

УДК 622.281.4:693.546.3

**А.С. Курилко, А.В. Дроздов, К.Н. Алексеев, А.Д. Никифорова**  
**ВЛИЯНИЕ ХЛОРИДНЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ РАССОЛОВ**  
**НА ПРОЧНОСТЬ ТОРКРЕТ-БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО**  
**НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ**  
**РУДНИКА «УДАЧНЫЙ»)**

*Приведен химический состав природного рассола отобранного с горизонта -380 абс. м рудника «Удачный», произведена оценка его агрессивности по отношению к бетону согласно СНиП 2.03.11-85. Исследовано влияние среды твердения (нормальные условия, рассол) и водоцементного отношения на предел прочности при сжатии различных составов торкрет-бетона изготовленного на местном заполнителе (отсев долеритового щебня производства АК «АПРОСА»). Приведено изменение содержания химических элементов рассола после хранения в нём исследуемых образцов торкрет-бетона в течение 28 суток. Предложены пути повышения коррозионной стойкости бетона. Полученные в ходе лабораторных исследований данные необходимо учитывать при производстве торкрет-бетонных работ на руднике «Удачный». Ключевые слова: торкрет бетон, заполнитель, отсев долеритового щебня, рассол, коррозия, прочность.*

---

**Р**удник «Удачный» входит в состав Удачинского ГОКа АК «АПРОСА» (ОАО) и в настоящее время находится в стадии строительства, возведение торкрет-бетонных крепей на руднике осуществлено на горизонте -380 м и в околоствольном дворе горизонта -580 м.

Подземные воды рудника «Удачный» представлены крепкими рассолами хлоридно-кальциевого состава с минерализацией солей до 410 г/дм<sup>3</sup>. Химический состав рассола, отобранного с горизонта -380 абс. м представлен в табл. 1.

Согласно критериям агрессивности вод по отношению к бетону [1] рассолы рудника «Удачный» агрессивны к бетонам любых марок водонепроницаемости по магнию (содержание >5 г/дм<sup>3</sup>) и суммарному содержанию хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей (содержание >70 г/дм<sup>3</sup>). В процессе эксплуатации в неблагопри-

ятных гидрогеохимических условиях рудника «Удачный» могут происходить следующие типы коррозии бетона [2]:

I тип – выщелачивание гидроксида кальция Ca(OH)<sub>2</sub>, составные части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Особенно интенсивно эти процессы могут протекать при фильтрации воды через толщу бетонной крепи.

II тип – обменные реакции между минералами цементного камня и солями магния подземных вод с образованием продуктов, не обладающих вяжущими свойствами.

Исходя из практического опыта, есть все основания полагать, что негативные воздействия подземных вод отрицательно скажутся на прочностных свойствах возведенной торкрет-бетонной крепи на руднике, сократят сроки эксплуатации, повысят расходы на её ремонт и т.д. В связи с этим, было исследовано влияние рассолов

Таблица 1

**Химический состав природных рассолов с рудника «Удачный»**

| № | Определяемые показатели    | Результаты исследований | Ед. изм.              | Нормативные документы на методы исследований |
|---|----------------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| 1 | Водородный показатель (Ph) | 5,9±0,2                 | един.                 | РД 52.24.495-05                              |
| 2 | Жесткость общая            | 5,0±0,75                | г-экв/дм <sup>3</sup> | ГОСТ Р 52407-2005                            |
| 3 | Хлориды                    | 197,0±19,7              | г/дм <sup>3</sup>     | ГОСТ Р 52181-03                              |
| 4 | Сульфаты                   | <0,5                    | г/дм <sup>3</sup>     |  |
| 5 | Нитраты                    | <0,5                    | г/дм <sup>3</sup>     |  |
| 6 | Натрий                     | 25,6±2,6                | г/дм <sup>3</sup>     | ПНД Ф 14.1:2:4.167-00                        |
| 7 | Кальций                    | 82,2±8,2                | г/дм <sup>3</sup>     |  |
| 8 | Калий                      | 14,2±1,1                | г/дм <sup>3</sup>     |  |
| 9 | Магний                     | 12,2±0,9                | г/дм <sup>3</sup>     |  |



**Рис. 1. Образование кристаллов соли на поверхности образцов, погруженных в рассол**



**Рис. 2. Кристаллы соли и белёсый налёт на образцах бетона**

рудника «Удачный» на прочность торкрет-бетонного покрытия. Для изготовления образцов торкрет-бетона были использованы следующие материалы:

- цемент марки М400 производства ОАО ПО «ЯКУТЦЕМЕНТ», насыпная плотность 1194,4 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность 3120,9 кг/м<sup>3</sup>;

- отсев долеритового (Д) щебня с месторождения «Диабазовое» АК «АЛРОСА», насыпная плотность 1887 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность 2988 кг/м<sup>3</sup>, М<sub>к</sub>=3,4, содержание ГИП=7,2 %; применяемый в качестве заполнителя торкрет-бетона на руднике «Удачный».

Изготовление образцов и исследование их прочностных характеристик проводилось в соответствии с нормативными документами ГОСТ 10180-90,

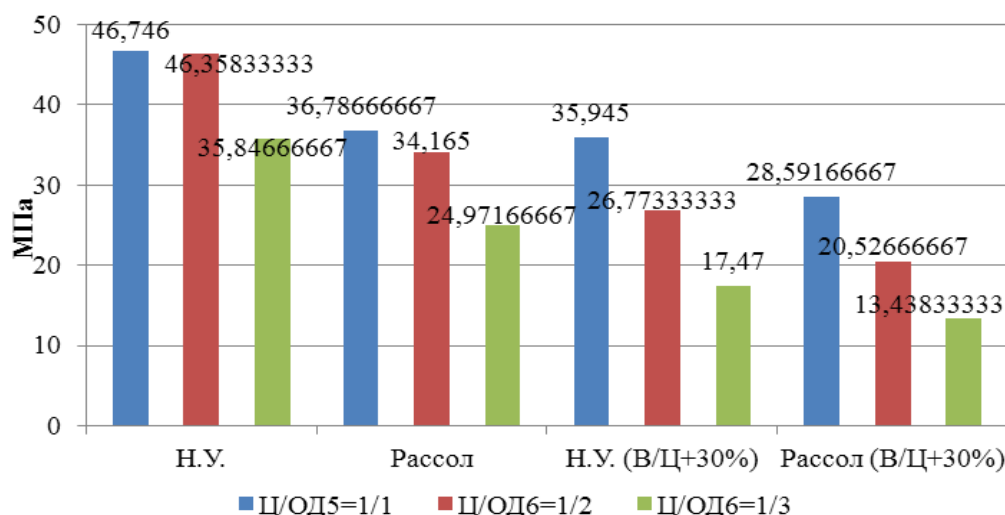
ГОСТ 310.4-81, ГОСТ 53231-2008. Для изготовления образцов использовали формы ФБС-3 (40×40×160 мм, 3 гнезда). Торкрет-бетонная смесь в формах уплотнялась на виброплощадке СМЖ-539, при изготовлении образцов использовался пригруз, обеспечивающий давление (4±0,5) кПа.

Образцы изготавливались при соотношений Ц:Д = 1:1, 1:2, 1:3 по объёму и разделялись на 4 серии. Первая серия образцов Расход воды для изготовления которых принимали близким к оптимальному, исходя из условия достижения максимальной плотности смеси, твердела в нормальных условиях (Н.У.) при 100 % влажности и t=20±1 °С; вторая серия твердела в рассоле привезенном с

Таблица 2

**Изменение химического состава рассола**

| № | Определяемые показатели    | Ед. изм.              | Состава рассола |                          | Увеличение/снижение, % |
|---|----------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
|   |                            |                       | Исходный        | После твердения образцов |                        |
| 1 | Водородный показатель (РН) | един.                 | 5,9             | 7,1                      | 20                     |
| 2 | Жесткость общая            | г-экв/дм <sup>3</sup> | 5               | 8                        | 60                     |
| 3 | Хлориды                    | г/дм <sup>3</sup>     | 197             | 240                      | 22                     |
| 4 | Сульфаты                   | г/дм <sup>3</sup>     | <0,5            | <0,5                     | -                      |
| 5 | Нитраты                    | г/дм <sup>3</sup>     | <0,5            | <0,5                     | -                      |
| 6 | Натрий                     | г/дм <sup>3</sup>     | 25,6            | 9                        | -65                    |
| 7 | Кальций                    | г/дм <sup>3</sup>     | 82,2            | 104,7                    | 27                     |
| 8 | Калий                      | г/дм <sup>3</sup>     | 14,2            | 18,5                     | 30                     |
| 9 | Магний                     | г/дм <sup>3</sup>     | 12,2            | 15                       | 23                     |

**Рис. 3. Диаграммы зависимости предела прочности при сжатии образцов торкрет-бетона от среды твердения**

рудника «Удачный». Образцы торкрет-бетона третьей и четвертой серий изготавливались с повышенным на 30 % водо-цементным отношением, твердение их происходило в нормальных условиях и рассоле.

На образцах, твердевших в рассоле, образовались кристаллы соли и белёсый налёт (рис. 1, 2), что говорит о возможности протекания коррозии бетона 3-го вида [2], а именно кристаллизации соли в его трещинах, порах и капиллярах, что вызывает повышение внутренних напряжений и со временем

может привести к разрушению структурных элементов бетонного камня.

В табл. 2 представлено изменение химического состава рассола после твердения в нём образцов торкрет-бетона с соотношением Ц:Д=1:1 в течение 28 суток.

Как видно из представленных данных (табл. 2) в исследуемом растворе изменилось содержание некоторых химических элементов. Особо необходимо отметить увеличение содержания кальция в рассоле с 82,2 до 104,7 г/дм<sup>3</sup>, что говорит о протека-

нии коррозии I и II видов между водной средой и погруженным в неё образцом бетона. Происходит выщелачивание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и протекание обменных реакций между минералами цементного камня и рассола [2]. Выделяющийся при этом  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  образует на поверхности бетона налёт (рис. 2). Содержание натрия по нашему мнению, снизилось ввиду его кристаллизации (рис. 1, 2). Изменение других параметров раствора не вносит существенного влияния на изменение его коррозионных свойств.

По истечении 28 суток исследуемые образцы торкрет-бетона испытывали на установке «ZwickRoellZ600». Предел прочности при сжатии определялся на половинках образцов-балочек в соответствии с ГОСТ 310.4-81. Прочностные характеристики и относительные изменения прочности представлены на рис. 3.

Анализ данных свидетельствует, что при твердении образцов бетона в рассоле с рудника «Удачный» их прочность снизилась на 20 - 30% по сравнению с образцами, твердевшими

в нормальных условиях. Образцы с повышенным содержанием воды показали меньшую прочность по сравнению с оптимальным ВЦ, ввиду менее плотной структуры цементного камня.

Таким образом, при воздействии подземные воды (хлоридные кальциевые рассолы) рудника «Удачный» на торкрет-бетонную крепь возможно протекание 3-х основных видов коррозии бетона. Для снижения скорости разрушения бетона, необходимо использовать торкрет-бетоны особо низкой проницаемости (высокой плотности), способных противостоять агрессивному воздействию подземных рассолов. Повышение коррозионной стойкости бетонов возможно путем применения специальных пластифицирующих добавок, пропитки бетонного покрытия полимерами, изменением зернового состава заполнителей и др. Полученные в ходе лабораторных исследований данные необходимо учитывать при производстве торкрет-бетонных работ на руднике «Удачный».

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

2. *Технология бетона*. Учебник. Ю.М. Баженов - М.: Изд-во АСВ, 2002, 500 - стр. с иллюстрациями. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Курилко Александр Сардокович* – доктор технических наук, зав. лаб. горной теплофизики, зам. директора ИГДС СО РАН, e-mail: a.s.kurilko@igds.ysn.ru

*Алексеев Константин Николаевич* – ст. инженер, лаб. горной теплофизики, e-mail: const1711@mail.ru

*Никифорова Агафья Дмитриевна* – инженер, лаб. горной теплофизики, e-mail: agafyanikiforova@mail.ru  
ИГДС СО РАН,

*Дроздов Александр Викторович* – кандидат геолого-минералогических наук, зав. лаб. горно-геологических проблем разработки месторождений, институт «Якутнипроалмаз», АК «АЛРОСА», e-mail: drozdovav@alrosa.ru



UDC 622.281.4:693.546.3

**INFLUENCE OF CALCIUM CHLORIDE UNDERGROUND BRINES ON THE STRENGTH OF SPRAYED CONCRETE, WHICH IS MADE ON THE BASIS OF LOCAL FILLERS (BY THE EXAMPLE OF MINE "UDACHNIY")**

*Kurilko A.S.*, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
*Alekseev K.N.*, Senior Engineer,  
*Nikiforova A.D.*, Engineer,  
IGDS SB RAS,  
*Drozhdov A.V.*, PhD, Institute "Yakutniproalmaz", "ALROSA".

Underground waters of mine "Udachniy" present the strong brines of calcium chloride salts with mineralization of salts more than 400 g/l. The article shows the chemical composition of natural brine selected from the horizon -380 abs. m. Evaluation of brine aggressiveness to concrete made in accordance with Building norms and rules 2.03.11-85 "Protection of building structures from corrosion". The article also describes the possible types corrosion of concrete when exposed to adverse hydrochemical conditions being built mine "Udachniy". Currently, construction of shotcrete concrete powered supports accomplished in mine workings of horizon -380 abs. m and in the pit bottom of horizon - 580 abs. m. In this regard, we investigated the influence of hardening medium (normal conditions, brine) and the water-cement ratio on the compressive strength of different compositions shotcrete concrete made based on the local filler (dropouts dolerite crushed stone production "ALROSA"). Investigation shows the change contents of chemical elements of the brine after storage of the samples it shotcrete concrete within 28 days. Suggests ways to increase the corrosion resistance of concrete. Obtained in laboratory data need to be considered in the production of shotcrete concrete of works at the mine "Udachniy".

**Key words:** shotcrete concrete, filler, dropout dolerite crushed stone, brine, corrosion, strength.

**REFERENCES**

1. SNIP 2.03.11-85 "Protection of structures from corrosion";
2. Concrete Technology. Textbook. Y.M. Bazhenov - Moscow: Publishing House of the DIA, 2002, 500 - page with illustrations.



**ГОРНАЯ КНИГА**



**Горный информационно-аналитический бюллетень.  
Отдельный выпуск № 4. Дальний Восток**

2013 г.  
390 с.  
ISBN: 0236-1493  
UDK: 622

Сборник содержит материалы V Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Проблемы комплексного освоения георесурсов», посвященной 100-летию со дня рождения чл.-кор. РАН Е.И. Богданова (г. Хабаровск, октябрь 2013 г.). Рассмотрен широкий круг актуальных вопросов, связанных с добычей и переработкой минерального сырья, ведением горных работ в сложных горно-геологических и горно-технических условиях, и намечены направления эффективного и безопасного освоения недр. Представлены, полученные в научных учреждениях России и мира, новые результаты фундаментальных и прикладных исследований в области геотехнологии, глубокой переработки минерального сырья, геомеханики, геоэкологии и ряда других разделов горных наук, играющих важнейшую роль для эффективного и безопасного освоения недр. Для научных и инженерно-технических работников горнодобывающей отрасли, аспирантов и студентов горных специальностей вузов.