

## Новые возможности защиты подземных конструкций от агрессивных сред

Н. Г. МАКСИМОВИЧ,  
зам. директора по научно-исследовательской работе,  
канд. геол.-минерал. наук (ФГНУ «Естественнонаучный институт», Пермь)

Коррозия бетона является серьезной проблемой при эксплуатации конструкций и сооружений. В России ежегодный ущерб от коррозии превышает 25 млрд р. В развитых странах он достигает 4 % валового национального продукта.

Рекомендуемые нормативными документами [1, 2] методы защиты подземных конструкций от коррозии сводятся к повышению химической устойчивости применяемых материалов и нанесению антикоррозионных покрытий. В некоторых случаях производится замена агрессивного грунта или снижение уровня подземных вод. Эти способы требуют значительных затрат, и большая их часть не применима в тех случаях, когда агрессивные среды сформировались в ходе эксплуатации сооружений.

В связи с этим необходима разработка новых подходов к проблеме защиты подземных конструкций от агрессивных сред с учетом экономической и технологической целесообразности. Одним из методов, позволяющих решить эту проблему, является геохимическое воздействие на сами агрессивные среды [3]. В этом случае агрессивные компоненты будут взаимодействовать со специально вводимыми в грунтовой массив реагентами, а не с подземными конструкциями. Такой подход был применен на одном из объектов в г. Губаха (Пермский край) для борьбы с сульфатной агрессивностью к бетонным конструкциям.

Коррозия бетона в сульфатных средах достаточно часто встречается в практике. В настоящее время основная способ защиты бетонов от сульфатной коррозии — уменьшение содержания алюминатной фазы в цементах, входящих в структуру этtringита, что ограничивает его рост и обеспечивает достаточную долговечность бетона [4].

На указанном объекте при планировочных работах и формировании насыпей использовались породы отвалов Кизеловского угольного бассейна, характеризующиеся высоким содержанием сульфатной и сульфидной (пирит) серы, достигающим 8,7 %.

Значительное ее количество входит в водорастворимые соединения. Содержание  $\text{SO}_4^{2-}$ , по данным анализа водной вытяжки, может достигать сотен граммов на килограмм грунта. В условиях земной поверхности породы выветриваются, что сопровождается окислением пирита, образованием и переходом  $\text{SO}_4^{2-}$  в подземные воды и снижением pH до 3 [5].

В результате подтопления площадок в насыпных грунтах на отметках выше заложения фундаментов сформировались агрессивные к бетону подземные воды. Режимные наблюдения показали тенденцию к увеличению сульфатной агрессивности вод.

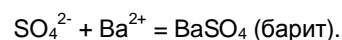
Содержание сульфатов в ряде случаев достигало 4,1 г/л, что соответствует сильной степени агрессивности вод для бетона на портландцементе по ГОСТ 10178-85\*. Высокое содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  обусловлено взаимодействием подземных вод с

породами шахтных отвалов, что подтверждено лабораторными экспериментами.

Вскрытие фундаментов и проведение работ по антикоррозионной защите в условиях действующего производства с непрерывным циклом практически невозможны.

Водопонижение и замена грунтов в существующих условиях также неприемлемы или имеют очень высокую стоимость.

Для связывания  $\text{SO}_4^{2-}$  автором данной статьи предложено использовать растворимые соединения бария:



Реакция осаждения  $\text{SO}_4^{2-}$  в виде барита происходит практически мгновенно и не зависит от pH среды. В качестве реагента целесообразно применять гидроксид и хлорид бария.

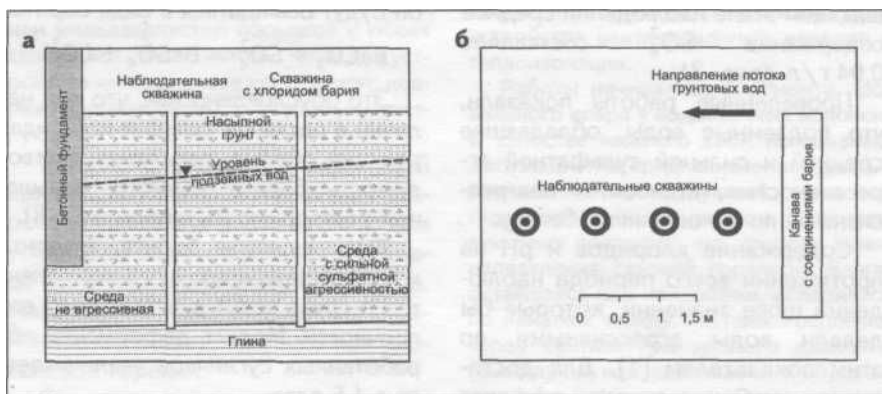
Хлорид бария имеет высокую растворимость в воде, что позволяет использовать концентрированные растворы.

Растворимость гидроксида бария на порядок ниже, однако при его использовании нейтрализуется кислая реакция среды и в подземные воды не вносятся дополнительные анионы.

Образующийся барит практически не растворим и не разрушается при выветривании. Он не токсичен, используется в буровых растворах, может применяться как наполнитель бетона для повышения его сульфатостойкости [6].

Опытные работы по нейтрализации агрессивных сред проводились

Рис. 1. Схематический разрез участка 1 (а) и схема опытного участка 2 (б)



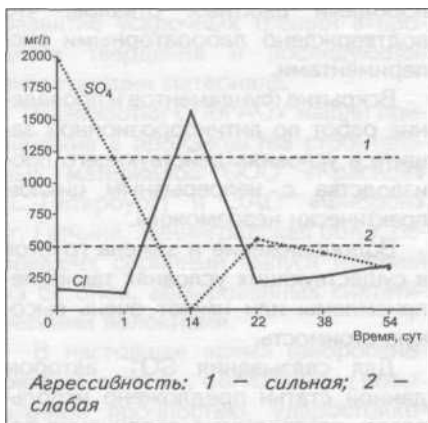


Рис. 2. Состав воды в наблюдательной скважине на участке 1

на двух участках (рис. 1). На первом, где подземные воды обладали сильной сульфатной агрессивностью (с учетом содержания  $\text{HCO}_3^-$ ) [1], пробурены две скважины: одна — для засыпки реагента, другая — для наблюдения (рис. 1а).

После засыпки хлорида бария вода в наблюдательной скважине в скором времени становится неагрессивной по отношению к бетону. К концу четвертого месяца наблюдений концентрация  $\text{SO}_4^{2-}$  снизилась в 10 раз (рис. 2).

Второй опытный участок со средней сульфатной агрессивностью (среднее по четырем скважинам содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  составляет 1,22 г/л) включал канаву для засыпки реагента (гидроксида и хлорида бария) и четыре наблюдательные скважины, расположенные ниже по потоку подземных вод (рис. 1б).

После засыпки реагента в течение более чем двух лет во всех скважинах прослеживается тенденция к уменьшению содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ , вода потеряла агрессивность. На завершающем этапе наблюдений среднее содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  составляло 0,04 г/л (рис. 3).

Проведенные работы показали, что подземные воды, обладавшие средней и сильной сульфатной агрессивностью, становятся неагрессивными по отношению к бетону.

Содержание хлоридов и pH на протяжении всего периода наблюдений ниже значений, которые бы делали воды агрессивными по этим показателям [1]. Для достижения положительного эффекта



Рис. 3. Среднее содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  по четырем скважинам на участке 2

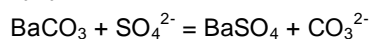
потребовалось на 1 м<sup>3</sup> грунта 29 кг хлорида бария или 22 кг гидроксида бария.

В результате внесения реагентов существенно изменилась геохимическая активность грунтов. По результатам водной вытяжки, общее содержание растворимых солей в грунте на втором участке уменьшилось в 2,5 раза, содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  — в 3 раза.

Обработка массива растворимыми соединениями бария приводит к изменению минералогического состава и свойств грунтов. Со дна канавы, в которую засыпались соединения бария, был отобран желтовато-белый осадок.

Рентгенометрические исследования показали, что в состав осадка входят, %: барит — 24, кальцит — 15, виверит — 30, кварц — 30, гипс — 1. Грунт в стенках и нижней части канавы сцементирован.

Образование виверита следует рассматривать как положительный фактор, поскольку в случае поступления в обработанный  $\text{SO}_4^{2-}$  массив он будет осаждаться в виде барита:



Это обусловлено тем, что при наличии в растворе сульфат-иона идет реакция обмена, поскольку растворимость барита намного меньше, чем растворимость виверита [7, 8].

Формирование барита, виверита и воздействие щелочного компонента на грунт ведут к повышению его прочности. Модуль деформации обработанных суглинков увеличивает в 1,5 раза.

Заполнение пор соединениями бария снижает водопроницаемость грунта. Эта особенность используется, например, при создании противофильтрационных завес. При введении в грунт хлорида бария и сульфатов кальция и магния его коэффициент фильтрации уменьшился в 240 раз [9].

Указанные побочные явления следует рассматривать как положительные, так как уменьшение водопроницаемости грунта и интенсификация водообмена снижает воздействие агрессивных вод на бетонные конструкции [1], а увеличение прочности грунта повышает надежность оснований сооружений.

Проведенные опытные работы показывают перспективность нового подхода к защите подземных конструкций от агрессивных сред. Геохимическое воздействие на агрессивные среды может быть применено и для других видов агрессивности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии.
2. СНиП 3.04.03-85. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии.
3. Быков В. Н., Максимович Н. Г. и др. Природные ресурсы и охрана окружающей среды: Учеб. пособие / Перм. ун-т. Пермь, 2001.
4. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. М.: Изд-во АСВ, 2003.
5. Максимович Н. Г., Горбунова К. А. Формирование агрессивности подземных вод при использовании пород отвалов угольных шахт в строительстве // Инженерная геология. 1990. №6.
6. Рубецкая Т. В., Бубнова А. С., Божич И. В. Условия развития гипсовой коррозии и обеспечение долговечности бетона применением новых цементов // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. Т. 1. Киев, 1973.
7. Петров В. П., Делицин И. С. Барит. М.: Наука, 1986.
8. Busenberg E., Flummer L. The solubility of  $\text{BaCO}_3$  (cr) (witherite) in  $\text{CO}_2$  —  $\text{H}_2\text{O}$  solutions between 0 and 90° C, evaluation of the association constants of  $\text{BaHCO}_3$  + (aq). Geochim. et Cosmochim. Acta. 1986. 50. № 10.
9. А. с. 962442 СССР, МКИ, К 02 Д 3/12. 1979