов при обводнении ( $H_2O$ ): П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде.

Максимальная величина линейных деформаций наблюдалась в образцах, которые в течение 14 суток находились на солнце, причем во всех случаях деформации пропаренных образцов оказались больше.

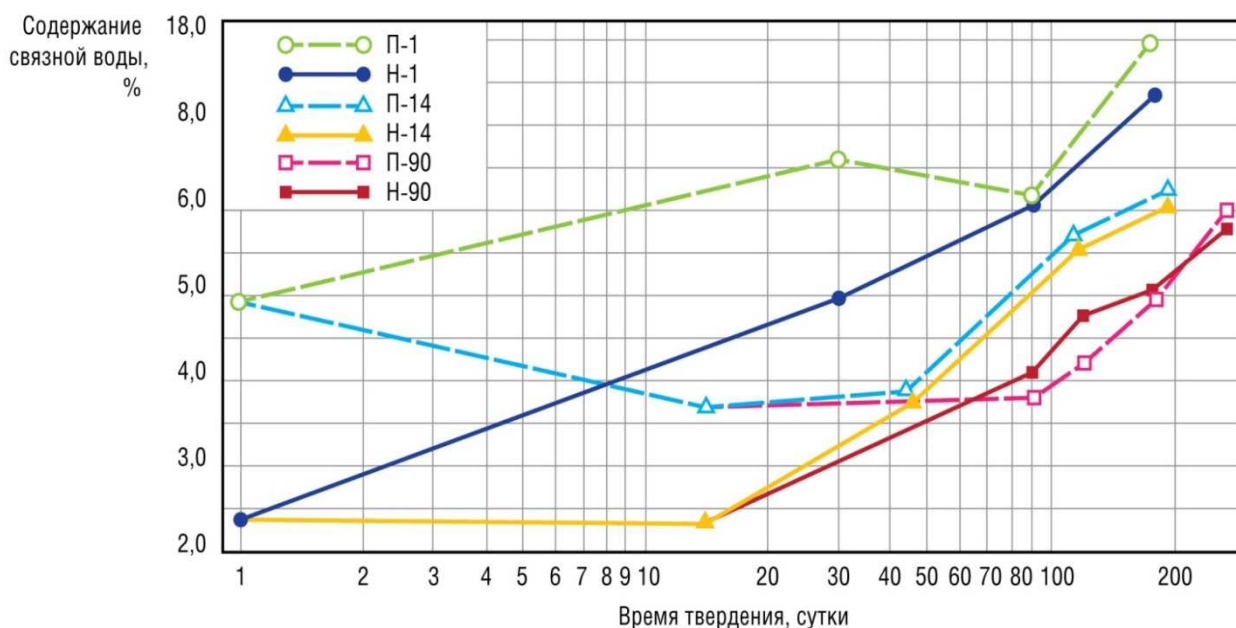
Для растворных образцов с увеличением выдерживания в реальной климатической среде характерно резкое снижение количества свободной извести в наружных слоях (табл. 2). При этом выдержка в воде после 90 суточного хранения на солнце для образцов нормального предварительного твердения приводит к потере свободной извести, а в пропаренных образцах практически не меняет её содержание.

Таблица 2

**Содержание связанной воды в образцах 2x2x10 см различных условий предварительного хранения при твердения в воде**

Наименование проб	Слой образцов	Условия предварительного твердения	рез сутки влажностного хранения	Водное твердение			4 уток твердения на солнце	Водное твердение			0 суток твердения на солнце	Водное твердение		
				ес	ес	ес		ес	ес	ес		ес	ес	ес
Д - Н	Наружный	Нормальные	,4	,92	,00	,24	,32	,72	,52	,95	,08	,72	,00	,7
	Внутренний		,68	,84	,20	,64	,32	,92	,72	,02	,88	,80	,30	,2
Д - П	Наружный	Пропаренные	,88	,52	,04	,92	,68	,84	,64	,14	,76	,16	,96	,8
	Внутренний		,44	,48	,04	,92	,28	,60	,72	,32	,08	,02	,38	,8

Данные, приведенные на рисунке 5, показывают, что чем больше возраст раствора к началу обводнения, тем меньше воды удастся связать, то есть влияние климата на степень гидратации цемента компенсировать посредством обводнения удастся только частично.



**Рис. 5.** Содержание связанной воды в наружных слоях растворных образцов при выдерживании их в реальной климатической среде с последующим обводнением: П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде.

Причем, выдержка в реальной климатической среде в течение 14 суток сопровождалась уменьшением содержания связанной воды. Можно предположить, что в возрасте 14 суток процесс деструкции доминирует, часть деструктивных процессов, по-видимому, необратима и последствия её обводнением не устраняются.

### ВЫВОДЫ:

1. Закономерность изменения характеристик свойств и структуры бетонов, испытывающих воздействие климата, связана с изменением параметров климата, но при этом существенно отличается от закономерности присущей бетонам, которые после изготовления твердели в нормальных условиях.
2. Тепловлажностная обработка уменьшает чувствительность бетона к воздействию климата, но понижает сульфатостойкость и способствует появлению начальных дефектов структуры. Пластификация бетона добавкой ПЯ-01 приводит к повышению чувствительности бетона к негативному воздействию климата: увеличиваются количество и размеры пор, количество непрогидратированных реликтов, уменьшаются прочностные характеристики.
3. Циклическое воздействие негативных факторов климатической среды приводит к развитию микродефектов, приобретенных бетоном в процессе изготовления и появлению новых.
4. При сезонном изменении климатических условий негативные последствия воздействия сухого периода на бетоны устраняются частично. В бетонах происходит накопление дефектов.
5. Уровень информативности характеристик свойств бетонов, испытывающих воздействие климатической среды, различен. В наружных слоях бетонов, испытывающих воздействие природных условий климата, после 1 месяца процесс гидратации, приостанавливается.



Под воздействием климата меняется количественный, а не качественный состав новообразований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В. Проблемы долговечности цементных бетонов // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 38-41.
2. Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е., Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Шашков И.Г. Состояние современного методического обеспечения расчета и конструирования дорожных одежд // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 65-74.
3. Межнякова А.В., Овчинников И.Г. Методы оценки долговечности армированных конструкций при действии нагрузок и агрессивных сред // Промышленное и гражданское строительство. — 2008. — № 8. — С. 44–45.
4. Янковский Л.В. К вопросу оценки и прогноза состояния цементных бетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата Урала и Сибири // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. — 2012. — №2. — С. 86–95.
5. Челпанов И.Б., Евтеева С.М., Талалай В.В., Кочетков А.В., Юшков Б.С. Стандартизация испытаний строительных, дорожных материалов и изделий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2011. № 2. С. 57-68.